Házi feladat

Feladatválasztás/specifikáció

Programozás alapjai 2.

Pálinkás Lőrinc Mihály - XB0SMF

Tartalom

[1. Feladat 3](#_Toc164596929)

[Digitális áramkör 3](#_Toc164596930)

[2. Feladatspecifikáció 4](#_Toc164596931)

[Feladat általános leírása 4](#_Toc164596932)

[Megvalósított áramköri elemek 4](#_Toc164596933)

[Bemenet formátuma 4](#_Toc164596934)

[Kimenet opciók 5](#_Toc164596935)

[3. Pontosított specifikáció (kiegészítés) 6](#_Toc164596936)

[Áramköri elemek I/O pin száma 6](#_Toc164596937)

[Felhasználói felület 6](#_Toc164596938)

[4. Terv 7](#_Toc164596939)

[Információ áramlása 7](#_Toc164596940)

[Adatáramlásos működés problémái és megoldások 8](#_Toc164596941)

[Objektummodell 10](#_Toc164596942)

[Signal osztály 10](#_Toc164596943)

[Pin osztályok 10](#_Toc164596944)

[Component osztályok 12](#_Toc164596945)

# Feladat

## Digitális áramkör

Készítsen egyszerű objektummodellt digitális áramkör szimulálására! A modell minimálisan tartalmazza a következő elemeket:

* NOR kapu
* vezérelhető forrás
* összekötő vezeték
* csomópont

A modell felhasználásával szimulálja egy olyan 5 bemenetű kombinációs hálózat működését, amely akkor ad a kimenetén hamis értéket, ha bementén előálló kombináció 5!

Demonstrálja a működést külön modulként fordított tesztprogrammal! A megoldáshoz ne használjon STL tárolót!

# Feladatspecifikáció

## Feladat általános leírása

A program lehetőséget ad digitális áramkörök szimulálására. A felhasználó áramköröket képes betölteni szöveges file-okból, beállítani a bemeneti jelkombinációt és a kapcsolók állapotát és ez alapján kiolvasni a kimeneti jeleket.

## Megvalósított áramköri elemek

A következő elemeket képes szimulálni az áramkör:

* Forrás: állítható LOW és HIGH kimeneti jelekkel, kiolvasható az értéke
* Vezeték: két részt köt össze az áramkörben
* Csomópont: 1 bemeneti jelet több kimeneti irányba tud továbbítani
* Kapu: Több bemenetből képes pontosan 1 kimenetet produkálni. Megvalósított kapuk:
  + AND, OR, NOT
  + NAND, NOR
  + XOR, XNOR
* Lámpa: tárolja a kapott jelet, kiolvasható az értéke
* Kapcsoló: továbbítja a jelet, amennyiben zárt, egyébként LOW jelszintet ad ki

A bonyolultabb elemeket (pl. funkcionális elemek) egyelőre nem implementáljuk, mert könnyen felépíthető ezekből szimuláció során, de ha marad idő, akkor ezeket is megvalósíthatjuk.

## Bemenet formátuma

Az áramkörök felkonfigurálása szöveges file alapján történik. Ebben a felhasználó felsorolja a komponenseket, megadva, hogy hogyan kapcsolódnak. A kapcsolódás megadásához meg kell adni, hogy az adott lába az elemnek melyik csompópontra kapcsolódik. A csomópontokat számok jelölik megadáskor, azonos szám azonos csomópontot jelent. Tehát a konfigurációs file körülbelül így néz ki:

*test.txt*

SOURCE: (1) (2) (3)

AND: (1,2,4)[(…,…,…) …] <- ha több van

OR: (2,3,5) …

XNOR: (4,5,6) …

LAMP: (6)

A black line drawing of a person with a pointy object

Description automatically generatedPéldául erről az ábráról azt tudjuk leolvasni, hogy 3db forrás van jelen, ezek az 1-es, 2-es és 3-as csomópontokra küldik a jeleiket. Emellett van az 1 és 2-es csomópontra kapcsolódó ÉS kapu, mely a 4-es csomópontra küldi a jelét. Hasonlóan kell értelmezni a többit. Ez alapján az alábbi digitális áramkör szimulálható:

Fontos megjegyzés: A szimuláció során az összekötő vezetékeket is csomópontnak tekintünk, így tudjuk könnyen megadni formátumosan a kapcsolódásokat.

A példa azt is mutatja hogy milyen egy egyszerű kapu megadásának például általános formátuma:

GATE\_NAME: (IN1, IN2, OUT1) …

## Kimenet opciók

A felhasználó képes lekérdezni több információt az áramkörből:

* A lámpák státusza: minden lámpának ki tudjuk olvasni az állapotát, hogy világít-e vagy nem.
* A források státusza: minden forrásnak meg tudjuk adni és ki tudjuk olvasni a jelszintjét.
* A kapcsolók státusza: minden kapcsolónak meg tudjuk adni és ki tudjuk olvasni, hogy zárva van-e vagy sem.

Az áramkör kimenetének megadható, hogy melyik file-ba irányítjuk át a szimuláció kimenetét.

# Pontosított specifikáció (kiegészítés)

## Áramköri elemek I/O pin száma

Az alábbi táblázat mutatja az egyes elemekhez tartozó ki- és bemeneti pin-ek számát, amivel létre lehet hozni:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Áramköri elem típus | Bemeneti pin-ek száma | Kimeneti pin-ek száma |
| Forrás | 0  (csak jelet ad ki) | 1  (egy jelet ad ki) |
| Csomópont | 1  (ahonnan kapja a jelet) | ≥1  (tetszőlegesen sok helyre küldhet jelet) |
| Vezeték | 1  (csomópont speciális esete) | 1  (csomópont speciális esete, amikor 1 kimenet van) |
| Kapu | ≥1  (minden kapu legalább egy bemenetből állít elő kimenetet, támogatva lesz több mint 2 bemenetű AND, OR, stb.) | 1  (minden kapu 1 logika jelet állít elő) |
| Lámpa | 1  (1 helyről fogad jelet) | 0  (nem ad ki jelet, csak eredmény tárolásra van) |
| Kapcsoló | 1  (1 helyről fogad jelet) | 1  (1 helyre továbbít jelet) |

## Felhasználói felület

A felhasználó számára van biztosítva egy egyszerű menü, melyben a következő műveleteket tudja elvégezni:

* Áramkör betöltése: képes megadni egy file nevét, és innen betölteni egy áramkört
* Bemeneti adatok beállítása: meg tudja adni a források bemeneti jeleit illetve a kapcsolók állását
* Kimeneti file beállítása: meg tudja adni hogy melyik file-ba irányítsa át a kimenetet, alapvetően a std::cout-ra küldi a szimuláció kimenetét
* Szimuláció: végrehajtja a szimuláció lefuttatását
* Kilépés: leállítja a programot

# Terv

## Információ áramlása

A digitális áramkör szimulálása során az információ áramlását fogjuk modellezni. Mielőtt a tervezett objektummodell be lesz mutatva, azelőtt elengedhetetlennek tűnt, hogy előbb az információ áramlásának modelljét jellemezzem, mert ennek jelentős kihatásai lesznek az egyes osztályok tervezésére, meghatározó hogy hogyan is kommunikálnak egymással az objektumok.

A fő ötlet és inspiráció a tervezéskor a Számítógépes architektúrák tárgy keretében megismert adatáramlásos modell volt. Ha egy áramkör szimulálását vesszük figyelembe, akkor jön a gondolat, hogyan is tudjuk, hogy honnan kell kezdeni a jelek kiértékelését?

Kezdetben csak a források jele adott, a többi áramköri elemnek nem tudhatjuk, mert korábbi elemek jelére is építhetnek. Emiatt először ezek jeleit ismerve tudjuk elindítani az információ áramlását, hiszen azon elemek, amelyeknek minden lába forrásra kapcsolódik, rögtön kiértékelhetőek, majd ezek után az ezekre kapcsolt elemek, és így tovább.

Ez a viselkedés nagyon szoros párhuzamot mutatott az adatáramlásos adatfeldolgozási modellel, így erre alapozva fejlesztettem ki az adatok feldolgozásának menetét. Az áramköri kapuk, kapcsolók, stb. a precedenciagráfnak az egyes csúcsai, melyek kiértékelnek a bemeneti jel alapján egy kimeneti jelet, amit aztán tovább küldenek a következő csúcsoknak, jelen esetben egy másik áramköri elemnek.

A működése nagy vonalakban a következő: a szimuláció során mindig számon tartunk egy „aktív” FIFO-t. Ebben a FIFO-ban mindig azon elemeket tartjuk, amelyeknek minden jele meg van, tehát kiértékelhetőek. Amikor egy ilyen elemet kiértékelünk, akkor minden kapcsolódó áramköri elemnek jelezzük, hogy eggyel nőtt a „kész” bemenetek száma. Ha ez eléri a bemenetek számát, akkor meg van minden szükséges bemenete, tehát be tudjuk rakni az aktív FIFO-ba, ahol aztán ki lesz értékelve.

Így sorjában minden áramköri elemre kiértékeli és beállítja a megfelelő jelértéket, amíg van kiértékelendő.

## Adatáramlásos működés problémái és megoldások

Tervezés során felmerült több probléma is, ami előjön az adatáramlásos modellből fakadóan, bár ezeknek egy része főleg az áramkör megadásának kiszámíthatatlanságából adódik.

1. Elszigetelet, kiértékeletlen elemek:

Tegyük fel hogy az alábbi file-t kapjuk felkonfiguráláskor:

SOURCE: (1)

LAMP: (2)

Ezen az egyszerű látni hogy mi a baj: az 1-es csomópontra kapcsolódó forrásból sosem fog eljutni a 2-es csomópontra kapcsolódó lámpába a jel. Ez azt is jelenti, hogy a kimeneti értéke nem lesz értelmes, a lámpa nem mér valós értéket.

Ez alapvetően nem is probléma, mert (mint később látjuk) minden pin alapvetően LOW jelet kap, ami egyezik azzal, ami a valóságban lenne, hogy nincs rákötve tápra = LOW jel. Ez azonban akkor baj, ha mondjuk 2 LOW jelből mondjuk egy NAND HIGH jelet kell képezzen, de ezt nem teszi meg, mert sose lesz kiértékelve.

Ha valóságban elképzeljük, akkor ez gyakorlatilag egy „levegőben lebegő”, áramkörtől független lábat jelent valamilyen áramköri elemre nézve.

Megoldás: felkonfiguráláskor futtatunk egy próba szimulációt, mely során figyeljük, hogy le lett-e szimulálva minden elem. Amennyiben ez teljesül, akkor minden rendben, az áramkör biztosan helyesen kiértékel minden elemet. Amennyiben van olyan elem, ami nem lesz kiértékelve, az jelzi, hogy ez a baj van valahol, ezt jelezzük a felhasználó felé, és az áramkör el lesz utasítva.

1. Visszacsatolás

Másik szembetűnő problémát az adatáramlásos modellel az alábbi kapcsolások szemlélteti:

1: Önhivatkozásos visszacsatolás:

SOURCE: (1)

AND: (1, 2, 2)

LAMP: (2)

A fenti áramkör szemlélteti ezt a problémát, mert itt egy kapu bemenete függ a kimenetétől, emiatt hiába is van minden rendesen összekötve, nem fog kiértékelődni.

Megoldás: Ez a probléma elsőre nehezen kezelhetőnek tűnhet, de a megoldás már létezik. A fő probléma, hogy nem kiértékelhető, hiszen saját magára alapszik. Azonban ezt az előző rész tesztje ezt is el fogja ugyanúgy kapni, hiszen sosem lesz kiértékelve a 2-es csomópontra kapcsolódó lába az elemnek.

2: Stabil visszacsatolás

SOURCE: (1)

NOT: (1, 2) (2, 3)

LAMP: (3)

A jelenlegi példában gyakorlatilag egy D flip-flopot valósítunk meg. Jogosan merül fel a kérdés, hogy mégis hogyan lenne lehetséges itt kezelni a visszacsatolást. Jelenlegihez hasonló esetekben nincsen baj a visszacsatolásból, mert ugyanazt a stabil jelet küldi vissza, mint amit kapott.

Megoldás: Amennyiben a visszacsatolás azonos jelt küld vissza, akkor nincs probléma, az elem nem lesz újra kiértékelve, hiszen nem változtat semmilyen szempontból a kapcsoláson.

3: Instabil visszacsatolás

SOURCE: (1)

NOT: (1, 2) (2, 3) (3, 1)

LAMP: (3)

Hogyan értékeljünk ki egy ilyen áramkört? Több kérdés is felmerülhet, hiszen, ebben a visszacsatolás ellentétes jelet küldi vissza, mint amit kapott. Bár elsőre ez a helyzet problémásnak tűnhet, hiszen sok szélső eset is lehetséges, de a feloldásához egy észrevétel kell.

Vegyünk egy tetszőleges ilyen áramkört. Ekkor fel tudjuk osztani stabil és instabil kapcsolású részlegekre. Forrás mindig stabil lesz, mert nincs kimenete. Ez viszont vagy direkt kapcsolódik az instabil részre, vagy stabil kapcsolású részeken keresztül, amig hasonlóan funckionálnak jelen esetben a forráshoz (stabil a kimenet, nincs instabil visszacsatolás). Ez azonban azt jelenti, hogy instabil visszacsatolás kezdetekor egy stabil jelforrást kapó csomópontra küldünk vissza ellentétes jelet (mert instabil).

Valóságban elképzelve ez hasonlóan funckionál mint ha a földet összekötjük a táppal, rövidzárat alkotva. Ezek alapján a következő megoldásra jutottam.

Megoldás: Ha egy visszacsatolás ellentétes jelet küld vissza, akkor biztosan keletkezne rövidzár az áramkörben, tehát amennyiben ez az eset következik be, akkor jelezzük a felhasználó fele, hogy rövidzár történt (megadva a csomópontot), és szimuláció nem ad információt a kimenetről, mert értelmetlen lenne.

## Objektummodell

Az áramköri elemek modellezése során adódott hogy az egyes áramköri elemek egymással kommunikáló objektumokként viselkednek. Ezek alapján dolgoztam ki a modellt, ez most bottum-up módon szeretném bemutatni, kezdve legalulról, lépésekben felépítve az elemek modelljét.

### Queue osztály

Mielőtt a konkrét áramkör elemek modellezéséről beszélnék, fontosnak tartom, hogy előbb egy általánosabb szerkezetet mutassak be, amelyet több osztály is fel fog használni.

A screenshot of a computer code

Description automatically generatedAhogyan az információáramlás modelljének leírásában mondtam, egy aktív FIFO-ban kell tárolnunk a kiértékelendő elemeket. Ebből egyértelmű lett, hogy egy láncolt listában érdemes ezeket tárolnunk. Azonban a tervezés során kiderült, hogy nem csak erre az egy funkcióra kell egy láncolt list szerkezet, emiatt úgy döntöttem hogy egy generikus Queue osztály hozok létre, melyet több helyen is újra fogunk használni:

Bár eltérést azonban kellett terveznem egy sima láncolt listához képest. Először is a Queue osztály alapvetően pointereket tárol objektumokra, ezek mindig dinamikusan foglaltak lesznek. Emiatt be kellett vezetnem egy „tulajdonos” attribútomot. Ennek a fő oka, hogy nem egyszer fogunk több Queue-ból ugyanarra az objektumra hivatkozni (más pointereken keresztül, máshogyan kezelve), és mivel ennek a Queue-nak felelőssége lehet törölni a memóriát, ezért létrehozáskor tudnia kell, hogy felelős-e az elemeiért.

Ezen túl a legtöbb művelet a szokásos, mint egy láncolt listában, a get() kiveszi az elejéről az elemet, a put() berak egyet a végére. Folyamatosan számon tartja a méretét, illetve lekérdezhető hogy üres-e.

Fontos!: A másoló konstruktor egy olyan queue-t hoz létre, ami ugyanazon elemeket tartalmazz, viszont NEM SZABADÍTJA fel őket, automatán nem tulajdonos! (Ennek oka, hogy többször is kell kiszedni és valami végezni ezeken az objektumokon)   
Privát = operátor letiltás miatt van.

### Signal osztály

A computer screen shot of a diagram

Description automatically generatedA digitális áramkörökben jelszinteket mérünk le, emiatt döntöttem, hogy érdemes lenne egy saját osztályként működjön maga a logikai jel, ennek az eredménye lett a Signal, a digitális jelet modellező osztály:

Funkcionalitás szempontjából elég egyszerű osztály, létre tudunk hozni vele jelet, beállítani és kiolvasni, megfordítani és összehasonlítani. A jeleket boolean értékként tároljuk, mert azonos viselkedésű a digitális jelértékekkel.

### Pin osztályok

A tervezés során következő felmerülő osztály a Pin volt, ezen keresztül tudnak kommunikálni az áramköri elemek. Két fő funkciót látnak el: egyrész jelet tárolnak, melyet ki lehet olvani, másrészt jelet adnak át a másik pin-nek.

Tervezés elején az tűnt célszerűnek, hogy egyfajta Pin osztály létezzen, viszont hamar egyértlemű lett hogy nem elég, az információ áramlásának modellje miatt szükséges volt két részre bontani.

Ennek fő oka, mint ahogy a specifikációban is látszik, az hogy alapvetően két szerepet tölthet be egy láb: információt fogad, azaz bemenetként viselkedik, illetve információt továbbít, azaz kimenetként viselkedik. Ezek funkcionalitása teljesen más, más információt szükséges tárolni a helyes futáshoz.

Emiatt döntöttem úgy, hogy bár fog létezni egy közös ősosztály, melyben a közös funckionalitás van megvalósítva, azonban két külön osztályként célszerűbb megvalósítani őket.

A computer code with text

Description automatically generated with medium confidenceAz első maga a Pin osztály, ez tartalmaz minden közös viselkedését egy elem lábának:

Van egy jele, amit tárol, alapértelmezetten ez LOW. Ezt lehet állítani és olvasni, illetve megfordítani (öröklés miatt van csak destruktor, memóriát nem kell felszabadítania, ez a többi osztályban is hasonló okok miatt, hogy a további öröklés esetén ne legyen baj vele).

A diagram of a computer

Description automatically generatedAz InputPin és OutputPin osztályok végzik el a kimeneti és bemeneti szerep megvalósítását:

Az OutputPin osztály fő bővítése, hogy képes kapcsolódni InputPin-hez és InputPin-nek jelet küldeni, egyébként ugyanolyan mint sima Pin.

Az InputPin ezzel szemben nem másik Pin-hez, hanem egy áramköri elemhez kapcsolódik (ld. később), ennek jelzi, hogy kapott jelet, ami ennek hatására ellenőrzi, hogy készen áll-e.

Minden InputPin tárolja a ready változóban, hogy készen áll-e információfeldolgozásra, ezt lehet beállítani és resetelni és állapotát lekérdezni (az elem részéről). A resetelés lehetősége újraszimuláláskor lesz fontos, hiszen ekkor minden áramköri elem bemeneti lábainak készenlétét resetelni kell, hogy ne tévesen kerüljön be az aktív FIFO-ba (illetve a visszacsatolást is ezzel lehet ellenőrizhetni).

### Component osztályok

Az áramköri elemek tervezés során a legcélszerűbb egy közös ősosztály volt, melyen keresztül egy heterogén kollekcióban tudjuk tárolni őket. Ennek az ötlete onnan jött, hogy minden elemre ugyanazokat az általános művelteket végezzük el: hozzáadjuk az aktív FIFO-hoz, ha készen áll kiértékelésre, illetve kiértékeljük és elvégezzük a jelkiküldést, amennyiben van kimenete.

Azonban viszonylag hamar szembetűnt, hogy ez az egyetlen közös osztály nem lesz elég. Ahogyan a Pin-ek leírásában is láthattuk, szükség volt két külön célú pin osztályra, attól függően hogy milyen szerepet töltenek be. Elsőre célszerű lehet, hogy minden elemnek legyen ki és bemenete, és vegyük 0-nak, ha nincs ilyen. Csak ezzel a problémába ütközünk, hogy sok elemre értelmetlen műveletek lesznek értelmezve, jobbnak tűnt, ha minden elemre választhatjuk hogy melyik funkciót tölti be, ha esetleg mindkettőt, akkor megkapja mindkét funkcionalitást.

Ezáltal hoztam létre az InputComponent és OutputComponent interfész osztályokat, melyeken keresztül egy áramköri elem megkaphatja vagy egyik vagy másik funckiót, esetleg mindkettőt, de akár ha valami bizonyos okok miatt máshogy kell implementálnunk (ld. később Node osztály) akkor nem okoz gondot, egyszerűen máshonnan kapja az egyik interfészt.

Gyakran azonban mindkettő interfészt közösen használjuk, emiatt döntöttem amellett, hogy egy közbenső teljesen absztrakt, mindösszeg kódírást megkönnyítő harmadik, IOComponent osztály is létrehoztam.

A diagram of a company

Description automatically generated with medium confidenceEzen döntések eredményeként kaptuk meg az alábbi osztályokat:

Az ábrán olvashatunk le néhány függvényt, ami csak a konfiguráláskor és kiíráskot használatos, a többi funckióra érdemes most koncentrálnunk.

A Component osztály gyakorlatilag semmiben nem mutat újat a fentiekhez képest, egyedül annyiban csak, hogy az aktív FIFO címét tároljuk, amihez aztán majd hozzá kell adnunk.

Mind az InputComponent, mind az OutputComponent osztályok tömbként tárolják a Pin-jeiket. Ez a döntést az befolyásolta, hogy létrehozás után a legtöbb elemnek konstans a lábszáma, emiatt eztűnt a legyegyszerűbbnek. Plusz az indexeléssel könnyen lehet azonosítani a bemeneteket (pl. bonyolultabb elemekkel ha bővítjük esetleg később a modellt (pl. multiplexer, stb.)). Az egyetlen kivételt a konstans jellegre a Node class jelenti, de ezt majd ott tárgyalom részletesen.

Az OutputComponent osztály fő funkciója a jelkiküldés, míg az InputComponent class-nak aktivizálás (ha készen áll), illetve e resetelés, szimuláció előtt.

Az IOComponent csak köztes class, nem ad extra funckiót (többszörös öröklés a másik kettőtől).

### Node osztály

A Node osztály fő feladat a csomópont funkcionalitás lefedése. Ezt az áramkör megadásakor a felhasználó félig implicit adja meg, hiszen számokkal jelzi, hogy melyik csomópontra kapcsolódnak az egyes elemek. Mint az majd a konfigurálás leírásakor megfigyelhetjük, emiatt bár bemenetként konstans funkcionál (1 bemenete van ahonnan fogad jelet), mégis a kimenete folyamatosan nőni fog (ahogy több kaput csatlakoztatunk a kimenetére).

Emiatt a kimenetét nem tudjuk sima tömbben tárolni. Szerencsére rendelkezésünkre áll már egy ezek tárolására és bővítésére alkalmas osztály, a Queue. Emiatt azonban az OutputComponent interfész nem felel meg neki, magának kell implementálnunk a kimenetet, de ez csak egy láncolt listában tárolja a kimeneti pineket, minden funkcionalitás szinte ugyanaz (bejárás persze máshogy történik, de ez semmivel nem rosszabb jelküldéskor, hiszen amúgy is az egész tömbön végig kell mennünk hogy minden pinről kiküldjük a jelet).

A computer code with black text

Description automatically generated with medium confidenceEnnek az eredménye az alábbi osztály („- id: size\_t” most nem látszik, mert a felhasznált UML program reverse engingeer funckiója ezt nem érzékelte):

(A két Pin-es tagfüggvény összekötéskor lesz hasznos, emellett lekérdezhetjük a hozzárendelt szám ID-t.)

### Gate osztályok

A kapu osztályok valósítják meg a logikai kapuk működését. Ezek az IOComponent-től örökölnek, és nem rendelkeznek különleges saját funkciókkal, egyedül csak előállítják a logikai bemenet alapján a kimentet, amit tovább küldenek:

A diagram of a computer program

Description automatically generated

A Gate osztályt főleg a többi IOComponent-től szolgál elkülönítésként, csak köztes, absztrakt osztály szerepe van.

Elsőre furcsa lehet, hogy a negált kapuk öröklést utján hozzuk létre, de itt (bár ábra nem jelzi), de korlátozó öröklést alkalmazunk. Ennek fő oka, hogy minden szempontból azonosan funckionálnak, csak a kimenetüket kell megfordítani, emiatt egyszerűbb újrahasználni a sima kapukban definiált függvényeket.

Mint ahogy le is olvasható, a kapuknak tetszőleges bemenete lehet. Ennek a fő oka, hogy semmilyen komplikációt nem okoz ennek az implementálása, hiszen minden kapunak csak 1 kimenete lesz, tehát az első n-1 megadott csomópont mind bemenet, ráadásul ezek szerepe szimetrikus, ezért a sorrend mindegy.

### Periféria jellegű osztályok