Toteutusdokumentti / Labyrintti Anu N. 12.1.2014

Kuten mainitsin *Dokumentointi*-kansiosta löytyvässä määrittelydokumentissa, valitsin TiRa-harjoitustyöni aiheeksi labyrintin. Päätin lähteä toteuttamaan työssäni ensin A*-hakua reitinhakualgoritmiksi, sekä minimikeko-tietorakennetta A*-haun käyttämäksi prioriteettijonoksi. Tämän jälkeen päätin vielä yrittää Jump Point Search -algoritmin [4] toteuttamista.

1. A*-haku ja hakua tukevat tietorakenteet

A*-hakua varten tarkastelin Helsingin yliopiston *Tietorakenteet ja algoritmit* [1]-kurssin sekä *Johdatus Tekoälyyn* [2] kurssin pseudokoodeja, mutta päädyin kuitenkin lopulta lähteä toteuttamaan A*-hakua Wikipediasta [3] löytyvään pseudokoodiin pohjaten:

```
function A*(start,goal)
    closedset := the empty set    // The set of nodes already evaluated
    openset := {start}    // The set of tentative nodes to be evaluated, initially containing the
                          // start node
    came_from := the empty map    // The map of navigated nodes

    g_score[start] := 0    // Cost from start along best known path

    // Estimated total cost from start to goal through y
    f_score[start] := g_score[start] + heuristic_cost_estimate(start, goal)

    while openset is not empty
        current := the node in openset having the lowest f_score[] value
        if current = goal
            return reconstruct_path(came_from, goal)

        remove current from openset
        add current to closedset
        for each neighbor in neighbor_nodes(current)
            if neighbor in closedset
                continue
            tentative_g_score := g_score[current] + dist_between(current,neighbor)

            if neighbor not in openset or tentative_g_score < g_score[neighbor]
                came_from[neighbor] := current
                g_score[neighbor] := tentative_g_score
                f_score[neighbor] := g_score[neighbor] + heuristic_cost_estimate(neighbor, goal)
                if neighbor not in openset
                    add neighbor to openset

    return failure

function reconstruct_path(came_from, current_node)
    if current_node in came_from
        p := reconstruct_path(came_from, came_from[current_node])
        return (p + current_node)
    else
        return current_node
```

Source: http://en.wikipedia.org/wiki/A*_search_algorithm

Artikkelissa mainittu aikavaativuus A*-algoritmille on pahimmillaan eksponentiaalinen ja parhaimmillaan polynominen, kun etsintä-avaruus muodostaa puun, maaleja on yksi ja heuristiikkafunktio h(x) noudattaa seuraavaa ehtoa [3]:

$$| h(x) - h^*(x) | = O(\log h^*(x))$$

A* -haku on kuin Dijkstran algoritmi, mutta sen lisäksi, että pidetään kirjaa solmujen etäisyydestä lähtösolmuun, käytetään A* -haussa siis heuristiikkaa arvioimaan lyhintä reittiä solmuista maaliin. Arviota voidaan myös parantaa, jos myöhemmin löytyy lyhyempi reitti, joka kulkee aikaisemmin arvioidun solmun kautta. A* löytää optimaalisen reitin, jos heuristiikka ei koskaan yliarvioi etäisyyttä. Itse käytin Labyrintti-ohjelman toteutuksessa heuristiikkana Manhattan-etäisyyttä, jossa lasketaan yhteen kahden eri solmun x- ja y-koordinaattien erotuksen itseisarvot. Esimerkiksi euklidinen ”linnuntie” -etäisyys olisi ollut toinen vaihtoehto etäisyysheuristiikaksi. [1, 2].

A*-haku löytyy Labyrintti-ohjelmassani pakkauksesta ”labyrintti.algot”, luokasta ”Astar”. Kuten mainittu, ohjelmoin omana prioriteettijonon toteutuksenani minimikeon. Toteutukseni pohjautuu *Tietorakenteet ja algoritmit* -kurssin kurssimonisteessa [1] käsiteltyyn maksimikeon pseudokoodiin, jonka pohjalta olen siis muokannut minimikeko-toteutuksen. Oma kekototeutukseni löytyy Labyrintti-ohjelmassa pakkauksesta ”labyrintti.tietorakenteet”, luokasta ”Keko”. Jotta omaan minimikekooni pohjautuvan A*-totetuksen suorituskyvyn ja oikeellisuuden vertaileminen JavanPriorityQueueen olisi mahdollista, ”Astar” -luokassa on mahdollista tehdä A*-haku myös käyttäen minimikeon tilalla Javan PriorityQueue:ta.

Yllä kuvatusta pseudokoodista poiketen toteutin polun rakentamisen varsinaisen A*-haun päätyttyä itse toteutetun Pino-tietorakenteen avulla, joka löytyy pakkauksesta labyrintti.tietorakenteet, luokasta ”Pino”. Tämäkin toteutus pohjautuu *Tietorakenteet ja algoritmit* -kurssin materiaaliin, ja ajatus pinon hyödyntämisessä polun rekonstruoimisessa on lähtöisin *Johdatus tekoälyyn* -kurssin reittiopas-laskuharjoitustehtävistä. [1, 2].

Keskeinen tietorakenne Labyrintti-toteutuksen kannalta on myös Solmu-olio (ks. pakkaus ”labyrintti.tietorakenteet” -> ”Solmu”), joka vastaa siis yhtä labyrintin ’ruutua’. Solmu-oliossa pidetään kirjaa mm. sen koordinaateista labyrintissa, matkasta lähtösolmuun,

kokonaiskustannuksesta (eli matka lähtösolmusta solmuun+arvio solmusta maalisolmuun), edellisestä solmusta lyhimmällä polulla, tiedosta, onko solmussa käyty, sekä siitä, onko solmu estesolmu, johon ei voi kulkea.

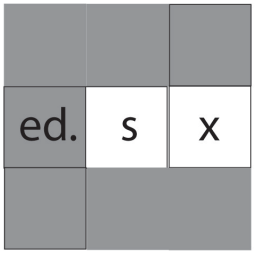
2. Jump Point Search

A*-algoritmin lisäksi halusin vielä yrittää toteuttaa Jump Point Search -algoritmia, jonka **Daniel Harabor** ja **Alban Grastien** ovat esittäneet artikkelissa *Online Graph Pruning for Pathfinding on Grid Maps*. Algoritmin ajatuksena on parantaa A*-algoritmin tehokkuutta tarkastelemalla hakuavaruutta vain joidenkin solmujen suhteen, joita Harabor ja Grastien kutsuvat ”jump pointeiksi” eli ”hyppypisteiksi”. Näiden pisteiden väliset solmut ’hypätään yli’ tiettyjä artikkelissa käsiteltyjä ehtoja noudattaen, mikä parantaa parhaassa tapauksessa A*-algoritmin tehokkuutta huomattavasti. Idea perustuu symmetristen polkujen läpikäymisen vähentämiseen - jos johonkin solmuun voidaan päästä optimaalisesti myös käsiteltävän solmun vanhemman (edellisen solmun) kautta, sitä ei tarvitse käsitellä nykyisen solmun naapurina - paitsi, jos kyseessä on ns. ”pakotettu naapuri” (*forced naeighbor*), eli edessä on este, jonka vuoksi solmuun on kuljettava nykyisen solmun kautta. [4, 5].

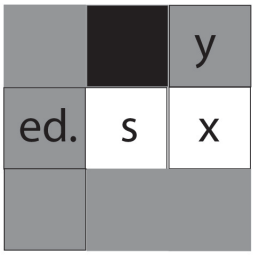
Haraborin ja Grastienin artikkelissa [4] JPS koostuu kahdesta algoritmista, ”Identify Successors” ja ”Function Jump”. Omassa Labyrintti-toteutuksessani JPS toteutetaan osin kahdessa eri luokassa. Naapurit haetaan Labyrintti-luokasta (getJumpPointNaapurit(nykyinen, suunta)), jossa tapahtuu siis myös tarkasteltavien naapurien rajaaminen JPS-sääntöjen mukaisesti. ”Jump” -funktion toteutus taas löytyy AstarJaJPS-luokasta, ja erityisesti metodista ”kasitteleNaapuritJumpPoint(Solmu nykyinen)).

Valitettavasti en ehdi tässä perehtyä syvemmin JPS-algoritmin yksityiskohtiin, mutta artikkelin [4] lisäksi hyvä ja visuaalinen kuvaus JPS:stä löytyy esimerkiksi lähteestä [5], jonka perusteella olen laatinut myös seuraavalla sivulla olevan esimerkin liikkumisesta oikealle ja ’pakotetun naapurin’ löytymisestä tässä tilanteessa. Omaan JPS-toteutukseeni jäi vielä bugeja, joiden vuoksi algoritmi tekee välillä pieniä hyppyjä väärään suuntaan sekä käy läpi liikaa solmuja etenkin suoralla matkalla seinän vierustalla.

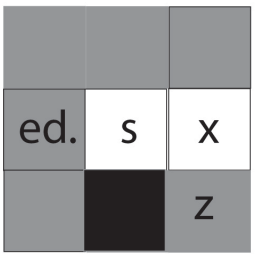
JPS esim: Liikkuminen oikealle



1. Ei esteitä: Harmaita solmuja ei tarvitse käsitellä, koska niihin päästään myös edellisestä solmusta (”ed.”). Voimme siis hypätä oikealle niin kauan, kunnes löytyy este tai ‘pakotettu naapuri’ tarkasteltavaksi.



2. Este yläpuolella: lisätään tarkasteltavaksi solmu y, koska sinne ei päästä s:n vanhemmasta (”ed.”) optimaalisemmin kulkematta solmun s kautta.



3. Este alapuolella: lisätään tarkasteltavaksi solmu z, koska sinne ei päästä s:n vanhemmasta (”ed.”) optimaalisemmin kulkematta solmun s kautta.

Lähde: [5]

3. Vertailu

Tarkoitus oli ehtiä työssäni vertailemaan vielä tarkemmin A*- ja JPS-algoritmeja ja niiden suorituskykyä keskenään, sekä omaa minimikekototeutustani Javan PriorityQueueen. Löysin kuitenkin viimeisten harjoitustyöpäivien aikana A*- ja kekototeutuksistani bugeja, jotka ehdin vasta osin aivan juuri saada korjattua, ja osin nämä bugit jäivät vielä paikallistamattakin. Koska algoritmit eivät vielä toimineet oikein ja toisiaan vastaavasti, eli palauttaneet aina samaa reittiä, en nähnyt kovin järkeväksi suorittaa vielä kattavia vertailuja, koska luvut eivät olisi kuvanneet oikeita asioita ja olleet keskenään vertailukelpoisia.

Muutamat harjoitustyön viimeisten minuuttien aikana pääohjelman (Main) kautta ajamani ”testit” näyttäisivät kuitenkin siltä, että suunnilleen samoissa suoritusajoissa liikutaan eri algoritmeilla, joskin - kuten mainittu - algoritmien reittihaussa voi tällä hetkellä olla poikkeamia, ja toisaalta labyrintti, jossa testit on suoritettu, on erittäin pieni (7x7).

Tuloksia (ajat ovat nanosekunteina)

Search omalla keolla 1000:
26821000

Search Javan PriorityQueuella 1000:
18376000

Search JPS:lla 1000:
33390000

Search omalla keolla 10 000:
177695000

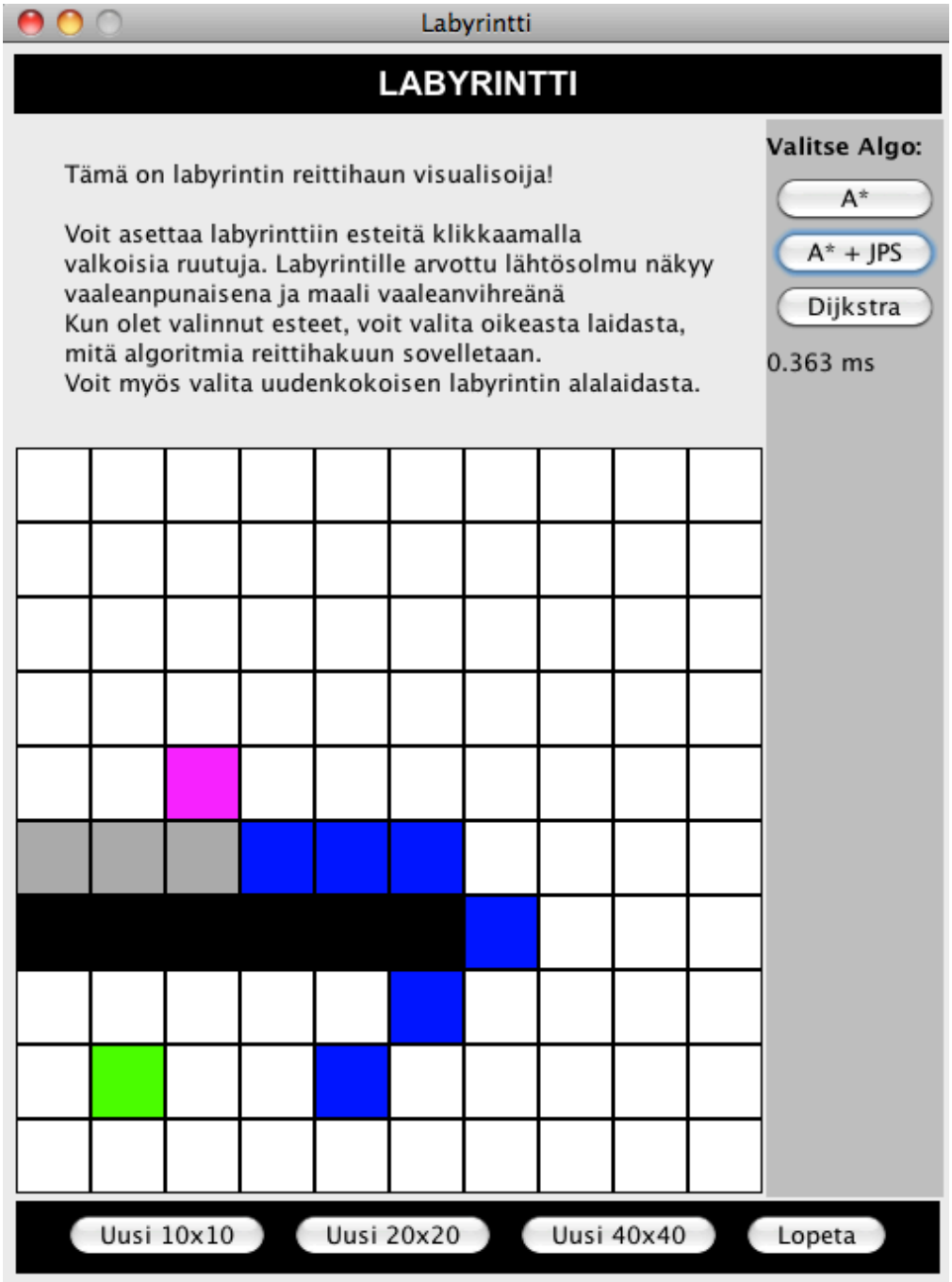
Search Javan PriorityQueuella 10 000:
223898000

Search JPS:lla 10 000:
276806000

4. Käyttöliittymä

Koska käyttöliittymän (kuva alla) toteuttamiseen jäi hyvin vähän aikaa, päätin käyttää toteutuksessa pohjana *Ohjelmoinnin harjoitustyöhön* rakentamaani käyttöliittymää (aiheena ko. harjoitustyössä minulla oli muistipeli, työ löytyy myös Github-repositoriostani). Käyttöliittymä on toteutettu GridBagLayoutilla, ja labyrintin ’ruudut’ ovat käytännössä JButtoneita, joita painamalla labyrintin vastaava solmu muuttuu esteeksi. Periaatteessa toteutus on ihan toimiva pienessä mittakaavassa, mutta labyrintin koon kasvaessa JButtonien valtava määrä alkaa käydä ilmeisesti muistille liian raskaaksi (tai sitten toteutus

ei vain muuten ole tarpeeksi optimoitu, niin kuin ei varmasti vielä olekaan). Käyttöliittymään liittyvät luokat löytyvät pakkauksesta labyrintti.sovellus. Graafinen käyttöliittymä käynnistyy tällä hetkellä automaattisesti, kun pääohjelma ajetaan.



5. Bugeja / Parannettavaa

Kuten vertailu-kohdassa mainitsin, työ jäi minulta nyt jonkin verran kesken - löysin viime metreillä vielä suuria bugeja, kun pääsin visualisoimaan algoritmeja käyttöliittymän kautta. Osan bugeista sain vielä korjattua, mutta jostakin syystä, jota en enää ehtinyt paikantaa,

haut laajentuvat etenkin lähtösolmun lähellä väärään suuntaan. JPS ei myöskään hypi kaikkien solmujen yli niin kuin kuuluisi.

Jatkossa hakuja pitäisi päästä tekemään ja testaamaan isommilla kartoilla kuin mitä nyt tein ’käsin’ pääohjelmasta käsin tai graafisen käyttöliittymän kautta. Jotenkin en tajunnut ajatella labyrinttia tarpeeksi laajalla skaalalla, eli satojen tai tuhansien solmujen verkkona - ja tällaisia karttoja olisi ollut Internetistä ilmeisesti hyvin saatavilla avoimella lisenssillä. Ohjelmassa olisi hyvä myös päästä vertailemaan keskenään erilaisia etäisyysheuristiikkoja eri algoritmien lisäksi. Työtä pystyisi muutenkin vielä algoritmien korjaamisen jälkeen laajentamaan moneen suuntaan, esim. kokeilemalla soveltaa reittihakua johonkin pelitilanteeseen (esim. Pacman) tai korvaamalla minimikeon erilaisella kekototeutuksella (mm. binomikeko).

Omaan ohjelmointityöskentelyyn sain tästä harjoitustyöstä paljon oppia, vaikka työ jäikin lopulta hieman kesken. Opin esimerkiksi, kuinka tärkeää on (=olisi ollut) työstää ohjelmaa todella pienissä palasissa, ja testata pienetkin metodit todella kattavasti ennen siirtymistä suurempiin kokonaisuuksiin. Myöhemmin ohjelmakoodin kasvaessa virheiden metsästämisestä tulee entistä vaikeampaa. Osaan vaan kuvitella, kuinka totta tämä on ohjelmissa, jossa voi olla miljooniakin rivejä koodia!

Opin myös vihdoinkin(!) käyttämään NetBeansin Debugging-työkaluja - en tiedä, miksi en ole aikaisemmin ymmärtänyt niiden olemassaoloa ja erinomaisuutta. Debuggaamistaitojen lisäksi huomasin myös yksikkötestien hyvän suunnittelun tärkeyden - testit saa kyllä menemään läpi, jos ne ovat ’oikein’ (eli väärin) suunniteltuja, mutta silloin niistä ei ole juuri hyötyä perimmäisessä tarkoituksessaan, eli virheiden löytämisessä. Tuntuu, että testien (ja erityisesti vielä tähän työhön liittyen suorituskykytestien) suunnittelemisessa ja laatimisessa minulla olisi vielä paljon opittavaa!

Lähteet:

[1] Tietorakenteet ja algoritmit -kurssin materiaali. Saatavilla: http://www.cs.helsinki.fi/u/floreen/tira2013syksy/tira.pdf

[2] Johdatus tekoälyyn -kurssin materiaali. Saatavilla: https://www.cs.helsinki.fi/webfm_send/1245

[3] Wikipedia: “*A* search algorithm”.* Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/A*_search_algorithm

[4] Harabor, D. & Grastien, A. “*Online Graph Pruning for Pathfinding on Grid Maps”.* Saatavilla: http://grastien.net/ban/articles/hg-aaai11.pdf

[5] Witmer, Nathan: ”*Jump Point Search Explained*”. Saatavilla: http://zerowidth.com/2013/05/05/jump-point-search-explained.html