Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Engineering Science, Ohjelmistotuotanto

LUT Scientific and Expertise Publications: Oppimateriaalit – Lecture Notes xx

Uolevi Nikula

C-ohjelmointiopas
versio 2.2 draft

LUT-yliopisto
School of Engineering Science
Ohjelmistotuotanto
PL 20
53851 Lappeenranta

ISBN xxx
ISBN xxx
ISSN-L xxx
ISSN xxx

Lappeenranta 2024

Lappeenranta 31.5.2024

ESIPUHE

Tämä on yksi LUT-yliopiston Tietotekniikan koulutusohjelman ohjelmoinnin perusopetuksen oppaista. Tämä ei ole täydellinen C-ohjelmointikielen käsikirja, vaan sen tarkoituksena on auttaa Python-kielen osaavia aloittamaan C-kielen opiskelu käymällä läpi perusrakenteet C-kielen syntaksilla ja esittelemällä keskeiset C-kielen erityispiirteet.

Oppaan esimerkeissä oletetaan, että käyttäjä osaa ohjelmoida Python-ohjelmointikielellä. Ohjelmointiympäristönä oppaassa on käytetty Win10-käyttöjärjestelmään asennettua Visual Studio Code -editoria ja esimerkit on käännetty ja testattu WSL/Linux-ympäristössä gcc-kääntäjällä. Opas ei edellytä varsinaista Linux-osaamista vaan käytettävät yksittäiset käskyt käydään läpi oppaassa ja ne oppii tehtäviä tekemällä.

Mikäli sinulla ei ole aiempaa kokemusta ohjelmoinnista, kannattaa ohjelmoinnin opiskelu aloittaa Python-ohjelmointioppaan avulla (Vanhala ja Nikula 2020). Opas on ladattavissa ilmaiseksi lutpub.lut.fi -osoitteesta ja siinä käydään läpi ohjelmointia perusteista alkaen. Se on suositeltava lähtökohta tämän oppaan aiheisiin, sillä tämä opas etenee nopeammin ja edellyttää aiempaa ohjelmointikokemusta.

Oppaan ensimmäisessä versiossa (Kasurinen ja Nikula 2011) käytettiin osia Satu Alaoutisen (2005) Lyhyestä C-oppaasta. Vuonna 2013 opasta laajennettiin lisäämällä osia oppaasta ”C-kieli ja käytännön ohjelmointi Osa 2” (Kyttälä ja Nikula 2012) ja opas julkaistiin nimellä ”C-kieli ja käytännön ohjelmointi osa 1, versio 2” (Kasurinen ja Nikula 2013). Tämän version muotoon myötävaikuttivat erityisesti Risto Westman, Satu Alaoutinen ja Erno Vanhala, joista viimeinen on osallistunut merkittävästi erityisesti Unix/Linux-osuuksien kirjoittamiseen. Lisäksi oppaan kaikkiin versioihin on saatu kommentteja opiskelijoilta. Seuraava suurempi päivitys oppaaseen tehtiin 2021 ja se julkaistiin nimellä ”C-ohjelmointiopas versio 2.1”. LUTin kurssin sisältö muuttui ajan myötä ja aiemmin käytetystä Linux-ympäristöstä siirryttiin tässä vaiheessa Visual Studio Code -editoriin ja WSL-ympäristöön (Windows Subsystem for Linux). Tämä mahdollisti ohjelmien tekemisen monille tutussa Windows-ympäristössä, mutta ohjelmat käännettiin ja suoritettiin edelleen Linux-ympäristössä hyväksi koettujen työkalujen gcc, make ja Valgrind avulla.

Tämä oppaan uusin version 2.2 on otettu käyttöön vuoden 2024 alussa. Suurin muutos on tyyliohjeen käytön laajeneminen oppaan kaikkiin esimerkkeihin. C-ohjelmoinnin kannalta tyyliohjeen käyttöönotto ei muuta mitään, mutta kurssin kannalta opiskelijoille pyritään tämän oppaan myötä näyttämään yksi ohjelmointityyli, jossa käytettävillä rakenteilla pyritään saamaan aikaiseksi ymmärrettäviä ja ylläpidettäviä ohjelmia. Käytössä tyyliohjeita noudattamalla opiskelijat pystyvät välttämään tyypillisimmät kurssilla havaitut ohjelmointiongelmat ja siten sen noudattaminen helpottaa kurssiin liittyvien ohjelmien tekemistä.

Suuret kiitokset kaikille opasta kommentoineille ja lukeneille henkilöille – turhahan näitä oppaita olisi kirjoittaa, jos niitä ei kukaan lukisi.

SISÄLLYSLUETTELO

Valmistelu

Ohjelmointi edellyttää ohjelmointioppaan lisäksi tietokoneelle ohjelmointiympäristöä. Tämän ohjelmointioppaan liitteenä 1 on Asennusohje, jossa käydään läpi Visual Studio Code (VSC) -editoriin ja WSL:ään (Windows Subsystem for Linux) perustuvan ohjelmointiympäristön asennus. LUTin ohjelmointikurssien materiaaleihin kuuluu myös ohjelmointivideoita, joista ensimmäisessä käydään läpi em. ohjelmointiympäristön asennus. Asennusohjeen lopussa tehdään pieni C-ohjelma ja käännetään sekä suoritetaan se, jotta voit varmistua ohjelmointiympäristösi toimivuudesta ja keskittyä C-ohjelmoinnin opetteluun varsinaisen oppaan avulla. Tämä opas keskittyy ohjelmointiin ja olettaa, että pystyt kääntämään ja ajamaan ohjelmat itse omassa ohjelmointiympäristössäsi.

Luonnollisesti Linux-ympäristöä voi käyttää suoraan oppaan esimerkkien tekemiseen. Myös Apple/Mac tuotteet perustuvat siinä määrin Unixiin, että asennuksissa voi tyypillisesti noudattaa Linux-ohjeita. Sekä Linux että Mac-ympäristöihin on saatavilla VSC-editori, joten näihin kaikkiin ympäristöihin on saatavissa vastaavat ohjelmointiympäristöt ja niiden asennuksen jälkeen oppaan esimerkit toimivat kaikissa ympäristöissä samalla tavalla. Tämän oppaan liitteenä 2 on lyhyt VSC:n käyttöohje.

Luku 1. C-ohjelmoinnin taustaa ja perusteet

Tässä luvussa tutustumme Unix/Linux käyttöjärjestelmiin sekä käymme läpi Linux-ohjelmointiympäristön ja C-kielen perusasiat. Unix/Linux-osuus tarjoaa perustiedot näiden käyttöjärjestelmien historiasta ja eroista sekä C-kielen roolista Unixin yhteydessä. Vaikka Windows on työpöytäympäristössä yleisin käyttöjärjestelmä, on Linuxilla valta-asema supertietokoneissa, älypuhelimissa, tableteissa, pelikonsoleissa ja televisioissakin. Linuxin rooli on myös vahvistumassa, sillä ensin meillä oli yhdessä tietokoneessa aina yksi käyttöjärjestelmä, jonka jälkeen virtuaalikoneet mahdollistivat useiden eri käyttöjärjestelmien käytön yhdessä tietokoneessa. Tästä seuraavana vaiheena Microsoft on mahdollistanut Linuxin käytön Windows'ssa omana järjestelmänään eli Windows Subsystem for Linux (WSL), joka tekee Linuxin käytöstä Windows-koneissa entistä helpompaa. Näin ollen Unix/Linux-historian ymmärtäminen on tärkeää ohjelmistoalan asiantuntijoille. Tämän luvun käytännöllinen tavoite on varmistaa, että ymmärrät Linuxin ja C-kielen lähtökohdat ja pystyt kirjoittamaan sekä kääntämään C-kielisiä ohjelmia. Tämä luvun Linux-osuus perustuu vahvasti lähteeseen Moody (2001).

Tämä opas on tehty lähtien oletuksesta, että tunnet Windows-ympäristön Linux-ympäristöjä paremmin. Windows käyttöjärjestelmä on työasemamarkkinoiden yleisin käyttöjärjestelmä 75 % markkinaosuudellaan (Statcounter 2021) ja se edustaa käyttöjärjestelmänä puhtaasti kaupallista linjaa. Perinteisesti myös Windowsin työkaluohjelmistot ovat olleet kaupallisia, mutta käyttöjärjestelmään on saatavissa enenevässä määrin myös freeware ja open source -ohjelmia. Nykyään useimmat kehitysympäristöt tukevat Windows-käyttöjärjestelmää sen johtavan markkina-aseman takia, mutta useat kehitysympäristöt tukevat myös GNU/Linuxia kuten esim. Visual Studio Code, Eclipse, NetBeans ja CodeBlocks. Linux-ympäristössä vallitseva trendi on avoimuus ja vapaat lisenssit GNU-työkalujen ja Linuxin tapaan.

Unix, Linux ja ohjelmointiympäristöt

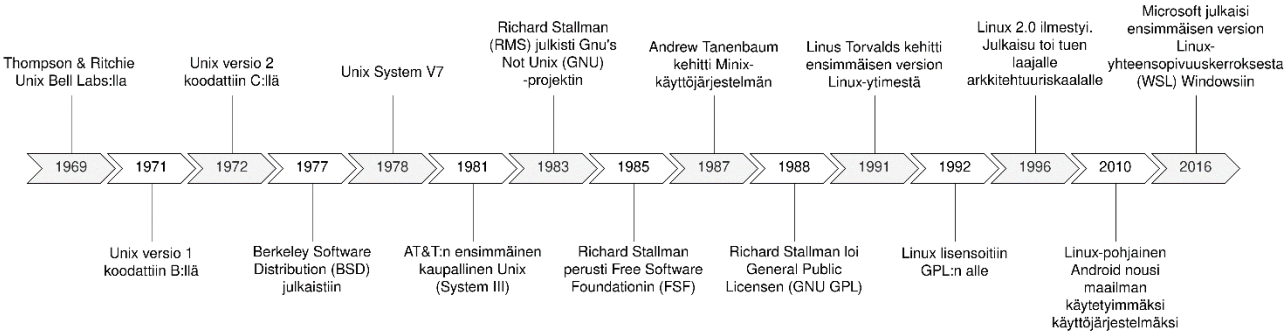
Tietotekniikan aamuhämärässä, kun tietokoneita ei ollut vielä jokaisen ihmisen taskussa vaan lähinnä armeijan ja yliopistojen käytössä, kehitettiin Yhdysvalloissa yleispätevä käyttöjärjestelmä, jonka nimeksi tuli Unix. Unix toteutettiin C-kielellä, joka muodostui tässä samassa yhteydessä aiemmin käytetystä B-ohjelmointikielestä.

Unix oli kaupallinen käyttöjärjestelmä, mutta myöhemmin 1980-luvulla tietokoneiden jo yleistyttyä Richard Stallman halusi tarjota ihmisille avoimen käyttöjärjestelmän, joka olisi kuitenkin yhtä hyvä kuin Unix ja yhteensopiva sen kanssa. Projekti sai nimekseen GNU (GNU's not Unix) ja ihmiset työstivät GNU manifeston mukaisesti avoimia ohjelmistoja korvaamaan suljettuja kaupallisia tuotteita, esim. kääntäjiä, pitkin 80-lukua. Projektilta puuttui kuitenkin se kaikkein tärkein eli käyttöjärjestelmän ydin eli kernel.

Myös kernelin rakentaminen aloitettiin Stallmanin ohjauksessa ja se valmistui 1990-luvun puolivälissä. Projekti kesti kuitenkin niin pitkään, että muut ehtivät havaita saman ongelman ja mm. Linus Torvalds aloitti oman projektinsa Helsingin yliopiston suojissa. Torvalds oli ollut tekemisissä tietokoneiden kanssa lapsuudestaan lähtien ja yliopistoon päästyään hän keräsi rahaa ostaakseen Intelin 80386-arkkitehtuurilla (nykyään i386) varustetun PC:n. Koneen mukana tuli Microsoftin MS-DOS käyttöjärjestelmä, mutta se oli Torvaldsin mielestä aivan liian rajoittunut ja Torvalds käytti sitä vain Prince of Persia –pelin pelaamiseen. Torvalds tilasi koneeseensa Andrew Tanenbaumin luoman MINIX-käyttöjärjestelmän ja huomasi, että MINIXin ja GNUn välissä oli tilaa uudelle kernelille. Kernelin tärkeimpiä lähtökohtia oli Portable Operating System Interface (POSIX) yhteensopivuus, sillä POSIX-standardi määrittelee Unix-käyttöjärjestelmien

perustoimintoja kuten tiedosto-operaatiot, signaalit ja putket ja näin ollen POSIX-yhteensopivia ohjelmistoja pystyisi käyttämään suoraan uudessa kernelissä. Torvaldsille selvisi kuitenkin pian, että standardit ovat maksullisia eikä hänen opintotukeen perustuva elämänvaihe mahdollistanut niiden ostamista. Torvalds ratkaisi tämän ongelman etsimällä käsiinsä yliopiston SunOS Unix-koneen, sen käsikirjan ja käytti näitä referenssinä luodessaan Linuxin eli käyttöjärjestelmän kernelin. Linux ei siis ole teknillisesti Unix, mutta käytännössä Linux tekee kaiken mitä muutkin Unixit, sillä se pohjautuu BSD-Unixiin. Unix-järjestelmistä on saatavana myös kaupallisia versioita (esim. Solaris), mutta ne tuntuvat olevan väistymässä avoimen lähdekoodin Unix-järjestelmien tieltä kuten esimerkiksi erilaiset BSD:t: FreeBSD, NetBSD ja OpenBSD. On myös syytä huomata, että Mac OS X perustuu Unixiin.

Käsitteisiin liittyen on hyvä huomata, että Linux viittaa periaatteessa vain kerneliin kun taas GNU/Linux viittaa koko käyttöjärjestelmään. Puhekielessä ja tässä oppaassa Linuxilla viitataan koko käyttöjärjestelmään. Kuvassa 1.1 näkyy Unix-GNU/Linux –järjestelmien tärkeimmät virstanpylväät vuoden 1969 ensimmäisestä versiosta päättyen WSL:n julkistamiseen 2016.



Kuva 1.1. Unix GNU/Linux aikajana (Robot Wisdom 2011).

Linux-ympäristössä ohjelmointi on luonnollista C-kielellä, sillä järjestelmän ydin, kernel, on kirjoitettu C-kielellä ja esim. perus C-kääntäjät tulevat asennuksen mukana tai ainakin ne ovat ilmaisia ja helppoja asentaa. Lisäksi kääntäjien käyttö on yleensä varsin ongelmatonta ja suoraviivaista. GNU/Linux-jakeluja on useita, joista useimmat perustuvat joko Debianiin, Red Hatiin / Fedoraan, Slackwareen tai SuSeen. Red Hat on vanhimpia Linux-jakeluita ja se tarjoaa kaupallisen käyttöjärjestelmän, johon samanniminen pörssiyhtiö tarjoaa mm. ylläpitopalveluja. Ubuntu on esimerkki avoimeen lähdekoodiin perustuvasta Linux-käyttöjärjestelmästä, joka pohjautuu Debian-jakeluun ja on sitoutunut noudattamaan vapaan ohjelmistokehityksen periaatteita. Ubuntu-käyttöjärjestelmä löytyy esimerkiksi LUTin Linux-luokasta.

Sovelluskehitys Linuxissa hoituu niin komentorivityökaluilla (esim. nano, gcc ja make) tai laajemmilla integroiduilla kehitysympäristöillä (IDE, Integrated Development Environment) kuten Eclipse tai Netbeans. Ubuntuun löytyy monia hyviä peruseditoreja kuten esim. perusasennukseen kuuluvat vi, nano ja gedit sekä erikseen asennettavat emacs ja Visual Studio Code (VSC). Emacs ja VSC ovat kehittyneitä editoreita ja mahdollistavat mm. koodin kääntämisen editorin sisällä.

Tässä oppaassa ohjelmien kääntäminen, suorittaminen ja testaaminen tehdään Linux-ympäristössä avoimilla, ilmaisilla ja hyväksi koetuilla työkaluilla gcc, make ja Valgrind. Kuten edellä totesimme, Unix ja C-kieli sopivat hyvin yhteen ja Linux on tällä hetkellä helposti saatava ja ilmainen Unix-ympäristö, joten Linux-kehitysympäristö on luonnollinen valinta C-ohjelmoijalle. VSC-editorin käyttö Windows'ssa madaltaa aloituskynnystä, koska näin sinun ei tarvitse opetella ensin uutta käyttöjärjestelmää voidaksesi opetella ohjelmoimaan. Koska VSC-editori on saatavilla Windows, Linux ja Mac -käyttöjärjestelmiin, saamme kaikkiin näihin käyttöjärjestelmiin hyvin samanlaisen ohjelmointiympäristön ja tätä opasta voi käyttää käyttöjärjestelmästä riippumatta. Kuten edellä todettiin, ohjelmistokehittäjät käyttävät usein integroituja kehitysympäristöjä eli IDE:tä, mutta

koska tämä opas keskittyy C-ohjelmointiin, pidättäydymme kevyessä ja ohjelmoijien suosimassa VSC-editorissa.

C-kielen taustaa

C-ohjelmointikieli otettiin siis käyttöön vuonna 1972 Yhdysvalloissa Unix-käyttöjärjestelmän ohjelmointikielenä. Kieli suunniteltiin alun perin järjestelmäohjelmointiin, mutta se on löytänyt paikkansa myös sovellusohjelmoinnin parissa. Erityisesti muistin määrän ollessa rajallinen tai kun ohjelman suorituskyvylle asetetaan kovia vaatimuksia, on C-kieli osoittanut olevansa varteenotettava vaihtoehto. C-kieli sopii hyvin laitteistoläheiseen ohjelmointiin ja sille on tyypillistä, että käyttäjä vastaa monista toiminnoista, jotka on automatisoitu uudemmissa kielissä. Näitä toimintoja ovat mm. muistinvaraus, dynaamisten rakenteiden määrittely ja toteutus sekä varatun muistin vapautus. Esimerkiksi Python-kielen laajennusten ydinosat tehdään usein C-kielellä, jonka jälkeen koodaus Pythonilla on luonnollinen valinta. Myös C++, C# ja Java pohjautuvat vahvasti C-kieleen, joka näkyy mm. käskyissä ja monissa ohjelmointikielten periaatteista.

C-kieli rupeaa olemaan vanha kieli, mutta 2000-luvulla se on vuorotellut Javan kanssa suosituimman ohjelmointikielen roolissa (Tiobe 2021). Suomessa C-kieli mainitaan harvoin työpaikkailmoituksissa, mutta erityisesti monet matalan tason ominaisuudet kuten muistinhallinta tekevät siitä kielen, jolla voi tehdä vaikka mitä. Automaation vähäisyyden vuoksi ohjelmoija joutuu usein kirjoittamaan paljon koodia itse, mutta toisaalta se antaa ohjelmoijalle mahdollisuuden hallita tarkasti tehtävää ohjelmaa ja erityisesti muistinkäyttöä. Siksi C-kieli tarjoaa ohjelmoijalle paljon mahdollisuuksia, mutta edellyttää myös tarkkuutta, jotta kontrolli säilyy ohjelmoijalla eikä ohjelmointikieli pääse päättämään ohjelman toiminnasta.

C-ohjelman kääntäminen

Ohjelmointi alkaa ohjelman kirjoittamisella editorissa. Tämän jälkeen tulkattavan ohjelman voi suorittaa heti tulkin sisällä, mutta käännettävät kielet edellyttävät lähdekoodin kääntämistä suoritettavaksi ohjelmaksi, joka voidaan suorittaa itsenäisenä ohjelman eli ilman erillistä suoritusympäristöä kuten tulkkia. Python on tulkattava kieli, kun taas C-kieli on käännettävä kieli. Tässä kappaleessa katsotaan, miten pieni C-ohjelma käännetään suoritettavaksi ohjelmaksi ja suoritetaan Linux-ympäristössä. Itse ohjelman rakenne ja toiminta käydään läpi seuraavissa luvuissa. Käännösprosessin läpikäynnin jälkeen on muutama huomio kääntäjien eroista, sillä käännettyä ohjelmaa ei voi tyypillisesti suorittaa erilaisissa käyttöjärjestelmässä ja samakin lähdekoodi voi toimia eri tavoin käännettynä eri kääntäjillä.

C-ohjelman kääntämisprosessi

Katso oppaan liitteenä olevat asennusohjeet ja asenna C-kehitysympäristö itsellesi. Sen jälkeen kirjoita alla oleva ohjelma VSC:llä ja tallenna se nimellä `E1_1.c`.

Esimerkki 1.1. Käännettävä C-ohjelma

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    printf("Minä tein tämän!\n");
    return(0);
}
```

Tämän jälkeen käännä ohjelma VSC:n terminaalissa seuraavalla käskyllä (avaa terminaali painamalla CTRL-Ö):

```
gcc E1_1.c -o E1_1
```

Mikäli käännös onnistuu ilman virheitä, tallentuu hakemistoon suoritettava ohjelmatiedosto `E1_1` ja voit suorittaa sen komennolla

```
./E1_1
```

Ohjelman suorittamisessa kannattaa huomata muutama yksityiskohta. Linux-ympäristössä isot ja pienet kirjaimet ovat merkitseviä eli `E1_1` ja `e1_1` ovat eri asioita ihan niin kuin C-ohjelmissakin. Toinen asia on, että ohjelmaa suoritettaessa Linux edellyttää polkua ajettavan ohjelman nimen lisäksi ja kirjoittamalla suoritettavan ohjelman ”`E1_1`” nimen eteen ”`./`” kerromme polun eli että tämä tiedosto löytyy tästä samasta hakemistosta. Tämä tuntuu aluksi oudolta, mutta sille on hyvät tietoturvaan liittyvät perusteet, jotka käydään läpi tarkemmin Linux-peruskurssilla. Tässä vaiheessa on vain muistettava, että ohjelma suoritetaan polun kanssa eli `./E_1`.

Edellä olevan minimaalisen käännös-komennon sijaan tulemme jatkossa määrittelemään tarkemmin tehtävän käännöksen eli ohjaaman käännöstä seuraavilla valinnoilla:

```
gcc E1_1.c -o E1_1 -std=c99 -Wall -pedantic
```

Molemmissa tapauksissa käännös tehdään `gcc`-kääntäjällä, jossa syötteenä on `E1_1.c` niminen lähdekooditiedosto ja parametri `-o` (output) kertoo tehtävän tiedoston nimen `E1_1`. Parametri `-std=c99` kertoo kääntäjälle, että lähdekoodi tulee tarkastaa käännöksen yhteydessä ja verrata sitä ANSI C99 standardin mukaisiin vaatimuksiin. Vastaavasti parametri `-Wall` ohjeistaa kääntäjää kertomaan kaikista varoituksista käännöksen yhteydessä (warning all) ja `-pedantic` kertoo kääntäjälle, että sen tulisi olla pikkutarkka käännöksessä eli raportoida kaikki potentiaalisetkin virheet käyttäjälle. Yhteenvetona edellisen ohjelman kääntäminen ja suorittaminen Linux-komentokehotteessa (VSC:n terminaalissa) tapahtuu seuraavilla käskyillä:

```
un@LUT8859:~/Opas$ gcc E1_1.c -o E1_1 -Wall -std=c99 -pedantic
un@LUT8859:~/Opas$ ./E1_1
Minä tein tämän!
un@LUT8859:~/Opas$
```

Huomioita kääntäjistä ja käyttöjärjestelmistä

Kääntämiseen liittyen on hyvä huomata, että jokainen kääntäjä tuottaa ohjelmia omaan kohdeympäristöönsä. Yleensä tuo kohdeympäristö on sama kuin missä kääntäjä toimii (esim. Linux tai Windows), mutta erityisesti sulautettujen järjestelmien ohjelmat voidaan kääntää

kehitysympäristössä ja siirtää sitten varsinaiseen kohdeympäristöönsä suoritettavaksi (esim. askelmittari, kännykkä, tms.). Lähtökohtaisesti Linux-ympäristössä käännetty ohjelma eli binäärikoodi ei toimi Windows-ympäristössä ja päinvastoin.

Lähdekoodi ei välttämättä toimi samalla tavoin käännettynä eri kääntäjillä. Eri kääntäjät on kehitetty eri tiimien toimesta ja niillä on voinut olla erilaisia tavoitteita, joten ne saattavat tehdä hieman erilaisia ratkaisuja käännöksen yhteydessä tehdessään suoritettavaa ohjelmaa. Tämän lisäksi eri käyttöjärjestelmillä saattaa olla erilainen politiikka esimerkiksi muistinhallinnan ja muiden resurssien käytön suhteen. Lähtökohtaisesti Windows-puolen PC-kääntäjät on usein suunniteltu henkilökohtaiseen käyttöön, kun taas Unix/Linux-kääntäjät on tehty palvelinkäyttöön. Näin ollen Windows-kääntäjät saattavat käyttää aikaa esim. muuttujien alustamiseen nollaksi käytön helpottamisen nimissä ja Linux-kääntäjät taas jättävät ne alustamatta nopeuden nimissä.

Usein tällaiset ongelmat tulevat esille joskus myöhemmin eivätkä vaikuta perusrakenteilla ohjelmointiin. Siitäkin huolimatta kannattaa muistaa, että C-kielistä ohjelmaa ei välttämättä pysty kääntämään sellaisenaan muussa käyttöjärjestelmässä kuin missä se on tehty ja testattu. Lisäksi eri kääntäjät saattavat tulkita asioita eri tavoin, jolloin yhdellä kääntäjällä toimiva lähdekoodi saattaa vaatia muuntelua toimiakseen toisella. Tämän vuoksi on hyvä huomata, että mikäli työskentelet jollain muulla kääntäjällä kuin oppaassa mainitulla kääntäjällä, voivat jotkin yksityiskohdat poiketa toisistaan, esim. muuttujien minimi- ja maksimiarvot sekä varoitus- ja huomautuspolitiikka. Myös kääntäjän optioilla voidaan vaikuttaa käännöksen kulkuun ja käännettyjen ohjelmien toimintaan. Kääntämällä ohjelmat C-kielen standardin mukaisesti, esim. c99, ne ovat helpommin siirrettäviä eri ympäristöjen välillä, mutta edelleen moni yksityiskohta jää ohjelmoijan päätettäväksi ja siten ohjelmat ovat erilaisia. Tämä on yksi asia, jossa ohjelmoijat poikkeavat toisistaan eli joku saa ohjelman menemään yhdestä kääntäjästä läpi, kun taas toinen kirjoittaa ohjelmia, jotka menevät eri kääntäjistä läpi ja toimivat samalla tavoin eri ympäristöissä.

C-ohjelman perusasioita

Ohjelmointikielenä C-kieli noudattaa normaaleja ohjelmointikielten periaatteita. Käydään seuraavaksi läpi C-kielen perusasiat ja keskitytään eroihin Python-ohjelmiin verrattuna. Periaatteet ovat pitkälti vastaavia ja tuttuja muista ohjelmointikielistä, mutta varmuuden vuoksi kannattaa katsoa kaikki esimerkit läpi, ettei joku yksittäinen ero muodostu ongelmaksi.

Kääntämisen ja tulkkauksen erot käsiteltiin jo edellä, joten katsotaan seuraavaksi syntaksiin, tekstin tulostamiseen, muuttujan määrittelyyn, tietojen lukemiseen, merkkijonoihin, rivin lukemiseen ja muotoiltuun I/O:hon (Input/Output, syöttö ja tulostua) liittyvät asiat. Tärkeimmät erot Pythoniin ovat C-kielen edellyttämä muuttujien määrittely ennen käyttöä ja joustamattomuus tietotyyppien kanssa. Myös tietojen lukeminen käyttäjältä eroaa Pythonista ja merkkijonojen käsittely tuntuu perustellusti monesta työläältä. Kaikki nämä asiat pystyy kuitenkin tekemään, kunhan noudattaa kielen periaatteita ja syntaksia.

Syntaksi

C-kielellä kirjoitetut ohjelmat poikkeavat Python-ohjelmista monilla tavoin alkaen niiden syntaksista. Katsotaan kääntäjän testaamisessa käytettyä esimerkkiä 1.1 tarkemmin.

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
    printf("Minä tein tämän!\n");
    return(0);
}
```

Kaikki C-kielellä toteutettu toiminnallinen koodi tulee sijoittaa aina funktion sisälle ja päätason ohjelmakoodi tulee sijoittaa `main` -nimiseen funktioon. Lisäksi jokaisella funktiolla on oma tyyppinsä – palaamme tähän tarkemmin myöhemmin, mutta jo nyt on muistettava, että `main`-funktion tyyppi on integer (`int`). Tämän lisäksi jokainen funktio palauttaa aina toiminnan lopettaessaan jonkin funktion tyyppiin sopivan arvon: esimerkiksi `main`-funktio palauttaa lopettaessaan tyypillisesti arvon 0 (`return(0)`). Lisäksi ennen pääohjelmaa sisällytimme C-kielen mukana tulevan `stdio.h` –kirjaston ohjelmaan `include`-käskyllä.

Tarkasteltaessa C-kielen rakennetta merkkitasolla huomaamme, että C-kielessä on Pythoniin nähden ylimääräisiä rakennemerkkejä. Esimerkiksi jokainen koodiosio/lohko (funktio tai toisto- tai ohjausrakenteen toiminnallinen osa), joka Pythonissa sijoitettaisi eri sisennystasolle, merkitään C-kielessä aaltosuluilla ”{” ja ”}”. Aukeava aaltosulku on aina osion ensimmäinen merkki ja sulkeva aaltosulku osion viimeinen merkki. Sisennyksillä ei ole C-kielessä toiminnallista roolia, mutta ne helpottavat merkittävästi lähdekoodin ymmärtämistä ja siksi on hyvä jatkaa Pythonista tuttua sisennysten käyttöä ja yllä näkyvää esimerkin 1.1 tyyliä. Lisäksi jokainen toiminnallinen rivi päättyy puolipisteeseen ”;”.

Tällaiset ohjelman kirjoittamissäännöt ovat syntaksia ja yksi yleisimpiä virheitä C-ohjelmoinnin alkuvaiheessa on syntaksivirhe. Vaikka syntaksivirhe kuulostaa pahalta, on kyseessä itse asiassa selkeä – ja helppo – virhetyyppi. Kyseessä on siis kirjoitusvirhe eli ohjelma ei ole kirjoitettu kielen kieliopin mukaisesti. Kaikkiin kieliin liittyy kielioppi eli esimerkiksi ”suomen kielen lauseessa on oltava aina verbi”. Positiivisesti ajatellen kääntäjä huomauttaa syntaksivirheistä ja siten niiden korjaaminenkin helppoa. Tai olisi, jos virheilmoitus osuisi oikealle riville, mutta joka tapauksessa syntaksin oppii, kun kirjoittaa ohjelmia eli harjoittelee ja opettelee tulkitsemaan kääntäjän antamia virheilmoituksia.

Tiivistetysti C-ohjelmat poikkeavat Python-ohjelmista etenkin seuraavien asioiden osalta:

- Kaikki koodi tulee sijoittaa funktion sisälle.
- Päätason koodi tulee aina `main`-nimiseen funktioon eli pääohjelmaan, joka on tyyppiä `int`. Jokaisessa ohjelmassa on oltava yksi (ja vain yksi) `main`-niminen funktio eli pääohjelma, jonka lisäksi samassa ohjelmassa voi olla aliohjelmia.
- Funktiot loppuvat aina `return`-käskyyn, joka palauttaa funktion tyypin mukaisen arvon. Pääohjelman tyyppi on normaalisti `int` ja siten se loppuu tyypillisesti käskyyn `return(0)`. Mikäli aliohjelma ei palauta arvoa, on se tyypiltään `void`.
- Koodilohko alkaa aina aukeavalla aaltosululla ”{” ja loppuu sulkeutuvaan aaltosulkuun ”}”. Sisennys ei vaikuta lähdekoodin osiojakoon, mutta se vaikuttaa koodin luettavuuteen. Näin ollen systemaattiset sisennykset on hyvän ohjelmointityylin perusta. Aloittava { kannattaa laittaa rivin loppuun viimeiseksi merkiksi ja lopettava } tyhjälle riville yksinään.
- Jokainen käskyrivi koodilohkossa päättyy puolipisteeseen ”;”.

- Käytännössä jokainen koodirivi päättyy joko aaltosulkuun tai puolipisteeseen. Jos rivi päättyy aukeavaan aaltosulkuun, sisennä seuraavaa riviä yksi sisennystaso enemmän, ja jos taas sulkeutuvaan aaltosulkuun, sisennä seuraavaa riviä yksi sisennystaso vähemmän.

Tutustutaan seuraavaksi tarkemmin C-kielen peruskäskyihin esimerkkiohjelmien avulla.

Tekstin tulostaminen näytölle

Ohjelman perustoimintoihin kuuluu tekstin tulostaminen näytölle. Huomaa, että tulostuskäskyt edellyttävät kirjaston käyttämistä ja tässä esimerkissä on myös kommentteja.

Esimerkki 1.2. Tekstin tulostus näytölle

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    /* Tämä on kommentti */
    printf("Minä tein tämän!\n");
    printf("Huomaa, että teksti jatkuu aina edellisen ");
    printf("perään,\n ellei tulostus pääty rivinvaihtomerkkiin!");

    /* C-kielen kommenttimerkit
    ovat monirivisiä */
    return(0);
}
```

Ohjelman tuottama tulos

Tämä ohjelma tuottaa seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E1_2
Minä tein tämän!
Huomaa, että teksti jatkuu aina edellisen perään,
 ellei tulostus pääty rivinvaihtomerkkiin!un@LUT8859:~/Opas$
un@LUT8859:~/Opas$
```

Kuinka ohjelma toimii

Ohjelma alkaa kirjaston otsikkotiedoston sisällyttämisellä. Tiedosto `stdio.h` sisältää tavallisimmat tietojen lukemiseen ja tulostamiseen käytetyt funktiot eli **st**an**d**ard **i**nput/**o**utput, joten tiedoston sisällyttäminen ohjelmaan mahdollistaa ko. kirjaston määrittelyiden käytön ohjelmassa. C-kielessä kirjastoja tarvitaan jo pelkkiä ”perustoimintoja” varten ja palaamme kirjastojen käyttöön laajemmin luvussa 3. Toistaiseksi riittää ymmärtää, että käskyllä `#include <`*`kirjastonnimi`*`>` voimme ottaa käyttöön kirjastoja ja että kirjasto `stdio.h` pitää ottaa käyttöön aina kun ohjelmassa on syöttö- tai tulostuslauseita eli I/O:ta (Input/Output).

Mitä itse ohjelma tekee? Jos katsomme pääohjelman määrittelevää käskyä `int main(void)`, niin näemme, että siinä on funktion parametrien sijaan sana `void`. `void` on C-kielen varattu sana ja tarkoittaa tyhjää, olematonta, ”ei-olemassaolevaa”. Käytännössä kerromme, että `main`-funktio ei ota vastaan mitään parametreja. Tämän jälkeen avaamme aaltosululla pääohjelman koodilohkon.

Pääohjelmaa tarkasteltaessa huomaamme, että funktiossa on ensimmäisenä kauttaviivan ja tähtimerkin erottama kommenttimerkki. C-kielessä tällä tavoin merkitään lähdekoodin seassa olevia kommenttimerkkejä eli laittamalla teksti merkkiparien ”/*” ja ”*/” sisään. Kommentit ovat C-kielessä oletuksena monirivisiä, joten kääntäjä odottaa aina löytävänsä merkkiparille ”/*” parin ”*/”. Avoimeksi jätetyn kommenttirivin jälkeisen koodin kääntäjä katsoo edelleen kommenteiksi niin kauan kunnes vastaan tulee lähdekooditiedoston loppu tai sulkeva kommenttimerkki. Vuonna 1999 hyväksytty C-standardi (C99) sisältää myös yhden rivin kommentit eli ”//” (kaksi jakoviivaa) aloittavat kommenttikentän, joka päättyy seuraavaan rivinvaihtomerkkiin.

Seuraavaksi koodissa on kolme tulostuslausetta. Tulostuksen siirtyminen uudelle riville ei tapahdu automaattisesti, joten jos tulostettava teksti ei pääty rivinvaihtomerkkiin, jatkuu seuraava tulostus aina edellisen rivin perään. Kuten koodista näkyy, kaikki lauseet, nyt kolme `printf`-lausetta ja `return`, päättyvät puolipisteeseen.

Ohjelman lopussa on toinen kommenttiteksti sekä funktion lopetuksen osoittava `return`-käsky. Tämä käsky määrää käytännössä, että `main`-funktio lopettaa toimintansa lopetusarvolla 0 ja tämä lopetusarvo palautetaan ohjelman käynnistäneelle ohjelmalle/käyttöjärjestelmälle. Paluuarvo voi olla virhekoodi, mutta tyypillisesti käyttöjärjestelmälle palautetaan lopetusarvo 0, joka kertoo lopetuksen tapahtuneen hallitusti ja odotusten mukaisesti. Lopuksi vielä suljemme auki olleen `main`-funktion koodiosion sulkevalla aaltosululla.

Muuttujien määrittely, tietotyypit, alustaminen ja nimeäminen

Python-kielessä muuttujilla oli käytännössä kolme erilaista perustietotyyppiä eli numeroarvo (int/float), merkkijono (str) ja rakenne kuten lista tai tuple. Muuttujan tyyppiä pystyttiin myös vaihtamaan lennosta esimerkiksi sijoittamalla merkkijono numeroarvoja sisältäneeseen muuttujaan tai toisinpäin ja kaikki toimi hienosti eli automaattisesti. C-kielessä muuttujien käyttö poikkeaa Pythonista ja tärkeimmät erot ovat seuraavat:

1. Muuttujat pitää määritellä aina ennen käyttöä. Määrittely sisältää kaksi asiaa: muuttujan nimen ja sen tietotyypin
2. Muuttuja tulee alustaa ennen käyttöä.
3. Muuttujan tietotyyppiä ei voi vaihtaa ohjelman suorituksen aikana

Määrittely ei tyypillisesti ole ongelma, sillä kääntäjä tarkistaa määrittelyn. Selkeyden kannalta kaikki määrittelyt kannattaa koota yhteen kohtaan ohjelman alkuun eikä ripotella määrittelyitä sitä mukaa kun niitä tarvitaan. C-kääntäjä hyväksyy tämänkin, mutta se ei ole hyvää ohjelmointityyliä.

Muuttuja kannattaa alustaa aina määrittelyn yhteydessä. Todellisuudessa tämä ei ole aina tarpeen, sillä esim. muuttujan arvon lukeminen käyttäjältä ei edellytä sen alustamista määrittelyvaiheessa. Jättämällä muuttujien alustuksen pois voi nopeuttaa ohjelmaa vähän, muttei tyypillisesti niin paljoa, että sillä olisi mitään merkitystä. Siksi aloittelevan ohjelmoijan kannattaa alustaa kaikki käyttämänsä muuttujat esimerkiksi arvoilla 0 ja/tai ”” eli tyhjällä merkkijonolla, sillä tämä auttaa usein välttämään virheitä.

Muuttujan tietotyyppiä ei voi vaihtaa C-kielessä, mutta luonnollisesti esim. kokonaisluku-muuttujaan voidaan sijoittaa desimaaliluku ja toisin päin. Toisaalta merkkijonoa ei voi sijoittaa luku-muuttujiin, sillä tiedon esitysmuodot ovat erilaisia ja siksi nämä muutokset edellyttävät eksplisiittistä tietotyypin muunnosta, joihin palataan myöhemmin. Lähtökohta C-kielessä siis on,

että tietotyypit pysyvät samoina ohjelman alusta loppuun asti ja tarvittaessa tehdään lisämuuttujia eri tietotyypeille.

Muuttujilla on nimet helpottamassa ohjelman lukemista ja ymmärtämistä. Siksi nimien tulee olla kuvaavia, yksikäsitteisiä, selkeitä ja johdonmukaisia. C-kieli ei myöskään hyväksi ääkkösiä tunnusten nimiin, joten niitä ei kannata käyttää ja tarvittaessa ne korvataan vastaavilla a/o kirjaimilla ilman pisteitä tms. (vrt. ö, å). Tyyliohjeessa on tarkempia ohjeita muuttujien, tiedostojen ja tunnusten nimeämiseen.

Esimerkki 1.3. Muuttujan määrittely

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
    /* Määritellään muuttujat */
    int Luku;
    float Liukuluku;

    /* Nyt meillä on joukko muuttujia,
    * käytetään niitä koodissa... */

    Luku = 5;
    Liukuluku = 8.234234645;
    printf("Luku-muuttuja on %d.\n", Luku);
    printf("%d %f\n", Luku, Liukuluku);

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E1_3
Luku-muuttuja on 5.
5 8.234235
un@LUT8859:~/Opas$
```

Kuinka ohjelma toimii

Ohjelma alkaa kuten aiemmatkin esimerkit `main`-funktiolla, jolle avaamme koodiosion aaltosululla. Tämän jälkeen meillä on kommenttirivi, jota ei lasketa varsinaisesti koodiriviksi, ja tämän jälkeen törmäämmekin muuttujien määrittelyyn.

Ensimmäinen `main`-funktiossa tehtävä asia on muuttujien määrittely. Jokainen ohjelmassa käytettävä muuttuja tulee määritellä tässä kohtaa kertomalla sen nimi ja tyyppi. Riveillä `int Luku;` ja `float Liukuluku;` kerromme C-kääntäjälle, että aiomme käyttää kahta muuttujaa nimiltään `Luku` ja `Liukuluku`. Muuttuja `Luku` on tyyppiä `int`, eli kokonaisluku ja `Liukuluku` tyyppiä `float`, eli liukuluku.

Kun olemme määritelleet muuttujat, voimme käyttää niitä koodissa aivan kuten Python-muuttujiakin. Voimme sijoittaa muuttujiin arvoja, tulostaa niitä sekä laskea eri muuttujia yhteen tai

vähentää mielemme mukaisesti. Huomaa kuitenkin, että C-kieli antaa tallentaa liukuluvun kokonaisluku-muuttujaan, mutta katkaisee automaattisesti desimaaliosan pois tallentaen ainoastaan kokonaislukuosan muuttujaan. Tämän vuoksi on hyvin tärkeää etukäteen suunnitella ohjelmaansa sen verran eteenpäin, että ei joudu tilanteeseen, jossa kokonaislukumuuttujaan pitäisi tallentaa vaikkapa liukuluku. Tässä on hyvä huomata, että ohjelma toimii etukäteen määritellyllä tavalla, mutta lopputulos ei välttämättä ole ohjelmoijan odottama, jos ei ole tarkkana.

Tietojen lukeminen käyttäjältä

C-ohjelmissa tietojen kysyminen käyttäjältä poikkeaa Pythonista. Kokonaislukujen osalta kysyminen on varsin selkeää, vaikka sekä logiikka että syntaksi ovatkin erilaisia. Tässä osiossa esiteltävä `scanf` sopii hyvin kokonaislukujen, liukulukujen ja yksittäisten merkkien lukemiseen käyttäjältä eli näppäimistöltä.

Esimerkki 1.4. Numeerisen syötteen lukeminen

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
    int Luku;

    printf("Anna kokonaisluku: ");
    scanf("%d", &Luku);
    printf("Annoit luvun %d.\n", Luku);

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E1_4
Anna kokonaisluku: 34
Annoit luvun 34.
```

Kuinka ohjelma toimii

Ohjelma alkaa pääohjelmalla eli `main`-funktion koodilohkolla, jossa ensimmäiseksi määrittelemme kokonaislukumuuttujan `luku`. Seuraavana meillä on koodin varsinainen toiminnallisuus: syötteen pyytäminen ja tallentaminen. C-kielessä syötteen pyytäminen tehdään tyypillisesti kahdella lauseella:

```
printf("Anna kokonaisluku: ");
scanf("%d", &Luku);
```

Ensin annamme käyttäjälle toimintaohjeen `printf`-lauseella, joka tulostaa ruudulle ohjeen antaa kokonaisluku. Koska C-kielen `printf`-funktio ei lisää rivinvaihtomerkkiä merkkijonon perään, pysyy kursori samalla rivillä ohjeiden kanssa muodostaen syötekentän. Seuraavalla rivillä olevalla käskyllä `scanf` luemme tähän kohtaan käyttäjän antaman syötteen.

`scanf`-käsky alkaa kertomalla, minkälaista tietoa se ottaa vastaan. Nyt määrittelemme, että odotamme käyttäjältä yhtä kokonaislukua ja se tehdään samalla tavoin kuin `printf`-lauseissa eli

antamalla formaatti ″%d″. Huomaa, että tämä formatoitu-osuus näkyy näiden funktioiden nimissä – printf eli print formatted ja scanf eli scan formatted – ja formatointi noudattaa molemmissa tapauksissa samoja sääntöjä. Tämän jälkeen kerromme, että haluamme sijoittaa kyseisen käyttäjältä luetun arvon muuttujaan Luku. Tämä arvon sijoittaminen muuttujaan edellyttää C-kielessä muuttujan nimen eteen &-merkkiä. Palamme tähän &-merkkiin eli muuttujan osoitteeseen myöhemmin ja tässä vaiheessa riittää muistaa, että luettaessa kokonais- ja liukulukuja scanf-käskyllä tulee muuttujan eteen laittaa &-merkki.

Saatuamme luettua käyttäjän arvon tulostamme sen printf-lauseen avulla, jotta varmistumme lukemisen onnistumisesta. Lopuksi päätämme funktion palauttamalla arvon 0 ja viimeistelemme ohjelman sulkemalla main-funktion koodiosion.

Tässä esimerkissä näimme, kuinka kokonais- ja liukulukujen sekä yksittäisten merkkien pyytäminen ja vastaanottaminen toimii. Formaatin osalta kokonaisluvut luetaan muotoilumerkillä ″%d″, liukuluvut ″%f″ ja yksittäiset merkit ″%c″. Yksittäinen merkki tarkoittaa yhtä kirjainta, jota voi käyttää esim. kysyttäessä käyttäjältä ”haluatko jatkaa (k/e)?”. Esimerkki saattoi herättää paljon kysymyksiä ja palaamme näihin asioihin vielä monta kertaa tässä oppaassa. Mutta katsotaan seuraavaksi, miten merkkijonoja luetaan käyttäjältä.

Merkkijonot, merkkitaulukon koko ja merkkijonon loppumerkki

Edellisessä osiossa keskityimme numeerisiin muuttujiin ja totesimme, että yksittäiset merkit käsitellään samalla tavalla. Mutta kuinka merkkijonoja käsitellään C-kielessä? Tämä onkin yksi merkittävä ero C-kielen ja Pythonin välillä. Koska merkkijonon tarvitsema muistin määrä riippuu merkkijonon pituudesta ja C-kielessä ohjelmoija päättää muistin varaamisesta, ei merkkijonojen käsittely ole C-kielessä yhtä helppoa kuin Pythonissa.

C-kielessä merkkijonon, esim. etunimi ”Ville”, käsittely on laajennus yksittäisen merkin tapauksesta eli yhden merkin sijaan varataankin merkkijonolle tilaa monta peräkkäistä muistipaikkaa peräkkäisiä merkkejä varten. Yhden merkin kohdalla asia on helppo, sillä tiedämme, että meillä on yksi merkki käytössä. Usean merkin kohdalla asia on kuitenkin toinen ja herää kysymyksiä kuten ”kuinka monta merkkiä” ja ”mistä tiedän kuinka monta merkkiä”? Pythonissa nämä tekniset yksityiskohdat on piilotettu ja merkkijonon käsittely on tehty yksinkertaiseksi ohjelmoijalle. C-kielessä taas ohjelmoija joutuu miettimään nämä asiat merkki kerrallaan ja lähtökohta on, että merkkijonolle on varattava muistia riittävä määrä sekä toisaalta merkkijonon loppumisen tietää loppu-merkistä.

Merkkijonolle pitää varata muistia ”riittävä määrä”, mutta mikä on riittävä, on tietysti toinen asia. Käytännössä esimerkiksi nimien kohdalla Väestörekisterin mukaan suomalaiset etunimet ovat tyypillisesti 1-16 merkkiä pitkiä, sukunimet 2-25 merkkiä ja monissa muissa maissa nimet ovat merkittävästi pidempiä. Näin ollen suomalaisia nimiä käsiteltäessä 30 merkkiä on tyypillisesti riittävä maksimimäärä tämän oppaan kohdalla eli voimme käyttää sitä tällä kertaa varattavana muistimääränä. Ja laittamalla nimen perään aina loppu-merkin voimme käsitellä merkkijonoja oikean kokoisina eli lisätä suoraan nimen perään sopivan seuraavan merkin jne.

Käydään seuraavaksi läpi merkkijonojen käsittelyn tekniset yksityiskohdat ja aloitetaan katsomalla esimerkki. Tässä esimerkissä määritellään merkkijono-muuttujia ja katsotaan niiden peruskäyttöä. Esimerkin pääkohdat selitetään alla, sillä tässä on useita merkkijonojen määrittelyyn ja käyttöön liittyviä asioita, jotka pitää osata jatkossa.

Esimerkki 1.5. Merkkijonon käyttö eli lukeminen ja tulostaminen

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    /* Määritellään merkkijonomuuttujia ja apumuuttujia. */
    char Nimi[30];
    char Ammatti[] = "Palomies";
    char Harrastus[30] = "autot";
    int Koko;

    /* Nyt meillä on merkkijonoja, käytetään niitä. */
    printf("Anna nimi (max. 29 merkkiä): ");
    scanf("%s", Nimi);

    Koko = sizeof(Harrastus);
    printf("%s on %s.\n", Nimi, Ammatti);
    printf("Harrastuksenaan hänellä on %s.\n", Harrastus);
    printf("Sanalle '%s' on varattu %d merkkiä.\n", Harrastus, Koko);

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E1_5
Anna nimi (max. 29 merkkiä): Erkki
Erkki on Palomies.
Harrastuksenaan hänellä on autot.
Sanalle 'autot' on varattu 30 merkkiä.
un@LUT8859:~/Opas$
```

Kuinka ohjelma toimii

Ohjelma alkaa tavalliseen tapaan `stdio.h`-kirjaston käyttöönotolla ja `main`-funktiolla. Tämän jälkeen määrittelemme käyttämämme merkkitaulukot `Nimi`, `Ammatti` ja `Harrastus`.

Ensinnäkin, koska tiedämme käsittelevämme merkkejä, käytämme tässä tapauksessa muuttujien tyyppinä `char` - eli ’yksittäinen merkki’ -tyyppiä. Käytännössä ilmoitamme kääntäjälle, kuinka monta peräkkäistä merkkiä meillä on, jotta kääntäjä osaa varata tilan etukäteen. Peräkkäiset merkit muodostavat käytännössä taulukon, jonka voi varata esim. seuraavalla tavalla:

```
char Nimi[30];
```

Tällä käskyllä määrittelemme merkkitaulukon `Nimi`, johon on varattu tilaa 30 merkkiä (taulukon paikat 0-29). Huomaa, että merkkitaulukon ensimmäinen paikka on numeroltaan 0. Tällöin 8 merkkiä pitkän merkkijonon viimeinen merkki tallennetaan paikkaan 7.

```
char Ammatti[] = "Palomies";
```

Nyt määrittelemme merkkitaulukon `Ammatti`, johon on varattu tilaa juuri sen verran kuin merkkijono ”Palomies” tarvitsee. Kääntäjä laskee merkkijonon pituuden, lisää siihen loppumerkin tarvitseman tilan ja varaa tarvittavan taulukon.

```
char Harrastus[30] = "autot";
```

Viimeisenä olemme luoneet merkkitaulukon `Harrastus`, jossa on tilaa 30 merkille ja josta olemme ottaneet käyttöön merkkijonon ”autot” tarvitseman tilan. Lopuksi luomme vielä kokonaislukumuuttujan `Koko`, johon selvitämme yhden merkkitaulukon varaaman tilan määrän.

Seuraavilla kahdella rivillä suoritamme merkkijonon lukemisen käyttäjältä. Ensimmäinen `printf`-lause ei poikkea aiemmasta käytöstämme ja nyt voimme myös lukea käyttäjän antaman merkkijonon samalla tavalla kuin luimme lukuja eli `scanf`-käskyllä käyttäen muotona `"%s"` eli merkkijonoa. Huomaa, että nyt `scanf`-käskylle annetaan pelkästään merkkitaulukon nimi ilman perässä olevia hakasulkeita, jolloin saamme merkkitaulun osoitteen ja se vastaa lukujen vaatimaa & -merkkiä. `scanf`-käsky lukee merkkijonon välilyöntiin tai rivinvaihtomerkkiin asti, joten katsotaan useiden sanojen lukuun sopiva tapa seuraavassa kohdassa.

`sizeof`-operaattoria käytetään ensimmäisen kerran seuraavalla rivillä. `sizeof` palauttaa numeroarvona tiedon siitä, kuinka monta tavua muistia parametrina annettu rakenne varaa. Tässä tapauksessa mittautimme merkkitaulukon `Harrastus`. Kuten tulostuksesta näkyy, merkkitaulukon `Harrastus` koko on 30 tavua huolimatta siitä, että ainoastaan 5 ensimmäistä alkiota on käytössä. `sizeof`-operaattoria käytetään C-kielessä paljon, koska se mahdollistaa parametrin varaaman tilan selvittämisen ja tämä on lähtökohtaisesti tärkeä asia C-ohjelmissa.

Kuten edellä totesimme, merkkijonolla pitää olla loppumerkki. Taulukko 1 alla näyttää loppumerkin ”autot” merkkijonon perässä indeksillä 5 terminaattorimerkkinä `\0` (*null character, null terminator,* ***NULL***). Tämä merkki kertoo ohjelmalle, missä kohdassa varsinainen tietosisältö loppuu ja tyhjä tila alkaa. Koska varaamme merkkitaulukon aiemmin käytössä olleelta muistialueelta, voi taulukon muistialueella olla tietoja samaa muistipaikkaa aiemmin käyttäneiltä ohjelmilta. Näillä ei kuitenkaan ole merkitystä hyvin tehdyssä ohjelmassa, sillä tallennamme muistiin omat tiedot ja merkkijonon päätteeksi laitetaan loppumerkki, jolloin muistialueella mahdollisesti olevat vanhat tiedot eivät häiritse meitä. Käytettäessä merkkijonojen käsittelyyn tehtyjä funktioita, huolehtivat nämä terminaattorimerkin systemaattisesta käytöstä ja merkin muistaminen on tarpeellista vain silloin, kun merkkijonoja käydään läpi tai käsitellään merkki kerrallaan.

Taulukko 1. Merkkitaulun ’Harrastus’ sisältö.

Merkki	a	u	t	o	t	\0	.	.	.
Alkionumero	0	1	2	3	4	5	6	7	8

Seuraavassa esimerkissä näkyy merkkijonon käsittely ja loppumerkki. Tässä esimerkissä käytetään `strcpy`-funktiota, joka kopioi merkkijonon (string copy) merkkitaulukkoon, mutta palaamme näihin merkkijonofunktioihin tarkemmin myöhemmin.

Esimerkki 1.6. Merkkijonon loppumerkki

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>

int main(void) {
    char Merkkijono[20] = "Kirsi Virtanen";
    printf("'%s'\n", Merkkijono);

    strcpy(Merkkijono, "Matti");
    printf("'%s'\n", Merkkijono);

    Merkkijono[5] = ' '; // Poistetaan Matti-sanan perästä loppumerkki
    printf("'%s'\n", Merkkijono);

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Esimerkit$ ./E1_6
'Kirsi Virtanen'
'Matti'
'Matti Virtanen'
```

Kuinka ohjelma toimii

Ohjelma tulostaa nyt ensin annetun merkkijonon, `Kirsi Virtanen`, kuten aiemmissakin esimerkeissä. Seuraavaksi `strcpy`-funktio kopioi tuon merkkijonon päälle sanan ”`Matti`” ja lisää sen perään loppumerkin, joten seuraava tulostus tuottaa tulokseksi ”`Matti`” niin kuin pitääkin. Kolmantena vaiheena oleva merkkijonon yhden merkin korvaus toisella on normaalia C-ohjelmointia, vaikka äkkiseltään se tuntuukin oudolta. Tässä vaihdetaan `Matti`-sanan perässä olevan loppumerkin tilalle välilyöntimerkki ja tämän seurauksena seuraavassa tulostuksessa näytölle tuleekin ”`Matti Virtanen`”. Tämä johtuu siitä, että kun kopioimme `Matti`-sanan merkkijonoon, muutimme sen alkuosaa ja lisäsimme sen perään loppumerkin eli käytimme uudelleen varatun muistialueen alkuosaa muuttamatta loppuosaa mitenkään. Ja kun nyt viimeisessä vaiheessa poistimme `Matti`-sanan perässä olleen loppumerkin, tulosti `printf`-käsky merkkejä loppumerkkiin asti, joka löytyi nyt `Virtanen`-sanan perästä.

Tyypillisesti merkkijonon perästä puuttuva loppu-merkki johtaa siihen, että näytölle tulee muutama epämääräinen merkki – esim. naurava naama – ennen kuin tulostus loppuu yllä olevan esimerkin mukaisesti. Huomaa, että loppu-merkin puute voi näkyä tai olla näkymättä riippuen siitä, minkälaisessa käytössä muistialue on ollut aiemmin. Ainoa tapa suojautua tältä ongelmalta on huolehtia siitä, että loppu-merkki (NULL, ’\0’) on aina sijoitettu oikealle paikalleen merkkijonon viimeiseksi merkiksi.

Rivin lukeminen

Tietojen lukeminen ja tulostaminen onnistuu `scanf`- ja `printf`-käskyillä edellä olevien esimerkkien mukaisesti. Käytännössä tietojen tulostaminen `printf`-käskyllä toimii hyvin ja sillä

saa hoidettua useimmat tulostustarpeet, vaikka `puts/fputs` mahdollistavatkin pelkän merkkijonon tulostamisen ilman formatointia näytölle tai tiedostoon, esim. '`fputs("Moi\n", stdout);`'. Tiedon lukemisen yhteydessä tulee helpommin vastaan tilanteita, joissa `scanf`:n käyttö edellyttää tarkempaa muotoilua tai vaihtoehtoisia käskyjä. Esimerkiksi syötteen pituuden voi rajoittaa 10 merkkiin muotoilulla '`scanf("%10s", str);`' ja vastaavasti hyväksyttävät merkit voi määritellä Unixin regular expression'lla, joka jää Unix-asian tämän kurssin ulkopuolelle. Lähtökohtaisesti on hyvä muistaa, että `scanf` ja `printf` perustuvat puskurointiin eli merkit kulkevat puskurin kautta ja esim. `scanf` lukee merkkejä puskurista tiettyjen sääntöjen mukaan. Koska luku-operaatiolle annetaan haluttu formaatti, noudattaa `scanf` formaattia ja huomioi siinä yhteydessä omien sääntöjensä mukaisesti myös "valkoiset merkit" eli white space -merkit, joita ovat välilyönti, sarkain ja rivinvaihtomerkki. Kaiken tämän seurauksena yhden merkin lukeminen johtaa tyypillisesti siihen, että luettua merkkiä seuraava rivinvaihtomerkki jää puskurin ensimmäiseksi merkiksi, jolloin seuraava lukuoperaatio saa puskurista pelkän rivinvaihtomerkin ja lopettaa lukemisen siihen. Poistamalla tuo rivinvaihtomerkki puskurista esim. `getchar()` -käskyllä onnistuu seuraava luku normaalisti.

Vaihtoehto muotoillulle lukemiselle on lukea yksi rivi kerrallaan eli kaikki merkit rivinvaihtomerkkiin asti. Tämä voidaan toteuttaa `fgets`-käskyllä, jossa luettavien merkkien rajoittaminen estää ohjelman rikkoutumisen liian pitkän syötteen takia. Mikäli luettavia merkkejä on enemmän kuin voidaan lukea yhdellä kertaa, luetaan maksimäärä-1 merkkiä ja lisätään luettujen merkkien perään NULL-merkki. Näin ollen seuraava lukuoperaatio palauttaa puskuriin jääneet merkit. Lukemalla koko rivi `fgets`:llä ohjelmoija voi käsitellä merkkijonon itse haluamallaan tavalla ja tämä mahdollistaa myös välilyöntejä sisältävien syötteiden lukemisen. Huomaa, että `fgets`'n palauttamassa merkkijonossa on rivinvaihtomerkki, joten ohjelmoijan on itse päätettävä mitä sen kanssa tehdään.

Tiivistetysti `fgets`:llä luettaessa merkkitaulukossa tulee olla halutun merkkimäärän lisäksi tilaa 2 merkille, rivinvaihto- ja NULL-merkeille, jotka eivät näy normaalille käyttäjälle. Itse `fgets`-käskyssä luettava merkkimäärä on sama kuin varattu merkkitaulukon koko, jolloin `fgets` saa luettua näkymättömän rivinvaihtomerkin sekä lisättyä NULL-merkin loppuun.

Esimerkki 1.7. Rivin lukeminen fgets:llä

```c
#include <stdio.h>
#include <string.h>

int main(void) {
    char c;
    char Nimi[30];

    printf("Anna merkki: ");
    scanf("%c", &c);
    getchar();
    printf("Anna etunimesi (max 28 merkkiä): "); // nimi + \n + NULL
    fgets(Nimi, 30, stdin); // luetaan nimi + \n ja lisätään NULL
    /* scanf("%s", Nimi); */
    Nimi[strlen(Nimi)-1] = '\0';
    printf("Nimesi on '%s' ja merkki oli %c.\n", Nimi, c);

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E1_7
Anna merkki: k
Anna etunimesi (max 28 merkkiä): Ville Kalle
Nimesi on 'Ville Kalle' ja merkki oli k.
```

Kuinka ohjelma toimii

Esimerkissä 1.7 näkyy tyypillinen ongelmakohta eli ensin luetaan yksi merkki, jolloin rivinvaihtomerkki jää puskuriin. Se saadaan puskurista pois `getchar`-käskyllä. Tämän jälkeen `fgets`:llä luetaan koko rivi rivinvaihtomerkki mukaan lukien, jonka jälkeen rivinvaihtomerkki poistetaan merkkijonosta sijoittamalla sen kohdalle merkkijonoon NULL-merkki. Merkkijonon pituus saadaan selville `strlen`-funktiolla, joka löytyy `string.h` -kirjastosta. Tämän jälkeen ohjelma toimii esimerkkiajon mukaisesti. Voit kokeilla ohjelmaa kirjoittamalla sen itse ja kannattaa kokeille `getchar`-käskyn kommentoimista pois, `fgets`-käskyn korvaamista `scanf`-käskyllä ja rivinvaihtomerkin ylikirjoittamisen jättämistä pois. Ohjelman tuottama tulos näyttää varsin erilaiselta näillä pienillä muutoksilla.

`fgets`-funktion ensimmäinen parametri on muuttuja, johon tietoa luetaan, tämän jälkeen on merkkimäärä, jonka korkeintaan luemme ja viimeisenä kanava, josta tietoa luetaan. Jos kanava on `stdin`, luetaan merkit käyttäjän antamasta syötteestä. Staattista taulukkoa käytettäessä ohjelma lukee vain annetun määrän merkkejä, joten syötettä pyytäessä on hyvä kertoa syötteen maksimikoko. Luettavan merkkijonon pituudessa on huomioitava rivinvaihto- ja NULL-merkit; `fgets`-lisää NULL-merkin, joten merkkejä luetaan taulukon koko – 1, joista viimeinen on käyttäjän antama rivinvaihtomerkki ja näin ollen käyttäjän antamani nimi on korkeintaan 28 merkkiä pitkä, kun taulukossa on tilaa 30 merkille.

Puskurointi ei vaikuta `printf`-käskyn toimintaan normaalisti muuten kuin hidastamalla tietojen siirtymistä näytölle. Toinen asia on, jos ohjelma kaatuu odottamatta, sillä tällöin puskurissa olevat tiedot jäävät tulostumatta näytölle ja kaatumisen aiheuttava ohjelman kohta ei välttämättä vastaa näytölle tulleita tulosteita. Puskurointiin kuuluu luonnollisesti mahdollisuus puskurin tyhjentämiseen, joten asiasta kiinnostuneet voivat jatkaa asian tarkempaa selvittelyä tästä eteenpäin omatoimisesti.

Muotoilumerkit tiedon tulostuksessa ja lukemisessa

C-kielessä tulostus tehdään tyypillisesti `printf`-funktiolla, joka tulostaa saamansa parametrit halutussa muodossa näytölle. `printf`-funktion ensimmäisenä parametrina on lainausmerkkien sisällä oleva tulostettava merkkijono muotoilumerkeillä ja sen jälkeen tulostettavat arvot.

```
float a=1, b=2;
printf("a=%d,\tb=%6.3lf\n", a, b);
```

Tulostettava merkkijono sisältää tulostuvat merkit sekä tulostettavien arvojen tilalla niiden muotoilumerkit; merkkijonon jälkeen on tulostettavat arvot (muuttujat) omina parametreinaan. Tiedon lukemiseen voidaan käyttää `scanf`-funktiota, joka toimii samalla idealla kuin `printf`-funktio ja käyttää myös samoja muotoilumerkkejä kuin `printf`.

Jokaisen tulostettavan arvon muotoilu määritellään muotoilumerkkijonolla:

```
%liput leveys[.tarkkuus]tyyppi
```

Muotoilumerkkijono alkaa aina %-merkillä, jota seuraa mahdolliset liput. Lipuista tärkeimpiä ovat 0 (käytetään etunollia) ja - eli miinusmerkki (tasaus vasemmalle). Leveys-tieto kertoo tulostettavan kentän koko leveyden ja vaihtoehtoinen ".tarkkuus" –kertoo tulostettavien desimaalien määrän. Muotoilumerkkijono päättyy tulostettavan arvon tyyppiin, joista yleisimpiä ovat d tai i kokonaisluvulle, f liukuluvulle ja s merkkijonolle. Esimerkiksi

```
float a = 1.12345;
printf("%5.2f\n", a);
```

tulostaa liukuluvun 2 desimaalilla 5 merkkiä leveään tilaan ja rivinvaihtomerkin sen perään.

Muunnosmerkit kuten %d (kokonaisluku), %f (liukuluku) ja %s (merkkijono) määräävät käytännössä, miten parametrina oleva tieto ymmärretään eli kuinka monta muistitavua kukin parametri käyttää ja miten ko. muistialue on tulkittava – esim. kokonaislukuna (2 tavua), liukulukuna (32 tavua) vai merkkijonona (päättyy NULL-merkkiin). Muotoilumerkkien liput ja yleisimmät muunnosmerkit on esitetty kootusti seuraavan alakohdan lopussa, ks. Taulukko 9 ja Taulukko 10.

`scanf`-funktiolla voidaan lukea käyttäjän syöttämää tietoa näppäimistöltä. Käsky noudattaa samaa muotoilu-ideaa kuin `printf`-funktio (ks. yllä), mutta luettaessa tietoa `scanf`-funktio tarvitsee tietoonsa niiden muistipaikkojen osoitteet, mihin luettavat arvot sijoitetaan muistissa. Näin ollen `scanf`-funktiolle on annettava parametrina muistipaikkojen osoitteet seuraavan esimerkin 1.8 mukaisesti.

Esimerkki 1.8. Muotoiltu tulostus ja lukeminen

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
    int Kokonaisluku;
    float Liukuluku;

    printf("Anna kokonaisluku ja liukuluku välilyönnillä erotettuina: ");
    scanf("%d %f", &Kokonaisluku, &Liukuluku);
    printf("Annoit luvut %d ja %5.2f.\n", Kokonaisluku, Liukuluku);

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E1_8
Anna kokonaisluku ja liukuluku välilyönnillä erotettuina: 2 3.456
Annoit luvut 2 ja  3.46.
```

Huomaa tulosteessa, että ja-sanan ja numeron 3 välissä on 2 välilyöntiä, jotta luku 3.46 käyttää yhteensä määritellyt 5 merkkiä. Yleisimmät muotoilussa käytettävät liput ja muunnosmerkit on esitetty taulukoina seuraavan alakohdan lopussa (Taulukko 9 ja Taulukko 10).

Sääntöjä ja taulukoita

Edelle kävimme läpi yksinkertainen C-ohjelman syöttö- ja tulostuslauseet. C-kieli on kuitenkin joustava ja erityisesti muistinkäyttöä voidaan optimoida tarpeen mukaan. Näin ollen esimerkiksi ”kokonaisluku” voi tarkoittaa lyhyttä tai pitkää lukua, tyypillisesti 2 ja 4 tavua, tai etumerkillistä tai etumerkitöntä lukua, ts. esimerkiksi arvoja -32768…32767 tai 0…65535. Tässä ei tietenkään ole kaikki mahdolliset vaihtoehdot vaan C-kielen standardi määrittelee kaikille yhteiset miniarvot yms. ja ne määritellään jokaisessa järjestelmässä tapauskohtaisesti. Tutustutaan seuraavaksi näihin raja-arvoihin ja niiden määrittelyyn käytettäviin taulukoihin. Näistä on hyvä olla tietoinen, jotta näihin voi palata, kun kysymyksiä tulee – ja jos ohjelmoi, niin kysymyksiä tulee vastaan aina ajoittain.

Kokonaisluvut ja liukuluvut

Huomasit varmaan edellisessä esimerkissä, että kokonaislukua `int` ja liukulukua `float` käsiteltiin eritavoin ja niiden tulostuskäskyn sijoitusmerkit (`%d` ja `%f`) olivat erilaisia. Tämä liittyy siihen, että C-kielen muistinhallintaa on automatisoitu vain hyvin vähän. Koska erityyppiset numeromuuttujat tarvitsevat erilaisen määrän muistia, käsitellään niitä oikeasti erilaisina muuttujatyyppeinä. Tämän vuoksi erityyppisten numeeristen muuttujien välisten laskutoimitusten yhteydessä tulee olla tarkkana, sillä tietotyyppien välisissä operaatioissa on tunnettava niiden yhteensopivuussäännöt virheiden välttämiseksi.

C-kielen tiukat tietotyyppimäärittelyt mahdollistavat muistin käytön optimoinnin erikseen jokaiseen tarpeeseen. Koska Python huolehti erilaisten numeroarvojen välisestä yhteensopivuudesta, ei käytännössä tarvittu kuin kaksi numeromuuttujaa, kokonaisluku ja liukuluku. Automatisoidun muistinkäytön vuoksi numeerisilla muuttujilla ei myöskään ole varsinasta ylä- eikä alarajaa. Tämä lähestymistapa tekee ohjelmoinnista helpompaa, mutta samalla ohjelmoija menettää muistinkäytön kontrollointimahdollisuudet. C-kielessä vastuu muistin käytöstä on ohjelmoijalla, jonka seurauksena C-ohjelmien muuttujat voivat joutua ns. ylivuoto-tilanteeseen, jossa ohjelma ei toimi oikein muuttujan arvon ylittäessä ylä- tai alarajan. Usein termeillä yli- ja alivuoto vielä erotellaan se, mentiinkö alarajan ali vai ylärajan yli.

Taulukko 2 listaa on C-kielen kokonaislukujen raja-arvoja. Sitä tutkiessa kannattaa huomata, että annetut ala- ja ylärajat eivät ole vakioita vaan standardin edellyttämiä minimejä ko. arvoille. Lisäksi esimerkiksi `long int` ei nimestään huolimatta välttämättä tue kovinkaan suuria numeroarvoja, vaikka tavallisesti raja onkin paljon korkeampi. Vastaavasti pelkkä `int` on kokoluokaltaan erityisen vaihteleva eri ajoympäristöjen välillä: joissain järjestelmissä sen koko vastaa `short int`-tyyppiä joissain toisissa `long int`:a. Joka tapauksessa ympäristöstä riippumatta `int` on vähintään samankokoinen kuin `short int`, joten sitä tulisi käsitellä kuten `short int`-tyyppiä. Lisäksi merkkimuuttuja `char` on listattu tähän listalle, koska C ei käsittele yksittäistä merkkiä kirjaimena vaan ASCII-taulukon merkkiä vastaavana numeroarvona eli indeksinä. Käytännössä C-kieli tallentaa lukuarvon, mutta esittää tulostettaessa sitä vastaavan ASCII-taulukon merkin.

Taulukko 2: C-kielen kokonaislukutyyppien raja-arvoja, koko tavuina

Muuttujan nimi	Tyyppi	Koko	Alaraja	Yläraja
etumerkitön arvo /merkki	unsigned char	1	0	255
etumerkillinen arvo/merkki	signer char	1	-128	127
merkki	char	1	-128	127
etumerkitön lyhyt kokonaisluku	unsigned short int	2	0	65535
lyhyt kokonaisluku	short int	2	-32768	32767
etumerkitön kokonaisluku	unsigned int	2	0	65535
kokonaisluku	int	2	-32768	32767
etumerkitön pitkä kokonaisluku	unsigned long int	4	0	4294967295
pitkä kokonaisluku	long int	4	-2147483648	2147483647

Taulukko 3 tiivistää liukulukujen tietoja ja on hyvä muistaa, että ohjelmointikielet käsittelevät desimaalilukuja bittiarvoina ja siten desimaaliluvut ovat approksimaatioita. Erityisesti päättymättömien desimaalilukujen kohdalla joudutaan käyttämään parhaalle tarkkuudelle tehtyjä pyöristyksiä johtuen siitä, ettei binaarilukujärjestelmä tue tällaisia lukuarvoja. Tästä ei kuitenkaan kannata olla huolissaan peruslaskutoimitusten yhteydessä, sillä esimerkiksi normaalin liukuluvun `float`:in tarkkuus riittää kuvaamaan $2.3*10^{-9}$ –kokoluokan (0.00000000023) eroja. Ja mikäli tämä ei riitä, voidaan tarkkuus kaksinkertaistaa siirtymällä `double`-liukulukutyyppiin.

Taulukko 3: C-kielen liukulukujen raja-arvoja, koko tavuina

Muuttujan nimi	Tyyppi	Koko	Alaraja	Yläraja
Liukuluku	float	4	1.17549e-38	3.40282e+38
Kaksinkertaisen tarkkuuden liukuluku	double	8	2.22507e-308	1.79769e+308

Operaattorit

Numeeristen muuttujien mielekäs käyttö edellyttää vastaavia laskuoperaattoreita. C-kielessä on monia operaattoreita ml. lasku- (Taulukko 4), loogiset- (Taulukko 4), Boolen- (Taulukko 5) ja bittioperaattorit (Taulukko 6). Monet näistä ovat samoja kuin Python-ohjelmoinnissa, vaikka C-kielessä ei ole avainsanoja True ja False vaan niiden sijaan käytetään tyypillisesti numeerisia esitysmuotoja 0 (False) ja 1 (True) väittämien yhteydessä.

Taulukko 4. Laskuoperaattorit

Operaattori	Nimi	Selite	Esimerkki
=	Sijoitus	Sijoittaa annetun arvon kohdemuuttujalle	`Luku = 5` sijoittaa muuttujalle luku arvon 5. Operaattori toimii ainoastaan mikäli kohteena on muuttuja.
+	Plus	Laskee yhteen kaksi operandia, esim. 2 lukua	`3 + 5` antaa arvon `8`.
[muuttuja]++	Lisäys	Lisää muuttujan arvoa yhdellä *käytön jälkeen*.	Jos `Luku = 5;` niin `Luku++;` tuottaa muuttujalle `Luku` arvon `6`.
++[muuttuja]	Lisäys	Lisää muuttujan arvoa yhdellä *ennen käyttöä*.	Jos `Luku = 5;` niin `++Luku;` tuottaa muuttujalle `Luku` arvon `6`.
-	Miinus	Palauttaa joko negatiivisen arvon tai vähentää kaksi operandia toisistaan	`-5` tarkoittaa negatiivista numeroarvoa. `50 - 24` antaa arvon `26`.
[muuttuja]--	Vähennys	Vähentää muuttujan arvoa yhdellä käytön jälkeen.	Jos `Luku = 5;` niin `Luku--;` tuottaa muuttujalle `Luku` arvon `4`.
--[muuttuja]	Vähennys	Vähentää muuttujan arvoa yhdellä ennen käyttöä.	Jos `Luku = 5;` niin `--Luku;` tuottaa muuttujalle `Luku` arvon `4`.
*	Tulo	Palauttaa kahden operandin tulon	`2 * 3` antaa arvon `6`.
/	Jako	Jakaa x:n y:llä	`4/3` antaa arvon `1` (kokonaislukujen jako palauttaa kokonaisluvun). `4.0/3.0` antaa arvon `1.3333333333333333`. Muista muuttujien tyypit!
%	Jakojäännös	Palauttaa x:n jakojäännöksen y:stä.	`8%3` antaa 2. `-25.5%2.25` antaa `1.5`.

Taulukko 5. Loogiset- eli vertailuoperaattorit

Operaattori	Nimi	Selite	Esimerkki
<	Pienempi kuin	Palauttaa tiedon siitä onko x vähemmän kuin y. Vertailu palauttaa arvon 0 tai 1.	`5 < 3` palauttaa arvon `0` ja `3 < 5` palauttaa arvon `1`.
>	Suurempi kuin	Palauttaa tiedon onko x enemmän kuin y.	`5 > 3` palauttaa arvon 1.
<=	Vähemmän, tai yhtä suuri	Palauttaa tiedon onko x pienempi tai yhtä suuri kuin y.	`x = 3; y = 6; x <= y` palauttaa arvon 1.
>=	Suurempi, tai yhtä suuri	Palauttaa tiedon onko x suurempi tai yhtä suuri kuin y.	`x = 4; y = 3; x >= 3` palauttaa arvon 1.
==	Yhtä suuri kuin	Testaa ovatko operandit yhtä suuria.	`x = 2; y = 2; x == y` palauttaa arvon 1.
!=	Erisuuri kuin	Testaa ovatko operandit erisuuria.	`x = 2; y = 3; x != y` palauttaa arvon 1.

Taulukko 6. Boolen-operaattorit

Operaattori	Nimi	Selite	Esimerkki
!	Boolen NOT	`!x`: Jos `x` on `1`, palauttaa arvon `0`. Jos `x` on `0`, palauttaa arvon `1`.	`x = 1; !x` palauttaa arvon 0.
||	Boolen OR	`x || y`: Jos `x` on `1`, palauttaa arvon 1; `x`:n arvolla 0 palauttaa `y`:n arvon.	`x = 1; y = 0; x || y` palauttaa arvon 1. (Merkki | saadaan näppäimillä AltGr – ”<”.)
&&	Boolen AND	`x && y`: Jos `x` on 0, palauttaa arvon 0; `x`:n arvolla 1 palauttaa `y`:n arvon	`x = 0; y = 1; x && y` palauttaa arvon `0` koska x on 0.

Taulukko 7. Bittioperaattorit

Operaattori	Nimi	Selite	Esimerkki
<<	Siirto vasempaan	Siirtää luvun bittejä annetun numeroarvon verran vasemmalle. (Jokainen luku on ilmaistu muistissa bitteinä.)	`2 << 2` palauttaa `8`. `2` on bittijonona `10`, josta siirryttäessä vasemmalle 2 bittiä antaa bittijonon `1000`, joka on desimaalilukuna 8.
>>	Siirto oikeaan	Siirtää luvun bittejä annetun numeroarvon verran oikealle.	`11 >> 1` palauttaa `5`. `11` on bittijonona `1011`, josta siirryttäessä oikealle 1 bitti antaa bittijonon `101`, joka on desimaalilukuna `5`.
&	Bittijonon AND	Bittijonon AND yksittäisille biteille.	`5 & 3` palauttaa arvon `1`.
|	Bittijonon OR	Bittijonon OR yksittäisille biteille.	`5 | 3` palauttaa arvon `7`.
^	Bittijonon XOR	XOR (valikoiva OR) yksittäisille biteille.	`5 ^ 3` antaa arvon `6`.

Operaattorien suoritusjärjestys eli presedenssi

Jos sinulla on vaikkapa lauseke `2 + 3 * 4`, niin missä järjestyksessä laskutoimitukset tehdään? Matematiikassa on omat laskusäännöt eri operaattoreille ja niiden suoritusjärjestyksille ja tilanne oli sama myös Python-ohjelmoinnissa. Laajemmin ottaen ohjelmointikieliin on määritelty suoritusjärjestys operaattoreille ja näistä on hyvä olla tietoinen. C-kielessä operaattoreiden suoritusjärjestys noudattaa Taulukko 8 järjestystä.

Taulukko 8. C-kielen operaattorien suoritusjärjestys

Ryhmä	Operaattori	Suoritussuunta	Korkea prioriteetti
Sijoitukset, sulut	() [] -> . ++ --	vasemmalta oikealle	
Viittaukset	(tyyppi) * &	oikealta vasemmalle	
Kertoma	* / %	vasemmalta oikealle	
Lisäys	+ -	vasemmalta oikealle	
Siirto	<< >>	vasemmalta oikealle	
Vertailu	< <= > >=	vasemmalta oikealle	
Yhtäsuuruus	== !=	vasemmalta oikealle	
Bitti AND	&	vasemmalta oikealle	
Bitti XOR	^	vasemmalta oikealle	
Bitti OR	|	vasemmalta oikealle	
Looginen AND	&&	vasemmalta oikealle	
Looginen OR	||	vasemmalta oikealle	
Ehtolause	?:	oikealta vasemmalle	
Sijoitus	= += -= *= /= %=	oikealta vasemmalle	
Pilkku	,	vasemmalta oikealle	

Suoritusjärjestys on muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta aina vasemmalta oikealle. Voimme tietenkin muuttaa operaattorien suoritusjärjestystä käyttämällä sulkuja. Esimerkiksi

`x = 7 + 3 * 2` tuottaa tuloksen 13, kun taas
`x = (7 + 3) * 2` tuottaa tuloksen 20.

Käytännössä C-kieli toimii loogisesti samalla tavalla lasku- ja logiikkaoperaattorien kanssa kuin muutkin ohjelmointikielet, joten laskentaan liittyvien suoritusjärjestysten eli presedenssien ei pitäisi tuottaa ongelmia. Epäselvissä tapauksissa kannattaa selkiyttää asiaa suluilla.

Muotoilumerkkijonon liput ja muunnosmerkit

Muotoiltu tulostus ja lukeminen `printf`- ja `scanf`-funktioilla edellyttää erilaisia muotoilumerkkejä, joten ne esitetty tiivistetysti alla, Taulukko 9 ja Taulukko 10. Merkkien käyttö käytiin läpi tarkemmin aiemmin tässä luvussa.

Taulukko 9. Muotoilumerkkijonon liput

Lippu	Tarkoitus
#	Tulostetaan luku vaihtoehtoisessa muodossa
0	Käytetään etunollia
-	Tasaus vasemmalle (oletuksena oikealle)
+	Etumerkin tulostus positiivistenkin lukujen kanssa
välilyönti	Jos luku ei ala etumerkillä, niin välilyönti eteen

Taulukko 10. Yleisimmät muunnosmerkit

Muunnos	Tarkoitus
d, i	Etumerkillinen kokonaisluku desimaalimuodossa
f	Kaksoistarkkuuden liukuluku desimaalimuodossa
g	Kaksoistarkkuuden liukuluku eksponentti tai desimaalimuodossa
c	Etumerkitön merkki
s	Merkkijono
p	Tyypitön osoitin heksadesimaalimuodossa
o	Etumerkitön kokonaisluku oktaalimuodossa
u	Etumerkitön kokonaisluku desimaalimuodossa
x	Etumerkitön kokonaisluku heksadesimaalimuodossa
e	Kaksoistarkkuuden liukuluku eksponenttimuodossa
%	%-merkki
h	Seuraava kokonaisluku on tyyppiä short
l	Seuraava kokonaisluku on tyyppiä long

C-kielen ominaispiirteitä

Monet C-kielen ominaispiirteistä eivät tunnu aloittelevasta C-ohjelmoijasta loogisilta vaan ensimmäinen ajatus on, että ”kääntäjässä on virhe”. Usein, tai siis aina, nämä ratkaisut ovat kuitenkin täysin loogisia ja luonnollisia kun asiaa ajattelee 1970-luvun vaihteen ohjelmoijan ja matemaatikon näkökulmasta. Alla katsotaan muutamia tyypillisiä ongelmia aiheuttavia asioita vähän tarkemmin ja käydään läpi mistä niissä on kysymys. Vastaavia asioita tulee vastaan myös myöhemmin, joten jos tavoitteenasi on kehittyä ohjelmoijana, kannattaa miettiä miten tällaisia ominaispiirteitä tunnistaa ja miten ne hoitaa tehokkaasti. Jos taas tavoitteena on ”vain tämän kurssin läpipääsy”, ei näistä useimmista tarvitse välittää ja tarvittaessa yksittäisiä asioita voi opetella ulkoa.

C-kielisiä ohjelmia tehdään mitä erilaisimpiin laiteympäristöihin, mutta itse C-kieli on standardoitu, jotta ohjelmien kehitysympäristöt eivät olisi sidoksissa niiden suoritusympäristöön. Kuten tässä vaiheessa on jo varmaan selvää, ohjelmia kehitetään mm. Windows, Linux ja Apple -ympäristöissä ja keskeisimmistä työkaluista on näissä kaikissa ympäristöissä toimivia versioita. C-kieleen liittyviä standardeja on julkaistu vuodesta 1989 ja uusin versio C18 on ISO/IEC 9899:2018 (ISO/IEC 2018) Vuodelle 2024 suunniteltu versio C24 on edelleen työn alla ja sen luonnoksessa oli keväällä 2023 761 sivua (ISO/IEC 2023). Standardi määrittelee varsin tarkasti C-kielen ominaisuudet, mutta ohjelmoijan kannalta oleellista on ymmärtää edellisessä aliluvussa esitellyt taulukot ja niiden idea. Standardeja noudattamalla laitekehittäjät voivat valita omiin tarpeisiinsa optimaaliset tietotyypit jne. ja siitä huolimatta kehittää ohjelmat esim. Windows-ympäristössä VSC-editorilla ja GNU-kääntäjällä. Usein pienissä sulautetuissa laitteissa pitää pystyä optimoimaan muistin käyttöä ja standardien avulla se onnistuu, kun esimerkiksi kokonaisluvusta löytyy monta erilaista vaihtoehtoa ml. lyhyt ja pitkä, etumerkillinen ja etumerkitön sekä tarpeen tullen lyhyenkin kokonaisluvun muistitarve voidaan puolittaa käyttämällä muistia yksi tavu eli byte.

C-kielen keskeisiä piirteitä muistin käytön hallinnan lisäksi on pienten käskyjen eli funktioiden käyttö. Tästä on hyvä esimerkki mahdollisuus yksittäisten merkkien hakuun `stdin` syöttökanavasta `getchar`()-funktiolla ja se, että tietoa kysyttäessä annetaan ensin ohjeet käyttäjälle `printf`-käskyllä ja vasta sitten luetaan tieto `scanf`-käskyllä. Tällä luvussa esitellään muutamia muita C-ohjelmille tyypillisiä asioita, jotka aiheuttavat usein hämmennystä aloittelevien ohjelmoijien parissa. Nämä ovat luonteeltaan vastaavia kuin edellisessä luvussa olleet taulukot eli nämä kannattaa katsoa läpi, jotta niistä jää jälki takaraivoon ja jos joskus ohjelmoidessa törmää tällaiseen juttuun, voi näitä katsoa tarkemmin täältä ja yrittää päästä siten eteenpäin.

Kokonaislukujako ja tietotyyppimuunnokset

Jakolaskun 2 / 3 tulos on monien mielestä 0.6667 ja matemaatikkojen piirissä keskustellaan lähinnä tarkkuudesta ja esitysasusta, sillä 2/3 on tarkka arvo ja joidenkin mielestä murtoluku näyttää paremmalta kuin desimaaliluku. Python-ohjelmoijien kannalta oleellinen kysymys on se, pyöristyykö viimeinen desimaali ylös- vai alaspäin ja monta desimaalia pitäisi olla. Mutta aloitteleva C-ohjelmoija pysähtyy tyypillisesti ihmettelemään, miten tulos voi olla 0. Matemaattisesti tämä tulos on epäuskottava, mutta kun muistetaan, että C-kielen kannalta kyseessä on kokonaislukujakolasku ja siten kysymys voidaan esittää muodossa ”kuinka monta kertaa luku 3 menee lukuun 2”, niin tällöin ainoa oikea tulos on 0. C-kieli tekee harvoin automaattisesti tietotyypin muutoksia ja lähtökohtana on, että käyttäjä on tarkoittanut asian niin kuin se on koodiin kirjoitettu eli tässä yhteydessä kokonaislukujakona.

C-kielessä 2 / 3 jakolasku tuottaa tulokseksi 0.6667 muuttamalla toinen operandeista liukuluvuksi (float)-käskyllä, esim. ”(float)2 / 3”. Kun yksi laskutoimitukseen osallistuvista operandeista on liukuluku, suoritetaan lasku liukuluvuilla ja tulos on liukuluku. Eli varsinaisen laskuoperaation lisäksi ohjelmoijan tulee miettiä laskutoimitus myös käytettävien tietotyyppien kannalta virheiden välttämiseksi. Python-tyyliset automaattiset tietotyyppimuunnokset helpottavat ohjelmoijan elämää ja useimmissa tapauksissa lopputulos on se, mitä ohjelmoija haluaakin, mutta C-kieli on kehitetty vuosia ennen Pythonia, joten se toimii eri periaatteilla.

Esimerkki C-kielen automaattisesta tyyppimuunnoksesta on desimaaliluvun sijoittaminen kokonaislukumuuttujaan. Tässä yhteydessä desimaaliosa leikataan pois, joten tulos ei välttämättä ole ohjelmoijan kannalta toivottu. C-kielessä automaattiset toiminnot on minimoitu, jotta ohjelmoija voi optimoida operaatioita siellä missä haluaa – jos haluaa. Ja ohjelma suoritetaan niin kuin ohjelmoija on sen kirjoittanut eli vastuu ohjelmasta on yksikäsitteisesti ohjelmoijalla.

Tietotyyppien tunnistaminen

Kokonaislukujaon tunnistaminen voi olla vaikeaa etenkin, jos muuttujien nimet ovat esim. Luku1 ja Luku2. Yksi ratkaisu tähän ongelmaan on Unkarilainen notaatio (Wikipedia 2024), jossa muuttujan tietotyyppi merkitään näkyville muuttujan nimeen. Unkarilaisen notaation käytössä kannattaa katsoa käytettävät tietotyypit ja muodostaa niistä itselle sopiva nimeämisohje, mutta tässä oppaassa tullaan käyttämään jatkossa seuraavia merkintöjä helpottamaan tietotyyppien tunnistamista:

- Oppaassa tähän mennessä käytetyt tietotyypit ja niiden tunnukset muuttujan nimessä:
    - kokonaisluku: int – i
    - pitkä kokonaisluku: long – l
    - liukuluku: float – f
    - kaksoistarkkuuden liukuluku: double – d
    - merkki, 1 kpl: char – c
    - merkkitaulukko, monta merkkiä eli array: char [] – a

- Jatkossa muuttujat tullaan nimeämään seuraavalla tavalla:
    - int iLuku; long lLuku; float fLuku; double dLuku;
    - char cMerkki; char aNimiEtu[30];

Tässä oppaassa keskitymme perustietotyyppeihin ja monimutkaisempia ja harvinaisempia tietotyyppejä ei huomioida, sillä niitä tarvitaan tällä kurssilla vähän ja notaatiosta tulee helpolla turhan monimutkainen. Mutta erityisesti perusoperaatioiden kohdalla tämä tekniikka on toimiva ja auttaa välttämään virheitä.

Muuttujien määrittely ja alustaminen

C-kielessä muuttujat pitää määritellä ennen käyttöä ja aloittelevan ohjelmoijan kannattaa myös alustaa kaikki muuttujat. C-kielessä kääntäjän ei tarvitse alustaa muuttujia, joten tyypillisesti tuotantoympäristössä käytettävät kääntäjät eivät alusta muuttujia ajan säästön nimissä. Toisaalta loppukäyttäjille suunnatut kääntäjät alustavat muuttujia usein sen takia, että se helpottaa ohjelmoijan roolia. Tästä seuraa ongelma, koska puolet opiskelijoiden käyttämistä kääntäjistä alustaa muuttujat ja toinen puoli ei. Näin ollen jotkin ohjelmat, toimivat satunnaisesti jollain koneilla ja jollain toisilla koneilla ne eivät toimi. Toiminnan kannalta oleellista on, käytetäänkö alustamattomia muuttujia ohjelmassa olettaen niillä olevan joku tietty arvo vai ei.

Esimerkiksi ohjelma, jossa määritellään muuttujia ja joka lukee sen jälkeen muuttujiin arvot käyttäjältä, toimii kaikissa ympäristöissä ongelmitta. Usein ohjelmassa on esim. Lukumaara-muuttuja ja se toimii tyypillisesti oikein, jos muuttuja on alustettu arvolla 0, mutta muilla muuttujan arvoilla ohjelma toimii väärin. Tällöin ohjelman toiminta riippuu käytetystä kääntäjästä ja tyypillisesti puolet kääntäjistä johtaa oikein toimivaan ohjelmaan, kun taas toinen puoli väärin toimivaan ohjelmaan.

Jottei ohjelman toiminta olisi tuurista kiinni, kannattaa kaikki käytettävät muuttujat alustaa sopivilla arvoilla. Tyypillisesti tällaisia arvoja ovat 0 ja ”” eli tyhjä merkkijono, mutta nämä ovat luonnollisesti aina katsottava tapauskohtaisesti. Tapauskohtaisesti muuttujien alustus on myös tarpeetonta muuttujien käyttötavan vuoksi, mutta tämä optimointi ei tyypillisesti ole järkevää aloittelevan ohjelmoijan kohdalla vaan varminta on alustaa kaikki muuttujat sopivilla arvoilla.

Tiivis koodi

Pythonissa yksi looginen käsky, lause, vastasi lähtökohtaisesti yhtä fyysistä riviä. Myös C-kielessä kannattaa noudattaa tätä periaatetta, vaikka lauseiden päättyminen puolipisteeseen mahdollistaakin useiden lauseiden ja ääritapauksessa koko ohjelman kirjoittamisen yhdelle riville. C-kieli mahdollistaa tiiviin koodin kirjoittamisen ja monet sen syntaksin ominaisuudet tukevat sitä. Näin ollen ohjelmoijan vastuulle jää usein huolehtia siitä, että ohjelma on ymmärrettävää ja ylläpidettävää. Tässä luvussa on muutama esimerkki siitä, miten tiivis koodi voi kääntyä itseään vastaan ja johtaa virheisiin – joskus jo kirjoitusvaiheessa ja usein viimeistään ylläpitovaiheessa, kun toinen ohjelmoija lukee koodia ja yrittää ymmärtää sitä sekä tehdä siihen muutoksia.

Kokonaislukujaon yhteydessä käsitelty tyyppimuunnos ”(float)2 / 3” on hyvä kohta miettiä myös operaattoreiden presedenssejä. Tulostamalla em. laskutoimituksen tulos C-ohjelmasta näkyy, että kaikki menee oikein. Tässä lausekkeessa on kuitenkin myös toinen ihmetyksen paikka, sillä se sisältää kaksi operaattoria ja niiden suoritusjärjestyksellä on merkitystä. Eli muuttamalla 2 ensin liukuluvuksi, (float) operaattori, ja tekemällä sen jälkeen jakolasku, /-operaattori, menee kaikki oikein. Ja C-kieli toimii näin, koska operaattoreiden presedenssit näin määräävät taulukon 7 mukaisesti. Mikäli tuo presedenssitaulukko ei ole vielä painunut täydellisesti muistiin, kannattaa käyttää sulkuja aina tällaisten lausekkeiden ympärillä eli varmuuden vuoksi voisi kirjoittaa

”(((float)2) / 3)”. Tämä näyttää jo liioittelulta, mutta tiivistetysti kannattaa käyttää mieluummin liian paljon sulkuja kuin liian vähän, sillä puuttuvat sulut tuottavat väärän tuloksen, kun taas liian monet sulut tekevät lukemisesta haastavampaa.

Toinen tyypillinen esimerkki tiivistä koodista on alla oleva lause:

```
x = a == b;
```

Python ei hyväksy tätä lausetta ollenkaan, koska siinä on ilmeinen riski virheeseen. C-kääntäjä tulkitsee lauseen kuitenkin ilman ongelmia eli suorittaa a:n ja b:n vertailun ja sijoittaa vertailun tuloksen x:n arvoksi. Eli näin asia menee presedenssitaulukon mukaan, jossa vertailun presedenssi on sijoitusta korkeampi ja se tehdään ensin. Äkkiseltään lausetta lukeva voisi kuitenkin päätyä siihen, että x:ään sijoitetaan a:n arvo, tai sitten ohjelmoijalle on käynyt kirjoitusvirhe ja tarkoitus onkin sijoittaa a:lle arvoksi b, ja sen jälkeen x:lle a – siis presedenssitaulukon mukaan. Tässä vaiheessa Python-tulkin kieltäytyminen yllä olevan lauseen hyväksymistä kuulostaa järkevältä ja C-ohjelmoijan kannattaa tehdä samoin eli kirjoittaa selkeää koodia ja käyttää aina tarvittaessa sulkuja selventämään ohjelmaa ja sen tarkoitusta.

Kaikki tiivistä koodia tuottavat C-ohjelmointikäytännöt eivät ole huonoja. Esimerkiksi ++ ja -- operaattorit ovat käteviä monessakin kohtaa kuten erityisesti osoittimien kohdalla tullaan huomaamaan. Jo tässä vaiheessa on hyvä huomata, että ++i ja i++ -operaatioilla on eroa eli ++i kasvattaa i:n arvoa yhdelle *ennen* käyttöä ja i++ kasvattaa arvoa vasta käytön *jälkeen*. Tiivistetysti tiivis koodi ei ole huono asia niin kauan kuin se ei muodostu itseisarvoksi ja haittaa ohjelman ymmärrettävyyttä ja ylläpidettävyyttä.

Yhteenveto

Tässä luvussa käytiin läpi monia asioita, jotta pääsimme tekemään ohjelmia. Suurin osa käsitellyistä asioista on tuttuja ohjelmointia osaaville ja siksi katsoimme kaikista keskeisistä asioista C-kielen kannalta oleelliset taustiedot ja miten asiat tehdään C-kielellä. Useimmat asiat olivat entuudestaan tuttuja, kuten esim. tietojen lukeminen näppäimistöltä, mutta C-kielen toteutus on omanlaisensa erillisen tulostuksen ja useiden tietojen lukufunktioiden takia.

Kerrataan osaamistavoitteet ja katsotaan sitten luvun keskeiset asiat kokoava ohjelmointiesimerkki.

Osaamistavoitteet

Tämän luvun keskeiset asiat on nimetty alla olevassa listassa. Tarkista sen avulla, että tunnistat nämä asiat ja sinulla on käsitys siitä, mitä ne tarkoittavat. Mikäli joku käsite tuntuu oudolta, käy siihen liittyvät asiat uudestaan läpi. Nämä asiat, käsitteet ja käskyt on hyvä muistaa ja tunnistaa, sillä seuraavaksi teemme niihin perustuvia ohjelmia.

- C-kielen historia ja Unix/Linux-yhteydet
- C-kielen sääntöjen läpikäynti
    - Kokonaisluvut Taulukko 1
    - Liukuluvut Taulukko 2
    - Laskuoperaattorit Taulukko 3
    - Loogiset- eli vertailuoperaattorit Taulukko 4
    - Boolen-operaattorit Taulukko 5
    - Bittioperaattorit Taulukko 6
    - Presedenssit Taulukko 7
- C-ohjelman rakenne: pääohjelma, koodilohko, kirjastot

- C-ohjelman muuttujat: määrittelyt ja tietotyypit, esimerkki 1.3
- Tiedon lukeminen, tulostaminen, muotoiltu tulostus
    - Tulostus: Esimerkki 1.2 ja 1.9
    - Syötteen lukeminen näppäimistöltä: Esimerkki 1.4 ja 1.9
    - Muotoilumerkit: Esimerkki 1.8, Taulukko 9 ja 10
- Merkkijonojen käyttö: määrittely, luku, tulostaminen, esimerkit 1.5, 1.6 ja 1.7
- C-ohjelmien teko
    - C-ohjelmointiympäristön asennus: Liite 1. C-ohjelmointiympäristön asennusohje
    - VSC-editorin käyttö, ks. Liite 2. VSC-editorin käyttöohje ja ohjelmointivideot
    - C-ohjelmien kirjoittaminen, kääntäminen ja suorittaminen, esimerkki 1.1

Tiivistäen sinun pitäisi nyt pystyä tekemään pieniä C-ohjelmia sekä kääntämään ja suorittamaan niitä Visual Studio Code -editorin ja gcc-kääntäjän avulla VSC:n terminaalissa. Tässä oppaassa käytettävä C-ohjelmointiympäristö muodostuu alla olevista työkaluista. Myöhemmin oppaan lopussa otetaan käyttöön lisää työkaluja ja näiden kaikkien asennusohjeet löytyvät liitteestä 1.

- Win10 käyttöjärjestelmä
- Visual Studio Code -editori
- WSL1 eli Windows Subsystem for Linux versio 1
- Ubuntu-Linux 20.04 LTS
- gcc kääntäjä

Pienen C-perusohjelman tyyliohjeet

Tässä luvussa teimme pieniä C-ohjelmia, jotka olivat yhdessä tiedostossa ja joissa oli vain pääohjelma mutta useita muuttujia. Jo näiden ohjelmien tekemisessä on hyvä omaksua selkeät vakiokäytännöt, joita noudattaa tämän oppaan yhteydessä. Isompia ohjelmia tehdessä nämä ohjeet eivät välttämättä riitä, vaan silloin kannattaa tehdä itse projektiin sopivat tyyliohjeet. Monissa yrityksissä on omat tyyliohjeet, esim. nimellä *programming standards*, joita kaikkien tulee noudattaa ohjelmien ymmärrettävyyden ja ylläpitämisen parantamiseksi. Tähän lukuun liittyvät tyyliohjeet on koottu alle. Alla olevia yleisohjeita noudattamalla vältät yleisimmät rakenteisiin tietorakenteisiin liittyvät ongelmat ja perustellusta syystä niistä voi ja tulee poiketa.

Yleisiä ohjeita

1. Tee tehtävänannon mukaan toimivia ohjelmia. Lue tehtävänanto uudestaan ohjelman tekemisen jälkeen ja varmista, että ohjelma on annettujen ohjeiden mukainen
2. Ohjelmassa käsiteltävät muuttujat tulee määritellä ja alustaa ohjelman alussa. Tyypillisesti luvut alustetaan arvolla 0 ja merkkijono tyhjällä merkkijonolla eli ””
3. C-kielen laskuissa tulee huomioida operandien tietotyypit ja erityisesti
    a. kokonaislukujen jakolaskun tulos on kokonaisluku, esim. 2 / 3 == 0
    b. muistin riittävyys, esim. kokonaisluku int on tyypillisesti 2 tavua ja max 32767

Tiedostorakenne

4. Ohjelman alkukommentti sisältäen päivämäärän, tekijän, tiedostonimen ja tehtävän, esim.
    a. /* 20240104 un L1T1.c L1T1 */
5. Kirjastojen sisällytykset, esim.
    b. #include <stdio.h>
6. Pääohjelma, jossa on tyypillisesti seuraavat asiat alla olevassa järjestyksessä
    a. Muuttujien määrittelyt ja alustukset
    b. Tietojen kysyminen käyttäjältä
    c. Tietojenkäsittely, esim. laskenta

    d. Tulosten tulostaminen käyttäjälle
7. Koodilohkot kuten pääohjelman alku ja loppu merkitään aaltosuluilla eli { ja } -merkeillä
    a. Koodilohkon aloittavat sulku { tulee rivin loppuun
    b. Koodilohko lopettava sulku } tulee omalle rivilleen
8. Ohjelmarivit sisennetään loogisesti samalla tyylillä koko ohjelmassa. Käytä aina neljää (4) välilyöntiä, joka onnistuu useimmissa koodieditoreissa sarkainnäppäimellä, esim. Visual Studio Codessa

Nimeäminen

9. Nimien tulee olla kuvaavia, yksikäsitteisiä, selkeitä ja johdonmukaisia
10. Älä käytä skandinaavisia merkkejä (å, ä, ö, Å, Ä, Ö) nimissä. Tyypillisesti nämä korvataan a tai o -kirjaimella
11. Älä käytä mitäänsanomattomia ja harhaanjohtavia nimiä, esim. kirjaimet `a`, `b`, `c` ja `a1`, `a2`, `a3` jne.
12. Muuttujat tulee nimetä yksikäsitteisesti, käsiteltävää tietoa kuvaavasti ja systemaattisesti, esim. `Lukumaara`, `Nimi`, `Paino`
13. Nimet tulee muodostaa tarvittaessa useista sanoista ja ne liitetään toisiinsa uudet sanat suuraakkosilla, esim. `SummaSuurin`, `ListaTulokset`, `PalkkaPaiva`
14. Nimissä voi käyttää yleisesti käytettyjä selkeitä lyhenteitä, esim. `Lkm`, `Pvm`, `Nro`, `PainoMin`, `PituusMax`
15. Pääohjelman lähdekooditiedoston ja suoritettavan tiedoston nimien tulee olla samat
16. Viikkotehtävien tiedostot nimetään luennon ja tehtävän perusteella, esim. `L1T1.c`, `L1T3.c`

Muuttujien tietotyypit

17. Muuttujien nimissä kannattaa käyttää unkarilaista notaatiota siten, että muuttujan tietotyyppi näkyy sen nimestä. Tässä oppaassa keskitytään yleisimpiin perustietotyyppeihin eikä harvinaisempia tietotyyppejä huomioida
18. Käytettävät tietotyypit ovat seuraavat
    a. i – int, kokonaisluku
    b. l – long, pitkä kokonaisluku
    c. f – float, liukuluku
    d. d – double, kaksoistarkkuuden liukuluku
    e. c – char, merkki
    f. a – array, taulukko ottamatta kantaa taulukon tietoalkioiden tyyppiin, joka voi näkyä muuttujan nimessä, esim. `aNimi`, `aNumerot`
    g. p – pointer, osoitin ottamatta kantaa osoitettavaan tietotyyppiin, esim. `pAlku`. Yleinen liukuri-osoitin on tyypillisesti nimeltään `ptr`
19. Esimerkkejä näiden ohjeiden mukaan muodostetuista muuttujien nimistä ovat mm. `iLukumaara`, `aNimiEtu`, `aNimiSuku`, `dPaino`, `dPainoNetto`, `dPainoMax`

Tietojen kysyminen käyttäjältä

20. Numerot luetaan `scanf`:lla
21. Merkit luetaan `scanf`:lla, puskuriin jäävä rivinvaihtomerkki tulee poistaa
22. Sanat luetaan `scanf`:lla
23. Lauseet luetaan `fgets`:llä, merkkijonoon sisältyvä rivinvaihtomerkki tulee poistaa
24. Kysyttävien tietojen tallentamista varten pitää määritellä muuttujat, jotka ovat riittävän suuria tallennettavalle tiedolle

Tietojen tulostaminen

25. Tulosta yksi rivi yhdellä tulostuskäskyllä

a. Mikäli tulostettava merkkijono muodostuu monista osista, muodosta se ennen tulostamista ja tulosta valmis merkkijono yhdellä tulostuskäskyllä
b. Rivinvaihtomerkkien tulee olla tulostettavan merkkijonon lopussa tai omina erillisinä käskyinä. Älä piilota rivinvaihtomerkkejä merkkijonon alkuun tai sisälle

Luvun asiat kokoava esimerkki

Seuraavaan esimerkkiin on koottu tämän luvun keskeiset asiat ohjelmoinnin kannalta eli kirjastojen sisällytys ohjelmaan, `main`-funktion käyttö, muuttujien määrittely, erityyppisten tietojen lukeminen käyttäjältä sekä tietojen tulostus näytölle. Ohjelmassa ei ole alustettu muuttujia, koska näihin muuttujiin luetaan arvot käyttäjiltä. Normaalisti C-kielessä on syytä alustaa muuttujat ohjelman alussa, sillä kaikki kääntäjät eivät alusta muuttujia vaan se on ohjelmoijan vastuulla.

Esimerkki 1.9. Luvun 1 kokoava esimerkki

```c
#include <stdio.h>
#include <string.h>

int main(void) {
    /* Muuttujien määrittelyt ja alustukset */
    int iLuku; /* Huom. Näihin luetaan arvot alla, ts. alustuksesta ei hyötyä. */
    float fLuku;
    char cMerkki;
    char aSana[30];
    char aRivi[30];

    /* Tietojen kysyminen käyttäjältä */
    /* Kokonaisluku ja liukuluku */
    printf("Anna kokonaisluku: ");
    scanf("%d", &iLuku);
    printf("Anna liukuluku: ");
    scanf("%f", &fLuku);

    /* Yksi merkki */
    getchar();
    printf("Anna yksi merkki: ");
    scanf("%c", &cMerkki);
    getchar();

    /* Yksi sana */
    printf("Anna yksi sana: ");
    scanf("%s", aSana);
    getchar();

    /* Koko rivi rivinvaihtomerkki mukaan lukien */
    printf("Anna yksi rivi (max 28 merkkiä): ");
    fgets(aRivi, 30, stdin);
    aRivi[strlen(aRivi)-1] = '\0';

    /* Tietojen tulostaminen käyttäjälle */
    printf("Kokonaisluku on '%d', liukuluku on '%5.2f' ja merkki on '%c'.\n",
        iLuku, fLuku, cMerkki);
    printf("Sana on '%s' ja rivi on '%s'.\n", aSana, aRivi);
    return(0);
}
/* eof */
```

Luku 2. Valinta- ja toistorakenteet, esikäsittelijä

Tässä luvussa käymme läpi C-kielen ohjausrakenteet ja tähän mennessä esille tulleet esikäsittelijään liittyvät asiat. Ohjausrakenteita ovat valinta- ja toistorakenteet sekä muutama yksittäinen käsky, joilla voidaan myös ohjata ohjelman suoritusta. Esikäsittelijään liittyen käymme läpi muutaman keskeisen käskyn, direktiivin, joilla voimme ohjata ennen varsinaista ohjelman käännöstä tapahtuvaa esikäsittelyvaihetta.

Valintarakenteet ja ehdollinen suorittaminen

Valintarakenteen käyttö on suoraviivaista Python-ohjelmointikielessä, koska kielessä ei ole muita valintarakenteita kuin `if-elif-else`-rakenne. C-kieli tukee oletuksena kolmea erilaista valintarakennetta, jotka ovat Pythonista tuttu `if-else`, suoraan valintaan perustuva `switch-case` sekä ehdollinen lauseke eli operaattori `? :` . Tutustumme näihin rakenteisiin yksinkertaisten esimerkkien avulla.

if-else

C-kielen `if`-rakenne toimii kuten Pythonin vastaava rakenne. Ainoa varsinainen ero on syntaksissa: kaikki valintaehdot tulee sijoittaa sulkeiden sisälle ja `else if` -osiossa käytetään nimenomaan `else if` –muotoa eikä lyhennettyä elif-muotoa. Koska syntaksi on hyvin samanlainen, voimme tarkastella näiden käytännön eroja esimerkistä puuttumatta perusrakenteeseen.

Esimerkki 2.1. if-else -rakenne

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
    int iLuku;
    int iRaja1 = 100;
    int iRaja2 = 1000;

    printf("Anna kokonaisluku: ");
    scanf("%d", &iLuku);

    if (iLuku < iRaja1) {
        printf("Antamasi luku on pienempi kuin 100.\n");
    } else if ((iLuku >= iRaja1) && (iLuku <= iRaja2)) {
        printf("Antamasi luku on 100 ja 1000 välillä.\n");
    } else {
        printf("Antamasi luku on suurempi kuin 1000.\n");
    }

    printf("Lopetetaan.\n");
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_1
Anna kokonaisluku: 25
Antamasi luku on pienempi kuin 100.
Lopetetaan.
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_1
Anna kokonaisluku: 250
Antamasi luku on 100 ja 1000 välillä.
Lopetetaan.
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_1
Anna kokonaisluku: 1001
Antamasi luku on suurempi kuin 1000.
Lopetetaan.
```

Kuinka koodi toimii

Ohjelmaesimerkki aloitetaan tuttuun tapaan `stdio.h` -kirjaston käyttöönotolla, `main`-funktion avaamisella sekä muuttujien esittelyllä. Lisäksi käytämme ohjelmassa tuttua kokonaisluvun pyytämistä käyttäjältä. Tämän jälkeen määrittelemme `if-else if-else` –rakenteen.

Kuten esimerkistä näemme, on mekanismi hyvin samankaltainen Python-ohjelmointikielen vastaavan rakenteen kanssa. Jokainen `if`-, `else if`- sekä `else`-rakenne avaa uuden koodiosion, jota merkitään C-kielessä aaltosuluilla. Lisäksi koodiosion valintaa koskevat ehdot sijoitetaan aina vähintään yksien normaalien kaarisulkeiden ”( )” sisäpuolelle. C-kielessä sisennyksellä ei merkitystä, mutta luettavuuden kannalta se edelleen keskeinen käytäntö.

Esimerkki 2.2. Koodilohkojen sisentäminen

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
    char aSana[] = "kolmipyörä";

    if (aSana[0] == 'k') {
        if (aSana[1] == 'o') {
            if (aSana[2] == 'l') {
                if (aSana[3] == 'm') {
                    printf("Sana voisi olla %s.\n", aSana);
                }
            }
        }
    }

   /* Jos sulkujen kanssa ei ole tarkkana, voi tässä vahingossa
    * sulkea koko main-funktion väärässä paikassa tai jättää
    * if-lauseen auki! */

    printf("Lopetetaan.\n");
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_2
Sana voisi olla kolmipyörä.
Lopetetaan.
```

Huomioita koodista

Esimerkki havainnollistaa sisennyksen ja koodin huolellisen muotoilun merkitystä. Koska jokainen alkava koodiosio avaa uuden aaltosulun, ei useamman alkaneen sisennyksen jälkeen enää pysty silmämääräisesti erottamaan, onko sulkeita oikea määrä. Jos sulkeutuva aaltosulku on väärässä paikassa – tai sellainen puuttuu kokonaan – ei ohjelma käänny. Itse asiassa se, että ohjelma kääntyy väärillä koodilohkoilla, on huono asia, sillä tällöin ohjelma toimii tyypillisesti väärin ja ongelman löytäminen on työlästä. Yksittäisen sulkumerkin paikan selvittäminen pitkästä ja huonosti muotoillusta koodista on turhin mahdollinen tapa hukata aikaa ja nähdä vaivaa, kun koko ongelma voidaan välttää noudattamalla hyvää ohjelmointityyliä.

switch-case

Toinen C-kielen tyypillinen tapa suorittaa valinta on käyttää `switch-case` -rakennetta. Tätä rakennetta on voi kuvata valikkona, johon ohjelmoidaan kaikki valintamuuttujan vaihtoehdot ja joista sitten valitaan oikea haara. `switch-case` –rakennetta voi pitää redundanttina `if-else`-rakenteen kanssa, mutta oikein käytettynä se on hyvin näppärä ja nopea työkalu.

Esimerkki 2.3. switch-case -rakenne

```c
#include <stdio.h>
int main(void) {
    int iValinta;
    printf("Tee valinta (1-3): ");
    scanf("%d", &iValinta);

    switch (iValinta) {
        case 1:
            printf("Valitsit 1.\n");
            break;
        case 2:
            printf("Valitsit 2.\n");
            break;
        case 3:
            printf("Valitsit 3.\n");
            break;
        default:
            printf("Tuntematon valinta.\n");
            break;
    }

    printf("Lopetetaan.\n");
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_3
Tee valinta (1-3): 1
Valitsit 1.
Lopetetaan.
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_3
Tee valinta (1-3): 5
Tuntematon valinta.
Lopetetaan.
```

Kuinka koodi toimii

`switch`-rakenteen syntaksi poikkeaa hieman `if-else` -rakenteesta. Ensinnäkin `switch` itsessään muodostaa yhden koodiosion, joten aaltosulkuja tarvitaan vähemmän. Toiseksi `case`-valinta vertaa muuttujan arvoa valinta-vaihtoehtoihin, joita tässä tapauksessa ovat numeroarvot 1, 2 ja 3. `switch`-lauseessa vertaillaan *vakioita*, joten vertailun voi tehdä kokonaisluvuilla tai ASCII-merkeillä, jolloin vertailu tehdään ASCII-taulukon kokonaislukuindekseillä.

`case`-valinta muodostaa loogisen osion, mutta sen kanssa tulee muistaa kaksi asiaa. Ensinnäkin kyseessä on yksi harvoista C-kielen lausekkeista, joka ei pääty puolipisteeseen tai aaltosulkuun vaan kaksoispisteeseen ja toiseksi ohjelmoijan tulee päättää `case`-osio tyypillisesti `break`-käskyyn. `break`-käsky toimii C-kielessä samalla tavoin kuin Pythonin vastaava käsky eli se lopettaa käynnissä olevan rakenteen ja siirtyy rakennetta seuraavaan loogiseen lausekkeeseen. Mikäli `break`-käsky jätetään laittamatta, suorittaa `switch`-rakenne kaikki valittua `case`-valintaa seuraavat `case`-osiot seuraavaan `break`-käskyyn tai `switch`-rakenteen loppuun asti. Tyypillisesti tämä ei ole tarkoitus, joten ohjelmoijan on syytä varmistua siitä, että koodi toimii tässä kohdin halutulla tavalla. Lisäksi `switch-case` tukee `default`-valintaa, joka suoritetaan, mikäli yksikään määritelty `case`-valinta ei toteudu. `default` –valinta on tavallisesti viimeisenä, mutta `default` voi esiintyä missä kohdin tahansa rakennetta, esimerkiksi rakenteen alussa. Siksi `default`-osio on syytä päättää aina `break`-käskyyn, jotta rakenne toimii oikein myös koodin muokkaamisen jälkeen.

Ehdollinen lauseke

C-kieli tarjoaa useita mahdollisuuksia kirjoittaa tiivistä koodia. Yksi tällainen on ehdollinen lauseke, joka mahdollistaa valintarakenteen toteuttamisen lyhyesti. Alla olevassa esimerkissä vertaillaan lukuja 1 ja 2, jolloin vertailun tulos on totuusarvo tosi tai epätosi. Tämän totuusarvon perusteella valitaan kysymysmerkin jälkeen kysymysmerkin ja kaksoispisteen välinen arvo, jos vertailulauseke on tosi, ja kaksoispisteen jälkeinen lause, jos se on epätosi. Tiivistä ja yksinkertaista – ainakin ammattimaisen C-ohjelmoijan mielestä. Tätä saa siis käyttää, muttei tarvitse, ja satunnaiselle C-ohjelmoijalle `if`-valintarakenteen kanssa tulee vähemmän virheitä.

Esimerkki 2.4. Ehdollinen lauseke

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    int iLuku1 = 2, iLuku2 = 13, iSuurempi;
    iSuurempi = (iLuku1 > iLuku2) ? iLuku1 : iLuku2;
    printf("Luvuista %d ja %d suurempi on %d.\n", iLuku1, iLuku2, iSuurempi);
    return(0);
}
```

Toistorakenteet

Myös toistorakenteissa C-kieli tarjoaa enemmän vaihtoehtoja kuin Python. Pythonista tuttujen alkuehtoisen `for`- ja avoimen `while`-rakenteen lisäksi kielestä löytyy loppuehtoinen `do-while`. C-kieli tukee samoja toisto- ja ohjausrakenteiden ohjauskäskyjä kuten `continue` ja `break`.

while-rakenne

`while`-toistorakenteen idea C-kielessä on sama kuin muissakin kielissä eli kierrosmäärää ei tarvitse määritellä etukäteen, ohjelmoijan vastuulla on tehdä siihen sopiva lopetus ja käyttäjä vastaa toistorakenteen lopettamisesta antamalla sopivan syötteen. Käytännössä `while`-rakenne on parhaimmillaan suoritettaessa toistoa, jonka kierrosmäärää ei tiedetä etukäteen.

Esimerkki 2.5. while -rakenne

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    int iKierroksia = 5, iKierros = 0;

    while (iKierroksia > iKierros) {
        printf("Olemme kierroksella %d!\n", iKierros);
        /* Kasvatetaan kierroslukumittaria */
        iKierros++;
    }

    printf("Lopetetaan tähän.\n");
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_5
Olemme kierroksella 0!
Olemme kierroksella 1!
Olemme kierroksella 2!
Olemme kierroksella 3!
Olemme kierroksella 4!
Lopetetaan tähän.
```

Kuinka koodi toimii

Normaalien aloitustoimien lisäksi olemme tässä ensimmäistä kertaa käyttäneet monen muuttujan yhtäaikaista määrittelyä. Rivillä `int iKierroksia = 5, iKierros = 0;` määrittelemme kaksi `int`-muuttujaa, `iKierroksia` ja `iKierros`, joille lisäksi asetamme alkuarvot 5 ja 0. C-kielessä voimme määritellä monta samantyyppistä muuttujaa yhdellä rivillä erottelemalla ne pilkuilla toisistaan. Lisäksi olemme luonnollisesti käyttäneet `while`-rakennetta ohjelmakoodissa, joten tutkitaan sitä hieman tarkemmin.

C-kielen `while`-rakenne ei poikkea merkittävästi Pythonin vastaavasta rakenteesta. `while`-käskylle annetaan toistoehto, tässä tapauksessa ”`iKierroksia > iKierros`”, jota ohjelma testaa aina toistorakenteen alussa. Mikäli ehto on tosi, jatketaan toistoa, ja muussa tapauksessa lopetetaan sekä siirrytään `while`-rakennetta seuraavalle koodiriville. Tässä rakenteessa joudumme muuttamaan käsin toistorakenteen katkaisua ohjaavaan `iKierros`-muuttujaan arvoja, jotta ohjelmamme toimii oikein. C-kielessä `while`-rakenteen loppuun ei voi liittää `else`-osiota.

for-rakenne

C-kielen `for`-lauseen syntaksi poikkeaa jonkin verran Pythonista, vaikka käyttöperiaate onkin aivan sama. Käytännössä `for`-rakenne toimii näin:

```
for ([laskurin alustus]; [toistoehto]; [laskurin siirtymäväli])
```

Käytännössä ensin kerromme mitä muuttujaa käytämme kierroslaskurina (perinteisesti `i`, `j` ja `k`) ja minkä arvon ko. muuttuja saa alussa, minkä ehdon tulee täyttyä toiston jatkamiseksi ja miten kierroslaskuria muutetaan jokaisella kierroksella. Toistoehdosta tulee muistaa, että toistoa jatketaan niin kauan kuin ehto on tosi ja katkaisu tapahtuu kierroksella, jolloin ehto muuttuu epätodeksi.

Esimerkki 2.6. for -rakenne

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    int i = 0;
    printf("for-rakenne laskee itse kierroksensa:\n");

    for (i = 0; i < 11; i++) {
        /* Alussa i on 0, niin kauan kun i < 11,
        * lisätään i:n arvoa yhdellä. */
        printf("%d ", i);
    }

    printf("\n");
    printf("Lopetetaan tähän.\n");
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_6
for-rakenne laskee itse kierroksensa:
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Lopetetaan tähän.
```

Kuinka koodi toimii

Koodi ei sisällä yllätyksiä. Käyttämämme `for`-rakenne alustaa kierrosmuuttujan `i` nollaksi. Tämän jälkeen ilmoitamme, että `for`-rakenne jatkuu niin kauan kuin `i` on pienempi kuin 11 ja lopuksi kerromme, että joka kierroksella `i`:n arvo kasvaa yhdellä (`i++`). Muilta osin koodin rakenne on vastaava kuin aiemmassa `while`-rakenteen esimerkissä ja myöskään `for`-rakenteen loppuun ei voi lisätä `else`-osiota. Tulostukseen liittyen kannattaa huomata, että silmukassa ei tulosteta rivinvaihtomerkkejä, jonka vastapainona loppu-tulosteessa on rivinvaihto sekä tekstin alussa että lopussa. Näin loppu-kommentti tulostuu omalle rivilleen.

do-while -rakenne

`do-while` on toistorakenne, jota ei löydy Python-kielestä. Se poikkeaa muista toistorakenteesta, sillä se on loppuehtoinen toistorakenne. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että rakenteen **do-osio suoritetaan aina kerran riippumatta siitä, mitä lopetusehdot ovat.** `do-while` -rakenne toimii muuten samalla tavoin kuin normaali `while`-rakenne.

Esimerkki 2.7. do-while -rakenne

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
    int iLopetus = 5, iAloitus = 10;
    printf("do-osio toteutuu ainakin kerran.\n");

    do {
        if (iLopetus < iAloitus) {
            printf("Aloitus on valmiiksi suurempi kuin lopetus:\n");
        }
        printf("iLopetus: %d ja iAloitus: %d\n", iLopetus, iAloitus);
        iAloitus++;
    } while (iAloitus < iLopetus);
    /* while-käsky tulee do-osion perään ja päättyy puolipisteeseen. */
    /* do {} while (ehto); */

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_7
do-osio toteutuu ainakin kerran.
Lopetus on valmiiksi pienempi kuin aloitus:
iLopetus: 5 ja iAloitus: 10
```

Kuinka koodi toimii

Toistorakenne `do-while` tarkistaa lopetusehdon vasta kun ensimmäinen kierros on tehty kokonaan. Esimerkissä toistoa oli tarkoitus jatkaa niin kauan kuin `iAloitus` on pienempi kuin `iLopetus`, mutta nyt ensimmäinen kierros suoritettiin, vaikka jo toiston alkaessa luku oli kaksinkertainen. `do-while` -rakenne onkin parhaimmillaan kun suoritetaan toistoja, joissa ensimmäinen kierros periaatteessa testaa onko jotain käytettävissä ja jatkaa toistoa loppuun asti. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi tiettyjen tietorakenteiden läpikäynti, merkkien lukeminen tiedostosta ja dynaamisten rakenteiden selaaminen.

Muita ohjauskäskyjä

C-kielen ohjauskäskyihin lukeutuu tuttujen `return`, `continue` ja `break`'n lisäksi myös `goto`-lause. Käydään nämä tutut läpi ensin ja katsotaan sitten, miksi `goto`-lausetta ei saa käyttää tässä oppaassa.

return, continue, break

C-kielen ohjauskäskyt `return`, `continue` ja `break` toimivat samalla tavoin kuin Pythonissa. `return`-lause lopettaa (ali)ohjelman suorituksen ja palauttaa kontrollin kutsuvaan ohjelmaan eikä `return`-lauseen jälkeen mahdollisesti olevia lauseita suoriteta koskaan. `continue`-käsky toistorakenteen sisällä lopettaa käynnissä olevan kierroksen ja siirtyy seuraavalle kierrokselle; `break` lopettaa sisimmän suoritettavana olleen toistorakenteen ja jatkaa loogisesti seuraavalta riviltä. Pythonin `pass`-käskyä C-kielessä ei ole.

Esimerkki 2.8. return, continue ja break -ohjausrakenteet

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
    int iAlku = 30, iLoppu = 100;

    do {
        iAlku++;
        if (iAlku % 2 != 0) {
            printf("Pariton luku, jatketaan suoraan uudelle ");
            printf("kierrokselle.\n");
            continue;
        }
        if (iAlku - 42 != 0) {
            printf("Erotus on %d\n", iAlku - 42);
        } else {
            printf("42 löytyi!\n");
            break;
        }
    } while (iAlku < iLoppu);
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_8
Pariton luku, jatketaan suoraan uudelle kierrokselle.
Erotus on -10
Pariton luku, jatketaan suoraan uudelle kierrokselle.
Erotus on -8
Pariton luku, jatketaan suoraan uudelle kierrokselle.
Erotus on -6
Pariton luku, jatketaan suoraan uudelle kierrokselle.
Erotus on -4
Pariton luku, jatketaan suoraan uudelle kierrokselle.
Erotus on -2
Pariton luku, jatketaan suoraan uudelle kierrokselle.
42 löytyi!
```

Kuinka koodi toimii

Tässä esimerkissä näkyy tyypillinen `do-while` –rakenteen käyttö. Ohjelma selvittää, onko muuttujan `iAlku` arvo jossain vaiheessa 42. Ensin testaamme, onko luku parillinen: mikäli löydämme parittoman luvun, jatkamme suoraan seuraavalle kierrokselle `continue`-käskyllä. Mikäli meillä on parillinen luku, vähennämme siitä arvon 42 ja katsomme, onko erotus 0. Mikäli näin ei ole, tulostamme erotuksen. Jos taas erotus on 0, voimme ilmoittaa käyttäjälle löytäneemme luvun 42 ja lopettaa toistorakenteen `break`-käskyllä. Muussa tapauksessa jatkaisimme toistorakennetta siihen asti, kunnes muuttujan `iAlku` arvo olisi sama tai enemmän kuin muuttujan `iLoppu` arvo.

goto-käskyn käyttö kielletty

C-kielessä on ohjausrakenne `goto`, joka perustuu ohjelmakoodin nimettyyn kohtaan ja ohjelman suoritus siirtyy siihen hyppäämällä `goto` *`nimi`* -käskyllä. Koska ratkaisu johtaa tyypillisesti täysin hallitsemattomaan koodisekamelskaan, on käskyn käyttö yleisesti ottaen huonoa ohjelmointityyliä eikä sitä käsitellä tämän enempää tässä oppaassa vaan tämän oppaan yhteydessä sen **käyttö on kielletty**. Jos jostain syystä haluat tietää käskystä enemmän esim. joutuessasi ylläpitämään ko. rakenteita sisältävää koodia, löytyy käskystä lisäinformaatiota normaaleissa lähdemateriaaleissa kuten Kernighan ja Ritchie (1988).

Esikäsittelijä

C-kieli on käännettävä kieli toisin kuin tulkattava Python. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjelman kirjoittamisen jälkeen lähdekoodi tulee kääntää suoritettavaksi ohjelmasi, joka tehdään tyypillisesti erillisellä käskyllä. Käännöksen aikana kääntäjä käy lähdekoodin läpi useita kertoja ja tekee tiettyjä toimenpiteitä kullakin kierroksella. Näillä toimenpiteillä voidaan vaikuttaa suoritettavan ohjelman ominaisuuksiin eli esim. ohjelman tarvitsemaa muistimäärää voidaan minimoida, suoritusnopeutta voidaan maksimoida, käännökseen voidaan ottaa mukaan virheiden etsimistä helpottavia debuggaustietoja yms. Käännösprosessin ensimmäinen vaihe on esikäsittelijän läpikäynti, joka tehdään ennen varsinaista käännöstä ja jonka aikana suoritetaan esikäsittelijän toiminnot. Yleisimpiä esikäsittelijän toimintaa ohjaavia käskyjä ovat `include`, `define` ja `if-endif` –käskyt (direktiivit), joita edeltää risuaita-merkki (#, esim. `#include`).

Kirjastojen sisällyttäminen #include-direktiivillä

Monipuolisempien ohjelmien toteuttaminen vaatii tavallisesti ulkopuolisten funktiokirjastojen käyttämistä. Esimerkiksi Python-ohjelmointikielessä funktiokirjastojen avulla pystyimme luomaan graafisia käyttöliittymiä, suorittamaan tieteellistä laskentaa ja jopa käyttämään tietokoneen verkkoyhteyttä ilman että jouduimme itse kirjoittamaan merkittävästi uutta koodia.

C-kieli on pidetty tarkoituksellisesti mahdollisimman suppeana ja vain keskeisimmät toiminnot on sisällytetty itse C-kieleen. Näin ollen C-kielisissä ohjelmissa käytetään varsin paljon kirjastoja aina sen mukaan, minkälaisia laajennuksia eli lisäominaisuuksia tarvitaan. Esimerkiksi aiemmissa esimerkeissä olemme käyttäneet toistuvasti kirjastoa nimeltä `stdio.h`, joka sisältää normaalit luku- ja kirjoitusfunktiot näytölle sekä tiedostoihin (stdio eli standard input/output). Tämä tehdään siis käskyllä

```
#include <stdio.h>
```

Vastaavasti, jos haluaisimme ottaa käyttöön esimerkiksi kirjaston `stdlib.h`, joka sisältää laskentaa, muistinkäsittelyä, tyyppimuunnoksia sekä muita hyödyllisiä toimintoja (standard library), tekisimme sen komennolla

```
#include <stdlib.h>
```

Huomaa, että C-kielessä meidän ei tarvitse erikseen kertoa, mistä kirjastosta funktio haetaan. Esimerkiksi merkkijonojen lukeminen käyttäjältä voidaan toteuttaa käskyllä `scanf`, joka on `stdio`-kirjaston funktio. Python-analogialla käyttäisimme siis komentoa `stdio.scanf`, mutta C-kielessä riittää pelkkä funktion nimi. Luonnollisesti tämä tarkoittaa sitä, ettei saman nimisiä funktioita saa olla ja peruskirjastot onkin suunniteltu niin, ettei ongelmia synnyt. Taulukko 11 nimeää muutamia hyödyllisiä funktiokirjastoja.

Taulukko 11. Hyödyllisiä funktiokirjastoja

Nimi	Sisältö lyhyesti
stdio.h	Luku- ja kirjoitusfunktioita, tiedostonkäsittely.
stdlib.h	Tyyppimuunnokset, muistinkäsittely, järjestelmäkomentoja; yleishyödyllisiä funktioita.
string.h	Merkkijonojen käsittelyyn tarkoitettuja funktioita.
time.h	Kello- ja kalenterifunktiot.
math.h	Matemaattisia funktioita.

Tulemme tutustumaan näihin kirjastoihin ja niistä löytyviin funktioihin sitä mukaa kun tarvitsemme niitä. Keskeisimmät kirjastofunktiot esitellään lyhyesti liitteestä 3. Jos haluat lisätietoa kirjastoista, voit tutustua C-kielen perusfunktioihin mm. Eric Hussin kirjoittaman C-referenssioppaan avulla (Huss 1997). Opas on englanninkielinen. Omien funktiokirjastojen tekemiseen palaamme tämän oppaan lopussa.

Vakioiden määrittely #define-direktiivillä vs. C-kielen const-määrittely

C-kieli tarjoaa mahdollisuuden vakioiden määrittelyyn, joita käyttäjä ei voi muuttaa ohjelman suorituksen aikana. Vakioita eli kiintoarvoja voidaan määritellä `#define`-määrittelyllä. `define`:llä tehdyt vakiot ovat merkkijonoliteraaleja eli esikäsittelijä korvaa annetut merkkijonot (vakiot) niiden arvoilla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että annamme lähdekoodin alussa käskyn

```
#define nimi arvo
```

jossa `nimi` tullaan aina jatkossa korvaamaan `arvo`:lla. Tällä tavoin voimme esimerkiksi määritellä arvot TRUE ja FALSE ja antaa TRUE:lle arvon 1 ja FALSE:lle arvon 0. Helpointa tämä on demonstroida esimerkin avulla:

Esimerkki 2.9. #define -määrittely

```
#include <stdio.h>

#define TRUE 1
#define FALSE 0
#define NUMEROARVO 99999

int main(void) {
    int iToista = TRUE;
    int iTesti = 0;

    printf(”%d\n”, NUMEROARVO);

    if (iToista == TRUE) {
        printf(”Toimii!\n”);
    }
    if (iTesti == FALSE) {
        printf(”#define-käskyn määritys toimii myös ”);
        printf(”numeroarvon kanssa.\n”);
    }

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_9
99999
Toimii!
#define-käskyn määritys toimii myös numeroarvon kanssa.
```

Kuinka koodi toimii

Tässä esimerkissä olemme luoneet vakiot TRUE, FALSE sekä NUMEROARVO, ja antaneet niille arvot 1, 0 sekä 99999. Kuten näemme, vakiot toimivat käytännössä siten, että ne ovat eräänlaisia muuttujia, joiden arvoa ei pystytä ajonaikaisesti muuttamaan. Myös kääntäjä ymmärtää vakiot numeroina ja estää niiden muuttamisen ohjelman suorituksen aikana.

Erityisen hyödyllisiä vakiot ovat nimenomaan ”asetusarvoina” esimerkiksi taulukon koolle tai toistorakenteen alku- ja loppuehtoina. Kun määrittelemme arvon yhdessä paikassa lähdekoodin alussa, voimme asetuksien muutamista varten muuttaa pelkkää `#define` -käskyn arvoa sen sijaan, että joutuisimme käsin muuttamaan jokaisen kohdan missä ko. arvoa on käytetty. Tämä vähentää myös virheiden todennäköisyyttä, koska pidemmässä lähdekoodissa kaikkien muutettavien kohtien huomaaminen on tyypillinen ongelma.

C-kielen uudemmissa versioissa merkkijonoliteraalien rinnalle on tullut myös aidot vakiomuuttujat, joita ei siis korvata esikäsittelyvaiheessa vaan ne menevät kääntäjälle asti ja niille voidaan suorittaa esimerkiksi tyyppitarkistuksia. Nämä vakiomuuttujat määritellään samalla tavoin kuin muuttujat, mutta niiden eteen lisätään määre `const` eli vakio. Vakioita voi määritellä myös `enum`-käskyllä, josta tarkemmin myöhemmin.

```
const int iLahtoarvo = 1;
```

Kun C-ohjelmassa tarvitaan kiintoarvoa eli vakiota, kannattaa käyttää C-kielen `const`-määrettä muuttujan määrittelyssä. Tämä on suositeltava ratkaisu, sillä se mahdollistaa tyyppien tarkastamisen ja muuttujien nimien käsittelyn debuggerissa. Myös esikäsittelijän `define`-direktiivi toimii täysin ja sitä voi myös käyttää vapaasti. Palaamme esikäsittelijän `define`-direktiiviin vähän myöhemmin tässä oppaassa, sillä sitä voidaan käyttää myös makrojen määrittelyyn.

Ehdollinen koodilohko #if 0 … #endif -direktiiveillä

Esimerkiksi tämän oppaan ohjelmointiesimerkkien videoinnin yhteydessä halutaan usein poistaa käytöstä monta riviä koodia, jotta uutta asiaa voidaan tutkia tarvitsematta huomioida muuta koodia. C-kielessä kommentit ovat monirivisiä, joten periaatteessa yhdellä kommentilla voidaan poistaa monta koodiriviä. Ongelmia tulee kuitenkin siinä tapauksessa, että poistettava koodi sisältää kommenttien loppumerkin. Esikäsittelijän `if-end` –direktiivit mahdollistavat haluttujen rivien mukanaolon lähdekoodissa, mutta ko. rivien poistamisen esikäsittelijän suorittamisen yhteydessä, jolloin ne eivät vaikuta ajettavassa ohjelmassa.

```
#if 0
/* Nämä rivit näkyvät lähdekoodissa.
 * Esikäsittelijä poistaa kuitenkin kaikki if 0 ja endif –määritteiden
 * väliset merkit.
 * Vaihtamalla 0:n tilalle esim. 1:n, menevät rivit myös kääntäjälle.
 */
#endif
```

Edellisen ehdollisen koodilohkon lisäksi esikäsittelijä voi määritellä koodia ehdollisesti.

```
#ifndef xx
#define xx
/*
 */
#endif
```

Tätä ifndef-lohkoa (if not defined) tullaan käyttämään oppaan lopussa, kun ohjelmat muodostuvat useista tiedostoista. Tähän palataan siis myöhemmin, mutta lähtökohtaisesti se on yksi variaatio `#if` -direktiivistä vastaavalla tavoin kuin `#ifdef` ja `#define` jne.

C-kielen ominaispiirteitä

Edellä tuli vastaan C-kielen ominaispiirteitä, jotka tuntuvat usein vanhanaikaisilta ja vaikeilta tavoilta tehdä asioita. Katsotaan seuraavaksi näitä asioita vähän lähemmin eli mistä niissä on kysymys ja miten niiden kanssa kannattaa toimia. Ensinnäkin kääntäjälle voi antaa monenlaisia ohjeita suorittettavaan käännökseen liittyen. Toiseksi ohjelmoidessa muiden kirjoittamat funktiot ovat keskeisessä roolissa helpottamassa uusien ohjelmien tekemistä, joten tutustutaan lyhyesti C-ohjelmoijan perustietolähteeseen eli `man`-online-ohjelmointioppaaseen. Kolmanneksi merkkijonojen käsittely C-kielessä on usein haastavaa, joten kerrataan merkkijonon rakenne sekä katsotaan osoitteen ja osoittimen periaatteita merkkijonojen yhteydessä. Lopuksi kerrataan tähän asti käyttämämme staattisen muistinvarauksen periaatteet.

Kääntäjäoptiot apuna virheiden välttämisessä ja etsimisessä

C-kielen rakenne mahdollistaa hyvin erilaisten ohjelmien kirjoittamisen, vaikka alussa kielestä voi tulla pikkutarkkaan määritellyn maku tiettyjen asioiden kuten tietotyyppien takia. Tietotyyppejä on määritelty paljon, jotta kaikkiin tarpeisiin löytyy sopiva tietotyyppi, mutta yksityiskohtaisella tasolla C-kieli mahdollistaa todellisuudessa hyvin erilaiset ratkaisut. Eksoottiset ratkaisut eivät ole hyviä ylläpidon kannalta, joten kääntäjässä on paljon erilaisia optioita, joilla ohjelmointikäytäntöjä voidaan standardoida. Näistä oli puhetta jo aiemmin ja kun ohjelmien tekoprosessin pitäisi nyt olla tuttu, kerrataan ymmärrettävän ja ylläpidettävän ohjelmointityylin perusteet. Ohjelmia kääntäessä kannattaa antaa kääntäjän tarkastaa, että ohjelma noudattaa C-kielen standardia vuodelta 1999 (`-std=c99`), ilmoittaa kaikista varoituksista (`-Wall`) ja ilmoittaa kaikki mahdollisetkin virheet eli olemaan pikkutarkka (`-pedantic`). Käytämme tämän oppaan kaikissa esimerkeissä systemaattisesti samoja optioita eli kannattaa opetella tämä vakiokäytäntö. Tässä oppaassa käytettävällä standardilla ei ole väliä vaan tärkeintä on, että se on käytössä ja siksi tuo c99 on toimiva valinta. Ohjelmat tulee siis kääntää tässä oppaassa seuraavilla käännösoptiolla:

```
un@LUT8859:~/Opas$ gcc E2_9.c -o E2_9 -std=c99 -Wall -pedantic
```

Kääntäjää voi käyttää muutenkin tarkastamaan käännösprosessin etenemistä. Esimerkiksi kääntäjää voi pyytää tekemään vain esikäsittelyn ja katsoa miltä tiedosto näyttää sen jälkeen. Tämä onnistuu kääntäjän -E -optiolla ja alla oleva käsky ohjaa kääntäjän kirjoittamaan esikäsitellyn tiedoston uuteen tiedostoon `esikasitelty.c`, jota voi tarkastella editorilla.

```
un@LUT8859:~/Opas$ gcc lahdekoodi.c -E > esikasitelty.c
```

Alla on esimerkkinä lähdekoodi ja sen jälkeen esikäsitelty koodi. Huomaa, että kommentit ovat hävinneet ja `#define`-määritellyt vakiot on korvattu numeroilla, mutta `const`-määritelty muuttuja on säilynyt koodissa muuttumattomana. Tämän esikäsitellyn tiedoston alusta puuttuu myös `#include <stdio.h>` -määrittely, joka on korvattu reilulla 700 rivillä koodia kuten jälkikäteen lisätty kommentti kertoo.

Esimerkki 2.10a. Esikäsittelemätön lähdekoodi E2_10a.c

```c
#include <stdio.h>
#define MAX 100
#define PII 3.14

int main(void) {
    const int iMax = 50;
    printf("MAX on %d, PII on %f, iMax on %d.\n", MAX, PII, iMax);
    return(0);
}
```

Suoritetaan ohjelman esikäsittely seuraavalla käskyllä:

```
un@LUT8859:~/Opas$ gcc E2_10a.c -E > E2_10b.c
```

Esimerkki 2.10b. Esikäsitelty lähdekoodi E2_10b.c

```
// Tässä tiedoston alussa on reilu 700 riviä koodia #include:n tilalla
# 5 "E2_10a.c"
int main(void) {
    const int nMax = 50;
    printf("MAX on %d, PII on %f, nMax on %d.\n", 100, 3.14, nMax);
    return(0);
}
```

Usein kääntäjäoptiot lisäävät kääntäjän antamien varoitusten määrää. Kääntäjän palautteita kannattaa kuitenkin opetella lukemaan ja etsimään niistä perusongelmat, jotka poistavat usein monia muita virheilmoituksia sekä vähentävät ongelmia esim. siirrettäessä koodia Windows- ja Linux-ympäristöjen välillä. Ei nimittäin ole ollenkaan poikkeuksellista, että Windows-ympäristössä näennäisesti oikein toimiva ohjelma ei käänny eikä toimi virheittä Linux-ympäristössä.

Tyypillisesti editorit auttavat luettavan ohjelman kirjoittamisessa sisentämällä koodia automaattisesti. Toinen tyypillinen editorin apu on muuttujien ja funktioiden nimien ehdottaminen ja valinta, jolloin vältytään niiden kirjoitusvirheiltä. Myös tooltips on yksi tällainen apuväline, jolla on tyypillisesti helppo tarkistaa funktion parametrien määrä ja tietotyypit.

Valmiin koodin tarkastamiseen sisennysten ja muiden hyvien ohjelmointitapojen kannalta on olemassa pretty printer -työkaluja, jotka tarkastavat koodin ja muotoilevat sen haluttaessa ”kauniiksi”. Esimerkkejä tällaisista työkaluista ovat Linuxin lint-ohjelma ja VSC:n C/C++ -laajennos, jossa on ”format document” -toiminnallisuus. Palaamme myöhemmin muihin työkaluihin, joilla C-koodien ymmärrettävyyttä voidaan arvioida ja parantaa. Erityisesti dynaamisen muistinhallinnan yhteydessä kannattaa käyttää työkaluja, jotka tarkistavat muistin vapauttamisen sen varaamisen jälkeen.

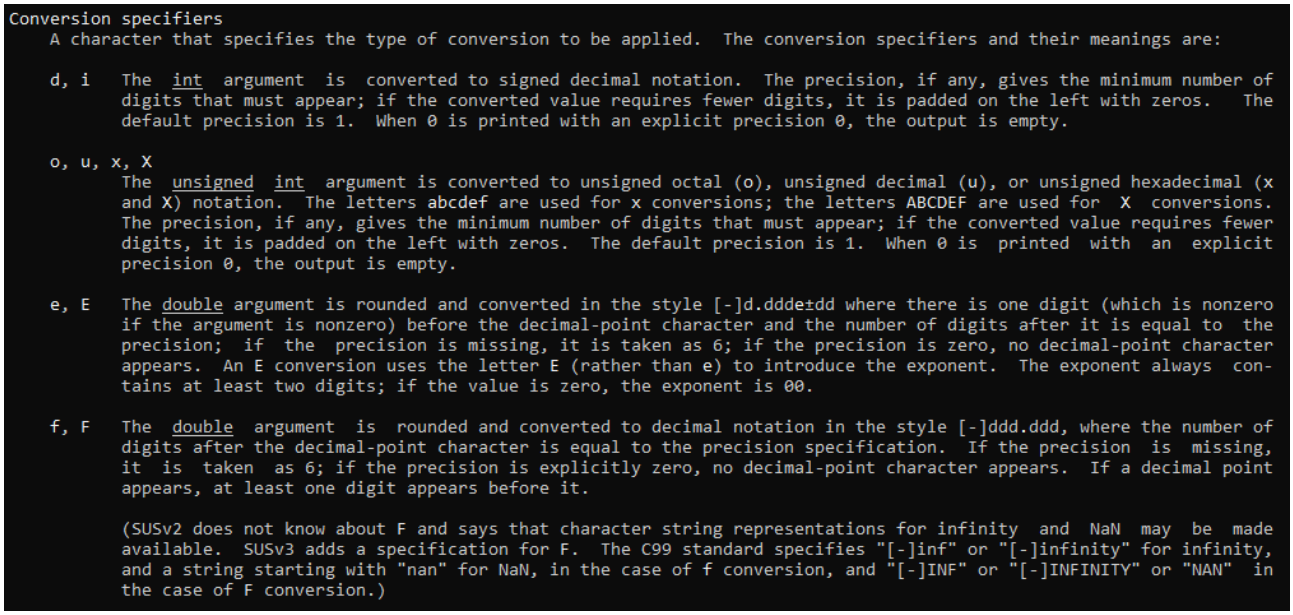
Linuxin man-sivut eli manuaali

C-kielelle on tyypillistä, että saman asian voi tehdä monilla vähän erilaisilla tavoilla. Olemme tähän mennessä tulostaneet tietoja näytölle `printf` -funktiolla, mutta tästä funktiosta on itse asiassa monta variaatiota, joiden kaikkien tehtävä on ”`formatted output conversion`”: `fprintf`, `dprintf`, `sprintf`, `snprintf`, `vprintf`, `vfprintf`, `vdprintf`, `vsprintf` ja `vsnprintf`. Vaikka ensimmäinen ajatus on, että kuka noita kaikkia tarvitsee, niin lähtökohtaisesti näille kaikille on sopiva käyttökohde ja sen käyttäminen tekee elämästä helpompaa. Näin ollen kysymys on, että miten ja mistä näistä funktioista, niiden toiminnasta ja käytöstä löytää tietoa?

Unixin perusajatuksiin on alusta alkaen kuulunut, että järjestelmän ohjekirjat, manuaalit, löytyvät itse järjestelmästä. Siksi Linuxissakin komentoriville voi kirjoittaa `man`-käskyn haluamansa funktion nimen kanssa ja saa näkyville ko. funktion kattavan dokumentaation. Esimerkiksi `printf`-funktiosta saa perustiedot esiin `man 3 printf` -käskyllä kuvan 2.1 mukaisesti, jossa `man` -käsky käynnistää manuaali-ohjelman ja se etsii osiosta 3 tiedot `printf`-käskylle. Manuaalissa on useita osia, mutta ohjelmoijan referenssi on osio 3 eli se kannattaa laittaa käskyyn mukaan tarvittaessa. Käytännössä esimerkiksi `printf`-käsky löytyy myös osiosta 1, mutta tämä on Linux-käyttäjän opas ja kertoo, miten `printf`-käsky toimii Linuxin komentorivillä. Siksi ohjelmointikäskyjä etsiessä tulee joidenkin käskyjen kohdalla nimetä haluttu osia (Kerrisk 2024b).

Kuva 2.1. Unixin man-käsky, ohjelmoijan referenssiopas löytyy osasta 3 (Kerrisk 2024b)

Ohjelmoija löytää `man`-sivuilta mm. käskyn tarvitseman kirjaston nimen, parametrit ja paluuarvot sekä esim. `printf`-käskyn kohdalla tietotyyppeihin liittyvät tunnukset kuvan 2.2 mukaisesti. Tiiviin asiasisällön näkökulmasta näiden `man`-sivujen kanssa on vaikea kilpailla, sillä esim. Kernighan ja Ritchie (1988) kirja ”The C Programming Language” lähestyy asiaa vähän eri näkökulmasta ja on siten `man`-sivuja täydentävä lähde.



```
Conversion specifiers
    A character that specifies the type of conversion to be applied.  The conversion specifiers and their meanings are:

    d, i   The  int  argument  is  converted to signed decimal notation.  The precision, if any, gives the minimum number of
           digits that must appear; if the converted value requires fewer digits, it is padded on the left with zeros.   The
           default precision is 1.  When 0 is printed with an explicit precision 0, the output is empty.

    o, u, x, X
           The  unsigned  int  argument is converted to unsigned octal (o), unsigned decimal (u), or unsigned hexadecimal (x
           and X) notation.  The letters abcdef are used for x conversions; the letters ABCDEF are used for  X  conversions.
           The precision, if any, gives the minimum number of digits that must appear; if the converted value requires fewer
           digits, it is padded on the left with zeros.  The default precision is 1.  When 0 is  printed  with  an  explicit
           precision 0, the output is empty.

    e, E   The double argument is rounded and converted in the style [-]d.dddeÂ±dd where there is one digit (which is nonzero
           if the argument is nonzero) before the decimal-point character and the number of digits after it is equal to  the
           precision;  if  the  precision is missing, it is taken as 6; if the precision is zero, no decimal-point character
           appears.  An E conversion uses the letter E (rather than e) to introduce the exponent.  The exponent always  con-
           tains at least two digits; if the value is zero, the exponent is 00.

    f, F   The  double  argument  is  rounded and converted to decimal notation in the style [-]ddd.ddd, where the number of
           digits after the decimal-point character is equal to the precision specification.  If the precision  is  missing,
           it  is  taken  as 6; if the precision is explicitly zero, no decimal-point character appears.  If a decimal point
           appears, at least one digit appears before it.

           (SUSv2 does not know about F and says that character string representations for infinity  and  NaN  may  be  made
           available.  SUSv3 adds a specification for F.  The C99 standard specifies "[-]inf" or "[-]infinity" for infinity,
           and a string starting with "nan" for NaN, in the case of f conversion, and "[-]INF" or "[-]INFINITY" or "NAN"  in
           the case of F conversion.)
```

Kuva 2.2. man-sivuilta löytyy käskyn oleelliset tiedot, esim. printf-käskyn formatointikoodit

Linux-käyttäjä voi avata `man`-sivut terminaalista tai VSC:n terminaalista. Windows'ssa ei ole valmiina `man`-sivuja, mutta ne löytyvät myös Internetistä, esim. (Kerrisk 2024a) ja ohjelmoijan opas eli osio 3 osoitteessa (Kerrisk 2024b). Muita vastaavia sivustoja on olemassa, joten jokainen voi etsiä itselleen sopivan tietolähteen, vaikka Linuxin komentorivin kanssa on vaikea kilpailla.

Merkki, merkkijono, merkkitaulukko ja osoite

Merkkijono ja sen käsittely tuntuu usein haastavalta C-kielessä etenkin Pythonin jälkeen. Tiivistetysti merkkijono perustuu C-kielessä merkkeihin ja perusasiat ovat seuraavat:

- **Merkki** vie yhden tavun muistia, byte, joka on tietokoneen muistin perusyksikkö ja siten sitä vastaa yksi muistiosoite. Käytännössä C-kielessä merkin sijaan muistipaikassa on kokonaisluku ja kun merkki tulostetaan, se haetaan ASCII taulukosta käyttäen em. kokonaislukua taulukon indeksinä. Laajennetussa ASCII-taulukossa on 256 merkkiä, joten indeksin kooksi riittää 8 bittiä, sillä 2^8 on 256 ja siten sillä voidaan esittää indeksit 0-255.
- **Merkkijonossa** on monta merkkiä peräkkäin ja sen loppuminen tunnistetaan loppumerkistä. Merkkijono sisältää kaikki näkyvät merkit ja sen lisäksi yhden näkymättömän merkin, loppumerkin, joka on '\0' eli NULL-merkki.
- **Merkkitaulukko** varataan merkkijonon tallettamista varten. Esimerkiksi kysyttäessä käyttäjältä nimeä emme voi tietää, kuinka monta merkkiä annettava nimi sisältää ja siksi sille varataan tyypillisesti "riittävän monta" merkkiä sisältävä merkkitaulukko. Taulukon kokea miettiessä loppumerkkiä varten pitää varata yksi merkki ja jos esim. käyttää `fgets`-funktiota merkkijonon lukemiseen, pitää myös rivinvaihtomerkille varata yksi merkki. Suomalaiset nimet mahtuvat tyypillisesti 30 merkin taulukkoon. Taulukon alkiot ovat aina peräkkäisissä muistipaikoissa ja merkistä seuraavaan siirtyminen tapahtuu siirtymällä muistissa yksi tavu eteenpäin.
- **Merkkijonofunktiot** kuten `strlen` löytyvät kirjastosta, jonka saa käyttöön otsikkotiedostolla `string.h`, Nämä funktiot huolehtivat aina loppumerkistä asianmukaisesti.

Seuraava esimerkki käy läpi merkkijonon merkit ja niiden osoitteet yllä olevien periaatteiden mukaisesti.

Esimerkki 2.11. Merkkijonon läpikäynti ja merkkien osoitteet

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>

int main(void) {
    int i;
    char aNimi[10] = "Ville";

    // Merkkitaulukon alkioiden tulostus merkki kerrallaan
    // Ensin merkki ja sitten ko. merkin muistipaikan osoite
    for (i=0; i < strlen(aNimi); i++)
        printf("%c - %p\n", aNimi[i], &aNimi[i]);
    printf("\n");

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_11
V - 0x7fffdfbc1b5e
i - 0x7fffdfbc1b5f
l - 0x7fffdfbc1b60
l - 0x7fffdfbc1b61
e - 0x7fffdfbc1b62
```

Kuten yllä olevasta tulosteesta näkyy, merkit tulostuvat aina omille riveilleen ja niiden perässä on jokaisen merkin muistipaikan osoite. Osoitteet ovat peräkkäisten muistipaikkojen osoitteita. Jos ajat tämän ohjelman omalla koneellasi, muistipaikkojen osoitteet ovat jotain muuta, mutta samat periaatteet pätevät ja osoitteet ovat peräkkäisten muistipaikkojen osoitteita.

Osoittimen käyttö merkkijonon läpikäynnissä

Osoittimet ovat monille aloitteleville C-ohjelmoijille kokonaan uusi konsepti ja siksi niitä käsitellään tässä oppaassa useaan otteeseen aina vähän eri näkökulmasta kattavan kokonaiskuvan saamiseksi. Tähän asti olemme käyttäneet osoitetta tiedon lukemiseen käyttäjältä `scanf`-käskyllä, jolloin lukutyyppisen-muuttujan osoite saatiin &-merkillä ja merkkijonomuuttujan ensimmäisen muistipaikan osoite saatiin muuttujan nimellä *ilman* hakasulkuja tai &-merkkiä. Osoitteen lisäksi konseptiin kuuluu *osoitin*, joka tarkoittaa sitä, että itse tieto ja mistä tuo tieto löytyy, erotetaan toisistaan eli ne ovat kaksi eri asiaa. Ihan niin kuin sinä voit asua eri paikoissa (esim. vanhempien osoite ja opiskeluosoite), mutta Maistraatti pitää yllä sinuun liittyvää osoitetietoa ja sen avulla sinulle lähetetyt kirjeet löytävät perille, kunhan sinä pidät osoitetiedon ajan tasalla.

Edellä kerrattiin merkkijonon rakenne, miten se muodostuu merkeistä ja miten jokaisella merkillä on oma muistipaikka eli osoite. Merkkijono eli merkkitaulukko voidaan käydä läpi taulukon indeksejä hyväksi käyttäen esimerkin 2.11 mukaisesti. Toinen vaihtoehto merkkijonon läpikäyntiin on tehdä osoitin, laittaa se osoittamaan merkkijonon ensimmäiseen alkioon, siirtää osoitin merkistä seuraavaan ja lopettaa, kun merkki on loppumerkki. Edellä olevan mukaan ensimmäisen merkin osoite saadaan muuttujan nimestä, kaikki merkit ovat samankokoisissa muistipaikoissa eli 1 tavu kukin ja loppumerkki on NULL. Koska merkkejä tulostetaan nyt niin kauan, kunnes merkki on loppumerkki, kannattaa selvästi käyttää `while`-rakennetta ja itse koodi näkyy alla olevassa

esimerkissä. Mikäli ohjelmassa on vain yksi osoitin, on sen nimi usein `ptr`, joka on lyhenne englanninkielisestä sanasta *pointer*.

Esimerkki 2.12. Merkkijonon läpikäynti osoittimen avulla

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    /* Merkkijono, loppumerkki ja toistorakenne */
    char aLause[] = "C-kieli on kivaa.";
    char *ptr;
    int iPituus = 0;

    ptr = aLause;
    while (*ptr != '\0') {
        printf("%c - %d\n", *ptr, iPituus);
        iPituus++;
        ptr++;
    }
    printf("\n");
    printf("Lause on '%s' ja sen pituus on %d merkkiä.\n", aLause, iPituus);

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E2_12
C - 0
- - 1
k - 2
i - 3
e - 4
l - 5
i - 6
  - 7
o - 8
n - 9
  - 10
k - 11
i - 12
v - 13
a - 14
a - 15
. - 16

Lause on 'C-kieli on kivaa.' ja sen pituus on 17 merkkiä.
```

Edellä oleva merkkijonon läpikäynti osoittimella on tyypillistä C-koodia. Lähtökohtaisesti tiedot on sijoitettava johonkin muistiin eli tiedoille on varattava niiden tarvitsema tila muistia. Tietojen läpikäyntiin tehdään tyypillisesti osoittimella, koska tällöin itse tietoon ei tarvitse puuttua vaan riittää, kun katsotaan tiedosta kiinnostava osa sopivan osoittimen avulla. Osoittimet tekevät mahdolliseksi tiedon sijainnin eri paikoissa muistia eli ne liittyvät läheisesti muistinhallintaan ja kun siirrymme dynaamiseen muistinhallintaan, osoittimet ovat keskeisessä roolissa. Palaamme

osoittimien käyttöön jatkossa usein, joten niiden käyttöä kannattaa harjoitella aina tilaisuuden tulleen.

Staattinen muistinvaraus

C-kielessä kääntäjä varaa muistin määrittelyvaiheessa, kun muuttujatyypin tarvitsema muistimäärä on tiedossa (esim. int, float, char tai char [30]). Samalla kertaa määritellään tuohon muistialueeseen osoittava muuttuja (esim. iLuku, fLuku, cMerkki, aNimi). Ohjelman suorituksen aikana käyttöjärjestelmä laittaa muuttujien nimet osoittamaan ohjelmalle varattujen muistialueiden alkuun, jonka jälkeen muuttujia voidaan käyttää ohjelmassa. Muuttujien määrittelyn perusteella käyttöjärjestelmä tietää, kuinka monta tavua kukin muuttuja käyttää, esim. cMerkki 1 tavu, iLuku 4 tavua ja aNimi 30 tavua. Tätä toimintamallia kutsutaan staattiseksi muistivaraukseksi ja se tarkoittaa sitä, että muuttuja ja niiden tarvitsema muistimäärä määritellään ohjelmassa eikä niitä voi muuttaa ajon aikana. Tämä rajoittaa ohjelmien joustavuutta ja C-kielessä onkin mahdollisuus muistin varaamiseen myös ohjelman suorituksen aikana. Tällöin kyseessä on dynaaminen eli ajonaikainen muistinvaraus ja palamme siihen myöhemmin.

Yhteenveto

Kerrataan aluksi läpikäydyt asiat ja osaamistavoitteet sekä katsotaan lopuksi luvun keskeiset asiat kokoava ohjelmointiesimerkki.

Osaamistavoitteet

Tämän luvun keskeiset asiat on nimetty alla olevassa listassa. Tarkista sen avulla, että tunnistat ne ja sinulla on käsitys siitä, mitä ne tarkoittavat. Mikäli joku käsite tuntuu oudolta, käy siihen liittyvät asiat uudestaan läpi. Nämä käsitteet ja käskyt on hyvä muistaa ja tunnistaa, sillä seuraavaksi teemme niihin perustuvia ohjelmia.

- valintarakenteet: `if`, `switch`, ehdollinen lauseke
    - Esimerkit 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.13
- toistorakenteet: `for`, `while` ja `do-while`
    - Esimerkit 2.5, 2.6, 2.7, 2.13
- muita ohjauskäskyjä: `return`, `continue`, `break`
    - Esimerkit 2.8, 2.13
- kirjastojen käyttö: `include`
    - Taulukko 11, Esimerkki 2.13
- esikäsittelijän määritteet: `include`, `define` ja `if-end`
    - Esimerkit 2.10a, 2.10b
- vakiot: `define` ja `const`
- kehitysympäristö: kääntäjäoptiot, `man`-sivut
- C-kielen ominaispiirteet: merkkijonot, osoite ja osoitin, staattinen muistivaraus
    - Esimerkki 2.11, 2.12, 2.13

Pienen C-perusohjelman tyyliohjeet

Tähän lukuun liittyvät tyyliohjeet on koottu alle. Alla olevia yleisohjeita noudattamalla vältät yleisimmät rakenteisiin tietorakenteisiin liittyvät ongelmat ja perustellusta syystä niistä voi ja tulee poiketa.

Kiellettyjä käytäntöjä

1. Oppaassa käsittelemättömien kirjastojen käyttö on kielletty
2. Globaalien muuttujien käyttö on kielletty
3. `goto`-lauseen käyttö on kielletty

Yleisiä tyyliohjeita

4. Suomalaiselle nimelle tulee varata 30 merkkiä, jos tarkempia ohjeita ei ole annettu
5. Yleisesti ottaen osoittimen nimenä käytetään `ptr`-lyhennettä, joka tulee englanninkielisestä sanasta *pointer*, tai muuttujan nimeen laitetaan tietotyypiksi `p`-kirjain, esim. `pNimi`. `p`-kirjainta käytetään etenkin silloin, kun käytössä on useita osoittimia.

Tiedoston rakenne ohjelman koostuessa yhdestä tiedostosta

6. Tiedoston alkukommentti
7. Otsikkotiedostojen sisällytys
8. Vakioiden määrittely
9. Pääohjelman koodi

Tunnusten näkyvyyksien lähtökohdat

10. Globaalit muuttujat ovat kiellettyjä, ks. yllä *Kiellettyjä käytäntöjä* -kohta
11. Muuttujat määritellään lokaaleina ohjelmissa/koodilohkoissa
12. Vakiot määritellään globaaleina
13. Globaalien vakioiden käyttö on suositeltavaa, `define` ja `const` -määreitä tulee käyttää tilanteen mukaan

Perusoperaatiot

14. Vältä tarpeettoman monimutkaisia rakenteita
15. Ehtolausekkeet tulee laittaa selkeästi sulkuihin, esim.
    ```
    if ((Ehto1 == TRUE) || (Ehto2 == TRUE)) {...}
    ```
16. Ohjelmassa ei tule olla ylimääräisiä koodirivejä, jotka eivät tee mitään, kumoavat toisensa tai joita ei voi koskaan saavuttaa. Tällaisia ovat mm. seuraavat
    a. Muuttujat ja vakiot, joita ei käytetä määrittelyn jälkeen
    b. Käskyjen `break`, `continue`, `return` ja `exit` jälkeen samassa koodilohkossa olevat käskyt

Valintarakenteet

17. Valintarakenteessa tulee käyttää muuttujan luonnollista tietotyyppiä. Jos käsitellään merkkijonoja, tehdään vertailut merkkijonoille, ja jos käsitellään lukuja, valintarakenteessa vertaillaan lukuja
18. Valintarakenteen sopiva pituus määräytyy ehtojen määrän sekä käytettävissä olevien ohjelmointi- ja tietorakenteiden pohjalta

Toistorakenteet

19. Askeltavaa `for`-toistorakennetta tulee käyttää, kun toistomäärä on tiedossa etukäteen

20. Alkuehtoista `while`-toistorakennetta tulee käyttää, kun läpikäytävien tietojen lukumäärä ei ole tiedossa etukäteen tai lopetusehtoja on useita
21. Loppuehtoista `do-while`-toistorakennetta tulee käyttää, kun koodilohko suoritetaan joka tapauksessa yhden kerran ennen lopetusehtojen arviointia
22. Lähtökohtaisesti toistorakenteen tulee päättyä normaalisti, jotta sen jälkeiset lopetusrutiinit voi sijoittaa yhteen koodilohkoon ja suorittaa hallitusti. Normaali lopetus tarkoittaa, että kaikki läpikäytävät arvot on käsitelty
23. Toistorakenteiden askeltaja-muuttuja on tyypillisesti kirjan `i`, tai `i` ja `j`, jos askeltajia on kaksi. Myös kuvaavat muuttujanimet kuten `Ika` ja `Lukumaara` ovat hyviä

Luvun asiat kokoava esimerkki

Kokoava esimerkki on valikkopohjainen ohjelma, joka kysyy käyttäjältä merkkijonon ja tulostaa sen etu- tai takaperin käyttäjän toiveen mukaisesti. Tässä oppaassa valikkopohjainen ohjelma tulee toteuttaa `do-while` ja `if-else if-else` -rakenteilla. Tavoitteena on oppia käyttämään näitä rakeita oikein ja keskittyä myöhemmin kurssilla muihin asioihin.

Tämä ohjelma toimii perus-ASCII-taulukon arvoilla eli kun ei käytetä laajennettuun ASCII-taulukkoon kuuluvia skandinaavisia merkkejä. UTF-8 -koodaus käsittelee skandinaavisia merkkejä kahdella tavulla, jonka vuoksi takaperin kirjoitettaessa tavut menevät sekaisin eikä tulos ole toivottu. Tämä asia menee tämän oppaan sisällön ohi, joten emme puutu siihen tämän enempää. Asiasta kiinnostuneet voivat todentaa tilanteen tulostamalla alla olevassa ohjelmassa merkkien (%c) sijaan lukuja (%d), joka ovat siis lähtökohtaisesti indeksejä ASCII-taulukkoon, mutta UTF-8 koodaus muuttaa tilannetta ja takaperin kirjoitettaessa tulostus menee sekaisin.

Esimerkki 2.13. Valikkopohjainen ohjelma

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>

int main(void) {
    int i, iValinta;
    char aRivi[30];

    do {
        printf("Valitse alla olevista valinnoista\n");
        printf("1) Syötä rivi\n");
        printf("2) Tulosta rivi etuperin\n");
        printf("3) Tulosta rivi takaperin\n");
        printf("0) Lopeta\n");
        printf("Anna valintasi: ");
        scanf("%d", &iValinta);
        getchar();

        if (iValinta == 1) {
            printf("Anna rivi (max 28 merkkiä): ");
            fgets(aRivi, 30, stdin);
            aRivi[strlen(aRivi)-1] = '\0';
        } else if (iValinta == 2) {
            for (i=0; i < strlen(aRivi); i++) {
                printf("%c", aRivi[i]);
            }
            printf("\n");
        } else if (iValinta == 3) {
            for (i=strlen(aRivi)-1; i >= 0; i--) {
                printf("%c", aRivi[i]);
            }
            printf("\n");
        } else if (iValinta == 0) {
            printf("Kiitos ohjelman käytöstä.\n");
        } else {
            printf("Annoit tuntemattoman valinnan.\n");
        }
        printf("\n");
    } while (iValinta != 0);
    return(0);
}
/* eof */
```

Luku 3. Tiedostonkäsittely ja aliohjelmat

Tiedostonkäsittely

Ulkoisia tiedostoja voidaan käyttää ohjelmoinnissa moninaisiin tarkoituksiin, mutta tavallisimmin niitä käytetään pysyvänä tallennuspaikkana ohjelman käsittelemälle tiedolle tai asetuksille. C-kielessä tiedostoja voidaan käsitellä luku- ja kirjoitusoperaatioilla lähes yhtä helposti kuin tietoa tulostetaan näytölle ja luetaan näppäimistöltä ohjelman käyttöliittymän avulla. Käytännössä ulkoisen tiedoston käyttäminen on samanlaista kuin Pythonissa: tiedosto avataan haluttua käyttötarkoitusta varten sopivaan tilaan, tiedostoa luetaan tai kirjoitetaan ja käytön lopuksi tiedosto suljetaan. Lisäksi C-kielestä löytyy monet muutkin Python-tiedostonkäsittelystä tutut elementit, kuten esimerkiksi tiedosto-osoittimet ja virheenkäsittely.

Tiedostojen käsittely C-kielellä on suoraviivaisempaa kuin Pythonilla. Normaalien ASCII-merkkien lisäksi tiedostoja voidaan helposti käsitellä binaarimuodossa, eikä C-kieli itse asiassa tee merkittävää eroa näiden kahden lähestymistavan välille. Eri käyttöjärjestelmissä on omia erityispiirteitä, mutta toimimalla systemaattisesti ja huolellisesti sekä ASCII- että binaaritiedostot ovat tehokkaita ja ongelmattomia työkaluja.

Tiedoston kirjoittaminen

Tutustutaan ensin tekstitiedostojen kirjoittamiseen. Tavoitteena on luoda tiedosto ja kirjoittaa sinne rivi tekstiä, joten avataan tiedosto kirjoittamista varten, kirjoitetaan sinne merkkijono ja suljetaan tiedosto esimerkin 3.1 mukaisesti.

Esimerkki 3.1. Tiedoston kirjoittaminen

```c
#include <stdio.h>
#include <string.h>

int main(void) {
    char aRivi[50];
    FILE *Tiedosto;

    Tiedosto = fopen("tiedosto.txt", "w");
    printf("Mitä haluat kirjoittaa tiedostoon (max 48 merkkiä)?\n");
    fgets(aRivi, 50, stdin);
    aRivi[strlen(aRivi)-1] = '\0';

    fprintf(Tiedosto, "%s\n", aRivi);
    fclose(Tiedosto);
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos
Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E3_1
Mitä haluat kirjoittaa tiedostoon (max 48 merkkiä)?
Robottikana
```

Kuinka koodi toimii

Edellä olevan mukaisesti avataan tiedosto kirjoittamista varten, tiedostoon kirjoitetaan yksi rivi tekstiä ja se suljetaan. Tiedoston avaaminen edellyttää tiedoston nimen tietämistä ja meidän tulee kertoa, haluammeko kirjoittaa, write, vai lukea, read, tiedostoa. Itse tiedostoon kirjoittaminen tapahtuu funktiolla `fprintf` (file-printf), joka toimii kuten normaali ruudulle tulostuksen toteuttava `printf`-funktio. Lopuksi tiedosto tulee sulkea `fclose`-käskyllä. Tiedostoon kirjoitettaessa `fprintf`-funktiolle pitää antaa parametrina kirjoitettavan tiedoston tiedostokahva. Nyt käytetty kirjoitustila, ”`w`”, luo automaattisesti uuden tiedoston tai tuhoaa aikaisemman samannimisen tiedoston `fopen`:n yhteydessä. `fprintf`-kirjoitti tiedostoon annetun merkkijonon ”Robottikana\n” eli em. sanan rivinvaihtomerkin kanssa muttei tiedoston loppumerkkiä tms. (esim. EOF, end of file). Huomaa, että tästä esimerkistä puuttuu tiedoston aukeamisen onnistumisen tarkastus, joka pitää normaalisti aina tehdä. Siksi palaamme virheenkäsittelyyn tiedoston lukemisen jälkeen.

Tiedoston lukeminen

Tiedoston kirjoittamisen jälkeen voimme lukea saman tiedoston. Seuraavassa esimerkissä avaamme edellä luodun tiedoston, luemme sen sisällön ja tulostamme sen ruudulle. Tiedostossa on yhdellä rivillä korkeintaan 48 näkyvää merkkiä ja rivinvaihtomerkki, viimeinen rivi on tyhjä.

Esimerkki 3.2. Tiedoston lukeminen

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
    char aRivi[50];
    /* Luodaan tiedostokahva eli osoitin FILE-tyyppiseen muuttujaan. */
    FILE *Tiedosto;

    Tiedosto = fopen("tiedosto.txt", "r"); /* Avataan tiedosto. */
    printf("Tiedoston sisältö:\n");

    /* Tiedoston kaikkien rivien luku ja tulostus. */
    while (fgets(aRivi, 50, Tiedosto) != NULL) {
        printf("%s", aRivi);
    }

    fclose(Tiedosto);
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E3_2
Tiedoston sisältö:
Robottikana
```

Kuinka koodi toimii
Tämä koodi ei poikkea paljoakaan aiemmasta tiedostonkirjoitus-esimerkistä. Ohjelma alkaa määrittelemällä 50 merkin kokoinen merkkitaulukko nimeltä `aRivi` sekä tiedostokahva `Tiedosto`. Tämän jälkeen avaamme haluamamme tiedoston *tiedosto.txt* lukumoodiin ”r” eli tilaan, josta voimme ainoastaan lukea tiedoston sisältämää tietoa. Tämän jälkeen suoritamme itse tiedoston lukemisen `while`-toistorakenteella. Tiedoston avaaminen voi epäonnistui useista syistä, joten tiedoston avaaminen onnistuminen on aina tarkistettava ja katsomme tämän asian seuraavaksi.

Koska emme tiedä, kuinka pitkä tiedosto on, määrittelemme lukemisen lopetusehdoksi tilanteen, jossa tiedosto on luettu loppuun. Tämä onnistuu käyttämällä `fgets`-funktiota, joka lukee ja palauttaa yhden rivin tiedostosta. Rivin pituus on rajoitettu 48 näkyvään merkkiin, jotta se mahtuu `aRivi`-muuttujaan rivinvaihtomerkin ja NULL-merkin kanssa; mikäli `fgets`-funktio ei pysty lukemaan tiedostosta riviä eli tiedosto-osoitin on tiedoston lopussa, palauttaa se NULL-merkin tiedoston loppumisen merkiksi. Näin ollen `while`-rakenteessa ei tarvita muuta kuin varsinainen toiminnallisuus eli tässä tapauksessa rivin tulostus näytölle. Lopuksi vielä suljemme tiedoston ja lopetamme ohjelman.

Kuten näistä esimerkeistä huomasimme, on C-kielen tapa käsitellä tiedostoja hyvin samankaltainen kuin Pythonissa. Tiedosto avataan tarpeita vastaavalla moodilla tiedostokahvaan, tiedostoon kohdistetaan kirjoitus-/luku-operaatiot, ja kun tiedostoa ei enää tarvita, se suljetaan. Tärkein ero onkin siinä, että C-kielessä pystymme kertomaan, millaista tietoa tiedostosta luemme. Tiedostojen lukemiseen on myös tarjolla useita eri funktioita kuten esimerkiksi `scanf`-funktiota vastaava `fscanf` eli file-scanf. Edellä on kuitenkin käytetty `fgets`-funktiota, koska merkkirivien lukeminen on sillä suoraviivaista edellisen esimerkin mukaisesti.

Tiedostonkäsittelyn virheentarkastus

C-kielessä tyypillinen virheenkäsittely on tarkistaa funktion palauttama arvo ja mikäli se on virhekoodi, käsitellään virhetilanne. Funktioiden palauttamat virhekoodit löytyvät manuaalisivuilta, mutta osoittimen tapauksessa virhekoodina toimii tyypillisesti osoittimen arvo NULL.

Tiedostojen käsittelyn yhteydessä lähtökohta on aina tarkistaa tiedoston avaamisen onnistuminen. Tämä on tyypillisin virhekohta ja siksi sen onnistuminen on tarkistettava aina. Samoin tässä oppaassa virheen tapahtumisesta kerrotaan käyttäjälle ja lopetetaan ohjelman suoritus sen jälkeen. Virheestä voi kertoa käyttäjälle `printf`-käskyllä, mutta käyttämällä `perror`-funktiota, print-error, voidaan virheilmoitus muodostaa omasta virheilmoituksesta ja sitä seuraavasta käyttöjärjestelmän virheilmoituksesta, joten sitä kannattaa opetella käyttämään.

Tässä oppaassa ei käydä läpi kokonaisvaltaista virheenhallintaa vaan lähtökohta on tunnistaa virhetilanne, kertoa käyttäjälle ongelma ja lopettaa ohjelman suoritus hallitusti `exit`-käskyllä. Käsky löytyy `stdlib.h` otsikkotiedostosta ja alla olevasta esimerkistä näkyy tässä oppaassa suositeltava tiedoston avaamiseen liittyvä virheenkäsittely. `exit`-käskyn parametri tulee päättää kokonaisvaltaisen virheenkäsittelyn näkökulmasta, mutta tällä kurssilla se on 0 selkeyden vuoksi.

Esimerkki 3.3. Tiedoston avaamisen virheenkäsittely

```
if ((Tiedosto = fopen("tiedosto.txt", "w")) == NULL) {
    perror("Tiedoston avaaminen epäonnistui");
    exit(0);
}
```

Binaaritiedostojen käsittely

Binaaritiedostojen käsittely noudattaa samoja periaatteita kuin tekstitiedostojen käsittely eli tiedosto on avattava ennen käsittelyä, suljettava käsittelyn jälkeen ja tiedoston avaamisen yhteydessä on varmistuttava sen onnistumisesta. Binaaritiedoston luku ja kirjoittaminen tapahtuu omilla funktioilla, jotka käsittelevät tietoa binaaridatana.

Tekstitiedostoa käsittelevästä ohjelmasta saadaan binaaridataa käsittelevä ohjelma vaihtamalla kirjoittamisen yhteydessä moodiksi ”`wb`” (write binary) ja lukemisen yhteydessä moodiksi ”`rb`” (read binary). Esimerkissä 3.4 on tiedon kirjoittamiseen ja lukemiseen käytettävät `fwrite`- ja `fread`-funktiot `tiedosto`-nimisen FILE* -muuttujan eli tiedostokahvan kanssa. Ensimmäinen toistorakenne kirjoittaa tiedostoon luvut 0-9 binaarimuodossa ja seuraava lukee binaaritiedostosta 10 kokonaislukua sekä tulostaa ne näytölle. Molemmissa funktiokutsuissa kolmas parametri on 1, joka kertoo käsiteltävien alkioiden määrän eli jokainen funktiokutsu käsittelee yhtä alkiota kerrallaan.

Esimerkki 3.4. Binaaritiedoston kirjoitus ja luku

```
int i, iLuku;

for (i=0; i < 10; i++)
    fwrite(&i, sizeof(i), 1, Tiedosto);

for (i=0; i < 10; i++) {
    fread(&iLuku, sizeof(iLuku), 1, Tiedosto);
    printf("%d ", iLuku);
}
```

Tiedostonkäsittelyn perusfunktioita

Alla on tärkeimmät C-kielen tiedostonkäsittelyyn liittyvät funktiot.

Tietovirta=fopen(aTiedosto, aMoodi);

- Avaa tiedoston *aTiedosto* käyttötilaan *aMoodi*.
- *Tietovirta* on `FILE *` -tyyppinen osoitinmuuttuja, tiedostokahva, jolla viitataan tiedostoon avaamisen jälkeen. Mikäli tiedoston avaaminen epäonnistuu, palauttaa `fopen` NULL-merkin.
- *aTiedosto* on avattavan tiedoston nimi, joko merkkijonomuuttuja tai merkkijono.
- *aMoodi* kertoo mihin tarkoitukseen tiedosto avataan. **"r"** tarkoittaa lukemista, **"w"** kirjoittamista, **"a"** kirjoituksen jatkamista. Binaaritiedostoja käsiteltäessä moodiin liitetään **b** ("rb" tai "wb"). Haluttaessa lukea ja kirjoittaa samanaikaisesti, lisätään + ("r+"). Lisäysmoodia käyttävän on syytä tietää mitä tekee, ettei tiedosto mene sekaisin.
- Huomaa, että avattaessa tiedosto + -moodissa **r**:n ja **w**:n merkitys muuttuu. Käytettäessä **r**:ää avataan olemassa oleva tiedosto tai luodaan uusi. **w**:llä luodaan aina uusi tiedosto ja jos tiedosto oli olemassa, se tuhoutui.

fclose(Tietovirta);

- Sulkee tiedoston *Tietovirta*.

fscanf(Tietovirta, Formaattimerkkijono, muuttujalista);

fprintf(Tietovirta, Formaattimerkkijono, muuttujalista);

- `fscanf` lukee tiedostoa *Tietovirta* ja `fprintf` kirjoittaa sinne. Muuten nämä funktiot toimivat vastaavasti kuin `printf` ja `scanf`.

fgets(aMerkkitaulukko, iMerkkienEnimmaismaara, Tietovirta);

fputs(aMerkkitaulukko, Tietovirta);

- `fgets` lukee tietovirrasta rivin tai merkkien enimmäismäärän verran merkkejä – 1 ja sijoittaa ne merkkitaulukkoon. `fputs` kirjoittaa merkkitaulukon tietovirtaan.
- Luettaessa käyttäjältä syötteitä `fgets`'llä pitää merkkitaulukossa olla tilaa merkkijonon loppumerkille sekä rivinvaihtomerkille käyttäjän antamien merkkien lisäksi.

fread(pOsoitin, iKoko, iMaara, Tietovirta);

fwrite(pOsoitin, iKoko, iMaara, Tietovirta);

- Nämä funktiot ovat binaaritiedostojen käsittelyyn:
    - `fread` lukee *Tietovirrasta iKoko*-muuttujan kokoisia lohkoja *iMaara*-kappaletta ja sijoittaa ne muistipaikkaan *pOsoitin*.
    - `fwrite` kirjoittaa *Tietovirtaan* muistipaikassa *pOsoitin* olevan tiedon, jota on *iKoko*-muuttujan kokoisissa lohkoissa *iMaara*-kappaletta.

Alla on muutama muu hyödyllinen tiedostonkäsittelyfunktio. Niihin tarkempia tietoja ja käyttöohjeita löytyy `man`-sivuilta.

- fgetc(Tietovirta);
- fputc(cMerkki, Tietovirta);
- rewind(Tietovirta);
- ftell(Tietovirta);
- fseek(Tietovirta, lSijainti, iAlku);
- feof(Tietovirta);
- remove(aTiedosto);
- rename(aNimi, aUusiNimi);

Aliohjelmat

Aina ohjelmia tehtäessä joudumme väistämättä miettimään ohjelman toimintaa. Useimmiten hyötyisimme mahdollisuudesta käyttää uudelleen aiempaa koodia useaan kertaan toistuvien tehtävien suorittamiseen ja toisinaan tehtävien jakaminen loogisiin kokonaisuuksiin helpottaisi sekä ohjelman toteuttamista sekä ylläpitoa. Tämä kaikki on mahdollista aliohjelmien avulla. C-kielessä aliohjelmat palauttavat yleensä jotain kutsuvaan ohjelmaan eli ne ovat funktioita. Aliohjelmien käyttö edellyttää tiedonvälitystä aliohjelmien ja kutsuvien ohjelmien välillä, jossa tarvitaan C-kielessä usein osoittimia. Käydään seuraavaksi nämä asiat läpi C-kielen kontekstissa.

Määrittely ja kutsuminen

Kuten tähän mennessä on tullut selväksi, on C-ohjelmassa aina vähintään yksi funktio, `main`. Tämä funktio on pääohjelma, jota kutsutaan ohjelman käynnistyessä ja jonka lopettaminen sammuttaa ohjelman. C-kielessä aliohjelmien toteuttaminen vaatii hieman enemmän tarkkuutta kuin esimerkiksi Pythonissa.

C-kielessä funktion paluuarvon tyyppi pitää päättää etukäteen. Jos haluamme ohjelman palauttavan kokonaisluvun, on funktion tyyppi `int`, ja jos palautamme liukuluvun niin tyyppi on `float`. Jos taas haluamme palauttaa merkin, käytämme tyyppiä `char`. Jos taas emme aio palauttaa mitään arvoja, on funktion tyypiksi laitettava tyhjä eli `void`. Muista siis, että `void`-tyyppinen aliohjelma ei voi palauttaa mitään kutsuvaan ohjelmaan ja funktion, jolla on jokin ei-tyhjä tyyppi, pitää palauttaa jotain. Myös `main`-funktion tyypiksi voi laittaa `void` ja tällöin sekään ei palauta minkäänlaista arvoa käyttöjärjestelmälle ohjelman lopettaessa toimintansa. Näin ei kuitenkaan kannata tehdä, sillä käyttöjärjestelmä odottaa `main`-funktiolta paluuarvoa. Ohjelman loppuminen osoitetaan `return`-käskyllä. Mikäli ohjelma ei palauta mitään, käytetään `return;` -muotoa ilman sulkuja ja muussa tapauksessa käytetään `return(iPaluuarvo);` -muotoa, jossa parametri `iPaluuarvo` palautetaan kutsuvaan ohjelmaan tyypillisesti sijoitettavaksi muuttujaan.

Aliohjelman tyypin määrittelyn lisäksi aliohjelma on esiteltävä ennen käyttöä. Kääntäjälle kerrotaan siis etukäteen, minkä nimisiä aliohjelmia aiomme käyttää, mitä ne palauttavat ja millaisilla parametreilla niitä kutsutaan eli ne ”esitellään”. Erillistä esittelyä ei tarvita, mikäli aliohjelmaa käytetään koodissa vasta sen määrittelyn eli sen toiminnan kertovan koodin jälkeen. On kuitenkin turvallisempaa esitellä kaikki aliohjelmat lähdekoodin alussa, jolloin niiden kirjoitusjärjestyksellä ei ole merkitystä. Tutustumme aliohjelmien tekemiseen ja käyttämiseen esimerkkien avulla; ensiksi tarkastelemme aliohjelmien määrittelyä, esittelyä ja kutsumista. Toisessa esimerkissä keskitymme paluuarvoihin ja parametreihin.

Esimerkki 3.5. Aliohjelman määrittely, esittely ja kutsu

```
#include <stdio.h>

void demo(void); /* Aliohjelman esittely */

int main(void) {
    printf("Tämä tulee pääohjelmasta!\n");
    demo(); /* Aliohjelman kutsu */
    return(0);
}

void demo(void) { /* Aliohjelman määrittely eli koodi */
    printf("Tämä tulee aliohjelmasta!\n");
    return;
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E3_5
Tämä tulee pääohjelmasta!
Tämä tulee aliohjelmasta!
```

Kuinka koodi toimii

Ohjelmakoodi alkaa aiemmin mainitulla aliohjelman esittelyllä, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että kääntäjälle kerrotaan ohjelman alussa aliohjelman paluuarvon tietotyyppi, aliohjelman nimi ja parametrien tietotyypit. Käytännössä aliohjelman esittely vastaa sen määrittelyn ensimmäistä riviä puolipistettä lukuun ottamatta.

Koodin lopussa on itse aliohjelman määrittely eli toimiva koodi. Aliohjelma on rakenteellisesti samanlainen kuin pääohjelma, eli se toteutetaan ohjelman nimen ja parametrien jälkeen tulevien aaltosulkeiden sisällä. Tässä koodissa olemme määritelleet aliohjelman nimeltä `demo`, joka ei palauta arvoa (rivin ensimmäinen `void`) eikä vastaanota parametreja (sulkeissa oleva toinen `void`). Aliohjelma loppuu `return`-käskyyn ja koska siinä ei ole parametria, tämä aliohjelma ei palauta mitään kutsuvaan ohjelmaan. Kun olemme määritelleet aliohjelman, voimme kutsua sitä kirjoittamalla aliohjelman nimen ja sulkeet, eli tässä tapauksessa `demo();`. Tässä tapauksessa aliohjelmalla ei ole parametreja, mutta jos niitä olisi annettu, olisi ne laitettu kutsussa sulkeiden sisään siinä järjestyksessä, kun ne aliohjelmalle välitetään.

Arvoparametrit ja paluuarvo

Aliohjelmalle voidaan välittää tietoa kuten yhteenlaskettavia lukuja tai tutkittavia merkkejä parametreina. Aliohjelman vastaanottamat parametrit tulee nimetä sekä aliohjelman esittelyssä että sen määrittelyssä. Käytännössä tämä tarkoittaakin sitä, että aliohjelman esittelyn – ja samalla myös kutsun – syntaksi on seuraavanlainen:

```
palautustyyppi nimi(parametrin 1 tyyppi ja nimi, parametrin 2
tyyppi ja nimi,…);
```

Eli vaikkapa

```
int laskukone(int iLuku1, int iLuku2);
```

joka tarkoittaisi, että meillä on `laskukone`-niminen funktio, joka vastaanottaa kaksi integer-kokonaislukua ja palauttaa integer-arvon. Tällöin esimerkiksi kutsu

```
iTulos = laskukone(iNumero1, iNumero2);
```

missä `iTulos`, `iNumero1` ja `iNumero2` ovat integer-muuttujia, lähettäisi muuttujien `iNumero1` ja `iNumero2` arvot laskettavaksi funktioon `laskukone` ja tallentaisi paluuarvon muuttujaan `iTulos`.

Huomaa, että tällä tavoin määriteltyjen parametrien arvoihin tehdyt muutokset ovat paikallisia aliohjelmassa eivät välity takaisin kutsuvaan ohjelmaan ja siksi niitä kutsutaan *arvoparametreiksi*. Käytännössä arvoparametri tarkoittaa sitä, että aliohjelmassa käsitellään alkuperäisen argumentin kopioita. C-kielessä on olemassa tapa myös parametrien arvojen muuttamisen aliohjelmassa ja palaamme siihen kohta *muuttujaparametrien* yhteydessä.

Paluuarvot ovat tyypillinen tapa palauttaa tietoa funktiosta. C-kielessä paluuarvoja voi olla vain yksi ja aliohjelman määrittely kertoo sen tietotyypin. Yllä oleva `laskukone`-esimerkki näytti tyypillisen tavan käyttää arvoparametreja tiedon viemiseen aliohjelmaan sekä tiedon palauttamiseen aliohjelmasta paluuarvolla kutsuvaan ohjelmaan. Usein tieto on yksinkertainen luku, tai esim. virhekoodi, tai sitten osoite johonkin muistipaikkaan. Tyypillinen esimerkki tästä on edellä käsitelty tiedoston avaaminen, joka palautti osoittimen `FILE` -rakenteeseen. Osoittimien palauttamiseen palaamme myöhemmissä luvuissa, mutta kaikki tiedot palautetaan `return`-käskyllä samalla tavoin kuin `main`-ohjelmassa. Ainoa ero on, että pääohjelman rajapintana on käyttöjärjestelmä, joten se on ohjelman ulkoinen rajapinta eikä sitä voi muuttaa. Jos palautettua arvoa haluaa käyttää myöhemmin, pitää se sijoittaa muuttujan arvoksi kutsun yhteydessä.

Esimerkki 3.6. Parametrit ja paluuarvot

```
#include <stdio.h>

int summaa(int iLuku1, int iLuku2); /* Funktion esittely */

int main(void) {
    int iArvo1 = 1, iArvo2 = 2;
    int iVastaus;

    /* Kutsutaan funktiota ja tallennetaan paluuarvo muuttujaan */
    iVastaus = summaa(iArvo1, iArvo2);
    printf("Parametrien 1 ja 2 summa on %d.\n", iVastaus);

    return(0);
}

int summaa(int iLuku1, int iLuku2) { /* Funktion määrittely */
    int iTulos;
    iTulos = iLuku1 + iLuku2;
    return(iTulos);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E3_6
Parametrien 1 ja 2 summa on 3.
```

Kuinka koodi toimii

Tällä kertaa olemme antaneet funktiokutsulle parametreina muuttujien `iArvo1` ja `iArvo2` lukuarvot ja tallennamme funktion paluuarvon muuttujaan `iVastaus` komennolla

```
iVastaus = summaa(iArvo1, iArvo2);
```

Annamme funktiolle parametrit, jotka lasketaan yhteen ja paluuarvo palautetaan takaisin pääohjelmalle. Lopputuloksena saamme muuttujaan `iVastaus` laskutoimituksen tuloksen.

Huomaa, että tällä kertaa funktion tyypiksi valitsimme `integer`-tyypin, koska funktion tulee palauttaa kutsuvalle ohjelmalle kokonaislukuarvo.

Tyypillisesti kaikki aliohjelmat esitellään tiedoston alussa ja sen jälkeen tulee pääohjelma. Pääohjelman jälkeen aliohjelmat määritellään samassa järjestyksessä, kun niitä kutsutaan ohjelmassa. Ohjelmien monimutkaistuessa ja koon kasvaessa tämä ei aina onnistu, mutta tämä rakenne tarjoaa loogisen lähtökohdan koko ohjelman rakenteen ymmärtämiselle.

Muuttujaparametrit eli osoitinmuuttujat aliohjelmissa

C-kielessä aliohjelman parametrit voivat olla joko *arvoparametrejä* tai *muuttujaparametrejä*. Olemme tähän asti puhuneet arvoparametreistä, jotka ovat kopioita alkuperäisistä parametreistä ja joihin aliohjelmassa tehdyt muutokset eivät välity takaisin kutsuvaan ohjelmaan. Arvoparametrit sopivat hyvin esim. tulostettaessa arvoja `printf`-funktiolla. Aina tämä ei kuitenkaan riitä vaan parametrien arvoja on pystyttävä muuttamaan aliohjelmassa niin kuin esimerkiksi `scanf`-funktio tekee. Välittämällä aliohjelmaan muuttujaparametri eli alkuperäisen muuttujan osoite, saadaan muuttujan uusi arvo sijoitettua kutsuvassa ohjelmassa varattuun muistiin ja näin muuttujan arvo on tallessa myös aliohjelman jälkeen. Siksi `printf`-aliohjelmalle voidaan välittää esim. muuttuja `iLuku`, mutta kun luetaan uusi arvo muuttujalle `scanf`-funktiossa, pitää sinne välittää muuttujan osoite eli `&iLuku`.

Osoittimet ovat C-kielelle ominaisia ”osoitinmuuttujia”. Tämä tarkoittaa sitä, että osoittimet ovat muuttujia, jotka sisältävät varsinaisen tiedon sijaan tiedon siitä, missä muistiosoitteessa tieto on. Osoittimia voi ajatella samoin kuin Internet-osoitteita, jolloin normaali muuttuja voidaan ajatella itse verkkosivuna, joka sisältää kaiken sivuilla olevan tiedon, kun taas osoittimet ovat verkko-osoitteita (esimerkiksi *http://fi.wikipedia.org*), eli ne eivät sisällä sivun tietoja (tässä tapauksessa Suomen Wikipedian etusivun artikkeleita), vaan ainoastaan tiedon siitä, mistä nämä artikkelit löytyvät.

Osoittimien tärkein hyöty tulee niiden joustavuudesta tiedonkäsittelyn suhteen. Kuten myöhemmin tulemme näkemään, osoittimien avulla voidaan hallita monimutkaisia tietorakenteita sekä yhdistellä tietueita dynaamisiksi muistirakenteiksi. Tässä vaiheessa keskitymme osoittimien perusasioihin.

Osoittimen tunnistaa *-merkistä muuttujan nimen edessä. Tämä kertoo kääntäjälle, ettei kyseessä ole normaali muuttuja vaan osoitin muuttujaan. Yleisesti ottaen muuttuja * -etumerkki voidaan lukea ”arvo, joka sijaitsee tämän nimisessä osoitteessa”. Lisäksi osoittimien eli pointtereiden (eng. pointer) yhteydessä käytetään joskus muuttujan edessä &-merkkiä, joka tarkoittaa, että emme viittaa osoitettavan muistipaikan sisältöön, vaan muuttujan fyysiseen osoitteeseen keskusmuistissa, joka periaatteessa on suurehko numeroarvo: ”Osoite, josta tämän niminen muuttuja löytyy”. Yleensä &-merkkiä käytetään silloin, kun asetamme osoittimen osoittamaan jonkin muuttujan sisältöön. Tämä kaikki voi ensi alkuun vaikuttaa hieman sekavalta, mutta katsotaan esimerkki 3.7 osoittimen käytöstä.

Esimerkki 3.7. Aliohjelman arvo- ja muuttujaparametri

```
#include <stdio.h>

void eiMuuta(int iArvoparametri) {
    iArvoparametri = 1000;
    return;
}
```

```
void muuttaa(int *pMuuttujaparametri) {
    *pMuuttujaparametri = 1000;
    return;
}

int main(void) {
    int iLuku=1; /* Määritellään kokonaislukumuuttuja */
    printf("Alussa muuttujan arvo on %d.\n", iLuku);

    /* Kutsutaan funktiota eiMuuta. */
    eiMuuta(iLuku);
    printf("eiMuuta-funktion jälkeen muuttujan arvo on %d.\n", iLuku);

    /* Kutsutaan funktiota muuttaa. */
    muuttaa(&iLuku);
    printf("muuttaa-funktion jälkeen muuttujan arvo %d.\n", iLuku);

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Esimerkit$ ./E3_7
Alussa muuttujan arvo on 1.
eiMuuta-funktion jälkeen muuttujan arvo on 1.
muuttaa-funktion jälkeen muuttujan arvo 1000.
```

Kuinka koodi toimii

Ohjelmassa on kaksi proseduuria eli aliohjelmaa, jotka eivät palauta arvoja. Meidän ei tarvitse esitellä näitä aliohjelmia, koska ne on määritelty ennen pääohjelmaa. Pääohjelmassa luomme muuttujan `iLuku`, annamme sille arvoksi 1 ja tulostamme muuttujan arvon. Seuraavaksi kutsumme proseduuria `eiMuuta` arvoparametrilla `iLuku` eli aliohjelma saa siis tämän muuttujan arvon muuttujaan `iArvoparametri`. Sen jälkeen koodissa asetetaan muuttujaan `iArvoparametri` uusi arvo 1000 ja palataan takaisin pääohjelmaan. Pääohjelmassa tulostetaan `iLuku` -muuttujan arvo, joka on 1 eli muuttumaton, koska aliohjelmassa `eiMuuta` käsiteltiin muuttujan kopiota.

Seuraavaksi kutsutaan aliohjelmaan `muuttaa` ja lähetetään sinne muuttujan `iLuku` osoite eli `&iLuku`. Tällä kertaa aliohjelmassa oleva parametri on muuttujaparametri `*pMuuttujaparametri` ja kun sitä muutetaan, laitetaan ko. osoitinmuuttujan osoittamaan muistipaikkaan uusi arvo 1000 ja palataan pääohjelmaan. Kun pääohjelmassa tämän jälkeen tulostetaan muuttujan `iLuku` arvo, on sen käyttämässä muistipaikassa oleva arvo muuttunut ja näytölle tulostaa luku 1000.

Aliohjelmissa voidaan siis muuttaa muuttujaparametrien arvoja siten, että muutokset näkyvät myös kutsuvassa ohjelmassa. Käytännössä tällöin parametrinä lähetetään arvon sijasta muuttujan muistipaikan osoite, jotta tietoa voidaan muuttaa samalla tavoin kuin esim. `scanf`-funktio tekee. Ja

jos parametrien ei haluta muuttuvan, käytetään arvoparametrejä `printf`-funktion tyyliin, jolloin aliohjelmassa käytetään alkuperäisten arvojen kopioita.

Muuttuja vs. osoitin

Tähän asti olemme tyypillisesti käyttäneet pääohjelmassa muuttujia ja aliohjelmassa muuttujia, ts. arvoparametreja, tai osoitinmuuttujia eli muuttujaparametreja. Jatko tulemme käyttämään osoitinmuuttujia eli osoittimia monipuolisemmin kaikkialla ohjelmissa, joten katsotaan tarkemmin pääohjelmaa, jossa on sekä muuttujia että osoittimia ja miten niiden kanssa tulee toimia.

Esimerkissä 3.8 on kaksi muuttujaa, `iLuku1` ja `iLuku2`, jotka ovat tyypillisiä tietoa sisältäviä muuttujia. Voimme käsitellä näitä muuttujina niin kuin olemme tähän asti tehneet, mutta voimme käyttää niitä vain muistipaikan varaamiseen ja tehdä kaikki tiedonkäsittely kolmatta muuttujaa käyttäen. Tässä tapauksessa kolmas muuttuja kannattaa määritellä osoitinmuuttujana eli se itsessään ei pidä sisällä tietoa vaan osoitteen muistipaikkaan, jossa on tietoa. Esimerkissä 3.8 tämä muuttuja on osoitin `pLuku` ja sitä käytetään esimerkissä ensin `iLuku1`:n käsittelyyn ja sitten `iLuku2`:n käsittelyyn. Vertailun vuoksi esimerkissä tulostetaan samat tiedot aina muuttujasta ja osoittimesta eli `iLuku1/iLuku2` ja sen jälkeen muuttujan `pLuku` vastaavat arvot.

Esimerkki 3.8. Muuttujan ja osoittimen määrittely sekä käyttö

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
    /* Määritellään kaksi kokonaislukumuuttujaa */
    int iLuku1=1, iLuku2=2;

    /* Määritellään osoitinmuuttuja, joka osoittaa kokonaislukuun */
    int *pLuku;

    /* Asetetaan osoitinmuuttuja osoittamaan muuttujan iLuku1 osoitteeseen */
    pLuku = &iLuku1;
    printf("Muuttujan iLuku1 arvo %d ja se on muistipaikassa %p.\n", iLuku1, &iLuku1);
    printf("Osoitin pLuku osoittaa muistipaikkaan %p, jossa on arvo %d.\n", pLuku, *pLuku);

    /* Aseta osoitinmuuttuja osoittamaan muuttujan iLuku2 osoitteeseen */
    pLuku = &iLuku2;
    printf("Muuttujan iLuku2 arvo %d ja se on muistipaikassa %p.\n", iLuku2, &iLuku2);
    printf("Osoitin pLuku osoittaa muistipaikkaan %p, jossa on arvo %d.\n", pLuku, *pLuku);

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Esimerkit$ ./E3_8
Muuttujan iLuku1 arvo 1 ja se on muistipaikassa 0x7fffc9c51f68.
Osoitin pLuku osoittaa muistipaikkaan 0x7fffc9c51f68, jossa on
arvo 1.
Muuttujan iLuku2 arvo 2 ja se on muistipaikassa 0x7fffc9c51f6c.
Osoitin pLuku osoittaa muistipaikkaan 0x7fffc9c51f6c, jossa on
arvo 2.
```

Kuinka koodi toimii

Ohjelmassa asetetaan `pLuku` osoittamaan `iLuku1`:n muistipaikkaa, ts. `&iLuku1`, jonka jälkeen tulostetaan `iLuku1` -muuttujan arvo sekä muistipaikan osoite. Tämän jälkeen tulostetaan vastaavat tiedot osoittimen `pLuku` -avulla, ts. osoite `pLuku` ja arvo `*pLuku`, ja huomataan, että molemmat ovat samoja eli osoitteet ovat samoja ja muuttujien arvot ovat myös samoja. Osoitteita ei yleensä tarvitse eikä kannata tutkia tarkemmin, mutta tässä vaiheessa kannattaa varmistua, että osoitteet ovat tosiaan samoja eikä eri ja sen jälkeen niitä voi tarvittaessa varmistella eli katsoa esim. debuggerilla, jos on ongelmia. Esimerkissä on seuraavaksi samat tulosteet `iLuku2` osalta, joten asia toimii niin kuin edellä on kerrottu.

Esimerkki 3.8 kannattaa kääntää itse kurssilla käytettävillä parametreilla. Tällöin nimittäin tulee pari varoitusta ja on hyvä huomata, että aina varoitukset eivät estä ohjelman normaalia toimintaa. Näitä kaikki varoitukset liittyvät samaan asiaan eli muuttuja on 4 tavun kokonaisluku ja osoitin taas on pitkä kokonaisluku, joten nämä tietotyypit eivät ole tarkkaan ottaen yhteensopivia `printf`-lauseen muotoilumerkkien oletusarvojen kanssa. Tämä esimerkki toimii kuitenkin oikein tämän esimerkin oleellisten osien osalta, joten ei puututa tähän sen enempää. Lähtökohtaisesti muistipaikkojen osoitteita ei kannata tulostaa ja vertailla, mutta tässä yhteydessä se tarjoaa lisätietoa ohjelman toiminnasta ja siksi asiaa C-kielen sääntöjä kannattaa vähän venyttää tässä kohdin.

Tunnusten näkyvyys

Pythonin yhteydessä oli puhetta nimiavaruudesta ja nyt katsomme, miten vastaava asia on toteutettu C-kielessä. Tunnusten näkyvyys tarkoittaa sitä, että ohjelman tunnukset (muuttujat, aliohjelmat, vakiot) näkyvät vain koodilohkon – tyypillisesti pääohjelman tai aliohjelman – määrittelevien aaltosulkujen sisällä. Esimerkiksi jokaisella C-ohjelmalla voi olla samanniminen muuttuja, esimerkiksi `iLuku`, ilman että ohjelman toiminta häiriintyy siitä millään tavalla. Tämä tietenkin tarkoittaa myös sitä, että nämä muuttujat eivät samasta nimestään huolimatta ole missään tekemisissä keskenään, eivätkä aliohjelmissa tehdyt muutokset vaikuta pääohjelman samannimisiin muuttujiin. Katsotaan ensin esimerkki ja käydään asia läpi tarkemmin sen jälkeen.

Esimerkki 3.9. Esimerkki tunnusten näkyvyydestä

```
#include <stdio.h>

int testi(int iSyote) { /* Huomaa: muuttujaa iSyote ei käytetä! */
    int iLuku;
    iLuku = 100;
    printf("Aliohjelmassa iLuku-muuttuja on %d.\n", iLuku);
    return(iLuku);
}

int main(void) {
    int iLuku = 1;
    printf("Alussa muuttujan 'iLuku' arvo on %d.\n", iLuku);

    /* Kutsutaan aliohjelmaa ja annetaan luku parametrina */
    testi(iLuku); /* Huomaa: paluuarvoa ei käytetä eikä talleteta. */

    printf("Aliohjelma ei vaikuttanut pääohjelman muuttujaan.\n");
    printf("Pääohjelman muuttujan 'iLuku' arvo on edelleen %d.\n", iLuku);

    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E3_9
Alussa muuttujan 'luku' arvo on 1.
Aliohjelmassa luku-muuttuja on 100.
Aliohjelma ei vaikuttanut pääohjelman muuttujaan.
Pääohjelman muuttujan 'luku' arvo on edelleen 1.
```

Kuinka koodi toimii

Tällä kertaa loimme sekä pää- että aliohjelmaan muuttujan nimeltä `iLuku`. Annamme pääohjelmassa muuttujalle arvon 1 ja tämän jälkeen annamme muuttujan arvon aliohjelmakutsussa parametrina.

Aliohjelmassa paikallisen `iLuku`-muuttujan arvoksi laitetaan 100, mikä todennetaan tulostamalla se ruudulle. Lisäksi tämän muuttujan arvo palautetaan pääohjelmaan, mutta siitäkin huolimatta pääohjelman `iLuku`-muuttujan arvo on edelleen sama 1 kuin ennen aliohjelmaa. Miksi näin käy?

Ensinnäkin lähetämme aliohjelmaan ainoastaan muuttujan arvon, numeroarvon 1, emme muuttujaa `iLuku`, tai mitään muuta siihen liittyvää. Tämä arvo 1 on käytettävissä aliohjelmassa parametrinä olevan `syote`-muuttujan arvona. Aliohjelma luo omaan nimiavaruuteensa oman `iLuku`-muuttujan ja laittaa sen arvoksi 100 sekä palauttaa sen sisällön – numeroarvon 100 – takaisin pääohjelmaan. Pääohjelmassa meidän tulee seuraavaksi kiinnittää huomio aliohjelmakutsuun:

```
testi(iLuku);
```

Tämä kutsu ei ota paluuarvoa kiinni eli ei tallenna sitä mihinkään, joten pääohjelman muuttujan `iLuku` arvo 1 ei muutu. Tämän vuoksi muuttujan arvo on edelleen sama ohjelman lopussa. Jos olisimme halunneet muuttaa pääohjelman `iLuku`-muuttujaa, olisi siihen meillä kolme vaihtoehtoa. Ensinnäkin olisimme voineet ottaa aliohjelman paluuarvon talteen muuttamalla kutsun muotoon

```
iLuku = testi(iLuku);
```

Olisimme myös voineet käyttää globaaleja muuttujia (ks. lisätietoa Alaoutinen (2005) tai Kernighan ja Ritchie (1988)) tai käyttää osoittimia eli muuttujaparametreja, joista puhuimme edellisessä osiossa. Vain globaaleja muuttujia käyttämällä olisimme viitanneet koko ajan samaan muuttujaan, mutta koska globaalit muuttujat rikkovat ohjelmien perussääntöjä näkyvyyden osalta, ei niiden käyttö ole hyvää ohjelmointityyliä ja siksi niiden käyttö on tyypillisesti kiellettyä. Myös tämän oppaan kanta on sama eli globaaleja muuttujia ei tule käyttää.

Globaalit *muuttujat* ovat huonoa ohjelmointityyliä, mutta *vakioiden* toteuttaminen globaaleina on hyvää ohjelmointityyliä. Koska vakioita ei voi muuttaa, ei niiden näkyvyyttä ole tarvetta rajoittaa. Muuttujien osalta tilanne on toinen, sillä väärin toimivan ohjelman syynä on usein jonkin (muuttujan) väärä arvo ja jos arvo voi muuttua missä kohdassa tahansa laajaa ohjelmaa, voi virheen löytäminen vaatia koko ohjelman tarkkaa läpikäyntiä. Tämän ongelman välttämiseksi muuttujat kannattaa pitää aina paikallisina eli halutun koodilohkon määrittelevien aaltosulkujen sisäpuolella. Mikäli muuttuja määritellään koodilohkojen ulkopuolella eli samalla tasolla kuin pääohjelma, tulee muuttujista globaaleja.

C-kielen ominaispiirteitä

Kerrataan lopuksi muutamia keskeisiä asioita niin C-ohjelmoinnin kuin Unixinkin kannalta. Katsotaan ensin tiedon välitystä aliohjelmiin ja sieltä takaisin, mietitään Unixin tietovirta-konseptia vähän tarkemmin, käydään läpi tyypillisiä ongelmia tiedostoformaatteihin liittyen, tutustutaan C-kielen makroihin ja kerrataan kirjastofunktioiden avainkohdat.

Tiedonvälitys aliohjelmaan ja takaisin kutsuvaan ohjelmaan

Tiedonvälitys aliohjelmiin voi tuntua haastavalta, mutta kaikessa yksinkertaisuudessaan tieto aliohjelmiin siirretään aina parametrien välityksellä. Aliohjelmista tieto kutsuvaan ohjelmaan siirretään paluuarvona ja toinen vaihtoehto on käyttää muuttujaparametreja.

Perustietotyypit kuten `int`, `float` ja `char` ovat selkeitä käyttää arvo- ja muuttujaparametreinä sekä paluuarvoina, koska näiden kohdalla käsitellään aina yhtä arvoa tai yhtä muistipaikkaa. Arvoparametri on alkuperäisen muuttujan kopio ja myös paluuarvo on näiden tietotyyppien kohdalla tyypillisesti itse muuttuja eli sen arvo. Siksi kyseessä on siis ***arvo****parametri*. Muuttujaparametrin kohdalla käsitellään muuttujan arvon sijasta sen muistipaikan osoitetta ja aliohjelmaan lähetään muuttujan `iLuku` sijasta sen osoite eli `&iLuku`. Aliohjelman kannalta parametri on osoitinmuuttuja, esim. `int *pOsoitin`. Muuttujan osoite toimii myös paluuarvona, mutta perustietotyyppien kanssa se on tyypillisesti tarpeetonta ja siksi niiden kohdalla palautetaan tyypillisesti arvo.

Rakenteinen tietotyyppi tarkoittaa useita tietoalkioita sisältävää tietorakennetta kuten esimerkiksi useista merkeistä muodostuvaa merkkitaulukkoa `char aNimi[30]`. C-kielessä rakenteisista tietotyypeistä aliohjelmaan välitetään aina rakenteen ensimmäisen alkion osoite, joten kyseessä on aina muuttujaparametri. Merkkitaulukon yhtä alkiota eli merkkiä voidaan käsitellä `aNimi[0]` -

merkinnällä, jolloin voimme tulostaa ko. *merkin* näytölle tai asettaa sen arvon, esim. `aNimi[0] = 'K'`. Jos lähetämme merkkitaulukon aliohjelmaan merkkijonon lukemista varten, välitetään aliohjelmaan taulukon osoite, joka on taulukon ensimmäisen merkin osoite ja parametrinä on tällöin muuttujan nimi, esim. `aNimi`. Aliohjelman kannalta parametri on osoitin merkkijonoon, esim. `char *pNimi`, eikä aliohjelma tiedä tai pysty selvittämään varatun merkkitaulukon kokoa. Siksi koko pitää tarvittaessa välittää aliohjelmalle parametrinä samalla tavoin kuin esim. `fgets`-funktiossa. `fgets`-funktion parametrit ovat osoitin merkkijonoon, merkkijonon pituus ja luettava tietovirta, esim. `fgets(aRivi, 80, stdin)`. Muuttujaparametrinä aliohjelmaan välitettyyn merkkitaulukkoon voidaan lukea merkkijono ja käyttää sitä sen jälkeen kutsuvassa ohjelmassa.

Paluuarvon kohdalla on muistettava sen sijoitus muuttujan arvoksi. Perustietotyyppien kohdalla asia on selkeä, sillä aliohjelmassa on tyypillisesti määritelty palautettava muuttuja, tai palautettava arvo lasketaan `return`-lauseessa. Tällöin kääntäjä huolehtii siitä, että paluuarvo saadaan sijoitettua muuttujan arvoksi ennen kuin aliohjelman käyttämä muisti vapautetaan ja samalla sen paikallisten muuttujien arvot häviävät, esim. `Arvo = funktio(x, y)`.

Paluuarvon ollessa rakenteinen muuttuja kuten merkkitaulukko, palautetaan aliohjelmasta tyypillisesti rakenteisen muuttujan osoite eli esim. merkkijonon osoite yllä olevan mukaisesti. Staattisessa muistinvarauksessa palautettavien arvojen muisti on varattava kutsuvassa ohjelmassa ja välitettävä aliohjelmaan muuttujaparametrinä samalla tavoin kuin `fgets`- ja `scanf`-funktioiden kanssa. Myös merkkijonon kopiointifunktio `strcpy` toimii samoin eli se saa parametrina kahden merkkitaulukon osoitteet, esim. `char s1[30], s2[30]`. `strcpy` kopioi merkkijonon taulukosta toiseen ja palauttaa uuden merkkijonon osoitteen paluuarvona, joka mahdollistaa uuden merkkijonon helpon ja nopean jatkokäsittelyn aliohjelman jälkeen. Molempien taulukoiden muistitila on kuitenkin varattava kutsuvan ohjelman puolella. Kuten myöhemmin näemme, dynaaminen muistinhallinta tarjoaa tälle toisen vaihtoehdon, mutta tässä vaiheessa staattisen muistinvarauksen kanssa tälle menettelylle ei ole vaihtoehtoja.

Esimerkissä 3.10 näkyy tyypilliset tapaukset arvo- ja muuttujaparametreistä sekä paluuarvoista.

Esimerkki 3.10. Parametrit ja paluuarvot

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#define NIMI 30
#define RIVI 80

// Perustietotyyppi int, float, char arvoparametrinä ja paluuarvona
int summaa(int iLuku1, int iLuku2) {
    int iSumma = iLuku1 + iLuku2;
    return(iSumma);
}

// Merkkijono parametrinä ja perustietotyyppi paluuarvona
int kysyLuku(char *pPrompti) {
    int iNumero;
    printf("%s: ", pPrompti);
    scanf("%d", &iNumero);
    getchar(); // Ei jätetä rivinvaihtoa väijymään puskuriin
    return(iNumero);
}
```

```c
// Merkkijono muuttujaparametrina ja osoite paluuarvona, rakenteinen tietorakenne
char *kysyNimi(char *pPrompti, char *pNimi) {
    printf("%s: ", pPrompti);
    scanf("%s", pNimi);
    getchar(); // Ei jätetä rivinvaihtoa väijymään puskuriin
    return(pNimi);
}

// Merkkijono muuttujaparametrina ja osoite paluuarvona, rakenteinen tietorakenne
char *kysyRivi(char *pPrompti, char *pRivi) {
    printf("%s: ", pPrompti);
    fgets(pRivi, RIVI, stdin);
    pRivi[strlen(pRivi)-1] = '\0';
    return(pRivi);
}

// Merkkijonon kopiointi, tila varattu kutsuvassa ohjelmassa, paluuarvona osoitin
char *kopioi(char p1[], char p2[]) {
    int i = 0;
    do {
        p1[i] = p2[i];
        i++;
    } while (p1[i-1] != '\0');
    return(p1);
}

int main(void) {
    int iIka, iPituus, iNro1 = 1, iNro2 = 2;
    char aNimi1[NIMI], aNimi2[NIMI], aRivi[RIVI];

    printf("Lukujen %d ja %d summa on %d.\n", iNro1, iNro2, summaa(iNro1, iNro2));
    iIka = kysyLuku("Anna ikä");
    printf("Ikä on %d.\n", iIka);
    iPituus = kysyLuku("Anna pituus");
    printf("Pituus on %d.\n", iPituus);
    kysyNimi("Anna etunimi", aNimi1);
    kysyNimi("Anna sukunimi", aNimi2);
    printf("Etunimi on %s ja sukunimi on %s.\n", aNimi1, aNimi2);
    kopioi(aNimi1, aNimi2);
    printf("Kopioinnin jälkeen nimi 1 on '%s' ja 2 '%s'.\n", aNimi1, aNimi2);
    kysyRivi("Anna rivi", aRivi);
    printf("Annoit rivin '%s'.\n", aRivi);
    return(0);
}
```

Tietovirrat ja tiedostot Unixissa

Unix-järjestelmä on kehitetty ennen graafisia käyttöliittymiä ja siksi siinä on useita komentorivikäyttöliittymän ja tekstitiedostojen ominaispiirteitä. Esimerkiksi ohjelmat kirjoittavat tulosteensa lähtökohtaisesti näytölle ja käyttöjärjestelmä tarjoaa mahdollisuuden näytölle kirjoitettavien tietojen ohjaamiseen tiedostoon yksinkertaisesti > -merkillä. Näin ohjelman tulosteet saadaan tiedostoon kirjoittamalla komentoriville suoritettavan ohjelman nimi ja tulosten ohjaus tiedostoon, esim. `ohjelma > tulokset.txt`. Tulosteiden tiedostoon-ohjauksen käänteisoperaationa voidaan pitää syötteiden lukemista tiedostosta ja tämä on toinen Unixin perustoiminto, esim. käsky `ohjelma < syote.txt` saa ohjelman lukemaan syötteet tiedostosta näppäimistön sijasta. Näiden jälkeen seuraava looginen askel on ohjata yhden ohjelman tulosteet suoraan toisen ohjelman syötteiksi, joten ei ole yllättävää, että tämä on Unixissa *putki*-niminen perusominaisuus ja kirjoittamalla komentoriville `ohjelma1 | ohjelma2` päätyvät ohjelma1:n tulosteet ohjelma2:n syötteiksi.

Unix-järjestelmässä tiedostot on ajateltu laajemmin *tietovirta*-konseptina, jossa näppäimistöltä tulevat syötteet, näytölle menevät tulosteet ja tiedoston luku/kirjoitus kaikki ajatellaan tietovirtana eli englanniksi *stream*. Käytännössä näppäimistöltä lähtee ASCII-merkkejä tietokoneelle, tietokoneelta lähtee ASCII-merkkejä näytölle ja tiedostot sisältävät ASCII-merkkejä, joten nämä kaikki voidaan ajatella teknisesti samanlaisina tietovirtoina. Unixissa on kolme perustietovirtaa: `stdin` eli syöttö, `stdout` eli tuloste ja `stderr` eli virhetietovirta. Olemme käyttäneet tietovirtoja jo tämän oppaan alusta alkaen, sillä luimme tietoja jo luvussa 1 `fgets`-funktiolla, jonka parametrit olivat merkkitaulukko, luettavien merkkien määrä ja tietovirta. Tällöin saimme luettua tiedot näppäimistöltä käyttämällä `stdin`-tietovirtaa. Nämä Unix-maailman perusominaisuudet liittyvät läheisesti C-ohjelmointiin, joten niihin kannattaa tutustua tarkemmin tarpeen ja mielenkiinnon mukaan Unix-lähteiden avulla `man`-sivuja unohtamatta.

Tiedostoformaateista

C-kielellä on helppo kirjoittaa ja lukea sekä teksti- että binaaritiedostoja. Vaikka itse toiminnot ovat selkeitä, on tiedostojen kanssa ajoittain erilaisia ongelmia. Siksi katsotaan muutamia yleisimpiä binaari- ja tekstitiedostojen ongelmia, jotta voit lähteä selvittämään niitä tarpeen tullen.

C-kielessä binaaritiedostoon kirjoitetaan yksinkertaisesti muuttujien käyttämä muisti bittikuviona eli arvoilla 0 ja 1. Näin ollen C-ohjelmalla kirjoitetun tiedoston lukemisen lähtökohta on tietää, mitä tiedostoon on kirjoitettu ja lukea kirjoitetut bitit identtisiin muuttujiin. Toisin sanoen, jos kirjoitit tiedostoon kolme tietoalkiota, 1 tavun merkin, 4 tavun kokonaisluvun, 8 tavun desimaaliluvun sekä 1 tavun merkin, niin nämä 14 tavua voidaan lukea kerralla muistiin, mutta ne on sijoitettava samankokoisiin ja tyyppisiin muuttujiin, mikäli halutaan saada selville mitä tiedostoon oli kirjoitettu. Ja jos itse kirjoitetun binaaritiedoston luku ei onnistu, voi lähinnä varmistua siitä, että tiedostoon on kirjoitettu samat tiedot samassa järjestyksessä kuin mitä yritetään lukea. Usein toisella ohjelmalla tai ohjelmointikielellä kirjoitetun binaaritiedoston lukeminen ei onnistu, sillä binaaritiedostojen toteutuksissa on merkittäviä eroja eri ohjelmointikielien välillä samoin kuin tietoalkioiden tietotyypeissä on myös helposti eroja Taulukon 1 mukaisesti. Vastaavasti ohjelman kehityksen yhteydessä tallennettavia muuttujia tulee usein lisää, jolloin vanhan tiedostomuodon luku edellyttää vanhojen muuttujien lukemista ja uuden tiedostomuodon luku uusien muuttujien lukemista. Käytännössä tiedostonkäsittely voi mennä vaikeaksi muutosten takia.

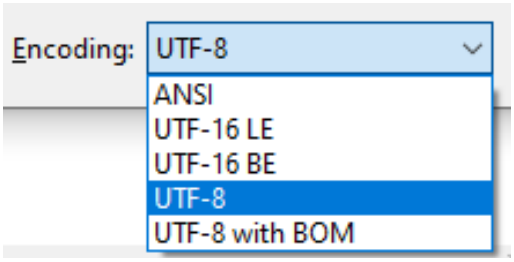
Tekstitiedostojen perusperiaatteet ovat samantyylisiä kaikissa ohjelmointikielissä, sillä niitä pitää pystyä lukemaan ja kirjoittamaan eri kielillä. Tiedostomuotona CSV eli Comma Separated Values on tyypillinen datan siirtoon käytetty tekstitiedostoformaatti ja lähtökohtaisesti kaikilla

ohjelmointikielillä pystyy lukemaan ja kirjoittamaan niitä. Kyseessä on tekstitiedosto, jossa tietoalkiot erotetaan toisistaan vakio-merkillä, tyypillisesti pilkulla. Mikäli pilkkua käytetään desimaalierottimena Suomen tapaan, on puolipiste tyypillinen vaihtoehto sille.

Tekstitiedostoissa on usein käyttöjärjestelmäkohtaisia eroja ja erityisesti erikoismerkkien toteutukset voivat poiketa eri järjestelmissä. Ääkköset luetaan tässä kohdin erikoismerkeiksi ja ne voivat siis edelleen aiheuttaa erilaisia ongelmia erityisesti käyttöjärjestelmätasolla. Windows'ssa ääkköset näyttävät toimivan hyvin ja Pythonkin lupaa, että ääkkösiä voi käyttää ohjelmien tunnuksissa, mutta usein tämä johtaa kuitenkin ongelmiin aina joissain kohdin ja siksi tätä ei voi suositella, jos tavoitteena on ongelmien välttäminen. Windows'ssa tekstitiedostot päättyvät aina EOF-merkkiin, End Of File, mutta Unixissa tällaista käytäntöä ei ole.

Unix-Windows -yhteiskäytössä törmää ajoittain rivinvaihtomerkki-ongelmiin, sillä sekä Unix että Windows ympäristöissä on rivinvaihtomerkki '\n', mutta se toimii eri tavoin eri ympäristöissä. Unixissa rivi vaihtuu seuraavalle riville ja tulostuskohta palautuu rivin ensimmäisen merkin kohdalle yhdellä '\n'-merkillä. Windows-ympäristössä nämä kaksi operaatiota on pidetty erillään eli rivinvaihtomerkki koostuu kahdesta osasta – rivin vaihtaminen, new line, \n, sekä kursorin palautus rivin alkuun, carriege return, \r. Tämän toimintatapaeron vuoksi ohjelmien ja tekstitiedostojen siirtäminen ympäristöstä toiseen voi johtaa ongelmiin, vaikka kaikki toimisi hyvin yhdessä ympäristössä. Rivinvaihtomerkkiin liittyvät ongelmat ovat vähentyneet aikojen kuluessa, mutta niihin saattaa edelleen törmätä ja siksi tämä mahdollisuus on hyvä muistaa, jotta voi tarpeen tulleen tarkistaa ja korjata tilanteen sopivalla tavalla.

Yksi tyypillinen ongelma tekstitiedostojen kanssa on niiden koodaus, encoding. Kuten Pythonin yhteydessä oli puhetta, tiedostot on koodattu ja siihen on useita vaihtoehtoja. Nykyään tyypillinen koodaus on UTF-8, mutta monen ohjelman oletus on edelleen ANSI-koodaus. Näiden lisäksi jotkin ohjelmat laittavat tiedoston ensimmäiseksi tavuksi BOM-merkin eli Byte Order Mark'n (U+FEFF). Tämä merkki luonnollisesti haittaa tiedoston käyttöä, jos lukeva ohjelma ei osaa käsitellä sitä. Alla on kuva Win10 -käyttöjärjestelmän Notepad -ohjelman tiedoston tallennusoptioista ja erityisesti sen tukemista koodausvaihtoehdoista.



Kuva 3.1. Windows 10 Notepad'n tukemat tiedoston koodausvaihtoehdot

Tyypillisesti tiedostojen lukuongelmat johtuvat näkymättömistä merkeistä, joten niiden ratkominen on usein turhauttavaa ja aikaa vievää. Siksi ongelmatilanteessa kannattaa pyrkiä selvittämään asiaa sen verran, että voi etsiä apua esim. Internetistä tai kysyä muilta. Monet muutkin ohjelmoijat ovat törmänneet näihin samoihin ongelmiin eli kokeneilla ohjelmoijilla on usein erilaisia keinoja näiden ongelmien selvittämiseen ja ratkaisemiseen.

Makrot

Tutustuimme edellisessä luvussa esikäsittelijän `define`-käskyyn ja määrittelimme sillä vakioita merkkijonoliteraalien avulla. Esimerkiksi taulukon koon määrittely onnistui `#define MAX 10` –käskyllä, jolloin kaikkiin taulukon käsittelyyn käytettyihin silmukoihin saadaan sama raja-arvo.

Merkkijonoliteraalien avulla voidaan määritellä myös makroja, jotka ovat funktioiden tyylisiä uudelleen käytettäviä koodilohkoja. Todellisuudessa makro korvataan annetulla koodilla ja tästä seuraa merkittäviä eroja makron ja funktion toimintaan. Makrojen keskeinen etu on se, että ne näyttävät funktioilta eli yksinkertaistavat koodia, mutta välttävät funktiokutsun aiheuttaman aliohjelmaan liittyvän tietojen siirtämisen pinoon ja ohjelman suorituksen hidastumisen. Toisaalta esikäsittelijän korvatessa makron koodilla, kääntäjä ei voi esim. tarkistaa ”parametrien” tietotyyppejä samalla tavoin kuin funktiokutsuissa. Lisäksi laskennan tulos ei välttämättä ole haluttu vaan esikäsittelijän tekemät etsi-korvaa -muutokset saattavat johtaa ongelmiin, jos parametrit sisältävät laskutoimituksia ja korvaus-operaation jälkeen operaattoreiden presedenssit muuttavat laskujärjestystä sulkujen puute vuoksi. Esimerkki 3.11 demonstroi tällaista tilannetta, jossa kaikki toimii ensimmäisellä kerralla normaalisti – ja oikein –, mutta toisella parametrillä tulos ei ole haluttu ja näin ollen voidaan väitellä siitä, toimiiko ohjelma oikein vai väärin. Ohjelma toimii kuitenkin juuri niin kuin se on toteutettu ja vastuu ohjelman toiminnasta on ohjelmoijalla.

Esimerkki 3.11. Makrot

```
#include <stdio.h>
#define SQUARE(x) x*x

int main(void) {
    printf("Makron SQUARE(3) tulos on %d.\n", SQUARE(3));
    printf("Makron SQUARE(3+1) tulos on %d.\n", SQUARE(3+1));
    return(0);
}
```

Esimerkkikoodin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E3_11
Makron square(3) tulos on 9.
Makron square(3+1) tulos on 7.
```

Kuinka koodi toimii

Ohjelman esikäsittelijä vaihtaa `square(3)` merkkien tilalle merkkijonon `3*3` ja kääntämisen jälkeen ohjelma toimii esimerkkiajon mukaisesti niin kuin pitääkin. Makron käyttö tekee koodia lukevalle henkilölle selväksi, että nyt halutaan tulostaa luvun neliö ja tämä tekee koodista yleisesti ottaen helpomman ylläpitää. Kääntöpuolena on riski, että ohjelmoija kirjoittaa sulkuihin laskutoimituksen kuten `square(3+1)`, joka johtaa useimmille odottamattomaan tulokseen 7, kun makron tilalle vaihtuu esikäsittelyssä merkkijono ’`3+1*3+1`’. Siksi on syytä muistaa, että makrot toimivat eri tavoin kuin funktiot ja niiden kanssa pitää olla tarkkana.

Kirjastofunktiot

C-kielen toteutuksessa on pyritty minimaalisen ytimen luomiseen. Näin ohjelmat voidaan räätälöidä sisältämään vain pakolliset ominaisuudet ja kaikki tarpeeton voidaan jättää pois. Esimerkiksi tehtäessä pieniä IoT- ja sulautettuja järjestelmiä, esim. kaukosäädin TV:lle tai CD-soittimelle, ei tarvita tiedon syöttö- ja tulostuskomentoja (esim. `printf` tai `scanf`) ja näitä ei siis tarvitse ottaa mukaan tällaisiin järjestelmiin. Siksi tiedon syöttö- ja tulostuskäskyt on sijoitettu tähän tarkoitukseen tehtyyn kirjastoon (standard input/output –kirjastoon eli otsikkotiedostoon

`stdio.h`). Kun näitä toimintoja tarvitaan, otetaan tarvittava kirjasto käyttöön sisällyttämällä halutun kirjaston otsikkotiedosto lähdekooditiedostoon `include`-käskyllä, esim.:

```
#include <stdio.h>
```

Liitteessä 3 on nimetty yleisimpiä C-kielen otsikkotiedostoja ja niiden sisältämiä funktioita. Otsikkotiedostot sisältävät myös vakioiden määrittelyjä, joita tyypillisesti tarvitaan näiden funktioiden ja toimintojen yhteydessä. Esimerkissä 3.12 näkyy satunnaisluku-funktion `rand()` käyttö pienessä ohjelmassa eli tällä tavoin voidaan hyödyntää olemassa olevia funktioita, kuten olemme tehneet jo usein aiemmin, esim. `string.h` -otsikkotiedoston ja `strlen()` sekä `strcmp()` -funktioiden kanssa. Näistä funktioista löytyy tarkempia tietoja `man`-sivuilta ja oppaan lopussa palaamme omien kirjastojen tekemiseen. Satunnaislukujen kohdalla tulee muistaa, että ne ovat pseudosatunnaislukuja ja generaattorin alustus esimerkin mukaisesti tuottaa aina samat tulokset.

Esimerkki 3.12. Kirjaston käyttö, satunnaisluku

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(void) {
    int i;
    srand(5); // Alustetaan satunnaislukugeneraattori
    for (i=0; i < 10; i++)
        printf("Satunnaisluku '%d'.\n", rand());

    return(0);
}
```

Yhteenveto

Kerrataan osaamistavoitteet ja käydään läpi luvun keskeiset tyyliohjeet sekä ohjelmointiesimerkki.

Osaamistavoitteet

Tämän luvun keskeiset asiat on nimetty alla olevassa listassa. Tarkista sen avulla, että tunnistat nämä asiat ja sinulla on käsitys siitä, mitä ne tarkoittavat. Mikäli joku käsite tuntuu oudolta, käy siihen liittyvät asiat uudestaan läpi. Nämä käsitteet ja käskyt on hyvä muistaa ja tunnistaa, sillä seuraavaksi teemme niihin perustuvia ohjelmia.

- Tiedostonkäsittely, tiedoston luku ja kirjoitus
    - Tekstitiedostot, binaaritiedostot, virheenkäsittely
    - Esimerkit
        - Tiedoston kirjoittaminen: 3.1, 3.3 ja 3.13
        - Tiedoston lukeminen: 3.2, 3.3 ja 3.13
        - Binaaritiedoston käsittely: 3.4
- Pääohjelma ja aliohjelmat
    - Ohjelman rakenteen hallinta
    - Tiedonvälistys arvo- ja muuttujaparametreilla sekä paluuarvolla
    - Esimerkit
        - Aliohjelman määrittely, esittely ja kutsu: 3.5

        - Parametrit ja paluuarvot: 3.6, 3.10
        - Arvo- ja muuttujaparametrit: 3.7, 3.10
    - Muuttuja ja osoitin, esimerkit 3.8, 3.10
    - Muuttujien/tunnusten näkyvyys, esimerkki 3.9
    - Makrot, esimerkki 3.11
    - Kirjastojen käyttö, esimerkki 3.12

Nämä asiat on käsitelty Ohjelmoinnin perusteet –kurssilla. Asiat kannattaa kerrata ja opetella C-kielen erityispiirteet niihin liittyen.

Pienen C-perusohjelman tyyliohjeet

Tähän lukuun liittyvät tyyliohjeet on koottu alle. Alla olevia yleisohjeita noudattamalla vältät yleisimmät rakenteisiin tietorakenteisiin liittyvät ongelmat ja perustellusta syystä niistä voi ja tulee poiketa.

Yleisiä tyyliohjeita

1. Tiedostojen avaamisen yhteydessä on oltava virheenkäsittely
2. Kaikki ohjelman varaamat resurssit on vapautettava ohjelman lopuksi
3. Kaikkien pää- ja aliohjelmien on päätyttävä `return`-käskyyn
4. Globaalien muuttujien käyttö on kielletty
5. Makroja kannattaa kokeilla tässä luvussa, muttei käyttää muutoin

Tiedostorakenne

6. Ohjelman alkukommentti
7. Kirjastojen sisällytykset
8. Vakioiden määrittelyt
9. Aliohjelmien esittelyt samassa järjestyksessä kuin niitä käytetään ohjelmassa
10. Pääohjelma
11. Aliohjelmien määrittelyt samassa järjestyksessä kuin ne on esitelty tiedoston alussa

Pää- ja aliohjelman rakenne

12. Pää/aliohjelma alkaa otsikkorivillä, joka koostuu ohjelman paluuarvon tietotyypistä, ohjelman nimestä ja suluista parametreilla sekä aaltosulusta{
13. Muuttujien määrittelyt ja alustukset
14. Tietojen kysyminen käyttäjältä
15. Toiminnallinen osuus, laskenta
16. Tulosten tulostaminen käyttäjälle
17. Lopetusrutiinit, muistin vapautus ja käyttäjän informointi ohjelman loppumisesta
18. Kaikki pää/aliohjelmat päättyvät `return`-käskyyn, suluissa olevaan paluuarvoon ja aaltosulkuun }

Valikkopohjaisen pääohjelman rakenne

19. Toistorakenteena käytetään `do-while` -rakennetta, josta poistutaan toistoehdon ollessa epätosi
20. Ohjelman valikon tulostus ja valinnan kysyminen tehdään valikko-aliohjelmassa
21. Valintarakenteena käytetään monihaaraista `if`-rakennetta
    a. Valintarakenteen haarat vastaavat valikon valintoja samassa järjestyksessä 1-N, jonka jälkeen on ohjelman normaali lopetus valinnalla 0
    b. Valintarakenteen viimeinen `else`-haara käsittelee tuntemattomat valinnat

22. Valintarakenteen haarassa tehdään kaikki valintaan liittyvät toimenpiteet alusta loppuun asti mahdollisesti kutsuen useita eri aliohjelmia
    a. Ennen aliohjelmakutsuja tarkistetaan, että niiden suorittamisessa tarvittavat tiedot ovat olemassa. Jos näin ei ole, ongelma kerrotaan käyttäjälle ja aliohjelmaa ei kutsuta
23. Toistorakenteen viimeinen käsky on valintarakenteen jälkeinen tyhjän rivin tulostus
24. Ohjelman kaikki lopetusrutiinit ovat toistorakenteen jälkeen ennen pääohjelman loppua
25. Ohjelma voi päättyä aiemmin virheenkäsittelyn yhteydessä

Pääohjelman ja valintarakenteen standardifraasit ovat seuraavat:

26. `"Tuntematon valinta, yritä uudestaan.\n"`
27. `"Lopetetaan.\n"`
28. `"Kiitos ohjelman käytöstä.\n"`

Ohjelman tyypillisiä ohjeita ja tiedotteita käyttäjälle ovat mm. seuraavat:

29. `"Anna luettavan tiedoston nimi: "`
30. `"Anna kirjoitettavan tiedoston nimi: "`
31. `"Ei analysoitavaa, lue tiedosto ennen analyysiä.\n"`
32. `"Ei kirjoitettavia tietoja, analysoi tiedot ennen tallennusta.\n"`
33. `"Tiedosto 'TiedostoNimi' luettu.\n"`
34. `"Tiedosto 'TiedostoNimi' kirjoitettu.\n"`
35. `"Tiedosto 'TiedostoNimi' luettu ja tulostettu."`

valikko-aliohjelma

36. Aliohjelma ei saa parametrejä ja se palauttaa käyttäjän valinnan kokonaislukuna
37. Valikon jokainen rivi tulostetaan omalla `printf`-funktiolla, joka päättyy rivinvaihtoon
38. Käyttäjän valinta luetaan `scanf`-funktiolla ja sen jälkeen puskurista poistetaan rivinvaihtomerkki
39. Käyttäjän valinnat numeroidaan alkaen luvusta 1 ja viimeisenä on valinta Lopeta luvulla 0, numeron jälkeen on)-merkki ja välilyönti

valikko-aliohjelman standardifraasit ovat seuraavat:

40. `"Valitse haluamasi toiminto:\n"`
41. `"0) Lopeta\n"`
42. `"Anna valintasi: "`

Aliohjelmat

42. Uusi aliohjelma tulee määritellä, kun
    a. sama/vastaava toiminta tehdään ohjelmassa monta kertaa
    b. ohjelmaan lisätään uusi toiminnallisuus kuten tiedoston luku tai kirjoitus
    c. ohjelman toiminnallisuuden lisäys kasvattaa ohjelmaa ja tekee siitä hankalasti ymmärrettävän
43. Uutta aliohjelmaa ei tule tehdä, jos se ei tuo lisäarvoa

Aliohjelmien tiedonvälitys

44. Tiedot aliohjelmiin välitetään arvoparametreillä ja muuttujaparametreilla
45. Tietoa palautetaan aliohjelmista paluuarvolla ja muuttujaparametreillä
46. Pääohjelma ja kaikki aliohjelmat päättyvät `return`-käskyyn
    a. Mikäli ohjelma ei palauta tietoa, sen tyyppi on `void` ja se päättyy `return;` käskyyn

   b. Mikäli ohjelma palauttaa tietoa, se palautetaan `return`-käskyllä ja kutsuvassa ohjelmassa paluuarvo sijoitetaan muuttujaan tai käytetään palautuksen yhteydessä

Näkyvyys

47. Globaalit muuttujat ovat kiellettyjä
48. Muuttujat määritellään lokaaleina ohjelmissa/koodilohkoissa
49. Vakiot ja aliohjelmat määritellään globaaleina
50. Globaalien vakioiden käyttö on suositeltavaa

Aliohjelmat

51. Aliohjelman nimen tulee kertoa, mitä aliohjelmassa tapahtuu. Käytä tarvittaessa useita sanoja, esim. `analysoiTiedot`, `kirjoitaTiedosto`, `tulostaTiedot`
52. Yhdestä sanasta muodostuvat nimet tulee kirjoittaa kaikki kirjaimet pienellä ja useista sanoista muodostuvien nimien ensimmäiset kirjaimet kirjoitetaan suuraakkosilla ensimmäistä kirjainta lukuun ottamatta, esim. `valikko`, `kysyNimi`, `lueTiedosto`

Tiedostonkäsittely

53. Tiedostonkäsittely tehdään omassa aliohjelmassa, luku ja kirjoitus eri aliohjelmissa
54. Aliohjelma saa ensimmäisenä parametrinä osoittimen luettavan tiedoston nimeen
55. Avaa tiedosto ja tarkista sen onnistuminen virheenkäsittelyllä
    a. Tiedoston lukeminen. Tiedosto avataan luku-tilaan ja lukeminen tehdään `fgets`-funktiolla
    b. Tiedoston kirjoittaminen. Tiedosto avataan kirjoitus-tilassa, mikä poistaa tiedostossa mahdollisesti olleen aiemman sisällön. Kirjoittaminen tehdään `fprintf`-funktiolla
56. Avattu tiedosto suljetaan aina samassa pää-/aliohjelmassa missä se on avattu

Tiedostonkäsittelyn standardifraaseja ovat mm. seuraavat

57. `"Tiedosto 'TiedostonNimi' luettu."`
58. `"Tiedosto 'TiedostonNimi' luettu ja tulostettu."`
59. `"Tiedosto 'TiedostonNimi' kirjoitettu."`

Virhetilanteiden ennakointi ja käsittely

60. Tiedoston avaamisen onnistuminen tulee varmistaa aina virheenkäsittelyllä
61. Tiedostonkäsittelyn virhetilanteessa käyttäjälle kerrotaan ongelmasta ja lopetetaan ohjelma
62. Virhetilanteissa ohjelma lopetetaan `exit(0)`-käskyllä. Virheistä kerrotaan käyttäjälle ensisijaisesti `perror`-funktiolla käyttäen alla olevaa standardia virheilmoitusta. `perror`-funktiota käytettäessä virheilmoitukseen ei laiteta rivinvaihtoa, sillä sen perään tulee `perror`:n standardi virheilmoitus. Mitään siivoustoimenpiteitä ei yritetä tehdä, koska ongelman tarkka syy ja sopivat operaatiot eivät ole tiedossa
    a. `"Tiedoston avaaminen epäonnistui, lopetetaan"`

Luvun asiat kokoava esimerkki

Kokoavassa esimerkissä on valikkopohjainen ohjelma tiedostojen lukemiseen ja kirjoittamiseen. Pääohjelmassa on toistorakenne, josta kutsutaan valikon tulostavaa aliohjelmaa sekä tiedoston lukua ja kirjoitusta käyttäjän valintojen mukaan.

Esimerkki 3.13. Valikkopohjainen ohjelma tiedostojen käsittelyyn

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int valikko() {
    int iValinta;
    printf("Valitse alla olevista valinnoista\n");
    printf("1) Kirjoita tiedosto\n");
    printf("2) Lue tiedosto\n");
    printf("0) Lopeta\n");
    printf("Anna valintasi: ");
    scanf("%d", &iValinta);
    getchar();
    return(iValinta);
}

void kirjoitaTiedosto(char *pNimi) {
    int i;
    FILE *Tiedosto;

    if ((Tiedosto = fopen(pNimi, "w")) == NULL) {
        perror("Tiedoston avaaminen epäonnistui, lopetetaan");
        exit(0);
    }
    for (i=0; i < 20; i++)
        fprintf(Tiedosto, "%d\n", i);
    fclose(Tiedosto);
    printf("Tiedosto '%s' kirjoitettu.\n", pNimi);
    return;
}

void lueTiedosto(char *pNimi) {
    char aRivi[52];
    FILE *Tiedosto;
    printf("Tiedostosta löytyy seuraavat rivit:\n");

    if ((Tiedosto = fopen(pNimi, "r")) == NULL) {
        perror("Tiedoston avaaminen epäonnistui, lopetetaan");
        exit(0);
    }
    while (fgets(aRivi, 52, Tiedosto) != NULL) {
        printf("%s", aRivi);
    }
    fclose(Tiedosto);
    printf("Tiedosto '%s' luettu.\n", pNimi);
    return;
}
```

```c
int main(void) {
    int iValinta;
    char aNimi[] = "tiedosto.txt";

    do {
        iValinta = valikko();
        if (iValinta == 1) {
            kirjoitaTiedosto(aNimi);
        } else if (iValinta == 2) {
            lueTiedosto(aNimi);
        } else if (iValinta == 0) {
            printf("Lopetetaan.\n");
        } else {
            printf("Tuntematon valinta, yritä uudestaan.\n");
        }
        printf("\n");
    } while (iValinta != 0);
    printf("Kiitos ohjelman käytöstä.\n");
    return(0);
}
/* eof */
```

Luku 4. Tietorakenteita ja algoritmeja

Tässä luvussa perehdymme tarkemmin muutamiin uusiin rakenteisiin tietorakenteisiin ja niihin liittyviin algoritmeihin. Lopuksi katsomme C-kielen ominaispiirteitä ennen luvun osaamistavoitteiden listaamista ja kokoavaa esimerkkiä.

Tietorakenteita

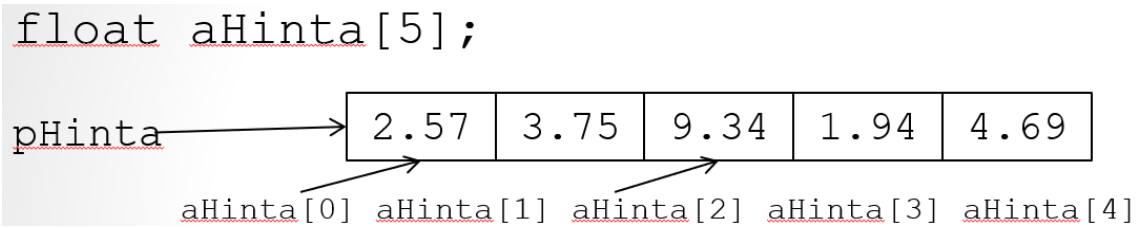
Olemme jo aiemmin käyttäneet merkkitaulukkoa ja C-kielen muut taulukot perustuvat samoihin periaatteisiin ulottuvuuksien määrästä riippumatta. Tietue on taulukkoa täydentävä tietorakenne, johon voidaan tallettaa erityyppisiä tietoalkioita ja siten siihen liittyy uusien tietotyyppien määrittely. Yhteistä taulukolle ja tietueelle on, että ne molemmat sisältävät useita eri tietoalkioita yhden muuttujan sisällä eli ne ovat rakenteisia tietorakenteita. Lopuksi tutustumme komentoriviparametreihin ja katsomme, miten osoittimia käytetään tietueiden kanssa.

Taulukot

Olemme käyttäneet merkkitaulukoita oppaan alusta alkaen. Merkkitaulukko tarkoittaa useita peräkkäisiin muistipaikkoihin talletettuja merkkejä ja taulukko ilmoittaa, kuinka monta peräkkäistä yhden merkin kokoista muistipaikkaa varataan. Tämä tehdään muuttujan nimen perässä olevilla hakasuilla tyyliin `char aNimi[30]`, joka varaisi muistia 30 tavua ASCII-merkkejä varten ja näistä muistipaikoista ensimmäinen löytyy muuttujan nimellä `aNimi`.

C-kielen muut taulukot perustuvat samaan ideaan eli 30 kokonaisluvulle varattaisiin taulukko määrittelyllä `int aTaulukko[30]`. Merkkitaulukko on ainoa taulukko, joka voi sisältää merkkijonon loppumerkin, ’\0’ eli NULL-merkin. Loppumerkin avulla maksimikokoa pienemmille merkkijonoille on luonnollinen esitystapa, mutta muissa taulukoissa, esim. kokonaislukutaulukoissa, ei ole loppumerkkiä. Siksi C-ohjelmissa on pidettävä tarkkaa kirjaa taulukoiden koosta ja varmistuttava, että kaikki alkiot tulevat käytyä läpi eikä ohjelmissa tapahdu ”ylivuotoja” eli jatketa taulukon alkioiden läpikäyntiä niiden loputtua.

Kuvassa 4.1 näkyy liukulukutaulukon määrittely ja sen alkioiden indeksit. Tältä osin taulukko vastaa merkkitaulukkoa. C-kielen tietotyyppien selkeyden takia on syytä muistaa, että taulukon kaikkien alkioiden tulee olla samaa tyyppiä, tässä tapauksessa liukulukuja. Vain merkkitaulukoiden käsittelyyn on olemassa valmiita operaatioita string-kirjastossa ja muut taulukot on käsiteltävä aina alkio kerrallaan ohjelmoijan toimesta. Käytännössä esimerkiksi taulukon kopiointi tarkoittaa toisen vähintään yhtä suuren taulukon varaamista ja tietojen kopioimista alkio kerrallaan ensimmäisestä taulukosta toiseen. Staattisesti varattujen taulukoiden kokoa ei pysty muuttamaan ohjelman suorituksen aikana, joten taulukon tulee olla alusta alkaen riittävän iso ja kun alkioiden määrää ei pysty selvittämään jälkikäteen, joten ohjelmoijan tulee itse pitää kirjaa niistä sopivalla tavalla.



Kuva 4.1. Liukulukutaulukon `aHinta` määrittely 5 luvulle ja alkioiden indeksit

Esimerkissä 4.1 näkyy kokonaislukutaulukon määrittely, arvojen sijoittaminen taulukkoon sekä taulukossa olevien arvojen tulostaminen näytölle. Taulukon määrittelyssä tulee käydä ilmi taulukon koko, mikä tehdään tyypillisesti vakion avulla esimerkin mukaisesti. Määrittelemällä taulukon koko vakiolla, samaa vakiota voidaan käyttää aina taulukon läpikäynnin yhteydessä. Kaikki taulukon alkiot ovat aina samaa tietotyyppiä ja kun taulukon koko on tiedossa etukäteen, on `for`-lause luonnollinen ratkaisu taulukon alkioiden läpikäyntiin niiden indeksien perusteella.

Esimerkki 4.1. Numeerinen taulukko

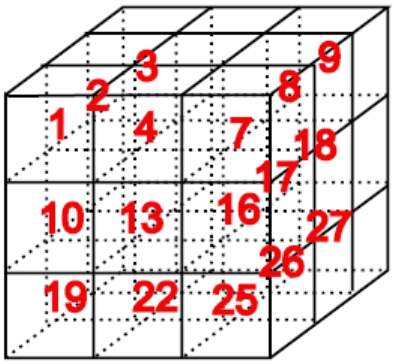
```
#include <stdio.h>
#define KOKO 10

int main(void) {
    int i;
    int aTaulukko[KOKO];
    for (i=0; i < KOKO; i++)
        aTaulukko[i] = i;
    for (i=0; i < KOKO; i++)
        printf("%d ", aTaulukko[i]);
    printf("\n");
    return(0);
}
```

Taulukoiden alustus noudattaa merkkitaulukoiden yhteydessä esiteltyjä periaatteita. Esimerkissä 4.1 varataan taulukko, mutta sen alkioita ei alusteta. Näin ollen C-kääntäjä varaa halutun muistialueen, muttei alusta sitä vaan taulukon arvoina voi olla mitä tahansa. Numeeristen taulukoiden alustus voidaan tehdä aaltosuluilla alla olevaan tyyliin:

```
int aTaulukko2[] = {6, 2, 3};
```

Tällä tavoin taulukon alkioiksi sijoitettaisiin arvot 6, 2 ja 3 kääntäjän toimesta ja taulukko olisi vastaavasti kolmen kokonaisluvun kokoinen. Vaikka tämä onkin nopea tapa päästä alkuun ohjelman kanssa, ei tässä ratkaisussa taulukon alkioiden määrää tule kirjattua ja alkioiden läpikäynti toistorakenteissa voi muodostua hankalaksi ohjelman kasvaessa.

Moniulotteiset taulukot perustuvat samaan ideaan kuin yksiulotteiset taulukot eli varataan muistia useita samanlaisia tietoalkioita varten haluttu määrä. Näin ollen muistialue yhtä tietoalkiota varten varataan muuttujalla, esim. `int iNumero`, ja jos tarvitaan useita alkioita, ilmoitetaan samanlaisten tietoalkioiden määrä nimen perässä hakasuluilla, esim. 5 alkioinen taulukko `int aNumero[5]`. Jos tietoalkiota on 36, voidaan varata muistia `int aNumero[36]` -määrittelyllä, tai jos tietoja on 6 alkiota ja niitä on 6 rivillä, voidaan muistia varata `int aNumero[6][6]` -määrittelyllä eli kaksiulotteisena taulukkona. Myös kolmiulotteinen taulukko muodostuu samalla logiikalla eli lisätään määrittelyyn yksi dimensio lisäämällä uusi hakasulkupari `int aNumero[6][6][6]`. Tältä pohjalta ei ole yllättävää, että C-kielessä voidaan käsitellä haluttu määrä ulottuvuuksia laittamalla sopiva määrä hakasulkuja taulukkomuuttujan määrittelyyn. Teknisesti useat ulottuvuudet eivät ole ongelma, mutta tyypillisesti riittää yksiulotteinen taulukko merkkijonoille ja kaksiulotteinen taulukko sopii hyvin tietojen esittämiseen taulukkolaskennan tyyliin riveinä ja sarakkeita. 3D mallinnuksen, ja pelien, yleistyessä joudutaan tietoja käsittelemään myös kolmessa ulottuvuudessa, mutta harva pystyy hahmottamaan ja hyödyntämään tätä useampia ulottuvuuksia. Kuvassa 4.2 näkyy kolmiulotteisen taulukon visualisointi ottamatta kantaa siihen, missä origo on ja miten alkiot tulisi käydä läpi jne.



Kuva 4.2. Kolmiulotteisen taulukon visuaalinen esitys. Origo ja akselit määräytyvät sovellusalueen mukaan eikä yhtä ainutta oikeaa ratkaisua ole olemassa.

C-koodissa ulottuvuudet näkyvät siis hakasulkujen määränä. Alla on määritelty 2-ulotteinen taulukko, matriisi, hyödyntäen vakioita RIVI ja SARAKE, ja matriisi on alustettu arvoilla sen määrittelyn yhteydessä.

```
#define RIVI 2
#define SARAKE 2
int aMatriisi[RIVI][SARAKE] = {{1,2}, {3,4}};
```

Matriisin läpikäynti on ohjelmoinnin perusoperaatioita, joka käydään läpi tämän luvun toisessa osassa algoritmien yhteydessä.

Tietue

Monet sovellukset käsittelevät henkilötietoja ja tällöin joudutaan käsittelemään useita erityyppisiä tietoja kuten esimerkiksi etunimi, sukunimi, syntymäaika, osoite jne. Tällaisia useista tiedoista koostuvia tietokokonaisuuksia tarvitaan enenevässä määrin ja siksi useimmat ohjelmointikielet tarjoavat keinoja yhdistää useita muuttujia yhteen tietorakenteeseen. C-kielessä tällaista rakennetta kutsutaan tietueeksi ja se luodaan `struct`-avainsanalla. Sen määrittely ja käyttö muistuttavat Pythonin luokkarakennetta, kun ei huomioida jäsenfunktioita, ja määrittely tehdään seuraavalla syntaksilla:

```
struct tietueen_nimi{
     tietueen jäsenet, tietotyyppi ja nimi;
};
```

Kun tietue on luotu, voimme tehdä tietueen rakenteen mukaisia muuttujia käskyllä ’`struct tietueen_nimi muuttuja;` ’ esimerkin 4.2 mukaisesti.

Esimerkki 4.2. Tietueen määrittely ja käyttö

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>

struct henkilo {
    char aNimi[30];
    int iIka;
    char aOsoite[30];
};

int main(void) {
    struct henkilo Henkilo;
    Henkilo.iIka = 17;
    strcpy(Henkilo.aOsoite, "sihijuomakatu");
    /* strcpy eli string copy - kopioi merkkijono */
    printf("Anna henkilön nimi:\n");
    scanf("%s", Henkilo.aNimi);
    if (Henkilo.iIka < 18) {
        printf("%s on alaikäinen.\n", Henkilo.aNimi);
    }
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E4_2
Anna henkilön nimi:
Hjördis
Hjördis on alaikäinen.
```

Kuinka ohjelma toimii

Jotta tietueita voisi käyttää, pitää lähdekoodin alussa kertoa kääntäjälle, mitä tietueita lähdekoodissa käytetään. Tämä tapahtuu kirjoittamalla tietueiden määrittelyt lähdekoodiin päätasolle ennen niiden käyttöä eli ennen funktioesittelyitä ja toiminnallista koodia. Seuraava koodi luo tietueen `henkilo`:

```
struct henkilo {
    char aNimi[30];
    int iIka;
    char aOsoite[30];
};
```

Tietueen jäsenmuuttujina ovat merkkitaulukko `aNimi`, kokonaislukumuuttuja `iIka` sekä merkkitaulukko `aOsoite`. Kun olemme luoneet tietueen, voimme käyttää sitä koodissa. Tässä vaiheessa olemme kertoneen kääntäjälle, että lähdekoodissa voi esiintyä tällainen tietorakenne. Tämän vuoksi main-funktion sisällä on rivi

```
struct henkilo Henkilo;
```

jolla luomme tietueen tyyppisen muuttujan. Rivi siis kertoo, että luomme tietuetyypin `henkilo` mukaisen muuttujan `Henkilo`. Tästä eteenpäin voimme käyttää `Henkilo`:n jäsenmuuttujia kuten normaaleja muuttujia. Esimerkin muilla riveillä näkyy mm. merkkijonojen kopiointi jäsenmuuttujaan, jäsenmuuttujan käyttö `if`-rakenteen ehtona sekä jäsenmuuttujien tulostus. Huomaa, että tietueen jäsenmuuttujiin viitataan pistenotaatiolla Pythonin tapaan eli ensin on muuttujan nimi, sitten piste ja lopuksi käsiteltävän tietorakenteen sisäisen muuttujan eli jäsenmuuttujan nimi, esimerkiksi `Henkilo.aOsoite`.

Uuden tietotyypin määrittely

Omien *tietueiden* lisäksi C-kielessä voi määritellä omia *tietotyyppejä* tarpeen mukaan. Alla esimerkissä 4.3 näkyy tietueen '`struct henkilo`' määrittely ja miten siitä voidaan määritellä oma tietotyyppi kahdella eri tavalla.

Esimerkki 4.3. Tietueen määrittely uudeksi tietotyypiksi

```
/*****************************************************/
// typedef vaihtoehto 1:
struct henkilo {                // Tietueen määrittely
    char aNimi[30];
    int iIka;
};
struct henkilo Henkilo1;        // Muuttujan määrittely
typedef struct henkilo HENKILO; // Tietotyypin määrittely
HENKILO Henkilo2;               // Muuttujan määrittely
HENKILO *pHenkilo1;             // Osoittimen määrittely
/*****************************************************/
// typedef vaihtoehto 2:
typedef struct henkilo { // Tietueen ja tietotyypin määrittely
    char aNimi[30];
    int iIka;
} HENKILO;
HENKILO Henkilo3;
HENKILO *pHenkilo2;
/*****************************************************/
```

Vaihtoehto 1 noudattaa samaa kaavaa kuin Esimerkki 4.2, jossa määriteltiin ensin tietue `struct henkilo` ja sen jälkeen siihen perustuen muuttuja `struct henkilo Henkilo1;`. Uuden tietotyypin määrittely perustuu samaan tietueeseen, `struct henkilo`, jota edeltää avainsana `typedef` ja jota seuraa uuden tietotyypin nimi `HENKILO` eli `typedef struct henkilo HENKILO;`. Tämän jälkeen uutta tietotyyppiä voidaan käyttää muuttujien ja osoittimien määrittelyyn samalla tavalla kuin muita tietotyyppejä kuten `int`. Tässä oppaassa itse määritellyt tietotyypit kirjoitetaan SUURAAKKOSILLA selkeyden vuoksi, eikä se ole pakollista.

Vaihtoehto 2 määrittelee uuden tietotyypin samalla tavoin kuin vaihtoehto 1, mutta tiivistää tietueen ja tietotyypin määrittelyt yhteen lauseeseen. Käytännössä vaihtoehto 2 noudattaa vaihtoehdon 1 `typedef`-lausetta, mutta sisältää tietueen jäsenmuuttujien määrittelyt samassa lauseessa eli `typedef struct henkilo {} HENKILO;`, kun aaltosulkuihin lisätään jäsenmuuttujat yllä olevan esimerkin 4.3 mukaisesti.

Tämän luvun lopussa on esimerkki 4.8 toimivasta ohjelmasta, jossa määritellään uusi tietotyyppi, muodostetaan siitä taulukko ja lopuksi tallennetaan sekä luetaan taulukko binaarimuodossa.

Komentoriviparametrit

Komentoriviparametrit ovat C-ohjelman pääohjelman, `main`-funktion, parametreja. Ne toimivat vastaavalla tavalla kuin minkä tahansa aliohjelman parametrit, mutta koska komentoriviparametrit saavat arvokseen käyttäjän komentorivillä antamat tiedot, on niiden toiminnassa muutama huomioitava asia.

C-kielessä komentoriviparametrien käyttöönotto on yksinkertaista. Olemme aiemmin määritelleet `main`-funktion seuraavalla tavalla:

```
int main(void)
```

Mikäli haluamme, että käyttäjä voi syöttää jo ohjelman käynnistyksen yhteydessä jotain tietoa, kuten kohdetiedoston nimen tai muita toimintaa ohjaavia parametreja, tarvitsemme keinon siirtää käyttäjän antamat syötteet `main`-funktiolle. Tämä on itse asiassa helppoa, sillä meidän tarvitsee vain muuttaa `main`-funktion parametrimäärittely seuraavaan muotoon:

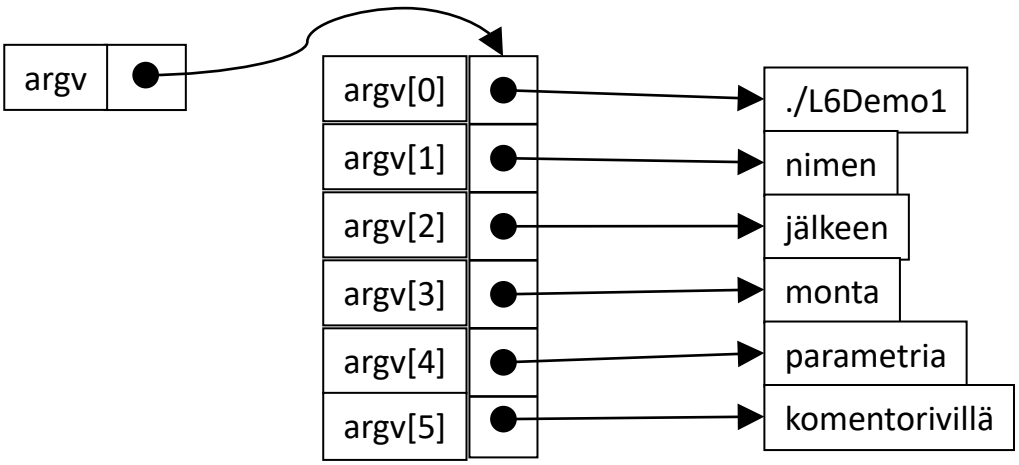
```
int main(int <LukumäärämuuttujanNimi>, char *<ParametrilistanNimi>[])
```

eli tyypillisesti

```
int main(int args, char *argv[])
```

Tämän jälkeen kääntäjä hoitaa loput. Näillä muutoksilla näemme annettujen parametrien määrän kokonaislukuna ensimmäisestä muuttujasta ja itse parametrit toisesta muuttujasta merkkijonoina. Yksittäisiin parametreihin voimme viitata notaatiolla `argv[i]`, jossa `i` on parametrin järjestysnumero. Parametri 0 on ajettavan tiedoston nimi ja täten ensimmäinen varsinainen parametri on indeksillä 1. `main`-ohjelma saa aina vähintään yhden parametrin eli ohjelman nimen. Kuva 4.3 visualisoi komentoriville kirjoitettua tekstiä sekä miltä se näyttää `main`-ohjelmassa `argv`-parametrin arvoina.

Komentorivi: `./L6Demo1 nimen jälkeen monta parametria komentorivillä`



Kuva 4.3. Komentorivin siirtyminen main-ohjelmaan argv-rakenteen avulla

Komentoriviparametrien käyttö C-ohjelmassa näkyy esimerkissä 4.4. Kaikki komentoriviparametrejä käsittelevä koodi pitää kirjoittaa itse.

Esimerkki 4.4. Komentoriviparametrit

```
#include <stdio.h>
/* main-funktion parametrit:
 * argc - integer-muuttuja, johon tulee tieto parametrien määrästä
 * argv - argument vector eli merkkitaulu, jossa on itse parametrit
 */

int main(int argc, char *argv[]) {
    int i;
    printf("Annoit %d komentoriviparametria, jotka olivat:\n", argc);
    for (i = 0; i < argc; i++) {
        printf("%d. parametri oli %s\n", i, argv[i]);
    }
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E4_4 yksi kaksi 313
Annoit 4 komentoriviparametria, jotka olivat:
0. parametri oli ./E4_4
1. parametri oli yksi
2. parametri oli kaksi
3. parametri oli 313
```

Kuinka ohjelma toimii

Koodi ei näytä ohjelmoijalle kovinkaan yllättävältä. Otimme käyttöön komentoriviparametrit lisäämällä `main`-funktion määrittelyyn parametrit `int argc` ja `char *argv[]`, jotta voimme vastaanottaa parametreja. Tämän jälkeen tulostamme saadut parametrit `argv`-taulukosta `for`-lauseen avulla. Huomaa edelleen, että ”0. parametri” oli suoritettavan tiedoston nimi (nyt `./E4_4`) ja että parametrien yhteismäärä `argc`-muuttujassa oli 4, joka on käyttöjärjestelmän tälle ohjelmalle välittämien parametrien lukumäärä.

Viimeinen parametri oli tällä kertaa numero merkkijonona, joten katsotaan sitä tarkemmin. Koska `argv`:n parametrit ovat merkkijonoja, emme voi käyttää arvoa ”313” muuttamatta sitä ensin luvuksi. C-kielessä merkkijonon muutos numeroksi tehdään esim. funktiolla `atoi()`, joka muuttaa merkkijonon kokonaisluvuksi (**a**scii-**to**-**i**nteger). C-kielelle tyypillisesti funktiot tekevät vain pyydetyn muunnoksen ja muunnosfunktioita on useita, esim. `atoi()`, `atol()` ja `atof()`, jotka ottavat parametrina merkkijonon ja palauttavat halutun numeron (`int`, `long`, `double`). Lisäksi on muita samantyylisiä funktioita kuten `strtol()`, `strtof()` ja `strtod()`, joten näitä kannattaa katsoa, jos `int atoi(char *ptr)`/`double atof(char *ptr)` ei vastaa tarvetta. Tämän oppaan osalta näillä kahdella pääsee pitkälle, mutta tarpeita on erilaisia ja siksi myös erilaisia vaihtoehtoja muunnosten toteutukseen on olemassa. Tyyppimuunnosfunktioita löytyy lisää liitteestä 3 ja funktioiden tarkat tiedot löytyvät `man`-sivuilta.

Tietue-osoitin

C-kieli tarjoaa tyypillisesti tehtävien tekemiseen useita vaihtoehtoja, joilla on pieni mutta merkitsevä ero. Muuttuja ja osoitinmuuttuja ovat hyviä esimerkkejä tästä ja siksi niistä on puhuttu käytännössä kaikissa tämän oppaan luvuissa. Tietue-tietotyypin esittelyn vuoksi kerrataan muuttujan ja osoittimen perusasiat ja katsotaan sitten, miten tietueita käytetään osoittimien kanssa.

Alla on tyypillinen ohjelmakoodi, jossa määritellään muuttuja ja osoitin samantyyppiseen muuttujaan. Muuttujan määrittely varaa muistia ko. muuttujalle, jotta siihen voidaan sijoittaa arvo ja arvo on sen jälkeen käytettävissä ohjelmassa muuttujan nimellä. Osoittimen määrittely varaa muistia vain osoittimelle, joten osoitin ei pysty tallettamaan varsinaista tietoa eli arvoja vaan osoitin voi vain osoittaa muistipaikkaan ja käyttää siellä olevaa arvoa. Näin ollen arvo tulee sijoittaa muuttujaan, ja kun osoittimeen laitetaan muuttujan osoite, päästään arvoon käsiksi sekä muuttujan että osoittimen kautta alla olevan esimerkin mukaisesti.

```
// Määrittelyt
int iLluku;    // Muuttuja: varaa muistia arvolle
int* pLuku;    // Osoitin: osoittaa lukuun muttei varaa muistia arvolle

// Käyttö
iLuku = 2;
pLuku = &iLuku;
printf(”%d, %d”, iLuku, *pLuku);
```

Tietueiden kohdalla on pidettävä erillään (1) tietueen määrittely, (2) tietotyypin määrittely, (3) muuttujan määrittely ja (4) osoittimen määrittely. Esimerkissä 4.5 määritellään ensin tietue `struct henkilo`, sitten siihen perustuva tietotyyppi `HENKILO` ja lopuksi määritellään tähän tyyppiin perustuva muuttuja `Henkilo` ja osoitin `pHenkilo`. Tässä esimerkissä osoitin laitetaan osoittamaan muuttujalle varattuun muistialueeseen ja jäsenmuuttujien arvojen asettamisen voi katsoa esimerkistä 4.2, sillä oleellista on nyt huomata, miten jäsenmuuttujiin viitataan muuttujalla ja osoittimella. Esimerkin 4.2 mukaisesti muuttujan jäsenmuuttujiin viitataan pistenotaatiolla (esim. `Henkilo.iIka`), ja näin ollen osoitinmuuttuja mahdollistaa myös jäsenmuuttujiin viittaamisen pistenotaatiolla (esim. `(*pHenkilo).iIka`). Tätä viittaustyyliä käytetään kuitenkin harvoin ja tyypillisesti osoittimien yhteydessä käytetään nk. nuoli-notaatiota eli esim. `pHenkilo->iIka`.

Esimerkki 4.5. Tietueen jäsenmuuttujat ja osoitin

```
struct henkilo {                    // Uuden tietue-tietorakenteen
    char aNimi[30];                 // määrittely
    int iIka;
};

    typedef struct henkilo HENKILO; // Uuden tietotyypin määrittely
    HENKILO Henkilo;                // Uuden tietue-muuttujan määrittely
    HENKILO *pHenkilo;              // Uuden tietue-osoittimen määrittely
    pHenkilo = &Henkilo;            // Osoittimen arvoksi muuttujan osoite

    ... // Jäsenmuuttujien arvojen asettaminen, ks. Esimerkki 4.2

    printf("Ikä on %d, nimi on %s.\n", Henkilo.iIka, Henkilo.aNimi);
```

```
printf("Ikä on %d, nimi on %s.\n", (*pHenkilo).iIka, (*pHenkilo).aNimi);
printf("Ikä on %d, nimi on %s.\n", pHenkilo->iIka, pHenkilo->aNimi);
```

Nuoli-notaation käyttöön tietue-osoittimissa palataan jatkossa useaan otteeseen. Se on tyypillinen C-ohjelmoijien käyttämä esitystapa, joten se on normaalia C-ohjelmointityyliä. Jokainen voi valita itselleen sopivan ohjelmointityylin erityisesti tämän oppaan laajuudessa.

Algoritmeja

Tutustuimme edellä muutamiin uusiin tietorakenteisiin, joista algoritmien kannalta kiinnostavin on moniulotteinen taulukko ja matriisi. Tämän jälkeen tutustumme rekursiivisen ohjelman toimintaan.

Taulukon alkioiden käsittely

Moniulotteisten taulukoiden määrittely ja rakenne käytiin läpi aiemmin tässä luvussa, mutta jätimme niiden läpikäynnin tänne algoritmipuolelle. Taulukoiden keskeinen ominaisuus on alkioiden lukumäärän määrittely etukäteen ja siten taulukoita käydään tyypillisesti läpi `for`-silmukalla, joka tarjoaa selkeän askeltajan ja samalla indeksin taulukon alkioihin kuten näimme merkkitaulukoiden kohdalla. Moniulotteisen taulukon kohdalla kaikki ulottuvuudet käydään läpi vastaavasti eli kaikkien indeksien kaikki arvot tulee käydä läpi. Katsotaan seuraavaksi matriisin eli kaksi ulotteisen taulukon läpikäynti, koska se on tyypillinen taulukkolaskennan rivi-sarake -rakenne. Mikäli ulottuvuuksia on enemmän, kuten esim. 3D-mallinnuksessa ja grafiikassa, lisätään taulukkoon kolmas ulottuvuus ja se käydään läpi vastaavalla tavalla kuin matriisi eli 2D-malli.

Esimerkissä 4.6 näkyy 2x2 matriisin määrittely, alustus ja tulostus näytölle. Matriisin rivien ja sarakkeiden määrät ovat vakioita, jotta kääntäjä pystyy alustamaan ohjelman käyttämän muistin oikein. Määrittelemällä ulottuvuuksien maksimiarvot vakioilla, on vakioita helppo käyttää myös silmukoiden maksimiarvoina ja kaikki taulukon alkiot tulee käytyä läpi. Rivien ja sarakkeiden järjestyksessä oleellista on yhteisymmärrys ohjelmaa käyttävien kesken, mutta näytölle tulostettaessa on syytä tulostaa ensin kaikki yhden rivin alkiot eli käydä sarakkeet läpi ja sen jälkeen siirtyä seuraavalle rivillä ja tulostaa kaikki toiselle riville kuuluvat alkiot jne. C-ohjelmassa on syytä huomata esimerkin aaltosulut. Kaikki yhdelle riville tulevat tietoalkiot saadaan tulostumaan oikein ilman aaltosulkuja, mutta rivin loppuun tuleva rivinvaihtomerkki pakottaa tekemään rivin tulostuksesta koodilohkon, johon kuuluu kaikkien tietoalkioiden tulostus ja sen lisäksi rivinvaihto.

Esimerkki 4.6. 2-ulotteisen taulukon eli matriisin läpikäynti

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define RIVI 2
#define SARAKE 2

int main(void) {
    int i, j;
    int aMatriisi[RIVI][SARAKE] = {{1,2}, {3,4}};
    for (i=0; i < RIVI; i++) {
        for (j=0; j < SARAKE; j++)
            printf("%d ", aMatriisi[i][j]);
        printf("\n");
    }
    return(0);
}
```

Taulukoiden läpikäynti on luontevaa toistorakenteilla ja indekseillä, sillä tieto alkioiden määrästä tekee tästä lähestymistavasta luonnollisen. Samaan lopputulokseen päästään myös osoittimilla, mutta tässä tapauksessa osoitin ei tuo lisäarvoa eikä helpota ratkaisua. Näin ollen taulukot käydään tyypillisesti läpi indekseillä osoittimien sijasta.

Moniulotteisten taulukoiden läpikäynnissä oleellista on systemaattinen kaikkien ulottuvuuksien läpikäynti kaikkien arvojen osalta. Missä järjestyksessä ulottuvuudet käydään läpi, on syytä sopia koodia käyttävien tahojen kanssa, ettei asiasta muodostu ongelmaa. On hyvä muistaa, että peruskoulussa koordinaatiston origo oli ”vasemmassa alakulmassa” ja näin X ja Y arvojen kasvaessa käyrä siirtyi ”oikealle yläkulmaan”. Tietokoneen näytöllä 0,0-piste on kuitenkin tyypillisesti vasemmassa ylänurkassa ja Y-koordinaattien kasvu vie näytöllä alaspäin. Siksi koordinaatistoista on syytä sopia etukäteen, ettei tule ongelmia integroitaessa eri henkilöiden toteuttamia moduuleja.

Rekursio

Luvussa 2 tutustuttiin toistorakenteisiin `for`, `while` ja `do-while`, jotka ovat normaali tapa käydä läpi sama koodilohko useita kertoja. Toistettava koodilohko voidaan toteuttaa myös aliohjelmana ja laittaa se kutsumaan itseään eli tehdä rekursiivinen aliohjelma. Rekursion hyviä puolia ovat sen tyypillisesti tiivis toteutus sekä hyvä sopivuus tiettyihin tehtäviin ja tietorakenteisiin, kun taas kääntöpuolena on aliohjelmakutsuihin perustuvan toteutuksen hitaus ja muistintarve.

Rekursiivisen aliohjelman idea on yksinkertainen – aliohjelma jakautuu kahteen haaraan, joista toinen kutsuu samaa aliohjelmaa uudella parametrin arvolla ja toinen haara palauttaa lopetusehdon täyttyessä lopetusarvon.

```
int aliohjelma(parametri) {

    Jos parametri == lopetusehto, tyypillisesti parametri on 1 tai 0.

        Lopeta, palauta sopiva arvo, esim. 1

    Muutoin

        Kutsu itseä uudella parametrin arvolla, esim. (parametri-1)

}
```

Rekursio sopii hyvin esim. kertoman laskuun, jossa luku kerrotaan kaikilla itseään pienemmillä positiivisilla kokonaisluvuilla. Alla olevasta esimerkistä käy ilmi, miten kertoma voidaan laskea yksinkertaisella rekursiivisella aliohjelmalla.

Esimerkki 4.7. Rekursio

```c
#include <stdio.h>

int kertoma(int x) {
    if (x == 0) // Lopetusehto
        return 1;
    else // Kutsuu itseään, eri arvolla !!
        return (x * kertoma(x - 1));
}

int main(void) {
    int iLuku = 6;
    printf("Luvun %d kertoma on %d.\n", iLuku, kertoma(iLuku));
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E4_7
Luvun 6 kertoma on 720.
```

Kuinka ohjelma toimii

Esimerkki kutsuu `kertoma`-aliohjelmaa parametrina luku 6. Aliohjelmassa 6 ei ole 0, joten suoritus siirtyy valintarakenteen `else`-haaraan, jossa on kutsu `kertoma`-aliohjelmaan arvolla 6-1 eli 5. Tämä sama toistuu, kunnes `kertoma`-aliohjelmaan tullaan parametrin arvolla 0, joka johtaa `if`-haaran suorittamiseen ja aliohjelma palauttaa arvon 1 kutsuvalle ohjelmalle. Arvon palauttaminen kutsuvalle ohjelmalle johtaa pinossa olevan edellisen `kertoma`-kutsun suorituksen jatkumiseen ja `kertoma(1-1)`:n tilalle tulee paluuarvo 1, joka kerrotaan vielä `x`:n arvolla 1 ja funktio palauttaa kutsuvaan ohjelmaan 1:n. Tämä johtaa edellisen aliohjelmakutsun palauttamiseen pinosta ja `kertoma(2-1)`:n tilalle tulee nyt 1 ja ohjelma palauttaa kutsuneelle ohjelmalle arvon 2*1 eli 2. Koska ensimmäinen kutsu tehtiin arvolla 6, suorittaa `kertoma`-aliohjelman `else`-haara käytännössä laskun 6*5*4*3*2*1*1 eli siis 6!, kuten alkuperäinen tehtävä oli.

C-kielen ominaispiirteitä

C-kielen tyypillisiä piirteitä on osoittimien aktiivinen käyttö. Katsotaan asiaa seuraavaksi vähän laajemmin eli miksi osoittimia käytetään ja mikä on tämän kurssin osalta keskeinen osoittimen käyttötapa. Samoin C-kielessä määritellään usein uusia tietueita, joten katsotaan niiden käyttöä taulukoiden ja binaaritiedostojen kanssa. Tämä osuus demonstroi, miten erilaisilla rakenteilla pystyy tuottamaan tiivistä koodia, vaikka erityisesti binaaritiedostojen kanssa tulee olla varovainen siirrettävyysongelmien välttämiseksi.

Osoittimien käyttö

C-kielessä käytetään tyypillisesti paljon osoittimia ja tähän on useita syitä. Ensinnäkin käsiteltäessä suuria tietomääriä tiedon kopiointi on hidas operaatio ja vaihtoehtona oleva osoittimen arvon välittäminen on nopea tapa saada tieto käytettäväksi esimerkiksi aliohjelmaan. Tarpeeton isojen tiedostojen, esim. 10MB valokuvien, kopiointi voi myös johtaa muistin loppumiseen etenkin siirreltäessä suuria tietomääriä kuten tuhansia valokuvia. Toinen tyypillinen syy osoittimien käyttöön on se, että palauttamalla aliohjelmasta esimerkiksi kopioidun merkkijonon ensimmäisen merkin osoite, voidaan sitä mahdollisesti hyödyntää heti seuraavassa käskyssä eli nopeuttaa ohjelman toimintaa. Kolmanneksi osoittimien käyttö tarjoaa joustavuutta, sillä osoitin-konsepti toimii vastaavalla tavalla niin muuttujien kuin funktioidenkin kohdalla. Yhdellä muuttuja-osoittimella voi osoittaa eri tietoalkioihin ja vastaavasti funktio-osoittimella voi osoittaa eri funktioihin ja tehdä eri toimintoja tarpeen mukaan.

Tässä oppaassa keskitymme osoittimien käyttöön muuttujien yhteydessä ja niiden tarjoamaan joustavuuteen. Tyypillinen osoitinmuuttujan rooli on askeltaja, joka käy läpi esimerkiksi merkkijonon kaikki merkit aiemman esimerkin 2.12 mukaisesti. Tämän esimerkin oleelliset rivit näkyvät alla eli ohjelmassa määritellään ensin merkkitaulukko, jossa on kiinnostava tieto. Tämän jälkeen määritellään merkkiosoitin, jolla käydään läpi kaikki merkkijonon merkit yksitellen ja tulostetaan ne näytölle. Osoitin toimii liukurina, joka liukuu tietoalkiosta toiseen ja mahdollistaa tietoalkion käsittelyn halutulla tavalla. Tulemme palaamaan tähän asiaan myöhemmin muiden tietorakenteiden yhteydessä, joten alla olevaan yksinkertaiseen esimerkkiin kannattaa tutustua huolella, jotta liukuri-ideaa pystyy laajentamaan myöhemmin muihin tietorakenteisiin.

```
char aLause[] = "C-kieli on kivaa.";
char *ptr = aLause;

while (*ptr != '\0') {
    printf("%c\n", *ptr);
    ptr++;
}
```

Komentoriviparametrien `argv`-osuus aiheuttaa ajoittain hämmennystä ja aina ei ole selvää, miten se pitäisi määritellä. Alla on kolme eri vaihtoehtoa, joista periaatteessa kaikkia voisi käyttää, mutta kääntäjä ei hyväksi viimeistä vaihtoehtoa, jossa `argv` on kaksiulotteinen taulukko. Näin ollen `**argv` sekä `*argv[]` ovat kääntäjän kannalta hyväksyttäviä vaihtoehtoja ja molemmat myös toimivat ongelmitta. Näistä ”oikeampi” määrittely on `*argv[]`, jonka mukaan `argv` on taulukko osoittimia merkkitaulukoihin, joissa on kaikki komentorivin parametrit ohjelman käytettävissä.

```
int main(int argc, char *argv[]) // Oikea määrittely, käytä tätä
int main(int argc, char **argv)
int main(int argc, char argv[][])
```

Tiivistäen * tarkoittaa osoitinta ja [] on taulukon tunnus eli sillä pystyy osoittamaan haluttuun taulukon alkioon. Näin ollen `*argv` ja `argv[]` osoittavat molemmat yhteen merkkiin, `char`, ja kun tästä lähdetään etenemään merkkijonon loppua eli NULL-merkkiä kohti, molemmat merkinnät toimivat samalla tavoin. Käytännössä ohjelmoijan kannattaa pyrkiä mahdollisimman oikeisiin merkintöihin, jotta kääntäjä ja muut aputyökalut voivat varoittaa mahdollisista koodin ongelmista ja riskeistä. Näin ohjelmoijalla on paremmat mahdollisuudet eliminoida ongelmat ennen kuin ohjelma lähtee asiakkaalle ja tuotantoon, mikä jälkeen korjauskustannukset nousevat merkittävästi.

Tietue ja binaaritiedosto

Tämän luvun alussa käsittelimme taulukoita ja totesimme, että taulukon alkioina voi olla mitä tahansa tietotyyppejä. Kun tämän jälkeen esittelimme tietueen, heräsi luonnollisesti kysymys siitä, voiko myös tietuetta käyttää taulukon alkiona. Jottei tästä asiasta jää epäselvyyttä, määritellään esimerkissä 4.8 uusi tietue, luodaan sen avulla taulukko ja talletetaan taulukon tiedot tiedostoon. Käytämme tällä kertaa binaaritiedostoa, sillä C-kielen toteutuksesta johtuen luotu taulukko voidaan tallettaa yhdellä käskyllä.

Esimerkki 4.8. Tietuetaulukko ja binaaritiedoston käsittely

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define LKM 3

typedef struct henkilo {
    char aNimi[30];
    int iIka;
} HENKILO;

int main(void) {
    HENKILO aHenkilo[LKM] = {{"Ville", 5},{"Kalle", 6},{"Erkki", 56}};// 1
    HENKILO *pHenkilo = aHenkilo;
    FILE *Tiedosto;

    printf("Kirjoitetaan binaaritiedosto.\n");                        // 2
    if ((Tiedosto = fopen("Hlo.bin", "wb")) == NULL) {                // 3
        perror("Tiedoston avaaminen epäonnistui");
        exit(0);
    }
    fwrite(aHenkilo, sizeof(aHenkilo), 1, Tiedosto);                  // 4
    fclose(Tiedosto);

    printf("Nimi '%s' ja ikä %d.\n", pHenkilo->aNimi, pHenkilo->iIka);
    pHenkilo++;
    printf("Nimi '%s' ja ikä %d.\n", pHenkilo->aNimi, pHenkilo->iIka);
    return(0);
}
```

Edellä olevassa esimerkissä *kirjoitettiin* taulukko binaaritiedostoon, mutta sen *lukeminen* on yhtä helppoa. Esimerkin oikeassa reunassa on kommenteilla merkitty rivit, joita muokkaamalla alla

olevalla tavalla saadaan binaaritiedoston kirjoittavasta ohjelmasta tehtyä binaaritiedoston lukeva ohjelma. Rivikohtaiset muutokset on merkattu molempiin koodeihin keltaisella, jotka ovat (1) luettava tietorakenne voidaan jättää määrittelyvaiheessa tyhjäksi, sillä lukeminen täyttää taulukon tiedoilla; (2) käyttäjälle kerrotaan, että nyt tiedosto *luetaan*; (3) tiedosto tulee avata lukemista varten ja (4) lukeminen tapahtuu `fread`-käskyllä.

```
HENKILO aHenkilo[LKM];                              // 1
printf("Luetaan binaaritiedosto.\n");               // 2
if ((pTiedosto = fopen("Hlo.bin", "rb")) == NULL) { // 3
fread(aHenkilo, sizeof(aHenkilo), 1, pTiedosto);    // 4
```

Ohjelmassa käytetään taulukon yhteydessä osoitinta demonstroimaan osoittimen käyttöä tietueen kanssa. Tämä ratkaisu ei ole optimaalinen, sillä esimerkiksi taulukon alkioiden tietojen tulostus toistorakenteella olisi johtanut lyhyempään ohjelmaan.

Yhteenveto

Kerrataan osaamistavoitteet ja käydään läpi luvun keskeiset tyyliohjeet sekä ohjelmointiesimerkki.

Osaamistavoitteet

Tämän luvun keskeiset asiat on nimetty alla olevassa listassa. Tarkista sen avulla, että tunnistat nämä asiat ja sinulla on käsitys siitä, mitä ne tarkoittavat. Mikäli joku käsite tuntuu oudolta, käy siihen liittyvät asiat uudestaan läpi. Nämä käsitteet ja käskyt on hyvä muistaa ja tunnistaa, sillä seuraavaksi teemme niihin perustuvia ohjelmia.

- Tietorakenteet
    - taulukot: 2, 3 tai enemmän ulottuvuuksia, esimerkki 4.1
    - tietue: tietueen ja tietotyyppien määrittely sekä käyttö, esimerkit 4.2, 4.3, 4.9
    - komentoriviparametrit: määrittely ja käyttö, esimerkit 4.4, 4.9
    - muuttuja, osoite ja osoitin: määrittely ja käyttö, tietue ja osoitin, esimerkit 4.5, 4.8, 4.9
- Algoritmit
    - matriisi: läpikäynti kahdella toistorakenteella, esimerkki 4.6
    - rekursio: esimerkki 4.7
    - tietuetaulukko ja binaaritiedosto: esimerkki 4.8
    - osoittimen käyttö liukurina tietorakenteen alkioihin: esimerkki 2.12
    - tietue arvo- ja muuttujaparametrinä: esimerkki 4.9

Pienen C-perusohjelman tyyliohjeet

Tähän lukuun liittyvät tyyliohjeet on koottu alle. Alla olevia yleisohjeita noudattamalla vältät yleisimmät rakenteisiin tietorakenteisiin liittyvät ongelmat ja perustellusta syystä niistä voi ja tulee poiketa.

Yleisiä tyyliohjeita

1. Staattisesti varattavan taulukon koko on määriteltävä vakiolla käännösvaiheessa
2. Rekursiota käytetään vain tehtävänannossa niin sanottaessa

Tiedostorakenne

3. Ohjelman alkukommentti
4. Kirjastojen sisällytykset
5. Vakioiden määrittely
6. Tietueiden määrittely
7. Aliohjelmien esittelyt samassa järjestyksessä kuin niitä käytetään ohjelmassa
8. Pääohjelma
9. Aliohjelmien määrittelyt samassa järjestyksessä kuin ne on esitelty tiedoston alussa

Tietueet

10. Tietueet määritellään globaaleina
11. Tietue tulee nimetä pienaakkosilla, esim. `struct henkilo`
12. Tietueesta tulee määritellä uusi tietotyyppi, joka nimi on sama kuin tietueella, mutta kirjoitettuna suurakkosilla, esim. `typedef struct henkilo HENKILO;`

Luvun asiat kokoava esimerkki

Kokoava esimerkki hyödyntää komentoriviparametrejä välittämällä komentorivillä ohjelman nimen jälkeen olevan luvun ohjelmalle muutettavien tietojen määräksi. Ohjelmassa määritellään tietue ja tietotyyppi sekä taulukko tietueeseen perustuen. Sen jälkeen ohjelma kysyy käyttäjältä tiedot taulukon tietueisiin ja tulostaa ne omassa aliohjelmassa. Tässä kannattaa kiinnittää huomiota em. määrittelyiden lisäksi siihen, miten `muuta`-aliohjelmaan välitetään tietueen osoite muuttujaparametrinä tietojen lukemista varten samalla tavoin kuin `scanf`-funktiolle. Vastaavasti tietojen tulostus tehdään `printf`-tyyliin lähettämällä `tulosta`-aliohjelmaan tietue arvoparametrinä. Näin ollen `tulosta`-aliohjelmassa tietueen tietoja voi muuttaa, mutta muutokset eivät välity takaisin pääohjelmaan. Tämä kannattaa kokeilla vaihtamalla ikää tulostusaliohjelmassa ja kutsumalla sitä uudestaan. Komentoriviparametrien osalta kannattaa huomata, että ensin varmistutaan oikeasta parametrien määrästä ja lopetetaan ohjelma, jos parametrien määrä on väärä.

Esimerkki 4.9. Tietue arvo- ja muuttujaparametrinä

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define MAX 10

typedef struct henkilo {
    char aNimi[30];
    int iIka;
} HENKILO;

void muuta(HENKILO *pHenkilo) {
    printf("Anna nimi: ");
    scanf("%s", pHenkilo->aNimi);
    getchar();
    printf("Anna ikä: ");
    scanf("%d", &pHenkilo->iIka);
    getchar();
    return;
}

void tulosta(HENKILO Henkilo) {
    printf("Nimi on '%s' ja ikä on %d.\n", Henkilo.aNimi, Henkilo.iIka);
    return;
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    HENKILO aHenkilo[MAX];
    int iLkm, i;

    if (argc != 2) {
        printf("Ohjelman käyttö: ./E4_9 <muutettavien tietojen määrä>\n");
        printf("Komentoriviparametrinä tulee antaa ohjelman nimen\n");
        printf("lisäksi muutettavien henkilötietojen määrä, lopetetaan.\n");
        exit(0);
    }
    iLkm=atoi(argv[1]);
    for (i=0; i < iLkm; i++)
        muuta(&aHenkilo[i]);
    i = 0;
    while (i < iLkm)
        tulosta(aHenkilo[i++]);
    return(0);
}
/* eof */
```

Luku 5. Muistinhallinta, tietotyypit

Tässä luvussa tutustumme dynaamiseen muistinhallintaan ja laajemmin itse määriteltyihin tietotyyppeihin. Aloitetaan tietotyypeistä, sillä ne ovat muistinhallinnan ydin.

Käyttäjän määrittelemät tietotyypit ja muistin käytöstä

Tähän asti olemme käyttäneet pääasiassa C-kielen perustietotyyppejä (mm. `int` ja `float`), mutta luvussa 4 tutustuimme rakenteisiin tietorakenteisiin eli taulukkoon ja tietueeseen. C-kielen taulukoissa on syytä muistaa, että kaikki taulukon alkiot ovat samaa tietotyyppiä, kun taas tietue mahdollistaa erilaisten tietotyyppien paketoinnin yhteen avainsanalla `struct`. Tietue on keskeinen tietorakenne C-kielessä ja siten siitä on olemassa myös toinen variantti nimeltään *yhdiste*. Yhdiste määritellään `union` –avainsanalla, jolloin sille varataan eniten tilaa vaativan muuttujan tarvitse muistialue, mutta käyttäjä voi käyttää yhdistettä tallentamaan minkä tahansa nimetyistä muuttujista. Tämä mahdollisuus ei ole nykyaikana kriittinen ominaisuus muistin määrän jatkuvasti kasvaessa, mutta tarjoaa ohjelmoijalle mahdollisuuden minimoida muistin käyttöä tarpeen tullen. Alla on lyhyt esimerkki yhdisteestä ja asiasta kiinnostuneet voivat paneutua siihen tarkemmin omatoimisesti.

Esimerkki 5.1. Yhdiste

```
union yhdiste {
    int iLuku;
    double dLuku;
    char aNimi[30];
} Yhdiste;

int iLuku;
Yhdiste.iLuku = 4;
iLuku = Yhdiste.iLuku;
```

Yhdiste määritellään tietuetta vastaavalla tavalla eli ’`struct tietue {};`’ ja ’`union yhdiste {};`’. Määrittelyn jälkeen yhdisteen alkioita voidaan käyttää pistenotaatiolla ja oleellista on muistaa, että **kun yhdisteen muuttujaan sijoitetaan arvo, on sieltä luettava saman muuttujan arvo**. Muutoin tulokset voivat yllättää ja sotkea ohjelman toiminnan. Palataan yhdisteen käyttöön ohjelmassa esimerkin 5.3 avulla yhdessä luetellun tyypin kanssa.

Käsittelimme luvussa 2 esikäsittelijän `define`-käskyllä määritellyt merkkijonovakiot, jolla voitiin määritellä vakioita aina yksi vakio käskyä ja riviä kohden. Mikäli ohjelmassa tarvitaan useita vakioita, esim. kuukausien tai viikonpäivien nimet, voi määrittely käydä työlääksi. Tilannetta helpottaa *lueteltu tyyppi* eli `enum` –käsky, joka antaa luetelluille merkkijoille arvoksi kokonaislukuja kasvattaen arvoa aina yhdellä. Ensimmäisen tunnuksen oletusarvo on 0.

Esimerkki 5.2. Lueteltu tyyppi

```
enum tosi { EI, KYLLA };
enum maa { RISTI = 4, RUUTU, HERTTA, PATA };
struct kortti {
    int iNumero;
    enum maa Maa;
};
```

Esimerkissä 5.2 EI-vakion arvo on 0 ja KYLLA-vakion arvo 1, kun RISTI-vakion arvo on 4 ja RUUTU-vakion arvo 5 jne. Lueteltu tyyppi määritellään samalla rakenteella kuin tietue eli ’`enum lueteltutyyppi {};`’.

Rakenteisten tietotyyppien määrittelyn yhteydessä on käytettävä varattuja sanoja (`struct`, `union`, `enum`) sekä halutun tietotyypin yksilöivää tunnistetta. Jottei näitä varattuja sanoja tarvitse toistaa jatkuvasti, voidaan määritellä oma tietotyyppi `typedef`-käskyllä samalla tavoin kuin luvussa 4 tehtiin tietueiden kanssa. Seuraavassa esimerkissä 5.3 on pieni ohjelma, jossa käytetään yhdistettä ja lueteltuja tyyppejä.

Esimerkki 5.3. Yhdiste ja lueteltu tyyppi ohjelmassa

```
// E5_3.c Esimerkki 5.3. Yhdiste ja lueteltu tyyppi ohjelmassa
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
// Tietorakenteen määrittely päätasolla eli globaalina rakenteena
union yhdiste {
    int iLuku;
    double dLuku;
    char aNimi[30];
};

int main(void) {
    union yhdiste Yhdiste; // Yhdiste eli union -muuttuja
    int iLuku;
    // typedef union yhdiste YHDISTE; // Vaihtoehtoinen määrittely typedef’llä
    // YHDISTE Yhdiste2;
    Yhdiste.iLuku = 4;
    iLuku = Yhdiste.iLuku;
    strcpy(Yhdiste.aNimi, "C-kielen yhdiste.");
    printf("Arvot: iLuku='%d', Yhdiste.iLuku='%d', Yhdiste.dLuku='%lf', Yhdiste.aNimi='%s'.\n",
        iLuku, Yhdiste.iLuku, Yhdiste.dLuku, Yhdiste.aNimi);
    printf("Koot: int=%ld, double=%ld, merkkitaulukko=%ld, union = %ld.\n",
        sizeof(int), sizeof(double), sizeof(Yhdiste.aNimi), sizeof(Yhdiste));

    enum tosi { EI, KYLLA }; // Lueteltu tyyppi, kokeile myös esim. EI=5
    printf("%d, %d\n", EI, KYLLA);

    printf("Kiitos ohjelman käytöstä.\n");
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

```
un@LUT8859:~/Esimerkit$ ./E5_3
Arvot: iLuku='4', Yhdiste.iLuku='1768631619',
Yhdiste.dLuku='619520450156478964256967019694066954437095427200789146242884993485353377375078404896223310631256078475205069735796298329187565266434698464116668425277546091707513124663688393553538144434525198088047925350923723431225086443520.000000', Yhdiste.aNimi='C-kielen yhdiste.'.
Koot: int=4, double=8, merkkitaulukko=30, union = 32.
0, 1
Kiitos ohjelman käytöstä.
```

Äkkiseltään ohjelman tulosteessa ei ole järkeä, mutta se oli odotettuakin. Ensimmäisessä vaiheessa sijoitimme yhdisteen kokonaisluvulle arvon, sijoitimme sen seuraavaksi omaan muuttujaan ja tulostimme sen näytölle. Tämä osuus meni hyvin eli ohjelma tulosti numeron 4 näytölle. Tämän jälkeen sijoitimme yhdisteen merkkitaulukkoon merkkijonon, joka tulostui `printf`:n viimeisenä arvona eli sekin toimi halutulla tavalla. Näiden kahden välissä tulostetut kokonaisluku ja kaksoistarkkuuden liukuluku eivät kuitenkaan tuottaneet järkevää tulostetta, mutta tämä oli odotettua kahdesta syystä. Ensinnäkin liukuluvulle ei asetettu arvoa eli se oli alustamaton muuttuja, jolloin tulosta ei lähtökohtaisesti voi tietää etukäteen. Toinen ja tässä tapauksessa määräävä tekijä on se, että merkkijono `aNimi` on yhdisteen suurin jäsenmuuttuja, joten se käyttää koko yhdisteen varaaman muistialueen. Näin ollen tulostettaessa `iLuku` ja `dLuku` muuttujat `printf`-katsoo kokonaisluvun ja kaksoistarkkuuden liukuluvun muistialueet ja tulkitsee tällä alueella olevat bitit kokonaislukuna ja liukulukuna. Kuten tulosteesta näkyy, tässä ei ollut mitään järkeä, mutta ohjelma toimi niin kuin ohjelmoija sen koodasi. Yhteenvetona yhdisteestä tulee muistaa, että sen toiminta perustuu vain yhden muuttujan käyttämiseen kerrallaan. Todellisuudessa yhdistettä tarvitsee nykyään harvoin ja jos sen kanssa joutuu toimimaan, kannattaa varata aikaa aiheeseen tutustumiseen ongelmien välttämiseksi.

Yhdisteen lisäksi edellisessä esimerkissä näkyi luetellun tyypin käyttö. Lueteltu tyyppi sopii hyvin tiettyihin tehtäviin ja jos nimetyille vakioille on käyttöä, kannattaa tähän tutustua tarkemmin.

Tarkkasilmäinen ohjelmoija huomasi, että kaiken edellä olevan mukaan unionin olisi pitänyt olla 30 tavun kokoinen, mutta sille olikin varattu 32 tavua. Tämä johtuu siitä, että ohjelman tekemisessä käytetyssä ohjelmointiympäristössä muistin varausyksikkö on 8 tavua, joten muistia varatessa se tulee aina 8 tavun ryhmissä. Näin ollen yhdisteen koko voisi olla 0, 8, 16, 24, 32, 40 jne. tavua. Tämän asian voi tarkistaa vaihtamalla `aNimi`-taulukon koon esim. 23, 24 ja 25 merkin kokoiseksi ja katsomalla sille varatun muistin määrä suorittamalla ohjelma. C-kieli toimii siis varsin lähellä käyttöjärjestelmätasoa ja siksi sen tason ratkaisut saattavat vaikuttaa ohjelman toimintaan kuten edellä käytiin läpi.

Dynaaminen muistinhallinta

Puhuimme muistinvarauksesta merkkijonojen yhteydessä ja totesimme, että helpointa on käyttää staattisia taulukoita, vaikka niiden kanssa on kaksi rajoitetta muistin käyttöön liittyen. Ensinnäkin voimme varata suuren merkkitaulukon, mutta lyhyen merkkijonon kohdalla tuhlaamme tilaa. Toiseksi varaamalla liian vähän muistia merkkijonolle ohjelma ei toimi oikein. Näistä kumpikaan vaihtoehto ei houkuttele, joten tarvitaan parempi tapa hoitaa asia ja nyt on tullut aika katsoa sitä. Tutustutaan siis dynaamiseen muistinhallintaan, joka tarkoittaa tarvittavan muistimäärän varaamista ajon aikana.

C-kielessä ajonaikainen muistinvaraus toteutetaan `stdlib`-kirjaston `malloc`-funktiolla. Funktio saa parametrina tarvittavan muistimäärän, joten voimme varata juuri oikean määrän muistia tarpeen mukaan. Tästä seuraa muna-kana -ongelma, eli miten voimme varata muistia merkkijonoa varten, jos meidän pitäisi ensin tietää sen pituus ja vasta tämän jälkeen voimme varata tarvittavan määrän muistia?

Tarvittava muistimäärä voidaan selvittää lukupuskurilla, joka on käytännössä yksi riittävän suuri staattisesti varattu merkkitaulukko standardisyötevirran lukuun. Lukupuskurin tulee olla niin iso, että siihen mahtuu kaikki käyttäjän antamat syötteet, muttei sen suurempi. Esimerkiksi 255 tavua eli merkkiä on useimmiten riittävä puskuri käyttäjän antaman syötevirran lukemiseen. Tekstitiedostojen yhteydessä voimme käyttää vastaava puskuria tai laskea ensin rivillä olevien merkkien määrän ja lukea ne vasta sen jälkeen, jolloin puskuria ei tarvita.

`malloc`-funktio palauttaa osoittimen varaamansa muistialueen alkuun. Luvussa 2 käsiteltiin muuttujan ja osoittimen eroa, mutta tiivistetysti muuttuja varaa muistia tietoa varten ja muuttujan arvoon päästään käsiksi muuttujan nimen sisältämän osoitteen avulla. Muuttujan osoite voidaan asettaa myös osoittimen arvoksi, jolloin tietoon pääsee käsiksi muuttujan tai osoittimen avulla. Kun muistia varataan `malloc`-funktiolla, annetaan funktiolle parametrina tarvittava muistin määrä ja `malloc` palauttaa varatun muistialueen osoitteen, joka on sijoitettava osoitinmuuttujan arvoksi. `malloc`'n palauttama osoite on aina tyyppiä `(void *)`, joten se tulee muuttaa oikean tyyppiseksi kirjoittamalla haluttu tietotyyppi `malloc`-sanan eteen eli tehdä tyyppimuunnos, `type-cast`, esim. `(char *)`. Lisäksi halutun kokoisen muistialueen vapaana olo ei ole itsestään selvää, joten muistinvarauksen onnistuminen on tarkistettava aina.

Esimerkissä 5.4 näkyy dynaamisen muistinvarauksen oleelliset asiat: määritellään osoitin haluttuun tietotyyppiin, selvitetään tarvittava muistimäärä, varataan muisti `malloc`'lla ja sijoitetaan saatu muistiosoite osoittimen arvoksi tyyppimuunnoksen jälkeen. Merkkijonon yhteydessä tulee aina muistaa varata yksi merkki loppumerkkiä eli NULL'ia varten ja dynaamisesti varattu muisti pitää vapauttaa aina ennen ohjelman loppumista. Esimerkissä näkyy myös testimerkkijono `aNimi` sekä sen sisältämän merkkijonon kopiointi `malloc`'lla varattuun muistialueeseen `strcpy`-käskyllä. C-kielessä merkkijonoa ei voi "sijoittaa" uuteen paikkaan muistissa vaan jokainen merkkijonon merkki on kopioitava uuteen muistialueeseen yksitellen ml. loppumerkki NULL.

Esimerkki 5.4. Dynaaminen muistinvaraus

```
char aNimi[30] = "Ville";
char* pMuistilohko = NULL;
int iMuistia = (strlen(aNimi)+1) * sizeof(char);
pMuistilohko = (char *)malloc(iMuistia);
strcpy(pMuistilohko, aNimi);
free(pMuistilohko);
pMuistilohko = NULL;
```

Dynaaminen muistin varaus voi epäonnistua, joten varauksen onnistuminen on aina tarkistettava esimerkin 5.5 mukaisesti. `malloc` palauttaa NULL'n, jos varaus epäonnistuu, joten siinä tapauksessa tulee suorittaa virheenkäsittely. Tämän oppaan yhteydessä virheenkäsittely tarkoittaa virheilmoituksen antamista käyttäjälle `perror`-käskyllä ja ohjelman lopettamista `exit`-käskyllä. Sekä `exit` että `perror` käskyt löytyvät `stdlib`-kirjastosta.

Esimerkki 5.5. Dynaamisen muistinvarauksen virheenkäsittely

```
if ((pMuistilohko = (char *)malloc(iMuistia)) == NULL){
    perror("Muistinvaraus epäonnistui, lopetetaan");
    exit(0);
}
```

Esimerkissä 5.6 on pieni ohjelma dynaamisella muistinkäsittelyllä. Tämä ohjelma toteuttaa aiemmin puhutun käyttäjän syötteenä antaman merkkijonon käsittelyn eli luetaan käyttäjän antama merkkijono ensin puskuriin, selvitetään saadun merkkijonon tarvitsema muistimäärä, varataan tarvittava muisti dynaamisesti ohjelman suorituksen aikana sekä siirretään saatu merkkijono siihen. Lopuksi ohjelma tulostaa muistinkäyttöstatistiikkaa ennen kuin se vapauttaa varatun muistin ja suoritus päättyy.

Esimerkki 5.6. Dynaaminen muistinvaraus ohjelmassa

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int main(void) {
    char aLukuPuskuri[255];
    char *pMuistilohko;
    int iMuistia;

    printf("Anna merkkijono, max. 253 merkkiä:\n");
    fgets(aLukuPuskuri, 255, stdin); // Huom. Rivinvaihto ja NULL -merkit
    aLukuPuskuri[strlen(aLukuPuskuri)-1] = '\0';
    iMuistia = (strlen(aLukuPuskuri)+1) * sizeof(char);
    if ((pMuistilohko = (char*)malloc(iMuistia)) == NULL ){
        perror("Muistin varaus epäonnistui, lopetetaan");
        exit(0);
    }
    strcpy(pMuistilohko, aLukuPuskuri);

    printf("Merkkijonon lukemista varten varattiin muistia %ld tavua.\n",
        sizeof(aLukuPuskuri));
    printf("Annoit merkkijonon '%s', joka käyttää muistia %d tavua.\n",
        pMuistilohko, iMuistia);
    printf("Merkkijonon osoitin tarvitsee lisäksi muistia %ld tavua.\n",
        sizeof(pMuistilohko));

    free(pMuistilohko); // Dynaamisesti varattu muisti pitää aina vapauttaa
    pMuistilohko = NULL;
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E5_6
Anna merkkijono, max. 253 merkkiä:
```

```
Apumiehensijaisenvaramiespalveluvastaava
Merkkijonon lukemista varten varattiin muistia 255 tavua.
Annoit merkkijonon 'Apumiehensijaisenvaramiespalveluvastaava',
joka käyttää muistia 41 tavua.
Merkkijonon osoitin tarvitsee lisäksi muistia 8 tavua.
```

Kuinka koodi toimii

Ohjelman alussa luomme kolme muuttujaa, staattisesti varatun merkkitaulukon `aLukuPuskuri`, merkki-osoittimen `pMuistilohko` sekä kokonaislukumuuttujan `iMuistia`, joiden avulla siirrämme käyttäjän syöttämän merkkijonon dynaamisesti varattuun muistiin. Idea on käyttää yhtä staattisesti varattua merkkijonotaulukkoa lukemaan useita käyttäjän antamia tietoja ja tämä taulukko niin suuri, että siihen mahtuu suurin käyttäjän kerralla antama tietomäärä. Kun käyttäjä on antanut tiedon, voidaan sen tarvitsema muistin määrä laskea ja varata täsmälleen oikea määrä muistia ko. tietomäärälle. Näin voimme ottaa vastaan käyttäjältä paljon erilaista tietoa ja minimoida tarvittavan muistin määrän käyttäen dynaamista muistivarausta.

Ensimmäisenä otamme käyttäjältä merkkijonon, tallennamme sen muuttujaan `aLukuPuskuri` ja poistamme siitä `fgets`'n lukeman rivinvaihtomerkin. Tämän jälkeen laskemme merkkijonon pituuden funktiolla `strlen`, joka laskee annetun merkkijonon pituuden päättävään NULL-merkkiin asti, joten lisäämme siihen NULL-merkin tilan sekä kerromme merkkien määrän yhden merkin tarvitsemalla muistin määrällä.

```
iMuistia = (strlen(aLukuPuskuri)+1) * sizeof(char);
```

Kun tarvittava muistimäärä on tiedossa, voimme varata muistin `malloc`-käskyllä

```
pMuistilohko = (char*)malloc(iMuistia)
```

Tämä käsky koostuu itse asiassa seuraavista osista:

```
tallennuspaikka = (tallennettava_tyyppi)malloc(varattava_tila)
```

Ilmoitamme siis muistinvarausfunktiolle, että tarvitsemme muistia `iMuistia` yksikköä, muutamme saatavan muistialueen osoitteen tyypin merkkiosoittimeksi `(char *)` ja sijoitamme sen osoitteen `pMuistilohko`'n osoittamaan paikkaan muistissa. Tällä käskyllä saamme osoittimen `pMuistilohko`'n osoittamaan paikkaan, jossa on nyt meille varattua tilaa `iMuistia` merkkiä.

Nyt kun olemme varanneet muistin, voimme kopioida `aLukuPuskuri`-muuttujassa olevat merkit loppumerkkiin asti dynaamisesti varattuun muistiin `strcpy`-funktiolla. Kuten seuraavista `printf`-käskyistä näemme, voimme nyt käyttää `pMuistilohko`-muuttujan sisältämää tietoa normaalin muuttujan tavoin ja voisimme vapauttaa `aLukuPuskuri`-merkkitaulukon muuhun käyttöön. `aLukuPuskuri`-merkkitaulukko on kääntäjän staattisesti varaama muistialue ja se vapautetaan automaattisesti ohjelman lopussa eikä muistialuetta voi vapauttaa ohjelman suorituksen aikana. Aivan viimeisenä asiana ohjelmassa vapautamme dynaamisesti varaamamme muistin (`pMuistilohko`), jotta käyttöjärjestelmä voi käyttää tätä tilaa vapaasti.

Huomaa, että osoitin `pMuistilohko`:n arvoksi asetetaan NULL, koska se ei osoita enää varattuun muistialueeseen. Tämä on nyt tarpeetonta, koska seuraavaa käsky on ohjelman lopettava `return` eikä tätä osoitinta siis käytetä enää mihinkään. On kuitenkin hyvän ohjelmointityylin

mukaista laittaa osoittimen arvo aina `NULL`:ksi, jos se osoita käytössä olevaan muistialueeseen, koska muutoin muutokset ohjelmassa johtavat helposti virheeseen.

Tässä esimerkissä merkkijonon pituus vaati erityistä tarkkuutta. Tämä johtuu siitä, että `fgets`-funktio otti käyttäjän antaman rivinvaihtomerkin (’`\n`’) mukaan merkkijonoon, sillä se oli tässä yhteydessä syötteen lopetusmerkki. Tämä merkki poistettiin merkkijonosta ylikirjoittamalla se NULL-merkillä. Lisäksi kannattaa muistaa, että `strlen`-funktio laskee merkkijonon pituuden loppumerkkiin asti (’`\0`’) sitä huomioimatta. Koska loppumerkille on kuitenkin varattava tilaa merkkijonossa, lisättiin merkkijonon pituuteen 1 merkki ennen tarvittavan muistimäärän laskua.

Huomioita muistinvarauksesta

Edellä oleva esimerkki demonstroi lyhyesti dynaamisen muistinhallinnan tehtävät. Muistinvaraukseen liittyy muutama muistettava asia:

1. `malloc` (ja `realloc`) palauttavat NULL-osoittimen, mikäli ne eivät onnistu varaamaan halutun kokoista muistialuetta. C-ohjelmoinnin hyvään tyyliin kuuluu, että aina muistinvarauksen yhteydessä tarkistetaan varauksen onnistuminen. Siksi muistinvarauksen yhteydessä on aina oltava virheenkäsittely.
2. Jo varatun alueen kokoa voidaan muuttaa `realloc`-funktiolla, mikäli joskus tulee tarve vaihtaa muistialueelle tallennettua tietoa.
3. Vapauta aina käyttämäsi muisti `free(varattu_alue_osoitin)`-komennolla. Ohjelma, joka ei vapauta käyttämäänsä muistia, toimii virheellisesti eli ns. vuotaa muistia ja se voi haitata tietokoneen normaalia toimintaa.
4. Muistin vapauttamisen jälkeen muistiosoitin tulee asettaa `NULL`:ksi virheiden eliminoimiseksi.

Dynaaminen muistinhallinta ja tietue

Dynaaminen muistinhallinta on normaalia toimintaa merkkijonojen kanssa ja toinen keskeinen dynaamisesti käytettävä tietorakenne on tietue. Siksi alla on lyhyt esimerkki oman tietueen ja tietotyypin määrittelystä, ko. rakenteen varaamisesta dynaamisesti, käytöstä osoittimen kanssa sekä varatun muistialueen vapauttamisesta. Nämä kaikki asiat on käsitelty jo aiemmin, mutta tässä ne näkyvät yhtenä kokonaisuutena.

Tässä ohjelmassa olisi luonnollisesti yksinkertaisempaa varata tietue staattisesti, mutta tämä esimerkki valmistelee meitä tulevaa varten. Tulemme nimittäin jatkossa tarvitsemaan dynaamista muistin varausta, kun tarvittavien tietueiden määrä selviää vasta ajon aikana eikä staattinen muistin varaus pysty vastaamaan tähän tarpeeseen.

Esimerkki 5.7. Tietueen dynaaminen käyttö ajon aikana

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

struct henkilo {
    char aNimi[30];
    int iIka;
};
typedef struct henkilo HENKILO;

int main(void) {
    HENKILO *pHlo;
    // muistin dynaaminen varaaminen
    if ((pHlo = (HENKILO*)malloc(sizeof(HENKILO))) == NULL ){
        perror("Muistin varaus epäonnistui, lopetetaan");
        exit(0);
    }

    strcpy(pHlo->aNimi, "Ville");
    pHlo->iIka = 4;
    printf("Nimi on '%s' ja ika on '%d'.\n", pHlo->aNimi, pHlo->iIka);
    free(pHlo);
    pHlo = NULL;

    printf("Kiitos ohjelman käytöstä.\n");
    return(0);
}
```

C-kielen ominaispiirteitä

Olemme käsitelleet merkkijonoja usein aiemmin eri näkökulmista, joten tehdään seuraavaksi yhteenveto merkkijonoista ja katsotaan samalla yksi tapa pilkkoa merkkijono sanoiksi. Sen jälkeen palataan taas muistinhallintaan ja katsotaan, miten aliohjelmassa voi varata muistia niin, että sinne sijoitetut tiedot ovat käytettävissä myös kutsuvassa ohjelmassa.

Merkkijonoista

Merkkijonojen käsittely C-kielellä voi tuntua varsin työläältä, ja koska merkkijonot käsitellään periaatteessa merkki ja loppumerkki kerrallaan, ei työläyttä voi kieltää. Asiaa voi kuitenkin lähestyä toisesta näkökulmasta ja miettiä, voisiko merkkijonoja käsitellä jotenkin systemaattisesti tilanteesta riippuen. C-ohjelmoijan onkin hyvä huomata, että merkkijonot voidaan käytännössä luokitella kolmeen erilaiseen tapaukseen, joihin kaikkiin sopii hieman erilaiset perustekniikat.

Merkkijonojen yksinkertaisin tapaus on yksittäinen sana kuten nimi, esim. ”Ville”. Näiden käsittely on selkeää `scanf`- ja `printf`-käskyillä `%s` -formaatilla, kunhan muistaa varata merkkijonolle riittävän ison taulukon ja huomioida loppumerkin. Muita tyypillisiä ongelmia on kaksi. Ensinnäkin `scanf`-lukee merkkijonon whitespace’iin asti (välilyönti, sarkainmerkki, rivinvaihto) ja toiseksi se

jättää rivinvaihtomerkin lukupuskuriin. Toisaalta sanan erottimena on tyypillisesti välilyönti, joten sen ei pitäisi yllättää ja rivinvaihtomerkin saa pois puskurista esim. `getchar`-käskyllä.

Usein merkkijono koostuu useista sanoista ja luontevaksi loppumerkiksi käyttäjäsyötteelle tulee tällöin rivinvaihtomerkki. Tässä tapauksessa olemme lukeneet merkkijonon `scanf`'n sijaan `fgets`:llä. Myös `scanf`-käskyn hyväksymät merkit voidaan määritellä formaatissa, esim. `scanf("%255[A-Za-z0-9 \t]", merkkijono)`. Aloittelevalle ohjelmoijalle tämä voi näyttää vaikealta, mutta Unix-osaaja tunnistaa *regular expression*'n ja siten esitystapa on tuttu ja turvallinen. `fgets` on käytännöllinen ja turvallinen funktio, sillä se toimii samalla tavalla näppäimistösyötteelle eli `stdin`-tietovirralle ja tekstitiedostoille. Turvallisuus taas tulee siitä, että `fgets`'lle ilmoitetaan luettavien merkkien maksimimäärä eikä näin ollen ylivuoto-ongelmia pääse syntymään. Siksi rivejä luetaan tyypillisesti `fgets`'llä ja oleellista on muistaa, että se poistaa tietovirrasta myös rivinvaihtomerkin ja ottaa sen mukaan luettuun merkkijonoon. Näin ollen se pitää tyypillisesti poistaa merkkijonosta, joka onnistuu esim. kirjoittamalla sen päälle loppumerkki.

Tekstitiedostoja käytetään usein tiedon jakamiseen ja tällöin ne tallennetaan tyypillisesti CSV- eli Comma Separated Values -muodossa. Käytännössä yhdellä rivillä on useita tietoalkioita, jotka erotetaan toisistaan erotinmerkillä, ja kaikilla riveillä on vastaavia tietoja. Tämä tiedon esitysmuoto vastaa taulukkolaskentaa, jossa tiedot esitetään riveinä ja sarakkeina eli yhden rivin sarakkeet muodostavat CSV-tiedoston yhdellä rivillä olevat erotinmerkillä erotetut tietoalkiot. Englanninkielisen nimen mukaan kyseessä on *pilkulla erotetut arvot* -rakenne, mutta koska Suomen kielessä käytetään desimaalipilkkua, ei pilkku ole sopiva erotin tässä ympäristössä. Sen sijaan erottimena käytetään tyypillisesti puolipistettä ';', sarkainmerkkiä '\t' tai muuta merkkiä, jota tiedoissa ei muutoin esiinny. Näin ollen C-ohjelmien CSV-tiedostojen käsittely perustuu tyypillisesti tiedoston lukemiseen `fgets`-funktiolla ja rivillä olevien tietojen erotteluun `strtok`-funktiolla.

`strtok`-funktiota ei ole käsitelty aiemmin tässä oppaassa, joten seuraavassa esimerkissä näkyy sen käyttö yksinkertaisen CSV-tiedoston lukemiseen. Funktio saa 2 parametriä, joista ensimmäinen on käsiteltävän merkkijonon ensimmäisen muistipaikan osoite ja toinen etsittävä lopetusmerkki. Funktio palauttaa osoittimen ensimmäisen merkkijonon alkuun eikä loppumerkkiin päättyvä merkkijono sisällä erotinmerkkiä. Huomaa, että toisella ja sitä seuraavilla kerroilla samaa merkkijonoa käsiteltäessä `strtok`:n ensimmäisen parametrin tulee olla NULL, jotta funktio tietää jatkaa saman merkkijonon käsittelyä. Esimerkissä toinen merkkijono loppuu rivinvaihtomerkkiin yksinkertaisen tiedoston takia. Tiedoston rakenne on seuraava: tiedostossa on yhdellä rivillä kaksi tietoalkiota, jotka on erotettu puolipisteellä, rivi loppuu rivinvaihtomerkkiin ja tiedoston lopussa on tyhjä rivi. Alla näkyy tiedoston alusta kaksi riviä, jotka ohjelma erottelee ja tulostaa.

```
Ville;3
Kalle;8
```

Esimerkki 5.8. Merkkijonon pilkkominen tietoalkioiksi

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#define LEN 80

int main(void) {
    FILE *Tiedosto;
    char aRivi[LEN], *p1, *p2;

    printf("Lue tiedosto E5_8D1.csv:\n");
    if ((Tiedosto = fopen("E5_8D1.csv", "r")) == NULL) {
        perror("Tiedoston avaaminen epäonnistui, lopetetaan");
        exit(0);
    }

    while (fgets(aRivi, LEN, Tiedosto) != NULL) {
        printf("%s", aRivi);
        if ((p1 = strtok(aRivi, ";")) == NULL) {
            printf("Merkkijonon '%s' pilkkominen epäonnistui, lopetetaan.\n",aRivi);
            exit(0);
        }
        if ((p2 = strtok(NULL, "\n")) == NULL) {
            printf("Merkkijonon '%s' pilkkominen epäonnistui, lopetetaan.\n",aRivi);
            exit(0);
        }
        printf("p1 '%s' ja p2 '%s'\n", p1, p2);
    }

    fclose(Tiedosto);
    return(0);
}
```

`strtok`'iin liittyy virheenkäsittely, joka vastaa muistin varaamisen ja tiedoston avaamisen yhteydessä olevaa virheenkäsittelyä sillä erolla, että nyt tulostetaan ongelmia aiheuttanut merkkijono `printf`-käskyllä `perror`:n sijaan. `strtok`'in epäonnistuminen ei aseta `errno`-muuttujaan tarkempaa tietoa ongelmasta, joten `perror`:n näkökulmasta kaikki on hyvin eikä siitä ole hyötyä tässä kohdin. Edellä oleva virheenkäsittely helpottaa ongelman paikallistamisessa sen syntykohtaan sen sijaan, että epäonnistunut arvon tunnistus paljastuu vasta myöhemmin sitä käytettäessä. Laajempi esimerkki CSV-tiedoston lukemisesta ja käsittelystä `strtok`-funktiolla on tämän luvun kokoavassa esimerkissä.

Tietorakenteet ja aliohjelmat

C-ohjelmointi pyörii paljolti muistinkäsittelyn ympärillä. Muistia voidaan varata staattisesti tai dynaamisesti ja se, miten ja missä muisti on varattu, vaikuttaa muistin käyttöön. Näin ollen aloittelevan ohjelmoijan on joskus vaikea hahmottaa, miten esim. aliohjelmien kanssa muistia tulee varata ja käyttää.

Pienissä ohjelmissa tyypillisin tapa muistin varaamisen kannalta on muistin varaus pääohjelmassa staattisesti ja tiedon välittäminen aliohjelmiin muuttuja- tai arvoparametreina. Tästä hyviä esimerkkejä ovat `printf`- ja `scanf`-funktiot, joista `printf` käyttää arvoparametrejä ja `scanf` muuttujaparametrejä. Arvoparametrien kohdalla aliohjelmassa käsitellään alkuperäisten muuttujien kopioita eli arvoja, ja siten niiden muutokset eivät palaudu kutsuvaan ohjelmaan. Muuttujaparametrien kohdalla aliohjelmaan välitetään alkuperäisen muuttujan osoite muistissa ja näin ollen tehdyt muutokset siirtyvät takaisin kutsuvaan ohjelmaan. Nämä periaatteet pätevät kaikissa ohjelmakutsuissa eli välittämällä muistipaikan osoite muuttujaparametrinä aliohjelmaan, tietoa voidaan muuttaa ja muutettu tieto on käytettävissä pääohjelmassa. Välittämällä muuttujan arvo aliohjelmaan arvoparametrinä, eivät mahdolliset muutokset palaudu kutsuvaan ohjelmaan.

Kutsuva ohjelma voi varata muistin muuttujille ja välittää muuttujat aliohjelmiin parametreinä, kuten luvun 4 kokoavassa esimerkissä tehtiin. Tässä ohjelmassa varattiin 10-alkion tietuetaulukko pääohjelmassa, jonka jälkeen muisti tiedoille oli varattu. Kun taulukon tietueiden arvoja haluttiin muuttaa `muuta`-aliohjelmassa, välitettiin aliohjelmalle yhden taulukon alkion osoite eli kutsu oli muotoa `muuta(&aHenkilo[i])` ja tietoja saatiin muutettua. Tulostettaessa käytimme arvoparametrejä ja muotoa `tulosta(aHenkilo[i++])` ja jos tällöin olisimme muuttaneet tietoja aliohjelmassa, eivät muuttuneet tiedot olisi olleet käytössä enää kutsuvassa ohjelmassa.

Seuraavassa esimerkissä on toinen vaihtoehto saada tietoja aliohjelmasta kutsuvaan ohjelmaan dynaamisen muistinvarauksen avulla. Ohjelma varaa pääohjelmassa vain osoittimen haluttuun tietorakenteeseen ja kutsuttava aliohjelma `kysyTiedot()` varaa tarvittavan muistin dynaamisesti `malloc`'lla, täyttää tietorakenteen tiedot ja palauttaa varatun muistialueen osoitteen kutsuvaan ohjelmaan. Näin kutsuvassa ohjelmassa voidaan käyttää aliohjelmassa kysyttyjä tietoja ja vapauttaa varattu muistialue, kun sitä ei enää tarvita.

Esimerkki 5.9. Tietojen kysyminen ja muistin varaus aliohjelmassa

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

typedef struct henkilo {
    char aNimi[30];
    int iIka;
} HENKILO;

HENKILO *kysyTiedot() {
    HENKILO *pHlo;

    // Muistin varaaminen tietoja varten dynaamisesti
    if ((pHlo = (HENKILO*)malloc(sizeof(HENKILO))) == NULL ){
        perror("Muistin varaus epäonnistui, lopetetaan");
        exit(0);
    }

    // Tietojen kysyminen ja tallettaminen tietueeseen
    printf("Anna nimi: ");
    scanf("%s", pHlo->aNimi);
    getchar();
    printf("Anna ikä: ");
    scanf("%d", &pHlo->iIka);

    return(pHlo); // Tietueen osoite palautetaan kutsuvaan ohjelmaan
}

int main(void) {
    HENKILO *ptr;

    // Tietojen kysyminen aliohjelmassa ja tietueen osoitteen talteen otto
    ptr = kysyTiedot();
    printf("Nimi on '%s' ja ikä on %d.\n", ptr->aNimi, ptr->iIka);

    free(ptr); // Dynaamisesti varattu muisti pitää vapauttaa ohjelman lopuksi
    ptr = NULL;
    return(0);
}
```

Yhteenveto

Kerrataan osaamistavoitteet ja käydään läpi luvun keskeiset tyyliohjeet sekä ohjelmointiesimerkki.

Osaamistavoitteet

Tämän luvun keskeiset asiat on nimetty alla olevassa listassa. Tarkista sen avulla, että tunnistat nämä asiat ja sinulla on käsitys siitä, mitä ne tarkoittavat. Mikäli joku käsite tuntuu oudolta, käy siihen liittyvät asiat uudestaan läpi. Nämä käsitteet ja käskyt on hyvä muistaa ja tunnistaa, sillä seuraavaksi teemme niihin perustuvia ohjelmia.

- Käyttäjän määrittelemät tietotyypit yhdiste ja lueteltu tyyppi
    - Esimerkit 5.1, 5.2, 5.3
- Dynaaminen muistinhallinta: muistin varaus, virheenkäsittely ja muistin vapautus
    - Esimerkit 5.4, 5.5, 5.6, 5.10
    - Tietueen dynaaminen käyttö, esimerkit 5.7, 5.10
- Merkkijonojen yhteenveto: sana, rivi, CSV-tiedosto, kenttäerotin, loppumerkki
    - Merkkijonon pilkkominen `strtok`'lla, esimerkit 5.8, 5.10
- Tiedon välitys pää-/aliohjelmien välillä tietorakenteita hyödyntäen
    - Tietojen kysyminen aliohjelmassa dynaamisella muistinvarauksella, esimerkki 5.9
    - Tekstitiedoston lukeminen dynaamisesti varattuun tietuetaulukkoon, esimerkki 5.10

Pienen C-perusohjelman tyyliohjeet

Tähän lukuun liittyvät tyyliohjeet on koottu alle. Alla olevia yleisohjeita noudattamalla vältät yleisimmät rakenteisiin tietorakenteisiin liittyvät ongelmat ja perustellusta syystä niistä voi ja tulee poiketa.

Yleisiä tyyliohjeita

1. Kaikki ohjelman varaamat resurssit on vapautettava ohjelman lopuksi
2. Tiedostonkäsittelyn yhteydessä avaa tiedosto ja tarkista sen onnistuminen virheenkäsittelyllä
    a. Tiedoston lukeminen. Tiedosto avataan luku-tilassa ja lukeminen tehdään `fgets`-funktiolla. Merkkijonojen käsittelyssä käytetään tyypillisesti seuraavia funktioita: `strtok`, `atoi`, `atof` ja `strptime`
    b. Tiedoston kirjoittaminen. Tiedosto avataan lisäys- tai kirjoitus-tilassa, joista kirjoitus-tila poistaa tiedostossa mahdollisesti olleen aiemman sisällön. Kirjoittaminen tehdään `fprintf`-funktiolla
3. Dynaamisesti varatut muistialueet kuten tietueet ja taulukot tulee vapauttaa sen jälkeen, kun niitä ei enää käytetä ja asettaa osoittimet `NULL`:ksi. Ohjelman toiminnan niin vaatiessa rakenteet voi tyhjentää muulloinkin, esim. luku- tai analyysi-aliohjelmien alussa

Vakiot

4. Vakiot ml. enum määritellään globaaleina
5. Esikääntäjällä (`#define`) ja `enum`:lla määritellyt vakiot kirjoitetaan kaikki kirjaimet suurakkosilla, esim. `#define LUKUMAARA 10`

Virheenkäsittely

6. Seuraavien operaatioiden onnistuminen tulee varmistaa aina
    a. Tiedoston avaaminen (`fopen`)
    b. Merkkijonon pilkkominen (`strtok`)

   c. Muistin varaaminen (`malloc/calloc/realloc`)
7. Mikäli joku näistä operaatioista ei onnistu, ongelmasta kerrotaan käyttäjälle ja lopetetaan ohjelma
8. Virhetilanteissa ohjelma lopetetaan `exit(0)`-käskyllä. Mitään siivoustoimenpiteitä ei yritetä tehdä, koska ongelman tarkka syy ja sopivat operaatiot eivät ole tiedossa
9. Tiedoston avaamisen (`fopen`) ja muistinvarauksen (`malloc/calloc/realloc`) virheistä kerrotaan käyttäjälle `perror`-funktiolla käyttäen alla olevia virheilmoituksia. `perror`-funktiota käytettäessä virheilmoitukseen ei laiteta rivinvaihtoa, sillä perään tulee `perror`:n virheilmoitus
   a. `"Tiedoston avaaminen epäonnistui, lopetetaan"`
   b. `"Muistinvaraus epäonnistui, lopetetaan"`
10. Merkkijonon pilkkomisen (`strtok`) epäonnistumisesta kerrotaan `printf`-funktiolla ja seuraavalla tiedotteella, koska `strtok` ei aseta `errno`-muuttujaan tietoa virheestä
   a. `"Merkkijonon '%s' pilkkominen epäonnistui, lopetetaan.\n"`

Luvun asiat kokoava esimerkki

Kokoava esimerkki lukee CSV-tiedoston ja sijoittaa kiinnostavat tiedot tietueen jäsenmuuttujiin. Tietueet ovat dynaamisesti varattavassa taulukossa, jonka kokoa kasvatetaan aina, kun uusi rivi luetaan. Muistin varaus suoritetaan aliohjelmassa, joka palauttaa taulukon osoitteen kutsuvaan ohjelmaan. Tässä ohjelmassa kannattaa kiinnittää huomio taulukon osoitteeseen, sillä muistia varatessa oleellista on varattavan muistin määrän lisäksi varatun alueen sijainti muistissa eli osoite. Toisaalta ohjelma käsittelee tietoja tietuetaulukkona eli tietueisiin viitataan indekseillä. Tämä on mahdollista, sillä taulukko koostuu samankokoisista tietueista ja siirtyminen seuraavaan taulukon alkioon voidaan tehdä muistipaikkojen osoitteilla eli osoittimilla tai taulukon alkioiden indeksejä käyttäen. Tämä ero näkyy myös aliohjelmien parametreissä eli osoitinta käyttävässä aliohjelmassa taulukko on määritelty `*pTbl`:ksi kun taas indeksejä käyttävässä aliohjelmassa se on määritelty `aTbl[]`:ksi.

Ohjelman lukeman tiedoston yksi rivi on alla. Tietueen määrittelyssä näkyy tässä ohjelmassa kiinnostavat tietoalkiot eli CSV-tiedoston kolme saraketta.

```
01-01-2019;2859;10587;7.82;57;577;256;44;47;1497
```

Esimerkki 5.10. Tekstitiedoston luku dynaamisesti varattuun tietuetaulukkoon

```
// E5_10.c Esimerkki 5.10. Tekstitiedoston luku dynaamisesti varattuun tietuetaulukkoon
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#define LEN 80

typedef struct tiedot {
    char aPvm[11]; // CSV:ssä sarake 1
    int iAskelia; // CSV:ssä sarake 3
    double dMatka; // CSV:ssä sarake 4
} TIEDOT;
```

```
TIEDOT *lisaaTaulukkoon(TIEDOT *pTbl, int iLkm, char *pRivi) {
    char *p1, *p2, *p3;

    // Dynaaminen muistin varaus taulun kokoa muuttamalla/kasvattamalla
    if ((pTbl = (TIEDOT*)realloc(pTbl, iLkm*sizeof(TIEDOT))) == NULL ){
        perror("Muistin varaus epäonnistui, lopetetaan");
        exit(0);
    }

    // Tietojen irroittaminen merkkijonosta
    if ((p1 = strtok(pRivi, ";")) == NULL) {
        printf("Merkkijonon '%s' pilkkominen epäonnistui, lopetetaan.\n", pRivi);
        exit(0);
    }
    if ((p2 = strtok(NULL, ";")) == NULL) { // Tätä ei käytetä, otetaan pois
        printf("Merkkijonon '%s' pilkkominen epäonnistui, lopetetaan.\n", pRivi);
        exit(0);
    }
    if ((p2 = strtok(NULL, ";")) == NULL) {
        printf("Merkkijonon '%s' pilkkominen epäonnistui, lopetetaan.\n", pRivi);
        exit(0);
    }
    if ((p3 = strtok(NULL, ";")) == NULL) {
        printf("Merkkijonon '%s' pilkkominen epäonnistui, lopetetaan.\n", pRivi);
        exit(0);
    }

    // Tietojen tallettaminen taulukon uusimpaan alkioon
    strcpy(pTbl[iLkm-1].aPvm, p1);
    pTbl[iLkm-1].iAskelia = atoi(p2);
    pTbl[iLkm-1].dMatka = atof(p3);

    return(pTbl); // Uuden taulukon osoite palautetaan kutsuvaan ohjelmaan
}

void tulostaTaulukko(TIEDOT aTbl[], int iLkm) {
    int i, iAskeliaYht=0;
    double dMatkaYht=0;

    for (i=0; i < iLkm; i++) {
        printf("%s liikuttiin %d askelta ja %.2f km.\n",
            aTbl[i].aPvm, aTbl[i].iAskelia, aTbl[i].dMatka);
        iAskeliaYht += aTbl[i].iAskelia;
        dMatkaYht += aTbl[i].dMatka;
    }
    printf("Yhteensä liikuttiin %d askelta ja %.2f km.\n", iAskeliaYht, dMatkaYht);

    return;
}
```

```c
int main(void) {
    FILE* Tiedosto;
    TIEDOT* pTaulukko=NULL;
    char aRivi[LEN], aNimi[] = "E5_10D1.csv";
    int iLkm=0;

    printf("Luetaan tiedosto '%s'.\n", aNimi);
    if ((Tiedosto = fopen(aNimi, "r")) == NULL) {
        perror("Tiedoston avaaminen epäonnistui, lopetetaan");
        exit(0);
    }
    while (fgets(aRivi, LEN, Tiedosto) != NULL) {
        iLkm++;
        pTaulukko = lisaaTaulukkoon(pTaulukko, iLkm, aRivi);
    }
    fclose(Tiedosto);

    printf("Tulostetaan taulukon alkiot:\n");
    tulostaTaulukko(pTaulukko, iLkm);
    free(pTaulukko);
    pTaulukko = NULL;

    return(0);
}
/* eof */
```

Luku 6. Linkitetty lista ja aika C-ohjelmissa

Tässä luvussa perehdymme linkitettyyn listaan ja sen toteutukseen C-kielellä sekä katsomme ajan käsittelyn perusasiat. Luku päättyy kokoavaan yhteenvetoon.

Linkitetty lista

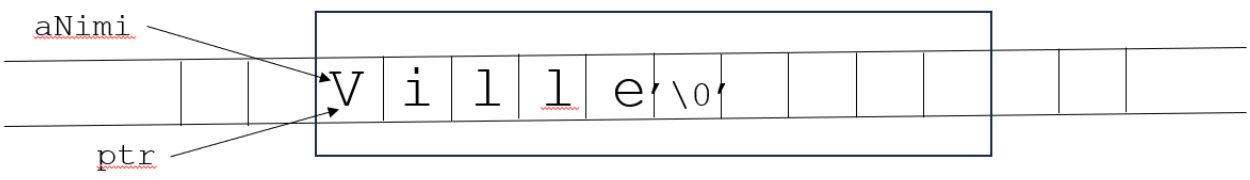
Aloitetaan linkitettyyn listaan tutustuminen kertaamalla taulukon toteutus ja vertaamalla sitä linkitettyyn listaan sekä muihin linkitettyihin rakenteisiin. Koska linkitetty lista on yksinkertaisin ratkaisu toisiinsa linkitetyistä tietuista, tutustumme seuraavaksi tarkemmin sen toimintaperiaatteisiin. Lopuksi käydään läpi linkitetyn listan operaatiot eli luonti, läpikäynti ja vapautus toteutettuna yhden ohjelman sisällä sekä jaettuna useisiin aliohjelmiin.

Taulukoiden kertaus

Otimme merkkitaulukon käyttöön jo tämän oppaan luvussa 1 ja totesimme tällöin, että merkkitaulukko tarkoittaa useille merkeille varattua yhtenäistä muistialuetta. Esimerkiksi 10 merkin merkkitaulukko saa käyttöjärjestelmältä käyttöön 10 tavun mittaisen muistialueen, koska yksi merkki käyttää aina yhden tavun muistia. Koska kyseessä on taulukko, voidaan taulukon alkioihin viitata indeksillä ja voimme tällä tavoin käsitellä haluamaamme taulukon merkkiä. Kuvassa 6.1 on varattu `aNimi`-taulukko 10 merkille ja kun taulukkoon sijoitetaan merkkijono ”Ville”, voimme viitata indeksillä 4, ts. `aNimi[4]`, taulukossa olevaan ’e’-merkkiin.

Merkkijonon joustavan käytön vuoksi se päättyy aina NULL merkkiin, ’\0’. Idea on varata riittävän iso taulukko merkkejä varten, käyttää tarvittava määrä merkkejä taulukon alusta, merkitä merkkijonon päättyminen NULL-merkillä ja näin saamme aina tarpeeseen sopivan merkkijonon. Kaikki C-kielen merkkijonofunktiot hyödyntävät NULL-merkkiä ja se mahdollistaa osoittimen tehokkaan käytön merkkijonon kanssa. Voimme nimittäin määritellä merkki-osoittimen, laittaa sen osoittamaan merkkijonon ensimmäiseen merkkiin ja käydä kaikki merkkijonon merkit läpi yksitellen siirtämällä osoitinta aina yhden merkin verran eteenpäin. Koska kaikki merkit ovat samankokoisia, yksi tavu, voidaan osoitinta siirtää eteenpäin inkrementti-operaattorin verran eli kuvan 6.1 `ptr`-osoitin siirtyy yhden merkin eteenpäin seuraavaan merkkiin `ptr++` -käskyllä. Koska merkkijono loppuu NULL-merkkiin, voimme käydä osoittimella läpi kaikki merkkijonon merkit lopetusehdolla `while (*ptr != '\0')` esimerkin 2.12 mukaisesti. Tiivistetysti merkkitaulukko on yhtenäinen muistialue, joka mahdollistaa useiden merkkien tallettamisen peräkkäin muistiin ja ne voidaan käydä läpi indeksillä tai osoittimella.

```
char aNimi[10] = "Ville";
char *ptr = aNimi;
```

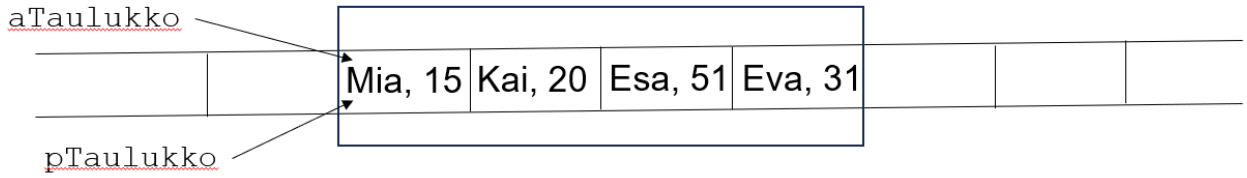


Kuva 6.1. Merkkitaulukon ja osoittimen määrittely sekä sijoittuminen muistiin

Kaikki C-kielen taulukko-rakenteet on toteutettu samoilla periaatteilla kuin merkkitaulukko loppumerkkiä lukuun ottamatta. Taulukon alkion koko on aina sama, oli kyseessä sitten merkki-, kokonaisluku-, liukuluku- tai tietuetaulukko. Alkiot voidaan käydä läpi indeksillä tai osoittimella, sillä osoitin siirtyy eteenpäin aina tietotyypin tarvitseman muistin verran. Merkkitaulukko poikkeaa muista taulukoista siinä, että taulukkoon sijoitetulla merkkijonolla on loppumerkki, josta tietää sen loppuneen. Itse taulukossa ei ole tietoa sen koosta vaan ohjelmoijan on ylläpidettävä koko-tietoa muuttujissa tai vakioissa. Taulukko voi olla yksi tai moniulotteinen ja jokainen ulottuvuus näkyy taulukossa omana indeksinään eli hakasulkuina. Tietue-taulukon alkion koko määräytyy tietueen tarvitseman tilan perusteella, joten se muuttuu tietueen määrittelyn muuttuessa.

Kuvassa 6.2 näkyy tietueen, tietuetaulukon ja tietue-osoittimen määrittelyt sekä miten ne sijoittuvat loogisesti tietokoneen muistissa. Taulukon alkiot ovat toistensa perässä yhtenäisessä muistialueessa, joten näille pätee samat periaatteet kuin merkkitaulukolle kunhan muistaa, että vain merkkijonolla on loppumerkki ja ohjelmoijan on tiedettävä muiden taulukoiden alkioiden määrä.

```
typedef struct henkilo {char aNimi[30]; int iIka;} HENKILO;
HENKILO aTaulukko[4];
HENKILO *pTaulukko = aTaulukko;
```



Kuva 6.2. Tietueen, tietuetaulukon ja osoittimen määrittely sekä sijoittuminen muistiin

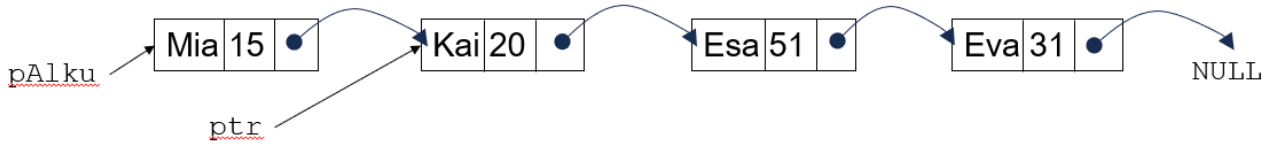
Linkitettyjen tietorakenteiden idea

Linkitetty lista on tietueista muodostuva tietorakenne, jossa tietueiden ei tarvitse olla peräkkäisissä muistipaikoissa samalla tavoin kuin tietuetaulukossa. Koska seuraava tietue ei löydy edellisen tietueen perästä muistissa, on sen osoite tallennettava edelliseen tietueeseen. Tämä on linkitetyn listan perusidea eli jokaisessa tietueessa on linkki seuraavaan tietueeseen, ts. sen osoite, ja näin listan alkioista muodostuu *linkitetty lista*. Linkitetyn listan alkiot varataan dynaamisesti tarpeen mukaan `malloc`'lla, joten listan ensimmäisen alkion eli solmun osoitetta varten pitää varata yksi osoitin, alku-osoitin. Kun listan ensimmäinen alkio luodaan, asetetaan alku-osoitin osoittamaan siihen ja sen jälkeen muut listan alkiot löytyvät aina edellisen alkion perusteella. Listan läpikäyntiä varten on luotava toinen osoitin, joka toimii listan liukurina eli osoittaa aina haluttuun listan alkioon. Yhteen suuntaan linkitetyssä listassa liukuri aloittaa läpikäynnin aina alku-osoittimen ensimmäisestä alkiosta ja etenee loppuun. Linkitetyn listan lopun tunnistaa siitä, että listan viimeinen alkio ei osoita uuteen alkioon vaan sen arvo on NULL listan lopun merkiksi.

Linkitetty lista ja taulukko tarvitsevat yhtä paljon muistia talletettavalle tiedolle, mutta taulukko on määritelmän mukaan yksi iso muistialue, kun taas linkitetyssä listassa tietueet voivat sijaita missä tahansa muistissa ja ne on linkitetty toisiinsa. Esimerkiksi käsiteltäessä valokuvia tiedostojen koot ovat nykyään helposti 1-5MB ja kun aktiivisella kuvaajalla voi olla esim. 1 000, tai 10 000, digikuvaa tallennettuna tietokoneelle, on vapaan muistin löytäminen helpompaa, kun tarvittavan

muistialueen koko on 5MB eikä 50GB. Kuvassa 6.3 näkyy tietueen ja osoittimien määrittelyt sekä listan alkioiden ja osoittimien toiminnan logiikka tietokoneen muistissa. Listan alkioita kutsutaan useilla erilaisilla nimillä kuten solmu, tietue, alkio ja node, mutta kaikki ovat osa helminauhaa muistuttavaa rakennetta, jossa solmujen välissä on linkit vastaavasti kuin helmien välissä on lanka.

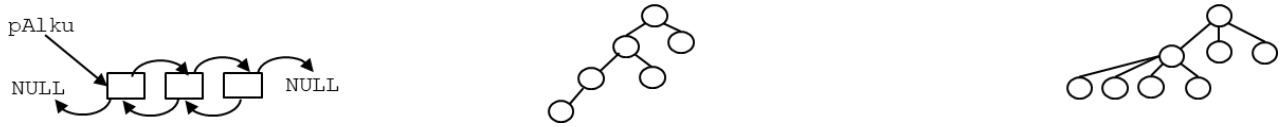
```
typedef struct henkilo {
        char aNimi[30];
        int iIka;
        struct henkilo *pSeuraava;
} HENKILO;

HENKILO *pAlku=NULL, *ptr=NULL;
```



Kuva 6.3. Tietueen ja listaosoittimien määrittelyt sekä linkitetyn listan periaatekuva

Linkitetty lista on yksinkertaisin linkitetyistä tietorakenteista. Linkitettyjen tietorakenteiden perusidea on yhdistää tietorakenteita toisiinsa ja ylläpitää linkitettyjen tietorakenteiden osoitteita jäsenmuuttujissa. Linkitetyssä listassa ylläpidetään yhtä osoitetta eli seuraavan alkion osoitetta. Vastaavasti kahteen suuntaan linkitetyssä listassa on kaksi jäsenmuuttujaa listan osoitteita varten – yksi seuraavan alkion osoitetta varten ja toinen edellisen alkion osoitetta varten. Kaksisuuntainen lista mahdollistaa luonnollisesti liikkumisen listassa kahteen suuntaan ja siten se on joustavampi käytön kannalta. Helminauhaa imitoivan lista-rakenteen lisäksi linkeillä voidaan muodostaa erilaisia tietorakenteita kuten esim. puu, jossa on useita haaroja. Kuvassa 6.4. näkyy viimeisenä ”yleinen puu”, jossa yhden solmun alla voi olla rajaton määrä uusia solmuja eli osoitteita toisiin solmuihin. Kuvassa näkyy myös binaaripuu, jossa yhden solmun alla voi olla 0, 1 tai 2 solmua eli kaikki mahdolliset haarojen lukumäärät voidaan esittää binaariluvulla. Ja kuvan 6.4 vasemmassa reunassa näkyy kahteen suuntaan linkitetyn listan periaatekuva.

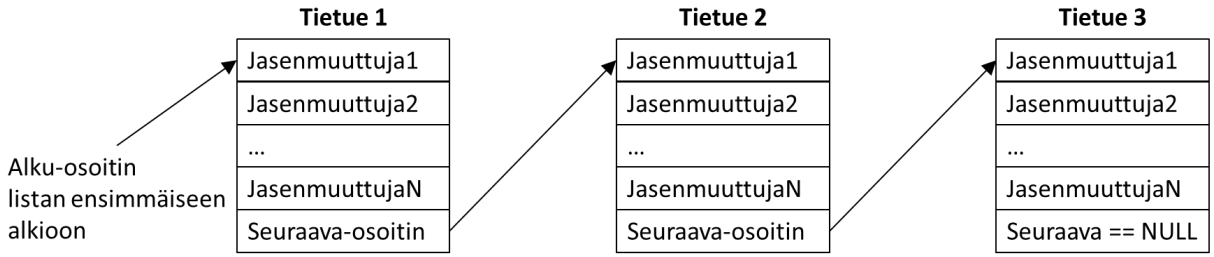
Tässä oppaassa keskitytään yhteen suuntaan linkitettyyn listaan ja tavoitteena on osata tehdä siihen kaikki perusoperaatiot eli listan luominen, läpikäynti ja muistin vapautus. Muita linkitettyjä tietorakenteita käsitellään laajemmin Tietorakenteet ja algoritmit -kursseilla ja kuten nimikin kertoon, käydään siellä tarkemmin läpi myös erilaisille rakenteille sopivia algoritmeja ja niiden tehokkuutta.



Kuva 6.4. Linkitettyjä tietorakenteita: kahteen suuntaan linkitetty lista, binaaripuu ja yleinen puu

Linkitetyn listan toimintaperiaate

Linkitetty lista tarkoittaa joukkoa tietueita eli alkioita, jotka on kytketty toisiinsa tallentamalla jokaiseen alkioon seuraavan alkion osoite. Siksi linkitetyn listan tietueessa on oltava varsinaisten tietoa sisältävien jäsenmuuttujien lisäksi yksi jäsenmuuttuja seuraavan alkion osoitetta varten. Alkiot muodostavat ketjun linkitettyjä alkioita eli linkitetyn listan lopun tunnistaa siitä, että alkion seuraava-osoittimen arvo on NULL. Listan alkioiden käsittely edellyttää osoitinmuuttujaa, jonka avulla voimme siirtyä haluttuun alkioon ja käsitellä sen tietoja. Luonnollisesti tarvitsemme osoittimen listan ensimmäiseen alkioon eli alku-osoittimen sen alkuun. Kuva 6.5 havainnollistaa linkitetyn listan periaatetta visuaalisesti.



Kuva 6.5. Yhteen suuntaan linkitetty lista, jossa on 3 tietuetta. Ensimmäiseen tietueeseen eli alkioon osoittaa erillinen osoitinmuuttuja eli alku-osoitin

Linkitetty lista on dynaaminen tietorakenne, joka tarkoittaa sitä, että siihen voi lisätä ja siitä voi poistaa alkioita tarpeen mukaan ohjelman suorituksen aikana. Listan käsittely perustuu aiemmin käsiteltyyn dynaamiseen muistinhallintaa (luku 5) ja osoittimiin (luvut 2 ja 5), joten nämä asiat kannattaa kerrata tarvittaessa.

Ohjelman suorituksen alkaessa lista on tyhjä ja sen merkkinä alku-osoittimen arvo on NULL. Listaan luodaan uusia alkioita `malloc`-käskyllä ja ensimmäisen alkion osoite laitetaan listan alku-osoittimen arvoksi. Ensimmäisen alkion seuraava-osoittimen arvoksi tulee `NULL`, koska nyt uusi alkio on myös listan viimeinen alkio. Jatkossa listaan lisätään uusia alkioita tyypillisesti viimeiseksi alkioksi, koska tällöin uuden alkion seuraava-osoittimen arvoksi voidaan laittaa NULL ja uuden alkion osoite voidaan sijoittaa aiemmin viimeisenä olleen alkion seuraava-osoitteeksi. Kun listan alkioita poistetaan, tulee poistettavaa alkiota edeltävän alkion seuraava-osoitin päivittää ja vapauttaa varattu muisti `free`-funktiolla. Näin listaan voi lisätä uusia alkioita ja poistaa tarpeettomia. Listan käytön lähtökohta on, että ensimmäiseen alkioon osoittava alku-osoitin on aina kunnossa –joko tyhjän listan kohdalla NULL tai ei-tyhjän listan kohdalla ensimmäisen alkion osoite.

Listan alkioiden käsittely perustuu liukuri-osoittimeen, joka käy listaa läpi, kunnes haluttu alkio löytyy ja alkiota voidaan käsitellä halutulla tavalla. Listan läpikäynti alkaa asettamalla liukuri-osoitin osoittamaan samaan alkioon kuin alku-osoitin ja sen jälkeen siirrytään listan seuraavaan alkioon seuraava-osoittimen avulla kunnes haluttu alkio löytyy. Myös listan tyhjennys perustuu liukuri-osoittimeen, jonka avulla käydään läpi listan kaikki alkiot ja vapautetaan niiden varaama muisti. Listan alkioiden vapautus edellyttää toista apumuuttujaa, kuten kohta nähdään.

Linkitetty lista koetaan usein hankalana asiana. Tämä johtuu siitä, että linkitetyssä listassa on monta huomioitavaa asiaa ja jos yhdessäkin niistä on virhe, ei ohjelma toimi oikein. Siksi on tärkeää olla huolellinen linkitettyä listaa tehdessä ja varmistaa, että kaikki yksittäiset asiat tulee tehtyä oikein: tietueen määrittely, osoittimet, muistin varaaminen, osoitteiden ylläpitäminen mukaan lukien NULL-osoittimet, toistorakenteet listan läpikäynnissä, muistin vapauttaminen, jne. Nämä kaikki asiat on käsitelty tämän oppaan aiemmissa luvuissa ja nyt niitä käytetään linkitetyn listan toteutukseen.

Linkitetyn listan toteutus yhden ohjelman sisällä

Edellä esitelty linkitetty lista perustuu tietueisiin ja siten ohjelman teko alkaa tietueen määrittelyllä. Esimerkissä 6.1 on määritelty `asiakas`-tietue, joka sisältää varsinaisena tietona yksinkertaisuuden vuoksi vain asiakkaan numeron `iNumero`. Tämän lisäksi tietueessa on jäsenmuuttuja seuraavan alkion osoitetta varten eli osoitin `pSeuraava`. Tietueen määrittelyn yhteydessä on nyt määritelty myös uusi tietotyyppi `ASIAKAS`, sillä käytämme tätä tietuetta sen verran usein, että uuden tietotyypin määrittely on paikallaan. Tietueen kannalta on oleellista huomata `pSeuraava`-osoittimen tietotyyppi, `struct asiakas*`, eli se on osoitin toiseen samanlaiseen tietueeseen.

Esimerkissä 6.1 on neljä osoitinta `ASIAKAS`-tietorakenteeseen. Listan ensimmäinen alkio on laitettava varmaan talteen alku-osoittimeen ja `pAlku` hoitaa tämän tehtävän. `pLoppu`-osoitin osoittaa aina listan viimeiseen alkioon ja sitä käytetään uusien alkioiden lisäämiseen listaan. Tämä on apumuuttuja eikä välttämätön linkitetyn listan toteutuksen kannalta. Kolmantena osoittimena on `pUusi`, johon sijoitetaan `malloc`'n varaaman alkion osoite siihen asti, että se lisätään listaan. Neljäntenä osoittimena on määritelty liukuriosoitin `ptr`, jota käytetään listan läpikäyntiin tai halutun alkion etsimiseen listasta. `pAlku` ja `pLoppu` -osoittimet on alustettu `NULL`-arvolla, sillä ne osoittavat listan tiettyihin alkioihin ja kun listaa ei ole, on niiden arvo `NULL`.

Esimerkki 6.1. Linkitetyn listan määrittelyt

```
typedef struct asiakas {
    int iNumero;
    struct asiakas *pSeuraava;
} ASIAKAS;

ASIAKAS *pAlku = NULL, *pLoppu = NULL;
ASIAKAS *pUusi = NULL, *ptr = NULL;
```

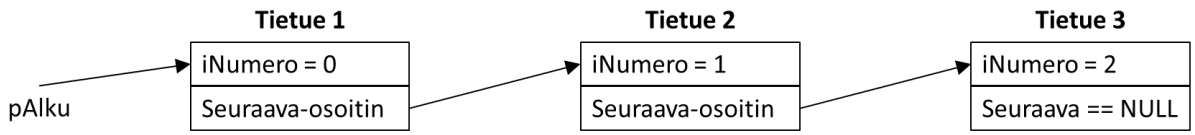
Määrittelyjen jälkeen alkiolle on varattava muistia ja se on alustettava. Esimerkissä 6.2 on ensin muistin varaus aiemmin opetellulla tavalla virheenkäsittelyn kanssa ja onnistuneen muistinvarauksen jälkeen asetetaan listan uuden alkion jäsenmuuttujille arvot. Tässä esimerkissä `iNumero` saa arvoksi silmukkamuuttujan askeltajan `i`:n arvo, jotta kaikissa alkioissa on eri arvot. Osoitin `pSeuraava` saa arvoksi NULL, koska tämä alkio laitetaan listan viimeiseksi alkioksi ja siten seuraavaa alkiota ei ole.

Viimeisenä kohtana esimerkissä 6.2 on uuden alkion lisäys listaan. Tällöin meillä on kaksi vaihtoehtoa, joista ensimmäinen on tyhjän listan tapaus. Tyhjän listan `pAlku`-osoittimen arvo on NULL, joten se pitää laittaa osoittamaan uuteen alkioon. Tässä esimerkissä ylläpidämme myös listan viimeisen alkion osoitetta `pLoppu`-osoittimessa, joten myös sen arvoksi tulee uuden alkion osoite. Jos taas lista ei ole tyhjä vaan siinä on jo alkioita, lisäämme uuden alkion viimeisen alkion perään `pLoppu`-osoittimen avulla ja päivitämme `pLoppu`-osoittimen osoittamaan uuteen alkioon eli laajennetun listan viimeiseen alkioon. Toistamalla esimerkin 6.2 toimenpiteet jokaisen uuden alkion kohdalla saamme tehtyä listan eli kaikki listaan tulevat alkiot luodaan ja ne linkitetään toisiinsa.

Esimerkki 6.2. Muistin varaus, jäsenmuuttujien ja solmun lisäys listaan

```
// Muistin varaus
if ((pUusi = (ASIAKAS*)malloc(sizeof(ASIAKAS))) == NULL ){
    perror("Muistin varaus epäonnistui, lopetetaan");
    exit(0);
}

// Uuden alkion jäsenmuuttujien arvojen asettaminen
pUusi->iNumero = i; // i on ympärillä olevan silmukan askeltajan arvo
pUusi->pSeuraava = NULL;

// Uuden alkion lisääminen listaan viimeiseksi alkioksi
if (pAlku == NULL) { // lista on tyhjä, joten tehdään ensimmäinen alkio
    pAlku = pUusi;
    pLoppu = pUusi;
} else { // lista ei ole tyhjä, joten lisätään loppuun
    pLoppu->pSeuraava = pUusi;
    pLoppu = pUusi;
}
```

Esimerkin 6.2 listan luomisen tuloksena meillä on kuvassa 6.6 näkyvä linkitetty lista, kun listaan lisätään kolme alkiota.



Kuva 6.6. Esimerkin 6.2 luoma linkitetty lista

Listan luomisen jälkeen voimme käydä sen läpi esimerkin 6.3 toistorakenteella. Läpikäynti alkaa laittamalla liukuriosoittimen `ptr` arvoksi listan ensimmäisen alkion osoite. Tämän jälkeen jokaisen listan alkion sisältämä arvo, `iNumero`, tulostetaan näytölle ja `ptr`-liukurin arvoksi tulee seuraavan listan alkion osoite. Kun osoite on NULL, loppuu silmukan läpikäynti ja jokaisen listassa olevan alkion sisältämä arvo on tulostettu näytölle.

Esimerkki 6.3. Linkitetyn listan läpikäynti

```
ptr = pAlku;
while (ptr != NULL) {
    printf("Nyt palvelemme numeroa %d.\n", ptr->iNumero);
    ptr = ptr->pSeuraava;
}
```

Dynaamisen muistinvarauksen periaatteiden mukaisesti kaikki varattu muisti pitää vapauttaa. Käytännössä lista pitää käydä läpi toistorakenteella ja vapauttaa jokaiselle alkiolle varattu muisti. Tämä edellyttää kahta osoitinta ja tarkkuutta, sillä listan alkion poistaminen väärällä hetkellä estää

muiden solmujen läpikäynnin. Listan vapauttaminen alkaa samalla tavalla kuin listan läpikäynti eli liukuri `ptr` laitetaan osoittamaan listan ensimmäiseen alkioon ja sen arvoksi tulee `pAlku`-arvo. Ennen alkion vapauttamista `pAlku` -osoittimen arvoksi laitetaan *sitä seuraavan alkion osoite*. Huomaa, että ensimmäisen alkion poistamisen jälkeen tämä on jäljellä olevan listan ensimmäinen alkio. Nyt kun meillä on osoitin jäljelle jäävään listaan, voimme vapauttaa liukurin osoittaman ensimmäisen alkion `free`-käskyllä. `ptr`-liukuri on nyt vapaana ja voimme laittaa sen osoittamaan samaan alkioon `pAlku`-osoittimen kanssa eli jäljellä olevan listan ensimmäiseen alkioon. Tässä vaiheessa huomaamme, että olemme saaneet vapautettua listan ensimmäisen alkion ja olemme lähtötilanteessa eli `pAlku` ja liukuri-`ptr` -osoittimet osoittavat listan ensimmäiseen alkioon. Toistamalla samat toimenpiteet kaikkien listan alkioiden kohdalla saamme vapautettua kaikki listan alkiot ja lopetamme toistorakenteen, kun liukuri-osoittimen arvo on NULL.

Esimerkki 6.4. Linkitetylle listalle varatun muistin vapauttaminen

```
ptr = pAlku;
while (ptr != NULL) {
    pAlku = ptr->pSeuraava;
    free(ptr);
    ptr = pAlku;
}
```

Käsittelimme edellä linkitettyyn listaan liittyvät operaatiot loogisina kokonaisuuksina yksi kerrallaan, jotta pystyimme paremmin keskittymään aina kulloinkin oleellisiin kohtiin. Esimerkissä 6.5 näkyy ohjelma, jossa nämä koodit ovat yhdessä toimivana kokonaisuutena. Kannattaa tutustua siihen, jotta ymmärtää sen toiminnan ja tarpeen mukaan tarkistaa yksityiskohtia edellä olevista selityksistä. Ohjelman jälkeen näkyy sen testiajon tulokset, jotta voit vertailla niitä oman ohjelmasi toimintaan, jos haluat testata alla olevaa ohjelmaa ja kirjoittaa sen itse.

Esimerkki 6.5. Toimiva ohjelma yhteen suuntaan linkitetylle listalle

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

// Minimaalinen tietue listalle
typedef struct asiakas {
    int iNumero;
    struct asiakas *pSeuraava;
} ASIAKAS;

int main(void) {
    ASIAKAS *pAlku = NULL, *pLoppu = NULL; // Osoittimia listan käyttöön
    ASIAKAS *pUusi = NULL, *ptr = NULL; // Apuosoitin muistin varaukseen ja liukuri
    int i;

    // Listan luominen, 3 alkiota malliksi
    for (i=0; i < 3; i++) {
        // Muistin varaus
        if ((pUusi = (ASIAKAS*)malloc(sizeof(ASIAKAS))) == NULL ){
            perror("Muistin varaus epäonnistui, lopetetaan");
            exit(0);
        }
        // Uuden alkion jäsenmuuttujien arvojen asettaminen
        pUusi->iNumero = i;
        pUusi->pSeuraava = NULL;
        // Uuden alkion lisääminen listaan viimeiseksi alkioksi
        if (pAlku == NULL) { // lista on tyhjä, joten
            pAlku = pUusi; // tehdään ensimmäinen alkio
            pLoppu = pUusi;
        } else { // lista ei ole tyhjä, joten lisätään loppuun
            pLoppu->pSeuraava = pUusi;
            pLoppu = pUusi;
        }
    }

    // Listan läpikäynti
    ptr = pAlku;
    while (ptr != NULL) {
        printf("Nyt palvelemme numeroa %d.\n", ptr->iNumero);
        ptr = ptr->pSeuraava;
    }
    // Muistin vapauttaminen
    ptr = pAlku;
    while (ptr != NULL) {
        pAlku = ptr->pSeuraava;
        free(ptr);
        ptr = pAlku;
    }
```

```
    printf("Viimeisen asiakkaan jälkeen ei ollut ketään.\n");
    return(0);
}
```

Esimerkin tuottama tulos

Kun käännämme ja ajamme ohjelman, saamme seuraavanlaisen tuloksen:

```
un@LUT8859:~/Opas$ ./E6_5
Nyt palvelemme numeroa 0.
Nyt palvelemme numeroa 1.
Nyt palvelemme numeroa 2.
Viimeisen asiakkaan jälkeen ei ollut ketään.
```

Tämä esimerkki kävi läpi linkitetyn listan oleelliset rakenneosat ja toiminnot. Lista koostuu tietueesta ja osoittimista, joiden avulla voidaan varata listan tarvitsema muisti ja luoda linkitetty lista, käydä se läpi ja vapauttaa sen varaama muisti. Tässä esimerkissä kaikki toiminnot oli toteutettu yhden ohjelman sisällä, joka sopii pieneen ohjelmaan. Usein ohjelman koon kasvaessa modulaarinen toteutus aliohjelmien avulla on järkevää, joten katsotaan sitä seuraavaksi.

Linkitetyn listan toteutus aliohjelmina

Edellisessä kohdassa kävimme läpi linkitetyn listan perusoperaatiot yhdessä ohjelmassa ja kokonaisuus oli tällöin varsin selkeä. Ohjelmien toiminnallisuuden määrän kasvaessa toimintoja sijoitetaan aliohjelmiin rakeisen ohjelmoinnin nimissä, jotta osat muodostuvat pienemmiksi ja niiden toteutus pysyy selkeänä. Aliohjelmat mahdollistavat myös uudelleenkäytön eli tekemällä selkeitä pieniä aliohjelmia, voidaan niitä hyödyntää muualla ja siten vähentää tarvetta uuden koodin kirjoittamiseen. Linkitetty lista ei ole tässä suhteessa poikkeus ja ohjelmia tehdessä kannattaa pyrkiä muodostamaan selkeitä ja pieniä aliohjelmia, jotta mahdollistetaan niiden uudelleenkäyttö.

Esimerkin 6.5 pohjalta on selvää, että linkitetyn listan peruskäsittelyssä on kolme operaatiota, joista voidaan muodostaa omat aliohjelmat: uuden alkion lisäys listaan, listan läpikäynti ja listan vapautus. Koska seuraavassa ohjelmassa käytetään samoja tietorakenteita kuin edellä, ei niitä käydä enää läpi vaan ne voi katsoa edellisistä esimerkeistä.

Uuden alkion lisäys listaan on selkeä kokonaisuus, jonka sisältö ei poikkea yhden ohjelman toteutuksesta vaan käsittää edelleen muistin varaamisen, alkion jäsenmuuttujien arvojen asettamisen ja alkion lisäämisen listaan. Aliohjelmatoteutuksen vuoksi minimoidaan tiedonsiirtoa ja siksi aliohjelmaan välitetään parametreina listan alku-osoitin sekä alkioon lisättävät tiedot eli tässä tapauksessa vain yksi kokonaisluku.

Aliohjelmaan tulee parametrinä sen ensimmäisen alkion osoite ja aliohjelmasta tulee palauttaa aina ensimmäisen alkion osoite, koska se muuttuu, kun tyhjään listaan lisätään ensimmäinen alkio. Tässä esimerkissä aliohjelmaan välitetään ja sieltä palautetaan alkion osoite, joten ne molemmat ovat `ASIAKAS *` -tyyppisiä tietoalkioita. Vaihtoehtoisesti listan ensimmäisen alkion osoite voidaan välittää muuttujaparametrina, jolloin tietoa ei tarvitse palauttaa paluuarvona. Tällöin meidän tulisi välittää ensimmäisen solmun osoitteen sisältävä osoite, jolloin kyseessä olisi osoitteen osoite ja `ASIAKAS **` -tyyppinen muuttuja. Tällaisen rakenteen käyttö ei ole mielekästä tämän oppaan kannalta, vaan tässä oppaassa suositellaan käytettäväksi esimerkin 6.6 mukaisia parametreja ja paluuarvoja eli `ASIAKAS *` -osoitteita.

Esimerkissä 6.6 `lisaaSolmu`-aliohjelmaan tulee vain listan ensimmäisen alkion osoite, joten lisättäessä listaan uusi alkio, pitää listan viimeinen alkio etsiä `while`-rakenteen avulla. Tämän `while`-rakenteen tilalla yhden ohjelman sisällä meillä oli esimerkissä 6.5 kaksi osoitinta – osoittimet listan ensimmäiseen ja viimeiseen alkioon, `pAlku` ja `pLoppu`. Nämä ovat vaihtoehtoisia ratkaisuja ja aliohjelman kanssa listan viimeisen alkion etsiminen on luonnollinen toimintatapa, sillä se vähentää tiedonsiirron tarvetta. Tyypillisestä listan läpikäynnistä poiketen nyt listan läpikäynnin lopetusehtona on `ptr->pSeuraava!=NULL` eikä `ptr!=NULL`. Huomaa myös, että aliohjelma palauttaa joko parametrinä tulleen alkion osoitteen, ts. listan alku-osoitteen, tai `malloc`'lla varatun ensimmäisen alkion osoitteen.

Esimerkki 6.6. Solmun lisäys linkitettyyn listaan aliohjelmassa

```
ASIAKAS * lisaaSolmu(ASIAKAS *pA, int x) {
    ASIAKAS *pUusi = NULL, *ptr = NULL;

    // Muistin varaus
    if ((pUusi = (ASIAKAS*)malloc(sizeof(ASIAKAS))) == NULL ){
        perror("Muistin varaus epäonnistui, lopetetaan");
        exit(0);
    }
    // Uuden alkion arvojen määrittäminen
    pUusi->iNumero = x;
    pUusi->pSeuraava = NULL;
    // Uuden alkion jäsenmuuttujien arvojen asettaminen
    if (pA == NULL) { // lista on tyhjä -> eka alkio
        pA = pUusi;
    } else { // lista ei tyhjä -> viimeinen alkio
        ptr = pA;
        while (ptr->pSeuraava != NULL)
            ptr = ptr->pSeuraava;
        ptr->pSeuraava = pUusi;
    }
    return(pA);
}
```

Listan läpikäynti ja sen alkioiden arvojen tulostus ei poikkea aiemmasta ratkaisusta. Liukuri-osoitin asetetaan osoittamaan ensimmäistä listan alkiota ja sen jälkeen käydään listan alkiota läpi, kunnes saavutetaan loppumerkki eli NULL. Aliohjelmasta ei tarvitse palauttaa mitään, joten aliohjelman tyyppi voi olla `void`.

Esimerkki 6.7. Linkitetyn listan tulostus aliohjelmassa

```
void tulosta(ASIAKAS *pA) {
    ASIAKAS *ptr = pA;
    while (ptr != NULL) {
        printf("Nyt palvelemme numeroa %d.\n", ptr->iNumero);
        ptr = ptr->pSeuraava;
    }
    return;
}
```

Myös listan tyhjentäminen tapahtuu samalla tavalla kuin yhden ohjelman sisäisessä ratkaisussa. Molemmissa tapauksissa kannattaa laittaa listan alku-osoitin tyhjäksi eli NULL:ksi, jolloin aliohjelmatoteutuksessa paluuarvo on NULL ja se tulee sijoittaa alku-osoittimen uudeksi arvoksi. Näin vältytään ongelmilta, kun ohjelma laajenee ja listan käyttö jatkuu tyhjennyksen jälkeen.

Esimerkki 6.8. Linkitetyn listan tyhjentäminen aliohjelmassa

```
ASIAKAS *tyhjenna(ASIAKAS *pA) {
    ASIAKAS *ptr = pA;
    while (ptr != NULL) {
        pA = ptr->pSeuraava;
        free(ptr);
        ptr = pA;
    }
    return(pA);
}
```

Esimerkissä 6.9 näkyy vielä koko aliohjelmista koostuva ratkaisu tietue- ja osoitinmäärittelyineen. Huomaa, miten toiminnallisuuden siirtäminen loogisesti nimettyihin aliohjelmiin pienentää pääohjelmaa ja tekee siitä helpon ymmärtää. Nyt pääohjelma sisältää (1) listan osoitinmäärittelyn ja aliohjelmatkutsut, joilla (2) listaan lisätään solmujen, (3) lista tulostetaan ja (4) lista tyhjennetään. Jokaista aliohjelmaa voidaan tarkastella erikseen tarpeen mukaan ja kun ne ovat lyhyitä ja selkeitä, tukee järkevä aliohjelmarakenne ohjelman yleistä ymmärrettävyyttä ja ylläpidettävyyttä.

Esimerkki 6.9. Ohjelma linkitetyn listan toteutukseen aliohjelmilla

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

typedef struct asiakas {
    int iNumero;
    struct asiakas *pSeuraava;
} ASIAKAS;
```

```
ASIAKAS * lisaaSolmu(ASIAKAS *pA, int x) {
    ASIAKAS *pUusi = NULL, *ptr = NULL;

    // Muistin varaus
    if ((pUusi = (ASIAKAS*)malloc(sizeof(ASIAKAS))) == NULL ){
        perror("Muistin varaus epäonnistui, lopetetaan");
        exit(0);
    }
    // Uuden alkion arvojen määrittäminen
    pUusi->iNumero = x;
    pUusi->pSeuraava = NULL;
    // Uuden alkion jäsenmuuttujien arvojen asettaminen
    if (pA == NULL) { // lista on tyhjä -> eka alkio
        pA = pUusi;
    } else { // lista ei tyhjä -> viimeinen alkio
        ptr = pA;
        while (ptr->pSeuraava != NULL)
            ptr = ptr->pSeuraava;
        ptr->pSeuraava = pUusi;
    }
    return(pA);
}

ASIAKAS *tulosta(ASIAKAS *pA) {
    ASIAKAS *ptr = pA;
    while (ptr != NULL) {
        printf("Nyt palvelemme numeroa %d.\n", ptr->iNumero);
        ptr = ptr->pSeuraava;
    }
    return(pA);
}

ASIAKAS *tyhjenna(ASIAKAS *pA) {
    ASIAKAS *ptr = pA;
    while (ptr != NULL) {
        pA = ptr->pSeuraava;
        free(ptr);
        ptr = pA;
    }
    return(pA);
}
```

```
int main(void) {
    ASIAKAS *pAlku = NULL;
    int i;

    // Listan luominen, 3 alkiota kokeeksi
    for (i=0; i < 3; i++) {
        pAlku = lisaaSolmu(pAlku, i);
    }
    // Listan läpikäynti
    tulosta(pAlku);
    // Muistin vapauttaminen
    pAlku = tyhjenna(pAlku);

    printf("Viimeisen asiakkaan jälkeen ei ollut ketään.\n");
    return(0);
}
```

Ajan käsittely C-ohjelmissa

Päivämäärien ja kellonaikojen käsittely on tietokoneen perustoimintoja, joten tutustutaan C-kielen perustoimintoihin ajan suhteen. Aloitetaan ajan määrittelystä Unix-järjestelmissä ja sen jälkeen katsotaan esimerkkejä aika-tiedon käsittelystä ja miten aikatiedolla voidaan laskea.

Huomaa, että aika-tiedon käsittely C-kielessä perustuu useisiin tietorakenteisiin ja funktioihin, joilla tyypillisesti tehdään yksi asia kullakin. Hyvin samantyyppisiä funktioita ja rakenteita on useita, joita käytetään hieman eri tarkoituksiin niin kuin on tyypillistä C-kielessä.

Unix-järjestelmän aika, Epoch

Yksi käyttöjärjestelmien perusominaisuuksia on ajan käsittely ja Unix-puolella ”ajanlasku” alkaa 1.1.1970 klo 00:00:00 +0000 (UTC). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että aika-muuttujan arvo on tällä ajanhetkellä 0, jonka jälkeen se on positiivinen kasvava luku, kun taas ennen sitä arvo on negatiivinen pienenevä luku normaalin aikajanan mukaisesti. Unix-järjestelmässä aika on sisäisesti luku, jonka kokonaisosa esittää sekunteja. Ajan sisäinen esitys lukuna tekee aika-arvojen vertailusta helppoa, sillä se tiivistää normaalin päivämäärä-kellonaika -rakenteen yhdeksi luvuksi. Aika on siis selkeä asia tietokoneen sisällä, mutta ajan esittäminen ihmisten ymmärtämässä muodossa päivinä, kuukausina ja vuosina ottaen huomioon karkausvuodet jne. vaatii tarkkuutta ja siksi C-kieli tarjoaa useita funktiota ajan muuttamiseen ihmisten ymmärtämän ja sisäisen esitysmuodon välille.

Ajan sisäinen esitysmuoto on aina luku, jonka tietotyyppi on tyypillisesti `time_t`. Eri järjestelmissä aika voidaan toteuttaa eri tavoin esim. 32 tai 64 bittisenä kokonaislukuna, etumerkillä tai ilman, tai liukulukuna. Siksi kannattaa käyttää aina ajan käsittelyyn tehtyjä valmiita funktioita, sillä ne toimivat ympäristöstä riippumatta oikein.

Tutustutaan seuraavaksi tarkemmin ajan käsittelyyn C-kielellä ja tästä eteenpäin on hyvä muistaa, että aikaleimat ovat sisäisesti lukuja, joita voi vertailla ja joilla voi laskea peruslaskutoimituksia. Tietovisailuja varten kannattaa muistaa, että Unixin ajanlasku alkoi 1.1.1970 klo 00:00:00, jolloin Unixin sisäisessä esitysmuodossa aika oli 0 ja tätä hetkeä kutsutaan Unixin Epoch’ksi.

Ajan perusoperaatiot

Aikaan liittyvät perusoperaatiot voidaan jakaa näljään perustyyppiin. Ensimmäinen on tietokoneen järjestelmässä olevan ajan selvittäminen ja sen muuttaminen paikalliseksi ajaksi. Toinen on ajan esittäminen ihmisen ymmärtämässä muodossa esim. merkkijonona näytöllä tai tallettaminen tiedostoon. Kolmas on tiedostosta luetun tai käyttäjältä saadun aikaa esittävän merkkijonon muuttaminen tietokoneen ymmärtämäksi aika-tiedoksi, jota voidaan hyödyntää ohjelmissa esim. laitettaessa tietoja aikajärjestykseen. Ja neljäs on päivämäärillä laskeminen, esim. kahden päivämäärän välissä olevien päivien, tai vuosien, laskeminen.

Tietokoneen ajan selvittäminen onnistuu `time`-funktiolla esimerkin 6.10 mukaisesti. Funktio hakee ajanlaskun alusta kuluneiden sekuntien määrän ja se voidaan tulostaa lukuna. Antamalla saatu aika `localtime`-funktiolle, saadaan selville vastaava ajanhetki eli päivämäärä ja kellonaika. Helpoiten tämän saa tulostettua `asctime`-funktiolla, jolloin formaatti on etukäteen päätetty ml. lopussa olevan rivinvaihtomerkki. Mutta näillä saa nopeasti aikatietoja selville, kun muistaa sisällyttää ohjelmaan otsikkotiedoston `time.h`.

Esimerkki 6.10. Epoch-aika ja tietokoneen aika

```
#include <time.h>

time_t Result;
Result = time(NULL);
printf("Unixin ajanlaskun alusta on %ld sekuntia.\n", Result);
printf("Tänään on %s", asctime(localtime(&Result)));
```

`time`-funktiolle voi antaa myös parametrinä `time_t` -rakenteen osoitteen esimerkin 6.11 mukaisesti, jolloin ajan voi välittää `localtime`-funktiolle muokattavaksi ja paluuarvona tulee osoitin tietueeseen `struct tm`. `tm`-tietueen voi tulostaa itse määritellyssä muodossa `strftime`-funktiolla merkkitaulukkoon ja käyttää sopivalla tavalla, esim. tulostaa näytölle. Päivämäärän ja kellonajan muotoilumerkit löytyvät funktion `man`-sivuilta ja keskeisimmät niistä näkyvät esimerkissä 6.11.

Esimerkki 6.11. Tietokoneen ajan muotoiltu tulostus

```
char aPuskuri[255];
time_t Result;
struct tm *pTm;
time(&Result);
pTm = localtime(&Result);
strftime(aPuskuri, sizeof(aPuskuri), "%d.%m.%Y %H:%M\n", pTm);
puts(aPuskuri);
```

Epoch-aika saadaan selville `time`-funktiolla, Epoch-ajan saa muokattua paikalliseen aikaan `localtime`-funktiolla `tm`-tietueeksi, joka taas saadaan muokattua ihmisille tutuksi päivämäärä/-kellonaika -merkkijonoksi `strftime`-funktiolla. Näiden käänteisoperaatio on siirtyä merkkijonona esitetystä päivämäärästä `tm`-tietueeseen, joka onnistuu `strptime`-funktiolla esimerkin 6.12 mukaisesti. Huomaa, että `strptime`-funktio edellyttää ohjelman alkuun määrittelyn `_XOPEN_SOURCE`. `strptime`-funktio hoitaa asian kerralla kuntoon, mutta `tm`-

tietueen jäsenmuuttujia voi käsitellä myös tarpeen mukaan yksitellen alla olevan esimerkin 6.15 mukaisesti.

Esimerkki 6.12. Merkkijono aika-tietueeksi Linuxissa

```
#define _XOPEN_SOURCE // strptime-edellyttää tätä määrittelyä

char aPuskuri[255];
struct tm Tm;
strptime("2001-11-12 18:31:01", "%Y-%m-%d %H:%M:%S", &Tm);
strftime(aPuskuri, sizeof(aPuskuri), "%d.%m.%Y %H:%M\n", &Tm);
puts(aPuskuri);
```

Erilaiset ajan esitysmuodot sopivat erilaisiin tarkoituksiin ja siksi niitä on useita. Epoch-aika helpottaa aikaleimojen vertailua, sillä liukulukujen vertailu on tuttua samoin kuin niillä laskenta. Merkkijono-esitysmuoto on tuttu ihmisille, vaikka merkkijonoissa on kulttuuri- ja henkilökohtaisia eroja. Lisäksi ajan käsittelyyn kuuluu aikavyöhykkeiden huomiointi, jos aikavyöhyke muuttuu joko maantieteellisten siirtymien tai kesä-talviaikamuutosten takia. Esimerkissä 6.13 käydään läpi `struct tm`:n ja Epoch-ajan käsittely laskentaa varten ja sekuntien muuttaminen päiviksi. `tm`-tietue voidaan muuttaa Epoch-aikaan `mktime`-funktiolla tämän esimerkin mukaisesti. Huomaa aika-tietueen nollaaminen `memset`-funktiolla, jottei muistialueella olevat aiemmat tiedot sotke laskentaa. Oleellista on, että kaikki rakenteen jäsenmuuttujat nollataan, sillä muutoin lopputulos tahtoo yllättää ohjelmoijan.

Esimerkki 6.13. Päivämäärillä laskeminen

```
#define _XOPEN_SOURCE // strptime-edellyttää tätä määrittelyä

struct tm Eka, Toka;
time_t EkaEpoch, TokaEpoch;
double dPaivia;

memset(&Eka, 0, sizeof(Eka));
memset(&Toka, 0, sizeof(Toka));
strptime("2020-02-01", "%Y-%m-%d", &Eka);
strptime("2020-03-01", "%Y-%m-%d", &Toka);

EkaEpoch = mktime(&Eka);
TokaEpoch = mktime(&Toka);
dPaivia = (TokaEpoch - EkaEpoch) / (60*60*24); // Sekunneista päiviksi
printf("%.0lf paivaa\n", dPaivia);
```

Aika-tietue `tm`:n rakenne näkyy esimerkissä 6.14. Rakenne on määritelty otsikkotiedostossa `time.h`, ja useimmat tietueen arvot ovat loogisia – esim. sekunnit ovat 0-60, minuutit 0-59 ja tunnit 0-23. Rakenteen kanssa kannattaa kuitenkin olla tarkkana, sillä kuukausi on arvoina 0-11 ja vuosiluku pitää laskea halutun vuoden ja vuoden 1900 erotuksena. Näin ollen haluttaessa esim. vuosi 2021, pitää `tm`-rakenteeseen vuoden kohdalle sijoittaa kokonaisluku 121 eli (2021-1900).

Esimerkki 6.14. Aika-tietueen struct tm rakenne time.h:ssa

```
struct tm {
    int tm_sec; /* Seconds (0-60) */
    int tm_min; /* Minutes (0-59) */
    int tm_hour; /* Hours (0-23) */
    int tm_mday; /* Day of the month (1-31) */
    int tm_mon; /* Month (0-11) */
    int tm_year; /* Year - 1900 */
    int tm_wday; /* Day of the week (0-6, Sunday = 0) */
    int tm_yday; /* Day in the year (0-365, 1 Jan = 0) */
    int tm_isdst; /* Daylight saving time */
};
```

Aika-tietueen `struct tm` käyttö on helpointa `strptime` ja `strftime`-funktioilla, mutta sitä voi käyttää myös käsin asettamalla jäsenmuuttujien arvot halutuiksi esimerkin 6.15 mukaisesti. Niin kuin edellä oli puhetta, `struct tm`-rakenne kannattaa nollata ennen käyttöä `memset`:llä, koska käyttöjärjestelmä ei sitä välttämättä tee.

Esimerkki 6.15. Aika-tietueen käyttö ja muotoiltu tulostus

```
#include <string.h>

char aPuskuri[255];
struct tm Tm;
memset(&Tm, 0, sizeof(Tm));    // Tietorakenteen nollaus
printf("Tulostetaan aika 15.2.2021 12:13 strftime-funktiolla.\n");
tm.tm_hour = 12;               // Ajan asetus jäsenmuuttuja kerrallaan
tm.tm_min = 13;
tm.tm_mday = 15;
tm.tm_mon = 1;                 // Huom. 0-11 !!
tm.tm_year = (2021-1900);      // Huom. year - 1900 !!
strftime(aPuskuri, sizeof(aPuskuri), "%d.%m.%Y %H:%M\n", &Tm);
puts(aPuskuri);
```

Kuten edellä oli puhetta, merkkijonona olevan päivämäärän voi muuttaa aika-tiedoksi `strptime`-funktiolla. Tämä on luonteva tapa asian tekemiseen, koska käänteisoperaatiota varten on olemassa `strftime`-funktio. Mikäli `strptime`-funktiolle kaipaa vaihtoehtoja, voi käyttää `scanf`-funktio, jolla saadaan luettua kaikki `tm`-tietueen tiedot yhdellä käskyllä. Voimme nimittäin pyytää käyttäjältä päivämäärän, antaa esitysmuoto kuten pp.mm.vvvv, ja sen jälkeen lukea `struct tm` -tyyppiseen `Pvm`-muuttujaan annettu päivämäärä yhdellä käskyllä:

```
scanf("%d.%d.%d", &Pvm.tm_day, &Pvm.tm_mon, &Pvm.tm_year);
```

Tällöin pitää muistaa tehdä korjaukset `struct tm`:n vuosi- ja kuukausimuuttujiin esimerkin 6.15 mukaisesti. Toinen huomioitava asia on koko tietueen tyhjennys `memset`-funktiolla ennen sen käyttöä, sillä C-kielessä muistin alustus on ohjelmoijan vastuulla ja usein alustamattoman muistin takia ohjelma ei toimi odotetulla tavalla.

Kolmas vaihtoehto päivämäärän käsittelylle on käsitellä merkkijono paloittain `strtok`-funktiolla esimerkin 5.8 mukaisesti. Tämäkin tapa edellyttää kuukausi- ja vuosilukujen päivittämistä `struct tm`:n odottamaan muotoon. `struct tm`:n jäsenmuuttujat ovat kokonaislukuja, mikä helpottaa niiden kanssa operointia.

Yksi keskeinen rajoite edellä esitetylle ajankäsittelyosuudelle on, ettemme huomioineet siinä kesä- ja talviaikaa. Näillä tiedoilla pääsee kuitenkin alkuun ajan käsittelyssä ja asioita pitää selvittää lisää aina tarpeen mukaan.

Varatun muistin vapautuksen tarkistaminen

Muistin varaamiseen jälkeen se on myös vapautettava, jottei muistia rupea vuotamaan. C-kielessä muistinvaraus on ohjelmoijan vastuulla samoin kuin muistin vapauttaminen. Muistin vapautus tapahtuu yksinkertaisesti `free`-käskyllä antamalla funktiolle parametrinä dynaamisesti varatun muistialueen osoite. Yksittäisen muistialueen kohdalla vapautus on selkeää, sillä silloin riittää lisätä jokaista `malloc`-käskyä vastaava `free`-käsky. Siirryttäessä linkitettyyn listaan muistin vapauttaminen tulee entistä tärkeämmäksi, sillä listassa voi olla useita alkioita ja siten varatun muistin määrä voi olla merkittävästi yksittäistä tapausta suurempi. Linkitetyn listan läpikäynnissä on lisäksi käsiteltävä kaikki listan alkiot, ettei joku alkio jää vapauttamatta. Tyypillisiä ongelmakohtia ovat ensimmäinen ja viimeinen alkio, mutta oikein koodatulla toistorakenteella nekin hoituvat ongelmitta.

Linuxin mukana tulee Valgrind-työkalu muistialueen käytön tarkistamiseen. Suorittamalla ohjelman Valgrindilla saa suorituksen päätteeksi raportin, josta näkyy varatut ja vapautetut muistialueet eli jäikö joku muistialue vapauttamatta. Tämä on tyypillinen tapa varmistua ohjelman oikeasta toiminnasta ja vastaavia ohjelmia löytyy myös muihin ympäristöihin sekä tarkastuksiin.

Valgrind asennetaan seuraavalla käskyllä Linuxin komentorivillä (esim. VSC-terminaalissa):

```
sudo apt install valgrind
```

Tämän jälkeen tarkistettava ohjelma tulee kääntää optiolla `-g` eli sisällytetään debug-tietoja suoritettavaan ohjelmaan:

```
gcc E6_9.c -o E6_9 -Wall -std=c99 -pedantic -g
```

Esimerkissä 6.16 näkyy Valgrindin suorituskäsky ja tulosteet oikein toimivalle ohjelmalle eli ”`ERROR SUMMARY: 0 errors`” ja ”`All heap blocks were freed -- no leaks are possible`”. Näin ollen ohjelma vapauttaa varaamansa muistin ja toimii siltä osin oikein. Esimerkissä keskeiset Valgrindin tulosteet on merkitty keltaisella värillä.

Esimerkki 6.16. Valgrind’n raportin oleelliset osat muistia vuotamattomalle ohjelmalle

```
un@LUT8859:~/Esimerkit$ valgrind --leak-check=full ./E6_9
...
==450== HEAP SUMMARY:
==450==     in use at exit: 0 bytes in 0 blocks
==450==   total heap usage: 4 allocs, 4 frees, 1,072 bytes allocated
==450==
==450== All heap blocks were freed -- no leaks are possible
==450==
==450== For lists of detected and suppressed errors, rerun with: -s
==450== ERROR SUMMARY: 0 errors from 0 contexts (suppressed: 0 from 0)
```

Esimerkissä 6.17 näkyy Valgrindin suorituskäsky ja tulosteet muistia vuotavalle ohjelmalle. Ohjelman tulosteet on merkitty keltaisella ja muistivuotoa koskevat virheilmoitukset on merkattu punaisella. Tulosteen tarkastelun voi aloittaa lopusta, sillä ERROR SUMMARY kertoo, että ohjelmassa on virheitä ja LEAK SUMMARY tarjoaa tarkempia tietoja niistä. Vuoto-yhteenvedon yläpuolella näkyy ongelmien tausta eli `main`-ohjelmasta on kutsuttu `lisaaSolmu`-aliohjelmaa, joka on kutsunut `malloc`'ia eikä näin varattua muistia ole vapautettu ohjelmassa. Tässä tapauksessa virhe oli `tyhjenna`-aliohjelmassa, jossa listan viimeisen solmu jäi vapauttamatta. Vaikka Valgrind ei osannutkaan kertoa virheen kohtaa tarkasti, se tunnisti virheen ja mahdollisti näin sen etsimisen ja korjaamisen.

Esimerkki 6.17. Valgrind'n raportin oleelliset osat muistia vuotavalle ohjelmalle

```
un@LUT8859:~/Esimerkit$ valgrind --leak-check=full ./E6_9
...
Nyt palvelemme numeroa 0.
Nyt palvelemme numeroa 1.
Nyt palvelemme numeroa 2.
Viimeisen asiakkaan jälkeen ei ollut ketään.
==444==
==444== HEAP SUMMARY:
==444==     in use at exit: 16 bytes in 1 blocks
==444==   total heap usage: 4 allocs, 3 frees, 1,072 bytes allocated
==444==
==444== 16 bytes in 1 blocks are definitely lost in loss record 1 of 1
==444==    at 0x483B7F3: malloc (in ...)
==444==    by 0x109205: lisaaSolmu (E6_9.c:13)
==444==    by 0x109345: main (E6_9.c:57)
==444==
==444== LEAK SUMMARY:
==444==    definitely lost: 16 bytes in 1 blocks
==444==    indirectly lost: 0 bytes in 0 blocks
==444==      possibly lost: 0 bytes in 0 blocks
==444==    still reachable: 0 bytes in 0 blocks
==444==         suppressed: 0 bytes in 0 blocks
==444==
==444== For lists of detected and suppressed errors, rerun with: -s
==444== ERROR SUMMARY: 1 errors from 1 contexts (suppressed: 0 from 0)
```

Valgrindistä löytyy tarkempaa tietoa sen kotisivuilta (Valgrind 2024a) ja edellä käsitelty muistivuodon tarkistus löytyy sen manuaalin osasta 4, memcheck (Valgrind 2024b). Komentoriviltä saa myös perusohjeet ohjelman käyttöön käskyllä `valgrind --help`.

Yhteenveto

Kerrataan osaamistavoitteet ja käydään läpi luvun keskeiset tyyliohjeet. Linkitetyn listan ja ajan käsittelyn esimerkit ovat niin kattavia, ettei tässä luvussa ole kokoavaa esimerkkiä.

Osaamistavoitteet

Tämän luvun keskeiset asiat on nimetty alla olevassa listassa. Tarkista sen avulla, että tunnistat nämä asiat ja sinulla on käsitys siitä, mitä ne tarkoittavat. Mikäli joku käsite tuntuu oudolta, käy

siihen liittyvät asiat uudestaan läpi. Nämä käsitteet ja käskyt on hyvä muistaa ja tunnistaa, sillä seuraavaksi teemme niihin perustuvia ohjelmia.

- Linkitetyn listan määrittelyt: Esimerkki 6.1, 6.5, 6.9
- Linkitetyn listan luominen: Esimerkki 6.2, 6.5, 6.6, 6.9
- Linkitetyn listan läpikäynti: Esimerkki 6.3, 6.5, 6.7, 6.9
- Linkitetyn listan alkioiden vapauttaminen: Esimerkki 6.4, 6.5, 6.8, 6.9
- Tietokoneen ajan selvittäminen: Esimerkki 6.10, 6.11
- Merkkijonon muuttaminen aika-tiedoksi: Esimerkki 6.12, 6.14
- Päivämäärillä laskeminen: Esimerkki 6.13
- Aika-tiedon muuttaminen merkkijonoksi: Esimerkki 6.15
- Valgrindin käyttö muistin vapauttamisen tarkistamisessa: Esimerkit 6.16 ja 6.17

Pienen C-perusohjelman tyyliohjeet

Tähän lukuun liittyvät tyyliohjeet on koottu alle. Alla olevia yleisohjeita noudattamalla vältät yleisimmät linkitettyihin listoihin ja aika-tiedon käsittelyyn liittyvät ongelmat ja perustellusta syystä niistä voi ja tulee poiketa.

Yleisiä tyyliohjeita

1. Kaikki ohjelman varaamat resurssit on vapautettava ohjelman lopuksi
2. Käsiteltäessä aikaa C-kielellä tulee käyttää systeemifunktioita, sillä ne mahdollistavat ajan esitysmuotojen muuttamisen, vertailut ja laskentaoperaatiot. Muokatessa käsin `struct tm`:n alkioita pitää varmistua, että koko tietorakenne tyhjennetään ennen sen käyttöä ja numerot noudattavat rakenteen määrittelyitä eli esim. vuosiluvusta vähennetään 1900 ennen sen tallennusta

Linkitetyn listan luominen

Linkitetyn listan luominen tekstitiedoston riveillä olevasta datasta:

3. Tiedosto luetaan omassa aliohjelmassa ja sen tiedoista muodostetaan lukemisen yhteydessä linkitetty lista. Aliohjelma saa ensimmäisenä parametrina osoittimen luettavan tiedoston nimeen ja toisena osoittimen listan ensimmäiseen alkioon
4. Mikäli lista on jo olemassa, vapauta varattu muisti tyhjentämällä lista
5. Lue tiedostosta yksi rivi tietoa kerrallaan ja lisää tiedot listaan omassa aliohjelmassaan. Aliohjelma saa parametreina osoittimen listan ensimmäiseen alkioon ja toisen osoittimen lisättävät tiedot sisältävään merkkijonoon
6. Yhdellä rivillä olevat tiedot laitetaan aina yhden tietueen tiedoksi siten, että rivin jokaisesta tietoalkiosta tulee oma jäsenmuuttuja
7. Linkitetyssä listassa jokainen tietue sisältää tieto-jäsenmuuttujien lisäksi osoittimen seuraavaan listan alkioon, jonka nimi on `pSeuraava`
8. Varaa tietueen tarvitsema muisti `malloc`-funktiolla ja virheenkäsittelyllä, ks. Luku 5
9. Kaikki riveillä olevat tietoalkiot muutetaan niiden luonnollisiksi tietotyypeiksi. Näin ollen kokonaisluvut muutetaan kokonaislukutyypeiksi (`int`, `long`, …), desimaaliluvut liukuluvuiksi (`float`, `double`, …), nimet merkkijonoiksi, päivämäärät aika-tiedoksi (`struct tm`, `time_t`, …) jne.
10. Listaan lisäys -aliohjelmasta palautetaan osoitin listan ensimmäiseen alkioon tai `NULL`-osoitin virheen merkkinä

11. Kun kaikki tiedoston rivit on lisätty linkitettyyn listaan, palataan tiedoston luku -aliohjelmasta, palautetaan listan ensimmäisen alkion osoite ja tulostetaan käyttäjälle seuraava tiedote:
    a. `"Tiedot luettu linkitettyyn listaan."`

Mikäli linkitetty lista luodaan käyttäjän antamista tiedoista, toimitaan edellä olevan ohjeen mukaisesti sillä erolla, että tiedot kysytään käyttäjältä tiedostosta lukemisen sijaan.

Varattujen resurssien vapauttaminen

Ohjelman päättyessä varatut resurssit kuten tietorakenteiden muistialueet on vapautettava ennen ohjelman päättymistä. Tässä oppaassa se tarkoittaa seuraavaa:

12. Dynaamisesti varatut muistialueet kuten linkitetyt listat ja tietueet tulee vapauttaa sen jälkeen, kun niitä ei enää käytetä ja asettaa osoittimet `NULL`:ksi. Ohjelman toiminnan niin vaatiessa rakenteet voi tyhjentää muulloinkin, esim. luku- tai analyysi-aliohjelmien alussa. Muistin vapauttamisen jälkeen käyttäjälle tulostetaan seuraava tiedote:
    a. `"Muisti vapautettu."`
13. Dynaamista muistinhallintaa sisältävä ohjelma tulee tarkastaa Valgrindillä eli varmistua, että kaikki ohjelman varaama muisti vapautetaan ennen ohjelman loppua

Tietojen analysointi

Tietojen analyysi tehdään tyypillisesti linkitetyssä listassa oleville tiedoille:

14. Analyysi-aliohjelma saa tyypillisesti parametrina osoittimen listan ensimmäiseen alkioon sekä osoittimen tulostietorakenteeseen. Tulostietorakenne vaihtelee tilanteen mukaan ollen tyypillisesti yksi tietue tai linkitetty lista
15. Dynaaminen tulostietorakenne tulee vapauttaa ennen analyysiä, jos se on jo olemassa
16. Tee analyysi ja sijoita tulokset tulostietorakenteeseen sekä varaa tarvittaessa muistia
17. Etsittäessä datasta tiettyjä arvoja, esim. minimi tai maksimi, tulee tilapäismuuttujat alustaa datasetin ensimmäisen alkion arvoilla
18. Mikäli datassa on useita ehdon täyttäviä arvoja, esim. useita yhtä suuria minimi-/maksimiarvoja, valitaan näistä
    a. Erikseen mainitun ehdon täyttävä arvo, jos tällainen ehto on olemassa
    b. Vanhin, jos datassa on aikaleima
    c. Alkuperäisen datan ensimmäinen arvo (rivinumeron mukaan)
19. Mikäli analyysissä käytetään datasetin ominaisuuksia, tulee ne selvittää datasta, esim. alkioiden lukumäärä tai ensimmäisen/viimeisen alkion aikaleima
20. Analyysien tulee hyödyntää käytettävissä olevia tietoja siten, ettei esim. valintarakenteista tule tarpeettoman laajoja (nk. if-pyramidi)
21. Kaikki analyysit tulee suorittaa alkuperäisissä yksiköissä ja mahdollinen tulosten pyöristys tehdään muotoiltaessa lopullisia tulosteita
22. Palauta tulostietorakenteen osoite kutsuvaan ohjelmaan

Virheenkäsittely

Linkitettyjen listojen kohdalla virhetilanteiden ennakointi ja käsittely tarkoittaa seuraavaa:

23. Ennen aliohjelmakutsua tarkastetaan, että aliohjelman tarvitsemat tiedot ovat käytettävissä. Jos näin ei ole, kerrotaan käyttäjälle ongelmasta ja pyritään jatkamaan normaalisti ohjelman suoritusta
24. Seuraavien operaatioiden onnistuminen varmistetaan aina ja ongelmasta kerrotaan käyttäjälle sekä lopetetaan ohjelma
    a. Tiedoston avaaminen (`fopen`)

   b. Merkkijonon pilkkominen (`strtok`)
   c. Muistin varaaminen (`malloc/calloc/realloc`)

25. Virhetilanteissa ohjelma lopetetaan `exit(0)`-käskyllä. Mitään siivoustoimenpiteitä ei yritetä tehdä, koska ongelman tarkka syy ja sopivat operaatiot eivät ole tiedossa
26. Tiedoston avaamisen (`fopen`) ja muistinvarauksen (`malloc/calloc/realloc`) virheistä kerrotaan käyttäjälle `perror`-funktiolla käyttäen alla olevia virheilmoituksia. `perror`-funktiota käytettäessä virheilmoitukseen ei laiteta rivinvaihtoa, sillä perään tulee `perror`:n virheilmoitus
   d. `"Tiedoston avaaminen epäonnistui, lopetetaan"`
   e. `"Muistinvaraus epäonnistui, lopetetaan"`
27. Merkkijonon pilkkomisen (`strtok`) epäonnistumisesta kerrotaan `printf`-funktiolla ja seuraavalla tiedotteella, koska `strtok` ei aseta `errno`-muuttujaan tietoa virheestä
   f. `"Merkkijonon '%s' pilkkominen epäonnistui, lopetetaan.\n"`

Luku 7. Kasvavien C-ohjelmien toteutus

Tähän asti tässä oppaassa tehdyt ohjelmat ovat kaikki rajoittuneet yhteen itse tehtyyn C-lähdekooditiedostoon. Luonnollisestikaan tämä ei ole C-kielen rajoite vaan usein ohjelmat on järkevää toteuttaa useissa tiedostoissa, joten tutustutaan tällaisten C-ohjelmien periaatteisiin.

Katsotaan ensin minimaalinen useista tiedostoista muodostuva ohjelma ja tutustutaan sen jälkeen tekniikoihin, jotka auttavat useista tiedostoista muodostuvien ohjelmien hallinnassa. Viimeisenä asiana käydään läpi useiden tiedostojen kääntämisen automatisointi `make`-työkalun avulla.

Monesta tiedostosta muodostuva minimaalinen C-ohjelma

Laajempia ohjelmia tehtäessä lähtökohta on, että C-ohjelmat sisältävät usein otsikkotiedostoja `stdio.h`:n tapaan tarpeen mukaan. Sisällyttämällä ohjelman alkuun otsikkotiedoston saamme käytössä olevien ulkoisten funktioiden esittelyt mukaan ohjelman alkuun ja pystymme käyttämään niitä ohjelmassa. Itse C-kieli on pyritty pitämään pienenä ja siksi ilman kirjastoja ohjelmissa on käytössä vain kuvassa 7.1 näkyvät avainsanat. Avainsanojen joukossa on mm. perustietotyypit `int`, `float` ja `char`, valinta- ja toistorakenteet `if-switch-for-while-do` ja muutama muu tuttu käsky kuten tietue eli `struct`, tietotyypin määrittely `typedef` ja varatun muistialueen koon selvittämisen `sizeof`. Toisaalta tietojen syöttö- ja tulostuskäskyt kuten `printf` ja `scanf`, muistinvarauskäskyt kuten `malloc` ja `free` jne. ovat kaikki sijoitettu kirjastoihin, jotta ne voidaan ottaa mukaan ohjelmaan tarvittaessa ohjelmoijan niin erikseen pyytäessä. Tämä mahdollisuus minimoida ohjelman kokoa on yksi C-kielen keskeinen ominaisuus, joka tukee pienten ohjelmien toteuttamista.

alignas	enum	short	void
alignof	extern	signed	volatile
auto	false	sizeof	while
bool	float	static	_Atomic
break	for	static_assert	_BitInt
case	goto	struct	_Complex
char	if	switch	_Decimal128
const	inline	thread_local	_Decimal32
constexpr	int	true	_Decimal64
continue	long	typedef	_Generic
default	nullptr	typeof	_Imaginary
do	register	typeof_unqual	_Noreturn
double	restrict	union	
else	return	unsigned	

Kuva 7.1. C-kielen avainsanat standardiluonnos 2023:n mukaisesti (ISO/IEC 2023, 53).

Ohjelma jaetaan useisiin tiedostoihin selkeiden perusperiaatteiden mukaan. C-ohjelma sisältää aina `main`-ohjelman, joka toimii rajanpintana käyttöjärjestelmään ja esim. komentoriviparametrit saadaan ohjelmaan `main`:n parametreina. Siksi pääohjelma sijoitetaan tyypillisesti omaan tiedostoon. Ohjelman muu koodi jaetaan muihin tiedostoihin loogisina kokonaisuuksina kuten tiedostonkäsittely, listankäsittely, käyttöliittymä jne. Loogisen tiedostojaon lisäksi tiedostot jaetaan kahteen tiedostotyyppiin, jotka ovat lähdekoodi- ja otsikkotiedostot eli `.c` ja `.h` -tiedostot. Lähdekooditiedostoihin sijoitetaan käännettävä toiminnallinen koodi eli tyypillisesti aliohjelmat,

kun taas otsikkotiedostoihin laitetaan lähdekooditiedostossa olevien aliohjelmien esittelyt sekä uusien tietorakenteiden, tietotyyppien ja vakioiden määrittelyt.

Esimerkissä 7.1 näkyy minimaalinen useaan tiedostoon jaettu C-ohjelma. Tiedosto `E7_1.c` sisältää pääohjelman, joka kutsuu itse tehtyä funktiota `summa()`. Tämä funktio on sijoitettu tiedostoon `E7_1Kirjasto.c`, jossa ei ole mitään muuta tämän funktion lisäksi yksinkertaisuuden nimissä. Esimerkin kolmas tiedosto on otsikkotiedosto `E7_1Kirjasto.h`, joka sisältää `E7_1Kirjasto.c` -tiedostossa olevan aliohjelman esittelyn. Sisällyttämällä tämä otsikkotiedosto pääohjelmatiedostoon kääntäjää tietää tiedoston käännösvaiheessa funktion parametrit ja niiden tyypit sekä paluuarvon tyypin. Molemmat lähdekooditiedostot `E7_1Kirjasto.c` ja `E7_1.c` käännetään normaalisti, mutta aiemmasta poiketen nyt käännös ja linkitys tehdään kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa kaikki lähdekooditiedostot käännetään yksitellen objektitiedostoiksi ja toisessa vaiheessa kaikki objektitiedostot linkitetään kerralla yhdeksi suoritettavaksi ohjelmaksi. Pelkkä käännös tehdään antamalla kääntäjälle optio `-c`, jonka seurauksena kääntäjä tuottaa käännetyn objektitiedoston suoritettavan ohjelman sijaan. Objektitiedostot tunnistaa `.o` -tarkenteesta, ja kun kaikki C-tiedostot on käännetty objektitiedostoiksi, voidaan ne linkittää yhteen suoritettavaksi ohjelmaksi. Esimerkin 7.1 kahden lähdekooditiedoston käännösprosessi muodostuu nyt seuraavista kolmesta käskystä:

```
gcc E7_1Kirjasto.c -c -std=c99 -pedantic -Wall
gcc E7_1.c -c -std=c99 -pedantic -Wall
gcc E7_1.o E7_1Kirjasto.o -o E7_1
```

Esimerkki 7.1. Minimaalinen kolmeen tiedostoon jaettu C-ohjelma

```
////////////////////////////////////////////////////////////////
// E7_1.c - pääohjelman sisältävä tiedosto
#include <stdio.h>
#include "E7_1Kirjasto.h"

int main(void) {
    printf("Summa(2,2) on %d.\n", summa(2, 2));
    return(0);
}

////////////////////////////////////////////////////////////////
// E7_1Kirjasto.c - itse tehdyn aliohjelman sisältävä tiedosto
int summa(int l1, int l2) {
    return (l1 + l2);
}

////////////////////////////////////////////////////////////////
// E7_1Kirjasto.h - itse tehdyn C-koodin otsikkotiedosto
int summa(int l1, int l2);
```

Pääohjelma-tiedostossa olevat kaksi `include`-käskyä poikkeavat toisistaan. C-kielen asennukseen kuuluva `stdio.h` -otsikkotiedosto sisällytetään < ja > -merkeillä, kun taas itse tehty kirjasto, nyt `E7_1Kirjasto.h`, sisällytetään lainausmerkeillä ″ ja ″. Käyttämällä < ja > -merkkejä kääntäjä etsii otsikkotiedostoa kääntäjäasetusten mukaisesta normaalista sisällytettävien tiedostojen hakemistosta, kun taas lainausmerkkien (″) sisään sijoitettua kirjastoa etsitään samasta

hakemistosta käännettävän tiedoston kanssa. Siksi itse tehdyt otsikkotiedostot sisällytetään lähtökohtaisesti lainausmerkeillä lähdekooditiedostoihin.

Edellä oleva minimaalinen esimerkki osoittaa käytännössä, miten useista tiedostoista voi tehdä toimivia C-ohjelmia. Ohjelman sisältämien tiedostojen, tietorakenteiden, vakioiden jne. määrän kasvaessa useista tiedostoista muodostuvien ohjelmien hallinta voi olla haastavaa, joten seuraavissa luvuissa tutustutaan muutamiin laajempien ohjelmien tekemisessä käytettäviin tekniikoihin.

Otsikkotiedosto .h

Edellä olevassa esimerkissä 7.1 tiedostot jaettiin lähdekoodi- ja otsikkotiedostoihin. Lähdekooditiedostojen käsittely on selkeää, sillä ne ovat .c -tiedostoja ja ne käännetään objektikoodiksi, jotka linkitetään suoritettavaksi tiedostoksi. Mikäli lähdekooditiedosto sisältää vakioita, omia tietueita tai muita määrittelyitä, joita käytetään vain saman tiedoston sisällä, voidaan ne sisällyttää tiedostoon ennen aliohjelmia. Usein kuitenkin lähdekooditiedoston määrittelyitä tarvitaan myös kutsuvan ohjelman puolella, jolloin määrittelyt ovat yhteisiä useille tiedostoille ja ne sijoitetaan sopivaan otsikkotiedostoon.

Aliohjelmien yhteydessä luvussa 3 totesimme, että aliohjelma on esiteltävä ennen sen käyttöä ja tähän on kaksi tapaa. Ensinnäkin voimme sijoittaa aliohjelman tiedoston alkuun ennen sen kutsun sisältävää pää- tai aliohjelmaa, jolloin kääntäjä löytää aliohjelman määrittelyn ennen sen käyttöä. Toinen vaihtoehto oli sijoittaa tiedoston alkuun aliohjelman esittely, josta käy ilmi aliohjelman parametrien määrä ja niiden tietotyypit sekä aliohjelman tyyppi eli palauttaako se jotain ja jos palauttaa niin mitä. Tämä jälkimmäinen ratkaisu mahdollisti aliohjelman määrittelyn eli suoritettavan koodin sijoittamisen tiedoston loppuun esittelyiden jälkeen ja se sopii hyvin myös otsikkotiedostojen kanssa. Tyypillisesti lähdekooditiedostossa olevien aliohjelmien esittelyt laitetaan otsikkotiedostoon ja kun otsikkotiedosto sisällytetään lähdekooditiedoston alkuun esikäsittelyvaiheessa, löytyy tiedostosta aliohjelmien esittelyt ja ohjelma saadaan käännettyä.

Otsikkotiedosto sisältää yhden moduulin tietotyyppien ja vakioiden määrittelyt sekä aliohjelmien esittelyt. Moduuli tarkoittaa yhtä loogista kokonaisuutta, joka voi vaihdella yhdestä aliohjelmasta useista tiedostoista muodostuvaan kirjastoon. Tässä yhteydessä moduuli tarkoittaa selkeyden vuoksi yhtä C-lähdekooditiedostoa. Kun kaikki moduulin ulkopuolelle näkyvät määrittelyt ja esittelyt laitetaan yhteen otsikkotiedostoon, voidaan moduulia hyödyntää muissa tiedostoissa sisällyttämällä otsikkotiedosto niihin.

Useista tiedostoista muodostuvan ohjelman lähdekoodi- ja otsikkotiedostot kannattaa nimetä systemaattisesti ja siten, että yhteenkuuluvat tiedostot on helppo tunnistaa. Tämä onnistuu esimerkiksi antamalla tiedostoille sama nimi ja eri tarkanteet kuten `tiedosto.c` ja `tiedosto.h`. Tällöin `tiedosto.c/h` tiedostot sisältäisivät todennäköisesti tiedostonkäsittelyyn liittyvän koodin, kun taas `lista.c/h` tiedostot sisältäisivät linkitettyyn listaan liittyvän koodin ja `paa.c/h` pääohjelmaan liittyvän koodin. Yleisemmän uudelleenkäytön kannalta saatetaan luonnollisesti tarvita otsikkotiedosto, joka edustaa monista tiedostoista muodostuvaa uudelleenkäytettävää moduulia samalla tavoin kuin esimerkiksi `stdio.h` ja `string.h` -tiedostot tekevät. Aina tiedostojen suora linkitys ei onnistu, mutta usein sillä pääsee hyvin alkuun.

Tiedostojen määrän kasvaessa otsikkotietojen sisällytys lähdekooditiedostoihin voi muodostua ongelmaksi, sillä vaikka tunnukset voi esitellä monta kertaa, saa ne määritellä vain yhden kerran. Esimerkiksi linkitettyä listaa käsittelevässä ohjelmassa pitää tyypillisesti määritellä listan alku-osoitin pääohjelmassa, varsinaiset listankäsittelyoperaatiot ovat omassa lista-moduulissa ja näiden lisäksi tiedostokäsittelymoduulin pitää myös tietää listan alkioiden käyttämän tietueen rakenne.

Näin ollen lista-otsikkotiedosto tulee sisällyttää kaikkiin kolmeen lähdekooditiedostoon, koska se sisältää käytettävän tietueen määrittelyn. Jos ohjelmaan lisätään uusi moduuli tietojen analysointia varten, pitää se tyypillisesti sisällyttää myös kaikkiin muihin moduuleihin. Ja kun sisällytettävien tiedostojen lukumäärä kasvaa, pitää niiden riippuvuuksien kanssa olla tarkkana, sillä tunnukset pitää olla esitelty tai määritelty ennen niiden käyttöä, mutta niitä ei saa määritellä montaa kertaa samassa ohjelmassa. Seuraavassa esimerkissä saman tiedoston useista sisällytyksistä aiheutuvat ongelmat on estetty otsikkotiedoston ehdollisella sisällytyksellä lähdekooditiedostoon.

Esimerkissä 7.2 on otsikkotiedosto, jossa on määritelty vakio, tietue, uusi tietotyyppi ja esitelty aliohjelmat. Kaikki tiedoston sisältö on laitettu `#ifndef` (if not defined) -ehdollisen määrittelyn sisälle, jolloin ensimmäisen sisällytyskäskyn yhteydessä tiedoston sisältö tulee näkyville ja samalla määritellään vakio `E7_2LISTA_H`, jonka määrittely estää tiedoston sisällön sisällyttämisen useita kertoja. Tämän esimerkin koodi on oppaan esimerkki 6.9 jaettuna kolmeen tiedostoon `E7_2Lista.h`, `E7_2Lista.c` ja `E7_2.c`, joten koko ohjelman koodi on nähtävillä edellisessä luvussa. Tässä ohjelmassa tiedostojen sisällöt on suunniteltu niin, ettei ehdollista sisällytystä tarvita, joten tässä esimerkissä näkyy ehdollisen määrittelyn idea ja toteutus ilman tarvetta sille.

Esimerkki 7.2. Otsikkotiedoston sisältö ja sisällytys #ifndef -direktiivillä

```
// E7_2Lista.h – Otsikkotiedosto ehdollisella sisällytyksellä
#ifndef E7_2LISTA_H
#define E7_2LISTA_H

#define LKM 3

typedef struct asiakas {
    int iNumero;
    struct asiakas *pSeuraava;
} ASIAKAS;

ASIAKAS *lisaaSolmu(ASIAKAS *pA, int x);
void tulosta(ASIAKAS *pA);
ASIAKAS *tyhjenna(ASIAKAS *pA);

#endif

// E7_2Lista.c – Tiedosto sisältää funktioiden määrittelyt
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "E7_2Lista.h"

ASIAKAS *lisaaSolmu(ASIAKAS *pA, int x) { ... }
void tulosta(ASIAKAS *pA) { ... }
ASIAKAS *tyhjenna(ASIAKAS *pA) { ... }

// E7_2.c – Tiedosto sisältää main-ohjelman määrittelyn
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "E7_2Lista.h"
```

```
int main(void) {
    ...
    pAlku = lisaaSolmu(pAlku, i);
    ...
    tulosta(pAlku);
    ...
    pAlku = tyhjenna(pAlku);
    ...
    return(0);
}
```

Otsikkotiedostoja kannattaa sisällyttää vain lähdekooditiedostoihin. Tällöin jokaisen lähdekooditiedoston tarvitsemat otsikkotiedostot pitää käydä läpi, mikä auttaa välttämään tiedostojen turhia ja/tai useita sisällytyksiä. Siksi otsikkotiedostojen sisällytys vain lähdekooditiedostoihin johtaa usein selkeään ohjelmarakenteeseen ja on tässä oppaassa suositeltava tapa. Teknisesti otsikkotiedostoja voi sisällyttää myös otsikkotiedostoon, jolloin tarvittavat otsikkotiedostot voi saada kirjattua yhteen otsikkotiedostoon. Tämä lähestymistapa johtaa helpolla samojen otsikkotiedostojen useisiin sisällytyksiin ja edellä oleva ehdollinen sisällytys tulee aktiiviseen käyttöön.

Edellä kuvatut periaatteet toimivat tyypillisesti tämän oppaan käsittelemissä pienissä ohjelmissa, jotka rupeavat kasvamaan. Laajat C-ohjelmat voivat kuitenkin koostua miljoonista koodiriveistä, jolloin tiedostoja voi olla satoja tai tuhansia ja siksi niiden hallinta pitää suunnitella tarkasti ja valita tapauskohtaisesti sopivat käytännöt. Lähtökohtaisesti laajoissa projekteissa on omat projektiin räätälöidyt käytännöt tiedostojen nimeämiseen samoin kuin moneen muuhun asiaan. Hyvä esimerkki laajan ohjelmiston tyyliohjeesta löytyy esim. GNU-projektista (Stallman et al. 2024).

Laajan ohjelman kääntäminen – make ja Makefile

Kuten esimerkin 7.1 yhteydessä kävi ilmi, laajan ohjelman kääntäminen tarkoittaa jokaisen lähdekooditiedoston kääntämistä ensin erikseen ja sen jälkeen kaikkien objektikoodien linkittämistä suoritettavaksi ohjelmaksi. Laajassa projektissa satojen tiedostojen kanssa tämä ei ole houkutteleva tehtävä ja siksi se onkin automatisoitavissa työkalujen avulla. Unix-puolen perinteinen työkalu tähän tehtävään on `make`, joka lukee `Makefile` -tiedostossa olevat käännöskäskyt ja muodostaa niiden avulla suoritettavan ohjelman. `Makefile`n ytimenä on samat käännöskäskyt, joilla ohjelma voidaan muodostaa yksitellen kääntämällä komentorivillä. Jokaista käännöskäskyä edeltää ”hallinnollinen rivi”, jossa näkyy ensimmäisenä tavoitteena oleva tiedosto ja sen jälkeen tiedostot, joista tavoitetiedosto tehdään. `make` käy kaikki nämä käskyt läpi ja kun tiedosto on oikein rakennettu, saadaan lopputuloksena suoritettava ohjelma.

Esimerkissä 7.3 näkyy `Makefile`, jolla saadaan käännettyä esimerkin 7.2 useista tiedostoista muodostuva ohjelma. Ensimmäinen rivi alkaa #-merkillä ja se on kommenttirivi. Tämän jälkeen toisella rivillä kerrotaan, että tiedosto `E7_2` muodostetaan tiedostoista `E7_2.o` ja `E7_2Kirjasto.o`. Näin ollen `make` katsoo näiden kolmen tiedoston luontiajat ja jos tavoitteena oleva tiedosto on luotu muiden jälkeen, ei sitä tarvitse päivittää, koska se on aikaleima-analyysin perusteella tehty muiden tiedostojen pohjalta.

```
E7_2: E7_2.o E7_2Kirjasto.o
```

Mikäli objektitiedosto tai molemmat ovat tavoitetiedostoa uudempia, linkitetään nämä tiedostot uudestaan tavoitetiedoston uuden version tuottamiseksi alla olevalla käskyllä. Huomaa, että rivi

alkaa sarkainmerkillä (tabulaattori, '\t') ja tätä erotinmerkkiä ei voi korvata muilla merkeillä, esim. yhdellä tai usealla välilyönnillä.

```
gcc -o E7_2 E7_2.o E7_2Kirjasto.o
```

`make` käy näin läpi kaikki `Makefile`:ssä olevat rivit ja päivittää ohjelmatiedostot tarpeen mukaan. Objektitiedostojen kääntämisen tarve perustuu luonnollisesti itse lähdekooditiedostoon, mutta sen lisäksi kaikki ko. tiedostoon sisällytetyt otsikkotiedostot tulee tarkistaa muutosten varalta. Siksi riippuvuussuhteissa nämä kaikki otsikkotiedostot mainitaan erikseen.

```
L7_2Kirjasto.o: E7_2Kirjasto.c E7_2Kirjasto.h
```

Esimerkki 7.3. Makefile. Huomaa sarkainmerkit (nuoli) ja välilyönnit (piste merkkien välissä)

```
#·Makefile·L7_2·20230228·un·Tämä·on·kommenttirivi¶
E7_2:·E7_2.o·E7_2Kirjasto.o¶
	→	gcc·-o·E7_2·E7_2.o·E7_2Kirjasto.o¶
E7_2.o:·E7_2.c·E7_2Kirjasto.h¶
	→	gcc·-c·E7_2.c·-std=c99·-pedantic·-Wall¶
E7_2Kirjasto.o:·E7_2Kirjasto.c·E7_2Kirjasto.h¶
	→	gcc·-c·E7_2Kirjasto.c·-std=c99·-pedantic·-Wall¶
¶
```

`make` ja `Makefile` ovat Unixin perustyökaluja, joilla voidaan automatisoida kääntäminen. Kaikissa uusissa IDE-työkaluissa on vastaavat työkalut, vaikka ne onkin tyypillisesti piilotettu projektitiedosto-konseptin taakse. Projektitiedosto hoitaa projektin kääntämisen graafisen käyttöliittymän kautta annetuilla käännösoptioita eli vastaava konsepti hieman erilaisesta toteutuksesta huolimatta. `make` on erittäin monipuolinen työkalu ja sitä käsitteleviä kirjoja on paljon, mutta erityisen helppo asiaan perehtymistä on jatkaa ilmaisen kirjan avulla Mecklenburg (2005).

Ohjelmien kääntämisen lisäksi nykyään on erilaisia työkaluja helpottamaan ja automatisoimaan ohjelmien julkaisua. Myös julkaisua edeltää tyypillisesti tietyt rutiinitoimenpiteet ja niiden automatisoinnilla varmistetaan kaikkien toimenpiteiden teko oikeassa järjestyksessä sekä nopeutetaan niiden tekemistä. Ohjelmoimalla voi siis automatisoida myös ohjelmoijan tehtäviä, joten omaa työtä ja toimintaa kannattaa kehittää aina tilaisuuden ja tarpeen tullen.

Yhteenveto

Kerrataan luvun osaamistavoitteet ja käydään läpi keskeiset tyyliohjeet.

Osaamistavoitteet

Tämän luvun keskeiset asiat on nimetty alla olevassa listassa. Tarkista sen avulla, että tunnistat nämä asiat ja sinulla on käsitys siitä, mitä ne tarkoittavat. Mikäli joku käsite tuntuu oudolta, käy

siihen liittyvät asiat uudestaan läpi. Nämä käsitteet ja käskyt on hyvä muistaa ja tunnistaa, sillä seuraavaksi teemme niihin perustuvia ohjelmia.

- Useista tiedostoista muodostuva C-ohjelma: Esimerkki 7.1
- Otsikkotiedoston ehdollinen sisällytys: Esimerkki 7.2
- Kääntämisen automatisointi eli make ja Makefile: Esimerkki 7.3

Pienen C-perusohjelman tyyliohjeet

Tähän lukuun liittyvät tyyliohjeet on koottu alle. Alla olevia yleisohjeita noudattamalla vältät yleisimmät rakenteisiin tietorakenteisiin liittyvät ongelmat ja perustellusta syystä niistä voi ja tulee poiketa.

Tiedostorakenne, useista tiedostoista muodostuva ohjelma

Laajassa ohjelmassa on pääohjelma ja yksi tai useampi aliohjelma, esim. harjoitustyössä tyypillisesti vähintään neljä aliohjelmaa. Aliohjelmat tulee jakaa eri tiedostoihin alla olevan mukaisesti. Vakiot ja tietorakenteet määritellään ohjelmassa vain yhden kerran tyypillisesti omassa otsikkotiedostossa.

Pääohjelman sisältävät tiedoston rakenne

1. Tiedoston alkukommentti
2. C-kielen otsikkotiedostojen sisällytys
3. Omien otsikkotiedostojen sisällytys
4. Pääohjelman koodi

Muiden C-tiedostojen rakenne

5. Tiedoston alkukommentti
6. C-kielen otsikkotiedostojen sisällytys
7. Omien otsikkotiedostojen sisällytys
8. Aliohjelmien koodi samassa järjestyksessä kuin esittelyissä

Jokaiseen C-tiedostoon tarvittaessa liittyvän otsikkotiedoston eli .h-tiedoston rakenne

9. Tiedoston alkukommentti
10. Otsikkotiedoston ehdollinen sisällytys
11. Vakioiden määrittely
12. Tietorakenteiden määrittely
13. Aliohjelmien esittelyt sisältäen muuttujien nimet
14. Otsikkotiedostoja ei sisällytetä toisiin otsikkotiedostoihin vaan sisällytykset tehdään aina lähdekooditiedostoissa

Otsikkotiedoston ehdollinen sisällytys

15. Useista tiedostoista muodostuvan ohjelman otsikkotiedostoissa tulee olla ehdollinen sisällytys
16. Käytettävän vakion nimi on sama kuin tiedostonimi suuraakkosilla, esim. `tiedosto.h` -tiedoston vakion tulee olla `TIEDOSTO_H`
17. Ehdollinen sisällytys muodostuu seuraavista käskyistä:
    `#ifndef - #define - #endif`

Tiedostojen nimeäminen

18. Pääohjelman lähdekooditiedoston ja suoritettavan tiedoston nimien tulee olla samat
19. Viikkotehtävät tulee nimetä luennon ja tehtävän perusteella, esim. `L1T1.c`, `L7T2.c`

20. Kirjastotiedostojen nimistä tulee käydä ilmi, mihin tehtävään ne liittyvät, esim. `L5T1Kirjasto.c`
21. Aliohjelmia sisältävien tiedostojen otsikko- ja ohjelmatiedostojen tulee olla saman nimisiä siten, että vain tiedostojen tarkenteet eroavat, esim. `L7T2.c` ja `L7T2.h`
22. Harjoitustyötiedostot tulee nimetä tehtävänannon mukaisesti
23. Tentissä tiedostot tulee nimetä tentin ohjeiden mukaisesti

Ohjelman kääntäminen ja Makefile

24. Useista tiedostoista muodostuva ohjelma tulee kääntää `make`-käskyllä ja `Makefile`:llä
25. Jokainen lähdekooditiedosto on käännettävä objektitiedostoksi omalla käskyllä. Objektitiedostojen nimien tulee olla samat kuin lähdekooditiedostojen
26. Suoritettava koodi tehdään omalla käskyllä käännetyistä objektitiedostoista
27. Käännettäessä on käytettävä seuraavia optiota: `-Wall`, `-pedantic`, `-std=c99`
28. `Makefile`:ssä on näyttävä tiedostojen riippuvuudet
29. `Makefile`:ssä tulee olla alkukommentti sisältäen tekijän ja päivämäärän
30. Harjoitustyön suoritettavan tiedoston nimen tulee olla harjoitustyöohjeen mukainen

Loppusanat

Olemme tässä oppaassa käyneet läpi C-ohjelmoinnin perusteet esimerkkien avulla ja tutustuneet ohjelmien tekemiseen Windows'n WSL-ympäristössä Linux-työkaluilla ja VSC-editorilla. Perusteiden oppimisen jälkeen ohjelmointi opettaa ohjelmoijaa eli kannattaa jatkaa ohjelmointia ja miettiä, mitä on oikeasti tekemässä ja sen ymmärtämisen pohjalta toteuttaa sitten halutut toiminnot ja ominaisuudet. Koodaamisen lisäksi kannattaa katsoa muiden kirjoittamia ohjelmia avoimin mielin, sillä kuluneen 50 vuoden aikana C-koodia on kirjoitettu paljon ja useimpiin haastaviinkin ongelmiin löytyy hyvin toimivia malleja.

C-ohjelmointia käsitellään monissa kirjoissa, mutta edelleen paras lähde C-kielen ymmärtämiseen on Kernighan ja Ritchie (1988) eli The C Programming Language -kirja. C-kielen käytön kannalta hyvä opas on Eric Hussin C-referenssikirjasto (Huss 1997) ja käytännön ohjelmointia laajemmin käsitellään Kernighan ja Pike (2005) -kirjassa The Practice of Programming. C-kieleen on saatavilla myös suomenkielisiä oppaita, joita kannattaa etsiä Internetin hakukoneilla. Hakuja voi rajata suomenkielisiin sivustoihin, mutta luonnollisesti englanninkielistä materiaalia on tarjolla paljon enemmän. Kannattaa myös katsoa tämän oppaan liite 3, johon on koottu keskeisten kirjastojen yleisimpiä funktioita.

Lähdeluettelo

Alaoutinen, Satu. 2005. Lyhyt C-opas. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tietotekniikan osasto. Viitattu 28.5.2021.

Huss, Eric. 1997. The C Library Reference Guide. Saatavilla osoitteesta http://www.acm.uiuc.edu/webmonkeys/book/c_guide/ , viitattu 18.12.2007.

ISO/IEC. 2018. Programming languages - C, N2454 working draft 9899:2018.

ISO/IEC. 2023. Programming languages - C, N3096 working draft 9899:2023 (E), April 1, 2023.

Kernighan, Brian W., Ritchie, Dennis M. 1988. The C Programming Language, Second edition. Prentice Hall Software Series.

Kernighan, Brian W., Pike, Rob. 2005. The Practice of Programming, 13th edition. Addison-Wesley Professional Computing Series.

Kerrisk, Michael. 2024a. The man-pages project. https://man7.org/linux/man-pages/index.html, viitattu 19.2.2024.

Kerrisk, Michael. 2024b. Linux- programmer's manual introduction. https://man7.org/linux/man-pages/man3/intro.3.html, viitattu 19.2.2024.

Kyttälä, Lauri ja Nikula, Uolevi. 2012. C-kieli ja käytännön ohjelmointi – Osa 2, Versio 1.0. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tietotekniikan käsikirjat 15.

Mecklenburg, Robert. 2004. Managing Projects with GNU Make, 3rd edition, http://oreilly.com/catalog/make3/book/index.csp, viitattu 19.2.2024.

Moody, Glen. 2001. Kapinakoodi, Tammi.

Stallman, Richard et al. 2024. GNU Coding Standards. https://www.gnu.org/prep/standards/standards.html, viitattu 19.2.2024.

Statcounter. 2021. Desktop operating system market share worldwide 2021, https://gs.statcounter.com/os-market-share/desktop/worldwide/#yearly-2021-2021-bar, viitattu 16.6.2021.

Robot Wisdom. 2011. http://www.robotwisdom.com/linux/timeline.html , viitattu 10.5.2011.

Tiobe 2024. TIOBE Index for February 2024, https://www.tiobe.com/tiobe-index/ , viitattu 19.2.2024.

Valgrind Developers. 2024a. Valgrind: an instrumentation framework for building dynamic analysis tools. https://www.valgrind.org/, viitattu 19.2.2024.

Valgrind Developers. 2024b. Valgrind User Manual Chapter 4. Memcheck: a memory error detector. https://www.valgrind.org/docs/manual/mc-manual.html, viitattu 19.2.2024.

Vanhala, Erno ja Nikula, Uolevi. 2020. Python 3 – ohjelmointiopas versio 1.2.1. LUT-yliopisto. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-622-1, viitattu 19.2.2024.

Wikipedia. 2024. Hungarian notation. https://en.wikipedia.org/wiki/Hungarian_notation, viitattu 19.2.2024.

Liitteet

Tähän oppaaseen kuuluu seuraavat liitteet:

1. C-ohjelmointiympäristön asennusohje
2. Visual Studio Code -editorin käyttöohje
3. Keskeisten C-kirjastojen funktioita

Liite 1. C-ohjelmointiympäristön asennusohje

1. Johdanto

Tämä on LUTin C-ohjelmointikurssin asennusohje. Kehitysympäristö on valittu siten, että ohjelmat tehdään Windows-sovelluksessa ja näin ollen käyttöliittymä on monille tuttu. Toisaalta ohjelmien kääntäminen ja suorittaminen tehdään Linux-ympäristössä hyväksi koetuilla työkaluilla gcc, make ja Valgrind. Linux-ympäristö sopii hyvin myös ohjelmien suorittamiseen, sillä se auttaa havaitsemaan ohjelmointivirheet ilmoittamalla monista virheistä, esim. segmentation fault, ja tekemällä core dumped'n. Tämä auttaa ohjelmien sisältämien virheiden havaitsemista ja helpottaa samalla niiden poistamista ohjelmista.

1.1. Suositeltava kehitysympäristö

Tämän oppaan yhteydessä **suositeltava kehitysympäristö** on seuraava:

- Tietokoneen käyttöjärjestelmä: Win10, uusin/päivitetty versio
- Koodieditori: Visual Studio Code, VSC, uusin versio
- Kääntämistä ja suorittamista varten: WSL1 ja Ubuntu 20.04 LTS (Linux)
- GNU-kehitystyökalut WSL:ssä: gcc, make ja Valgrind

1.2. Muut kehitysympäristöt

Myös muita kehitysympäristöjä voi käyttää, mutta niiden osalta jokainen vastaa itse ympäristön toimivuudesta. Ohjelmien "oikea toiminta" tarkoittaa sen toimintaa em. suositusympäristössä.

- Mac ja Linux tietokone/virtuaalikone toimivat lähtökohtaisesti vastaavalla tavalla, kunhan asennus tehdään samoilla periaatteilla ja ohjelmistoversioilla
- LUT tarjoaa Linux-ympäristöjä käyttöön seuraavilla tavoilla:
    - Etäyhteys https://one.lut.fi, valitse Apps -kohdasta ”LUT virtual Desktop” ja avaa ”Desktop 3 – Ubuntu Linux”. Tämä vastaa EXAM-tentissä käytettävää Linux-ympäristöä
    - Linux-luokka 6218

2. Suositusympäristön asennusohjeet

Tässä luvussa on ohjelmien asennusohjeet. Ohjelmat kannattaa asentaa samassa järjestyksessä kuin ne ovat tässä ohjeessa. Periaatteessa nämä ohjeet riittävät normaaliin asennukseen, mutta tarvittaessa tarkempia ohjeita löytyy jokaisen kohdan lopussa olevan linkin takaa.

2.1. WSL eli Windows Subsystem for Linux

- Tämän oppaan tehtävien tekemiseen sopii WSL1
    1. Salli WSL:n käyttö tietokoneessasi
        - Kirjoita Windows’n Etsi-ikkunaan ”Turn Windows feature on or off” / ”Ota Windowsin ominaisuuksia käyttöön tai poista niitä käytöstä” ja käynnistä tämä sovellus, edellyttää ylläpitäjän oikeuksia
        - Laita rasti kohtaan ”Windows Subsystem for Linux” / ”Windows alijärjestelmä Linuxille”
        - Valinnan hyväksymisen jälkeen Windows pitää käynnistää uudestaan
    2. Asenna Ubuntu Linux 20.04 LTS Microsoft-kaupasta https://www.microsoft.com/fi-fi/p/ubuntu-2004-lts/9n6svws3rx71
        - Luo itsellesi käyttäjätunnus Linuxiin asennuksen jälkeen. Älä käytä LUTin tunnuksia tai salasanaa vaan esim. omaa nimeäsi kuten *ville*
- Nyt sinulla on WSL1 eli Ubuntu Linux käytössäsi Win10-käyttöjärjestelmän rinnalla
    - Tässä oppaassa riittää WSL1 ja koska sen asennusohje on helpompi, käytämme sitä. Myös WSL2:ta voi käyttää niin halutessaan
- Tarvittaessa katso tarkemmat asennusohjeet seuraavasta osoitteesta https://docs.microsoft.com/en-us/windows/wsl/install-win10
    - Yllä on WSL1 asennusohjeet, mutta linkin takana on laajemmat asennusohjeet WSL 1 ja 2:lle, rekisteröitymistä edellyttävä ”Simplified install” ja yllä olevaa laajemmat 6 vaihetta sisältävät ”Manual install” ohjeet. Täältä löytyy myös vinkkejä ongelmiin eli *Troubleshooting installation* -kohta

2.2. Linux-kehitysympäristö

- Käynnistä edellä asennettu Ubuntu, päivitä se ja asenna seuraavat ohjelmat kirjoittamalla alla olevat käskyt terminaaliin:
    - Päivitysten haku koneelle: `sudo apt update`
    - Päivitysten asennus koneelle: `sudo apt upgrade`
    - GNU-työkalut: `sudo apt install build-essential gdb`
    - Valgrid: `sudo apt install valgrind`
- Tarkista asennuksen onnistuminen testaamalla, että gcc ja make ovat käytössäsi eli että ne löytyvät Linux-terminaalista seuraavilla käskyillä
    - `gcc --version`
    - `make --version`

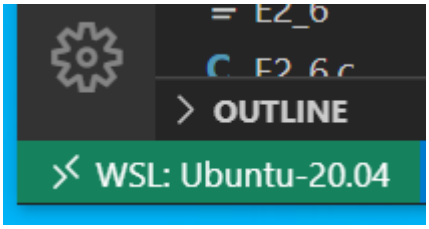
    - `valgrind --version`
- Versionumeroilla ei ole nyt merkitystä vaan oleellista on varmistua, että em. ohjelmat ovat käytettävissä. Toisin sanoen, jos em. käsky palauttaa tekstin ”`Command 'xx' not found, but can be installed with:`”, ei asennus onnistunut vaan joudut yrittämään uudestaan suorittamalla edellisen ilmoituksen jatkona olevan käskyn
- Nyt sinulla on Linuxissa tarvittavat C-kehitystyökalut asennettuna. Alla olevan linkin takaa löytyy tarkempia ohjeita C++ kehitysympäristön konfigurointiin
    - https://code.visualstudio.com/docs/cpp/config-wsl
- Muista, että Linuxissa ylläpitäjä hoitaa käyttöjärjestelmän päivitykset ml. tunnettujen tietoturva-aukkojen korjaukset. Päivitykset kannattaa tarkistaa vähintään kuukausittain
    - Ohjelmistojen uusimpien versioiden haku: `sudo apt update`
    - Ohjelmistojen päivitys uusimpiin versioihin: `sudo apt upgrade`

2.3. Visual Studio Code

- Mene Windows’n selaimella seuraavaan osoitteeseen: https://code.visualstudio.com/Download
    - Valitse omalle koneellesi sopiva asennusohjelma, lähtökohtaisesti Win10, User Installer, 64 bit (tai 32 bit tai ARM)
    - Voit tarkistaa käyttämäsi prosessorityypin painamalla Windows- ja Pause-näppäimiä samanaikaisesti ja katso dialogista Järjestelmätyyppi/System type -kohdasta
    - Asennuksen yhteydessä kannattaa tehdä seuraavat asetukset
        - Add "Open with Code" action to Windows Explorer file context menu
        - Add "Open with Code" action to Windows Explorer directory context menu
        - Register Code as an editor for supported file types
        - Add to PATH (requires shell restart)
- Asennuksen jälkeen käynnistä VSC ja asenna siihen seuraavat laajennokset eli extensions. Laajennokset kannattaa asentaa wsl:ään (remote wsl) eikä paikallisesti (local)
    - Remote – WSL (Microsoft)
    - C/C++ (Microsoft)
    - CMake Tools (Microsoft)
    - VS Code Printing Free (PD Consulting; jos haluat tulostaa paperille)
- Nyt sinulla on VSC editori asennettuna Windows’ssa, muttei vielä yhdistettynä WSL-kehitystyökaluihin
- Katso tarvittaessa asennusohjeet osoitteesta https://code.visualstudio.com/docs

2.4. WSL:n etäkäyttö VSC:stä

- Viimeisenä vaiheena on yhdistää WSL:n työkalut VSC:n terminaaliin
- Käynnistä VSC ja asenna Remote WSL laajennos. Tässä yhteydessä VSC tekee WSL serverin asennuksen ja sen päätteeksi VSC:n vasempaan alanurkkaan tulee vihreä laatikko, jossa lukee WSL: Ubuntu-20.04
    - Asennuksen aikana VSC:ssä näkyy ikkuna, jossa lukee ”Starting VS Code in WSL (Ubuntu-20.04): Downloading Server…”



- Asennukset on nyt tehty ja voimme siirtyä ohjelmoimaan

2.5. Linux-terminaalin käyttö VSC:ssä

- Varmistetaan ohjelmointiympäristön toimivuus tekemällä pieni C-ohjelma
- Luo VSC:ssä uusi tiedosto CTRL-N -käskyllä ja kopioi seuraava C-koodi siihen

```
#include <stdio.h>
int main(void) {
    printf("Heippa maailma!\n");
    return(0);
}
```

- Tallenna tiedosto CTRL-S -käskyllä VSC:n ehdottamaan hakemistoon nimellä `oma.c`
- Siirry VSC:n terminaaliin CTRL-ö -käskyllä. Terminaaliin tulee nyt sama Linux-prompti kuin edellä GNU-työkalujen asennuksen yhteydessä. Tee ohjelman käännös ja suoritus
  - Käännös: `gcc oma.c -o oma`
  - Suoritus: `./oma`
- Ohjelma tulostaa ”`Heippa maailma!`” -tekstin ja rivinvaihdon
- Kehitysympäristön asennus on nyt valmis ja toimiva
- Katso tarvittaessa tarkemmat asennusohjeet osoitteesta https://code.visualstudio.com/docs/cpp/config-wsl

2.6. Tiedostojen siirto Windows’n ja WSL:n välillä

VSC-ohjelman käyttöliittymä ajetaan Windows-käyttöjärjestelmässä ja ohjelmien kääntäminen sekä suoritus tehdään Linux-käyttöjärjestelmässä, ts. kehitystä tehdään samaan aikaan kahdessa eri käyttöjärjestelmässä. Käännettävät tiedostot voivat olla kummassa tahansa järjestelmässä, mutta paremman suorituskyvyn vuoksi tiedostot kannattaa pitää Linuxin puolella WSL:ssä. Mikäli WSL:ssä olevia tiedostoja haluaa kopioida tiedostoina johonkin Windows’n resurssienhallinnalla, ovat suoritettava ohjelma ja levyjärjestelmä taas eri järjestelmissä ja tiedostoihin ei pääse käsiksi yhtä helpolla kuin toimittaessa vain yhdessä järjestelmässä. Tämä kuitenkin onnistuu esimerkiksi seuraavilla tavoilla

- **Tiedostojen sisällöt voi siirtää leikepöydän kautta**. Tämä toimii samalla tavalla kuin palautettaessa ohjelmakoodi Viopeen. Voit esim. valita koko tiedoston sisällön VSC:n ikkunassa (CTRL-A), kopioida sen leikepöydälle (CTRL-C) ja liittää sen toisen järjestelmän ikkunaan (CTRL-V)
- **Tiedostot voi kopioida Windows’n Explorer’lla**. WSL’n käyttämä hakemisto löytyy esim. käynnistämällä ensin WSL-terminaali ja sitten Explorer työhakemistossa seuraavalla käskyllä (ohjelman nimi + välilyönti + piste):
  - `explorer.exe .`

- **Explorerin osoiteriville voi kirjoittaa halutun hakemiston osoitteen**, jonka alkuosa on seuraava
  - \\wsl$\Ubuntu-20.04\home\un
  - Edellä olevassa polussa on wsl$ on käyttöjärjestelmän ylläpitämä muuttuja, joka viittaa wsl:n juurihakemistoon. Sen jälkeen on asennetun Linux-version nimi (Ubuntu-20.04) ja Linux-hakemistoista mennään kotihakemistoon ja sitten luodun käyttäjätunnuksen juurihakemistoon (un)
- **Tiedostoja voi käsitellä myös WSL:n puolelta**. Windows'n levyasemat löytyvät mountattuina WSL:än /mnt-hakemistosta, joten VSC:ssä voi valita normaalisti halutun hakemiston Windows'n hakemistosta

Tällä kurssilla käsiteltävät tiedostot ja niiden lukumäärät ovat sen verran pieniä, että tiedostoja voi säilyttää WSL:n tai Windows'n puolella eikä se vaikuta merkittävästi suorituskykyyn tms. Laajemmissa projekteissa kaikki tiedostot kannattaa laittaa samaan hakemistoon WSL:ään kääntämisen nopeuden vuoksi.

2.7. Huomioita

- **Ylläpitäjän tehtäviä**. Käyttöjärjestelmän ml. WSL:n asennus ei ole jokapäiväisiä toimenpiteitä, joten ne edellyttävät usein ylläpitäjän oikeuksia eli ne pitää suorittaa PowerShell'ssä Ylläpitäjänä. Omalla koneella tämä tyypillisesti onnistuu, mutta esim. työnantajan koneella ei, joten tällaisissa tapauksissa pitää harkita saako asennuksen tehtyä esim. tietohallinnon kautta vai pitääkö keksiä muita ratkaisuja kuten esim. siirtyä käyttämään ohjeen alussa mainittua etäyhteyttä tai Linux-luokkaa
- **Linuxin päivitys**. Linuxin asennuksen jälkeen se on syytä päivittää ajan tasalle. Lähtökohtaisesti oppaan läpikäynnin aikana eli muutaman kuukauden aikana ei pitäisi tarvita järjestelmän päivittämistä. Tämän liitteen kohdassa 2.2 oli kuitenkin Linuxin päivitysohjeet, joita kannattaa noudattaa, jos Linux jättää omalle koneelle pidemmäksi aikaa. Tämä jää käyttäjän omalle vastuulle.

3. Linux ja Apple -ympäristöt

Applen taustalla on Unix-ideat, joten Applen tuotteet toimivat komentorivillä pitkälti samalla tavalla kuin Linux-tuotteet. Siksi oppaan tehtävien tekemiseen käytettävät ympäristöt saa asennettua niihin suhteellisen vähällä työllä ja samoilla ideoilla.

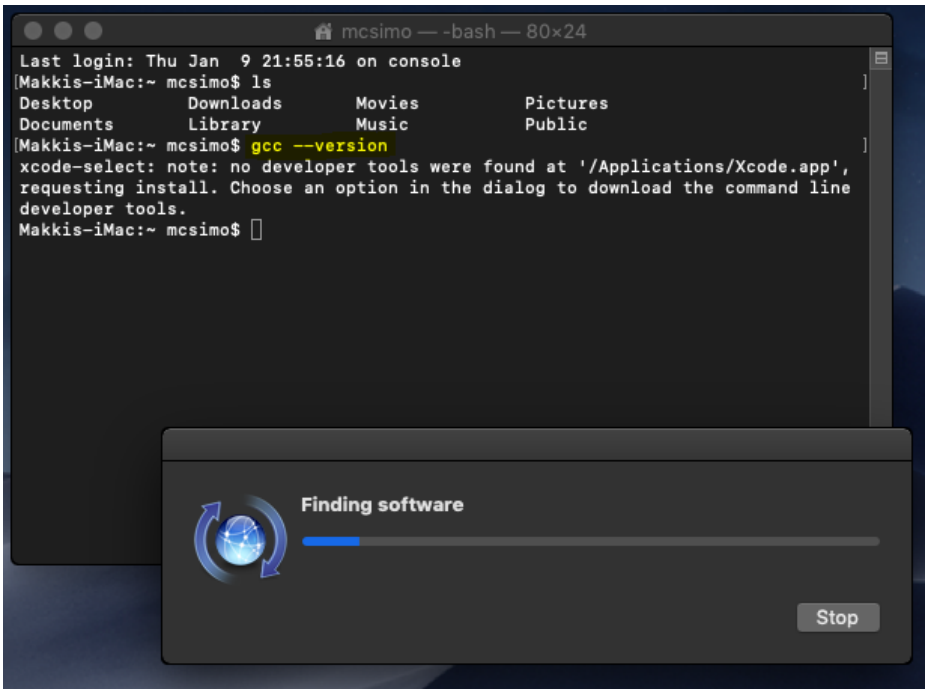
Asenna Visual Studio Code –editori alla olevan linkin kautta:

- https://code.visualstudio.com/download

Asenna editoriin seuraavat laajennukset/extensions:

- C/C++, Microsoft
- CMake Tools, Microsoft
- VS Code Printing Free, PD Consulting (jos haluat tulostaa paperille)

Kääntäjä eli gcc löytyy järjestelmistä esiasennettuna ja sitä voi käyttää terminaalista samalla tavoin Windows'ssa käytetään WSL:n gcc:tä. Voit varmistua kääntäjän olemassaolosta kirjoittamalla terminaaliin komennon *gcc --version*. Jos gcc-kääntäjä on asennettu niin terminaaliin pitäisi tulostua sen versio. Muussa tapauksessa järjestelmän pitäisi kysyä, että haluatko asentaa *Command Line Developer Tools,* johon kannattaa vastata myöntävästi. Alla olevassa kuvassa näkyvän asennusprosessin pitäisi alkaa.



Kääntäjän asentaminen Applen järjestelmään

3.1. Linux virtuaalikone

Mikäli haluat asentaa itsellesi Linux-virtuaalikoneen, sellainen löytyy asennusohjeiden kanssa esim. osoitteesta http://www.vmware.com/products/player/

Virtuaalikone tarvitsee kaverikseen käyttöjärjestelmän ja Ubuntu-Linux käyttöjärjestelmä löytyy asennusohjeiden kanssa esim. osoitteesta http://www.ubuntu-fi.org/

Liite 2. Visual Studio Code -editorin käyttöohje

1. Visual Studio Code -koodieditori

Tässä ohjeessa on kerrottu VSC:n perusteet, joilla pääset tekemään ohjelmia. Kyseessä on editori eli muokkausohjelma, joka toimii pitkälle samalla tavalla kuin kaikki Windows-editorit. Tekstieditorilla kuten MS-Word ja koodieditorilla on kuitenkin eri käyttötarkoitukset ihan niin kuin urheilu- ja kuorma-autolla, joten kannattaa käyttää omaan tehtävään sopivaa editoria. Nyt koodataan, joten nyt käytetään VSC-koodieditoria.

1.1. VSC:n keskeiset ikkunat

VSC:ssä kannattaa pitää auki kolme ikkunaa:

1. Explorer, jossa näkyy valitussa kansiossa olevat tiedostot
2. Editori, jossa koodia editoidaan eli muokataan
3. Terminaali, jossa ohjelma käännetään ja suoritetaan

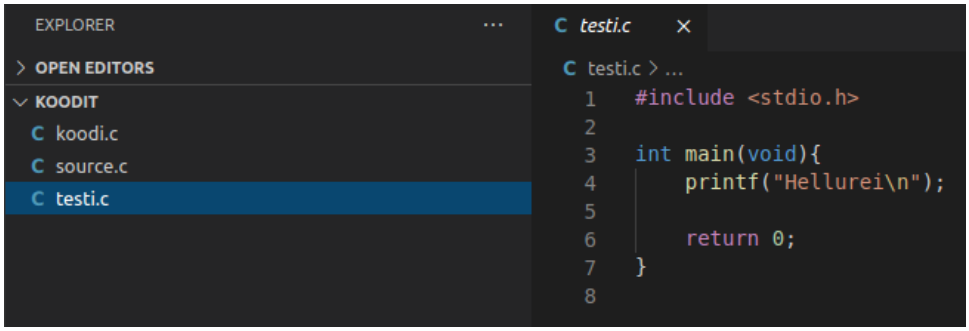
1.2. Explorer eli kansion kanssa työskentely

Kaikki yhteen projektiin kuuluvat tiedostot kannattaa tallentaa samaan kansioon, jolloin niitä on helppo käsitellä yhtä aikaa. Tämän oppaan kannalta kaikki oppaan esimerkit muodostavat yhden kansion. Oppaan lopussa ohjelmat muodostuvat useista tiedostoista ja tiedostojen kääntämiseen käytetään `make`'a, jolloin on luontevaa luoda jokaista isompaa ohjelmaa kohden oma projekti eli jokaista `Makefile`'ä kohti tehdään aina yksi kansio.

Kansion avaaminen

Ohjelmatiedostokansion voi avata VSC:n kautta tai tiedostonhallinnasta. Tiedostojen avaaminen tiedostonhallinnasta onnistuu, jos asennuksen yhteydessä valitsit "Open with Code"-vaihtoehdon. Luonnollisesti C-ohjelmatiedostot voi yhdistää myös VSC:hen jälkikäteen Windows'n asetuksista. Halutun kansion avaaminen onnistuu seuraavilla tavoilla:

- VSC
  - File → Open Folder → Valitse koodikansio → Ok
  - Valitset CTRL-K ja CTRL-O peräkkäin näppäimistöltä
- Tiedostonhallinta: Klikkaa hiiren oikeaa painiketta kansiossa -> Open with Code

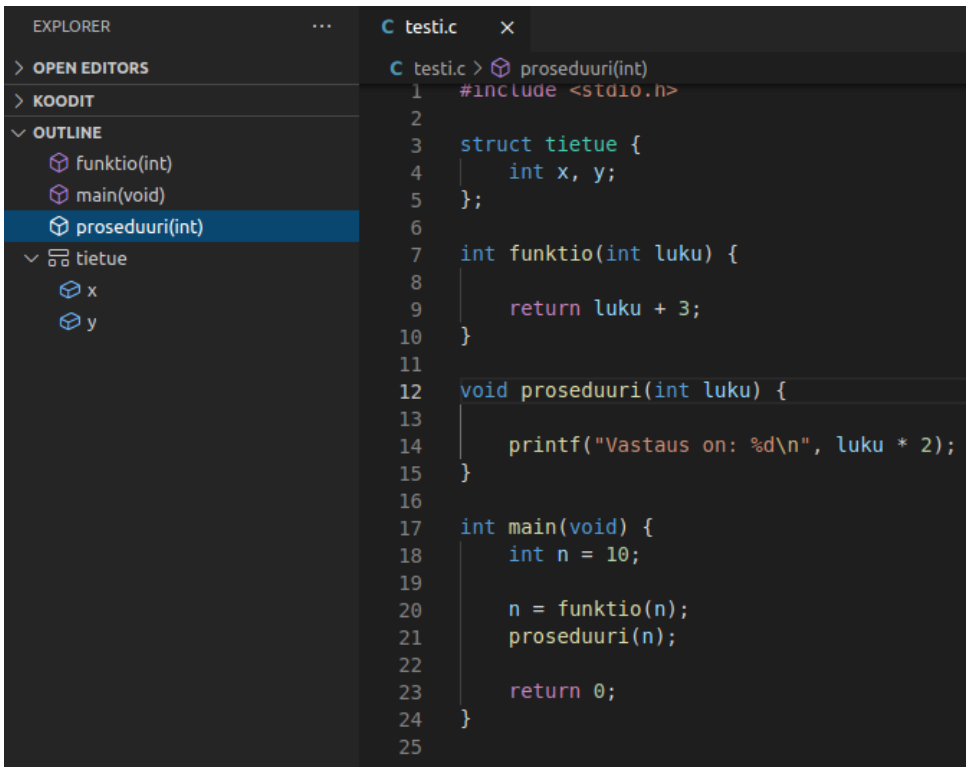


Kuva 1. Avattu kansionäkymä, kansiosta “Koodit”.

Koodikansion auki pitäminen helpottaa työskentelyä useiden tiedostojen kanssa, kun kaikki kansiossa olevat tiedostot näkyvät yhtä aikaa vasemmalla. Lisäksi terminaali avautuu aina suoraan koodikansioon, joten näin välttyy tarpeelta siirtyä terminaalissa kansiosta toiseen.

Koodin yleiskuva (Outline navigaatio)

Kooditiedostojen kasvaessa ja niiden sisältäessä useita eri aliohjelmia ja tietorakenteita, voi koodissa navigaatiota helpottaa VSC:n Outline-näkymällä. Outline-näkymän saa auki klikkaamalla editorin vasemmalla puolella olevaa Outline-kohtaa. Tästä näkymästä voi helposti nähdä avatun kooditiedoston rakenteet ja rakennetta klikkaamalla editoriin aukeaa koodin haluttu kohta kuten esimerkiksi kiinnostava aliohjelma tai tietue.



Kuva 2. Outline-näkymä tiedostosta testi.c.

1.3. Editori eli tiedostojen kanssa työskentely

Explorerissa näkyvät tiedostot ja ne saa auki editoriin klikkaamalla tiedostonimeä. Tämän jälkeen tiedostoa voi muokata editorissa. Koodieditorissa on tiettyjä erityispiirteitä, jotka tekevät editorista sopivan juuri ohjelmakoodin muokkaamiseen. Alkuun pääsee ihan

normaaleilla Windows-ohjelmien käskyillä kuten talleta (CTRL-S), kopioi (CTRL-C) jne. sekä käyttämällä näppäimistöä normaalisti. Kun koodaa enemmän, tulee vastaan tiettyä usein toistuvia asioita ja siksi niitä varten on olemassa omia pikanäppäimiä, jotka löytyvät esim. seuraavista läheistä:

- Windows: https://code.visualstudio.com/shortcuts/keyboard-shortcuts-windows.pdf
- Linux: https://code.visualstudio.com/shortcuts/keyboard-shortcuts-linux.pdf
- macOS: https://code.visualstudio.com/shortcuts/keyboard-shortcuts-macos.pdf

Yleisimpiä näppäinyhdistelmiä ovat seuraavat:

- Pikanäppäinasetukset. Paina Ctrl+K ja sen jälkeen Ctrl+S. Täältä voi etsiä tai muokata VSC-pikanäppäimiä.
- Extensions -valikko. Ctrl+Shift+X
- Format document. Koodin saa automaattisesti formatoitua “nättiin muotoon”
    - Windows: Shift+Alt+F
    - Linux: Ctrl+Shift+I
- Kaikki saman sanan esiintymiset koodissa voidaan muokata kerralla maalaamalla teksti ja painamalla F2
- Painamalla Alt ja nuolinäppäintä (ylös/alas) voidaan siirtää koodiriviä helposti riviltä toiselle
- Monelle eri riville voidaan kirjoittaa samanaikaisesti käyttämällä ns. Multikursoria. Voit asettaa kursoreita painamalla Alt-painiketta ja klikkaamalla haluttua riviä
- Rivikommentin voi lisätä painamalla
    - Linux ja Windows oletus: Ctrl+Shift+/
    - Windowsissa voi olla Ctrl + ‘ (heittomerkki)
- Painamalla oikeasta yläkulmasta laatikkoikonia tai raahaamalla tiedoston nimen haluttuun kohtaan näkymään saa näkymän jaettua useaan osaan (tämän voi myös asettaa omaksi pikanäppäimeksi)
- Uuden tiedoston avaus. Ctrl+N
- Koodin sisentämisen lisääminen ja vähentäminen sarkain ja Shift-sarkain (sarkain = tabulaattori eli TAB).
- Käyttöliittymää voi suurentaa eli zoomata painamalla Ctrl+ + sekä pienentää painamalla Ctrl+ -
- Zoomauksen voi resetoida painamalla Ctrl + NumPad0
- Uuden terminaalin saa auki painamalla Ctrl+ Ö (tai englantilaisella näppäimistöllä Ctrl+´
- Kaiken koodin voi kopioida painamalla Ctrl + A ja painamalla sen jälkeen Ctrl + C kuten kaikissa Windows-sovelluksissa

Editorilla kirjoitetaan siis ohjelma eli editoidaan koodia. Kun ohjelma on tehty, C-ohjelma pitää kääntää ja suorittaa.

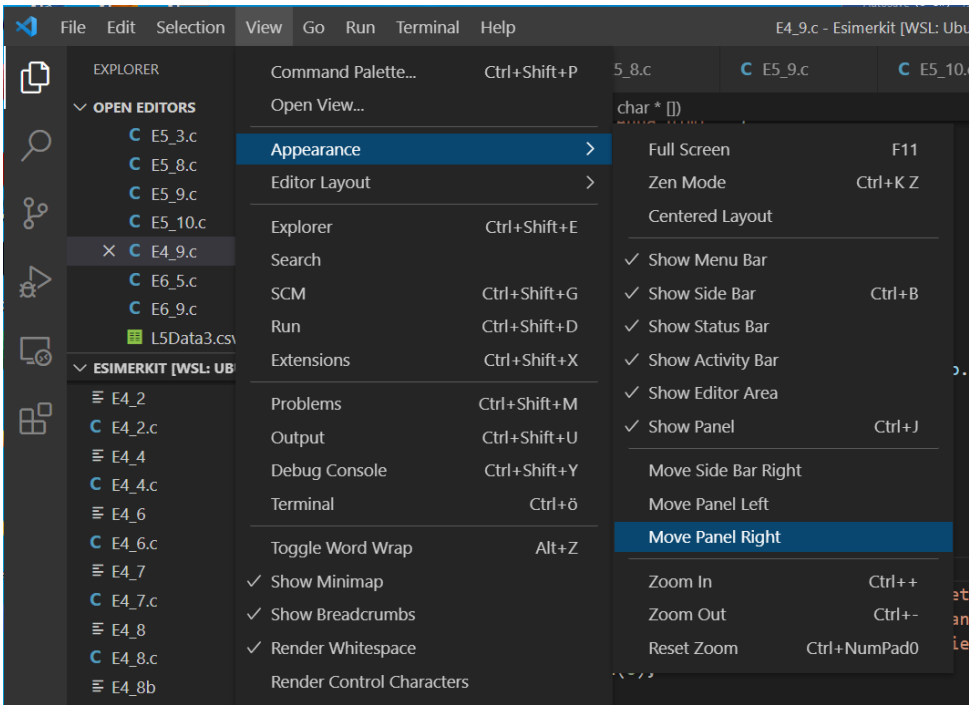
1.4. Terminaali eli ohjelman kääntäminen ja suorittaminen

Jos editorin alareunassa ei näy terminaalia, voi sen avata ylävalikosta Terminal -> New Terminal. Terminaaliin avautuu järjestelmän oletuskomentotulkki, joka WSL-asennuksessa on bash eli Linux-komentorivi. Oletustulkin voi vaihtaa klikkaamalla terminaalissa olevaa pudotusvalikkoa ja valitsemalla “Select Default Shell” ja valitsemalla ylävalikon vaihtoehdoista mieluisen.

Kuva 3. Terminaali ja oletuskomentorivitulkki bash

Komentotulkki ei vaihdu vielä samaan terminaali-istuntoon, vaan terminaali pitää käynnistää uudelleen tai avata uusi terminaali. Käyttötarkoitukseemme riittää yksi terminaali, joten sulje ensin vanha painamalla terminaalin pudotusvalikon vieressä olevaa roskakori-ikonia (Kill Terminal) ja avaa ylävalikosta uusi terminaali.

Terminaali on normaali Linuxin terminaali eli siinä voi kääntää ja suorittaa ohjelmia sekä katsoa esim. manuaali-sivuja. Mikäli suoritettava ohjelma, tai manuaalisivu, on niin pitkä, ettei sen käyttö ole luontevaa editorin alapuolella, voi sen siirtää myös editorin viereen esim. oikealla (kuva 4) tai avata oman Ubuntu-Linux-terminaalin Windows'sta sitä varten.



Kuva 4. VSC:n asetukset, terminaalin siirto editorin viereen oikealle puolelle (Move Panel Right)

1.5. Konfigurointi

Koodieditoria voi muokata paljon eli ohjelmoija voi tehdä työkalustaan itsensä näköisen. Alla on yksi tällainen konfigurointivinkki eli sarkain-näppäimen asetusten muuttaminen. `Makefile`'ssä on pakko käyttää sarkain-merkkiä/tabulaattoria, vaikka koodissa sisennys välilyönneillä on toimiva käytäntö.

Sarkain eli tabulaattori, \t

- VSC korvaa oletuksena sarkaimen 4 välilyönnillä.
- Asetuksen voi vaihtaa editorin alareunassa näkyvästä "Tab Size: 4" -kohdasta.

Kuva 5. VSC:n asetukset, joista voi vaihtaa mm. välilyönti- ja sarkainasetuksia

Liite 3. Keskeisten C-kirjastojen funktioita

1. C-kielen kirjastoja ja otsikkotiedostoja

C-kielessä käytetään paljon kirjastoja, jotka saadaan käyttöön sisällyttämällä otsikkotiedosto ohjelmaan. Tähän liitteeseen on koottu keskeisiä otsikkotiedostoja sekä niihin liittyviä kirjastojen funktioita ja vakioita.

Jotkut kirjastot pitää myös linkittää mukaan tehtävään ohjelmaan. Tämä onnistuu `-l` -optiolla sekä halutun kirjaston tunnisteella kuten `m` math-kirjaston kohdalla eli optiolla `-lm`

```
gcc testi.c -o testi -lm
```

1.1. ctype.h

- **isalnum(x).** Testaa, onko x alfanumeerinen merkki
- **isalpha(x).** Testaa, onko x kirjain
- **isdigit(x).** Testaa, onko x numeromerkki
- **islower(x).** Testaa, onko x pieni kirjain
- **isspace(x).** Testaa, onko x tyhjä merkki (välilyönti, rivinvaihto, ...)
- **isupper(x).** Testaa, onko x iso kirjain
- **tolower(x).** Muuntaa x:n vastaavaksi pieneksi kirjaimeksi
- **toupper(x).** Muuntaa x:n vastaavaksi isoksi kirjaimeksi

1.2. float.h

- **DBL_MIN.** Pienin positiivinen kaksoistarkkuuden luku
- **DBL_MAX.** Suurin kaksoistarkkuuden luku

1.3. limits.h

- **CHAR_MIN.** Merkkityypin pienin arvo
- **CHAR_MAX**. Merkkityypin suurin arvo
- **INT_MIN.** Pienin kokonaisluku
- **INT_MAX.** Suurin kokonaisluku

1.4. math.h

- **abs(x)**. Kokonaisluvun itseisarvo
- **acos(x)**. Arkuskosini x
- **asin(x)**. Arkussini x
- **atan(x)**. Arkustangentti x
- **ceil(x)**. Palauttaa pienimmän kokonaisluvun, joka on suurempi kuin x
- **cos(x)**. Kosini x
- **cosh(x)**. Hyperbolinen kosini x
- **exp(x)**. e potenssiin x
- **fabs(x)**. Reaaliluvun itseisarvo
- **floor(x)**. Palauttaa suurimman kokonaisluvun, joka on pienempi kuin x
- **log(x)**. ln x
- **log10(x)**. log10 x
- **pow(x,y)**. x potenssiin y
- **sin(x)**. Sini x
- **sinh(x)**. Hyperbolinen sini x
- **sqrt(x)**. Neliöjuuri x
- **tan(x)**. Tangentti x
- **tanh(x)**. Hyperbolinen tangentti x

1.5. stdio.h

Sisältää kaikki syöttö-, tulostus- ja tiedostojenkäsittelyfunktiot, tyyppien määrittelyjä ja vakioita.

- **EOF**. (-1), tiedoston loppu
- **NULL**. (0), osoittimen arvo 0
- **stdin**. Standardi syöttötietovirta, normaalisti näppäimistö
- **stdout**. Standardi tulostustietovirta, normaalisti näyttö
- **stderr**. Standardi virhetietovirta, normaalisti näyttö
- **SEEK_SET**. (0), tiedoston alku
- **SEEK_CUR**. (1), nykyinen tiedostosijainti
- **SEEK_END**. (2), tiedoston loppu
- **FILE**. Rakenteinen tyyppi tiedostojen käsittelyyn
- **fpos_t**. Tyyppi, jota käytetään haluttaessa määrittää yksikäsitteisesti sijainti tiedoston sisällä
- **fopen(tiedostonimi, avausmuoto)**. Avaa tiedoston `tiedostonimi` `avausmuoto` kertomaan käyttötarkoitukseen
- **fclose(tiedosto)**. Sulkee `tiedosto` tiedoston
- **fflush(tiedosto)**. Tyhjentää tiedoston `tiedosto` puskurin
- **fseek(tiedosto, etäisyys, paikka)**. Siirtyy tiedostossa `tiedosto` `etäisyys` tavua kohdasta `paikka` laskien. `paikka` on joko SEEK_SET, SEEK_CUR tai SEEK_END
- **ftell(tiedosto)**. Kertoo sijainnin tiedostossa `tiedosto`
- **rewind(tiedosto)**. Siirtyy tiedoston alkuun
- **fgetpos(tiedosto, sijainti)**. Sijoittaa parametrin sijainti arvoksi nykyisen kohdan tiedostossa
- **fsetpos(tiedosto, sijainti)**. Siirtyy tiedostossa kohtaan `sijainti`

- **feof(tiedosto)**. Palauttaa nollasta poikkeavan arvon, jos ollaan tiedoston lopussa
- **perror(merkkijono)**. Tulostaa käyttäjän oman virheilmoituksen `merkkijono` yhdistettynä järjestelmän virheilmoitukseen standardi virhevirtaan stderr
- **getc(tiedosto)**. Lukee seuraavan merkin tiedostosta. Makro
- **getchar().** Lukee merkin standardisyöttövirrasta (näppäimistöltä). Makro
- **gets(merkkijono)**. Lukee merkkijonon standardisyöttövirrasta (näppäimistöltä) ja sijoittaa sen parametrin `merkkijono` arvoksi. Makro
- **fgetc(tiedosto)**. Lukee seuraavan merkin tiedostosta
- **fgets(rivi, määrä, tiedosto)**. Lukee enintään määrä-1 merkkiä tiedostosta ja sijoittaa ne merkkijonoon rivi. Rivin loppu tai tiedoston loppu lopettavat myös lukemisen
- **fputc(merkki, tiedosto)**. Kirjoittaa merkin tiedostoon
- **fputs(s, tiedosto)**. Kirjoittaa merkkijonon `s` tiedostoon
- **putc(merkki, tiedosto)**. Kirjoittaa merkin tiedostoon. Makro
- **putchar(merkki)**. Tulostaa merkin standarditulostusvirtaan (näytölle). Makro
- **puts(merkkijono)**. Tulostaa merkkijonon standarditulostusvirtaan (näytölle). Makro
- **fprintf(tiedosto, formaatti, muuttujalista)**. Kirjoittaa muotoiltua tekstiä tiedostoon
- **printf(formaatti, muuttujalista)**. Kirjoittaa muotoiltua tekstiä standarditulostusvirtaan (näytölle)
- **sprintf(merkkijono, formaatti, muuttujalista).** Kirjoittaa muotoiltua tekstiä merkkijonoon
- **fscanf(tiedosto, formaatti, muuttujalista)**. Lukee tekstiä tiedostosta ja sijoittaa sen muuttujalistan muuttujiin
- **scanf(formaatti, muuttujalista)**. Lukee tekstiä standardisyöttövirrasta (näppäimistöltä) ja sijoittaa sen muuttujalistan muuttujiin
- **sscanf(merkkijono, formaatti, muuttujalista)**. Lukee tekstiä merkijonosta ja sijoittaa sen muuttujalistan muuttujiin
- **fread(rakenne, koko, määrä, tiedosto)**. Binaaritiedoston käsittelyyn. Lukee tiedostosta enintään `määrä * koko` tavua ja sijoittaa sen muuttujan `rakenne` osoittamaan paikkaan
- **fwrite(rakenne, koko, määrä, tiedosto)**. Binaaritiedoston käsittelyyn. Lukee muuttujasta `rakenne` `määrä * koko` tavua ja kirjoittaa sen tiedostoon
- **remove(tiedosto)**. Poistaa tiedoston
- **rename(mjono1, mjono2)**. Muuttaa tiedoston nimen `mjono1`:stä `mjono2`:ksi

1.6. stdlib.h

- **atoi(x).** Muuttaa merkkijonon x kokonaisluvuksi
- **atof(x).** Muuttaa merkkijonon x liukuluvuksi
- **rand()**. Antaa satunnaisluvun väliltä 0...RAND_MAX
- **srand(x).** Alustaa satunnaislukugeneraattorin siemenluvulla x
- **malloc(x).** Varaa muistia x:n kokoisen alueen. Palauttaa osoittimen alueen alkuun
- **free(x)**. Vapauttaa x:n osoittaman muistitilan
- **system(x).** Suorituttaa käyttöjärjestelmällä x:n osoittaman komennon, esim. `system("rm tiedot.txt");`

1.7. string.h

Sisältää merkkijonojen käsittelyyn tarvittavat funktiot. str-alkuisia käytetään loppumerkillisten (\0) merkkijonojen käsittelyyn ja mem-alkuisia loppumerkittömien

käsittelyyn. memxxx -funktiossa on annettava merkkijonon pituus. strnxxx-funktioissa merkkijonossa oletetaan olevan loppumerkki ja annetaan enimmäispituus.

- **memchr(s1, c, n).** Etsii merkkiä c osoitteesta s1 alkavasta merkkijonosta. Käy läpi enintään n merkkiä
- **memcmp(s1, s2, n).** Vertailee kahta enintään n:n pituista merkkijonoa. Funktio palauttaa negatiivisen arvon, jos s1 on aakkosissa ennen s2:ta, positiivisen jos s1 on s2:n jälkeen ja nollan, jos s1 ja s2 ovat samat
- **memcpy(s1, s2, n).** Kopioi s2:n osoittamasta paikasta enintään n merkkiä s1:n osoittamaan paikkaan
- **memset(s1, c, n).** Asettaa s1:n osoittaman, enintään n:n pituisen merkkijonon kaikki merkit c:ksi
- **strcat(s1, s2).** Kopioi s2:n osoittaman merkkijonon s1:n osoittaman merkkijonon perään
- **strchr(s1, c).** Etsii merkkijonosta s1 merkkiä c ja palauttaa osoittimen löydettyyn merkkiin
- **strcmp(s1, s2).** Vertaa s1:n osoittamaa merkkijonoa s2:n osoittamaan merkkijonoon. Jos s1 < s2, tulos on <0, jos s1==s2, tulos on 0 ja jos s1>s2, tulos on >0
- **strcpy(s1, s2)**. Kopioi s2:n osoittaman merkkijonon s1:n osoittamaan paikkaan
- **strlen(s)**. Antaa merkkijonon s pituuden
- **strstr(s1, s2)**. Etsii merkkijonosta s1 merkkijonoa s2
- **strtok(s1, s2).** Käyttäen s2:ssa olevia merkkejä erottimina jakaa merkkijonoa s1 osiin
- **strncat(s1, s2, n).** Kopioi s2:n osoittaman, enintään n:n pituisen merkkijonon, s1:n osoittaman merkkijonon perään
- **strncmp(s1,s2, n).** Vertaa s1:n osoittamaa merkkijonoa s2:n osoittamaan merkkijonoon. Funktio ottaa huomioon enintään n merkkiä kummastakin. Jos s1 < s2, tulos on <0, jos s1==s2, tulos on 0 ja jos s1>s2, tulos on >0
- **strncpy(s1,s2, n).** Kopioi s2:n osoittamasta merkkijonosta n merkkiä tai loppumerkkiin \0 asti s1:n osoittamaan paikkaan