

haskell-go

Ohjelmointikielet ja paradigmat

Harjoitustyöksi toteutimme Go lautapelin. Toiminnallisuus (Back end) on toteutettu Haskell ohjelmointikielellä, jonka lisäksi teimme web käyttöliittymän Javascriptilla käyttäen React viitekehystä.

Funktionaalinen paradigma

Paradigman esittely

Funktinaalisuudella tarkoitetaan sitä, että funktioden käsittely on saman kaltaista kuin muidenkin tietorakenteiden. Funktioita voidaan antaa muihin funktioihin argumenteiksi ja niitä voidaan palauttaa kutsun lopuksi. Funktiota voidaan yleensä myös tallentaa esimerkiksi tietokantoihin.

Funktionaalisuus mahdollistaa korkeampiasteisten funktioiden luomisen. Korkeamman asteen funktio on funktio, jonka argumenttina on myös funktio. Korkeamman asteen funktiot voivat helpottaa ohjelmointia ja mahdollistavat siistimpää koodia. Esimerkiksi mappaus ja suodatus ovat yleisiä korkeamman asteen funktioita. Seuraava esimerkki on Javascriptiä.

```
function tuplaa(numero) = { return numero * 2 }  
  
function suodata(numero) = { return numero < 5 }  
  
var lista = [2,6,1,5,7,9,0,4]  
var tuplat = lista.map(tuplaa)  
var suodatetut = lista.filter(suodata)
```

Ilman korkeamman asteen funktioita sama toiminnallisuus täytyisi toteuttaa toistorakenteilla.

```
var lista = [2,6,1,5,7,9,0,4]  
  
var tuplat = []  
for (var i = 0; i < lista.length; i++) {  
    tuplat.push(tuplaa(lista[i]))  
}  
  
var suodatetut = []  
for (var i = 0; i < lista.length; i++) {  
    if (suodata(lista[i])) {  
        suodatetut.push(lista[i])  
    }  
}
```

Monissa kielissä on myös mahdollista määrittää lambda funktioita, jotka yleensä tarkoittavat funktioita, joita ei ole sidottu mihinkään nimeen. Lambda funktioita voidaan käyttää esimerkiksi juuri mappauksen tai suodatusten kanssa.

```
var lista = [2,6,1,5,7,9,0,4]
var uudet = lista.map((i) => {
  return Math.sin(i*30) * 5 - 2
})
```

Puhtaus

Funktionaalisen kielen puhtaudella tarkoitetaan, että funktioilla ei ole sivuvaikutuksia. Sivuvaikutukset tarkoittavat sitä, että funktiot muuttavat ohjelman tilaa oman suorituksen aikana. Funktiolla voi kuitenkin olla omaa muistia ja ne voivat palauttaa jotain. Jos käytössä on ainoastaan puhtaita funktioita, tietorakenteet eivät voi mutatoitua vaan funktiot palauttavat aina uuden rakenteen.

Ohjelmointikielen puhtaus helpottaa ohjelman tilan hallintaa. Jos funktiot eivät ole puhtaita, voivat ne muokata ohjelman tilaa, jolloin tila riippuu hyvin paljon kontrollivuosta ja siitä, missä järjestyksessä funktioita kutsutaan. Myös ohjelmoidessa voi olla rasittavaa, jos ei tiedä millä tavalla funktio muuttaa ohjelman tilaa. Esimerkiksi Javascriptissä listoille tehtävien operaatioiden käyttäytymistä voi olla vaikea muistaa.

```
let lista = [2,6,1,5,7,9,0,4]
lista.map(i => i*2) // ei muuta listaa, vaan palauttaa mapatun listan
lista.sort((a, b) => { return a < b }) // muuttaa alkuperäistä listaa
```

Puhtaiden funktioiden käyttäytymisen helpompi ennustaminen johtaa vähempään määrään virheitä.

Jos käytetään ainoastaan puhtaita funktioita, ohjelman tilaa täytyy hahmottaa eri tavalla kuin perinteisillä epäpuhtailla kielillä. Koska funktiot eivät voi muuttaa ohjelman globaalia tilaa, ohjelman suorituksen tila riippuu ainoastaan parasta aikaa suoritettavista funktioista, niiden sisäisestä tilasta ja suorituskohdasta.

Puhtauden lisäksi funktiot ovat yleensä ainoastaan yhden parametrin funktioita, jotka palauttavat aina jotain. Tällöin kahden parametrin funktiot koostuvat tavallaan kahdesta funktiosta. Ylimpänä on funktio, joka ottaa parametrina ensimmäisen parametrin, ja palauttaa funktion, joka ottaa parametrina toisen parametrin ja palauttaa tuloksen. Funktion saama parametri on sidottu kyseisen funktion sisällä, jolloin se on sidottu myös sen palauttaman funktion sisällä. Kun usean parametrin funktioita kutsutaan, sidotaan siis parametreja niin paljon kun niitä annettiin, ja joko funktio jos parametreja on vielä jäljellä, tai tulos jos kaikki parametrit käytettiin.

Tyypillinen ohjelman rakenne

Puhtailla funktionaalisilla kielillä ohjelmointi on hyvin kuvailevaa. Funktioita luodaan käyttämällä aiempia funktioita. Yleensä lopulta päädytään yhteen ylimpään funktioon, joka on lopulta koko ohjelman suoritus. Kontrollivuohon ei kiinnitetä huomiota vaan se seuraa implisiittisesti kuvatuista funktioista. Perinteisiä toistorakenteita ei voida käyttää, sillä ne vaatisivat globaalin tilan muuttamista joka kierroksella. Toisto täytyykin toteuttaa rekursiolla, jossa funktio kutsuu itseään uudella syötteellä.

Yleensä käytetään paljon mappauksia, suodatuksia tai taittoja. Pohjimmillaan nämäkin on kuitenkin toteutettu rekursiolla. Taitot ovat listan (tai muun tietorakenteen) yli tehtäviä operaatioita, jossa annettu funktio suoritetaan ensin jollekin alkusyötteelle ja yhdelle alkioille, ja tämän jälkeen saatu tulos syötetään takaisin funktioon uuden alkion kanssa. Taitto ikäänkuin kerryttää tulosta tietorakenteen yli suorittaessa alkioittain.

Funktioille voi myös määrittää eri sisältö niiden saaman syötteen perusteella. Esimerkiksi Haskellissa.

```
tuplaaJosViisi 5 = 5*2  
tuplaaJosViisi i = i
```

IF/ELSE kontrollirakenteiden sijaan käytetään juuri edellistä syötteen sovitusta tai esimerkiksi case operaattoria jolla voidaan eri tilanteille määritellä eri tulos.

Tyypitys

Funktionaaliset kielet ovat usein vahvasti tyypitettyjä. Tämä tarkoittaa yleensä staattista käännoaikana tarkistettavaa tyypitystä. Kaikilla funktioille ja arvoille voidaan antaa tyyppi, ja jos tyyppiä ei ole annettu, yrittää kääntäjä itse määrittää oikean tyytin. Koska funktiot ovat puhtaita, ei ole tarvetta mutatoituville tietorakenteille ja dynaamiselle tyyppisidonnalle. Staattinen tyypitys parantaa ohjelman virheettömyyttä, sillä tyypitysvirheet huomataan jo käännoaikana.

Usein voidaan määrittää omia algebraalisia datatyppejä, joiden arvoalueet voidaan määrittää itse, ja uusia tyyppisiä voidaan muodostaa yhdistämällä muita tyyppisiä.

Laskentamallit

Samanaikaisuus

Haskell

Haskell on puhdas funktionaalinen ohjelmointikieli, joka käyttää laiskaa laskentaa. Se käyttää vahvaa staattista tyyppisysteemiä, jossa voidaan määritellä uusia algebraalisia datatyyppiä. Se määriteltiin alun perin tutkimuskäyttöön, mutta on nykyään käytössä monissa yrityksissä.

Haskellissa voidaan määritellä tyyppiluokkia (typeclass), joiden avulla voidaan tietyille funktioille määritellä määritellä eri toteutus eri tyypeille. Tyyppiluokilla voidaan määritellä yleisiä ominaisuuksia, esimerkiksi yhtäsuuruuden tarkastamiselle (Eq) tai numeerisuudelle (Num) on olemassa tyyppiluokat. Yhtäsuuruus voidaan määritellä kaikille uusille tyypeille tekemällä tyyppistä instanssi luokkaan Eq ja implementoimalla tyyppille tarvittavat funktiot (== ja /=). Tyyppijärjestelmässä voidaan myös vaatia, että tyyppillä on instanssi tyyppiluokassa. Seuraavassa tyyppimäärittelyssä vaaditaan, että funktion saamalla argumentilla on instanssi tyyppiluokassa Num.

```
esimerkkiFunktio :: (Num a) => a -> b
```

Back end

Moduulit

Seuraavasta taulusta näkyvät ohjelmassa käytetyt moduulit ja niiden vastuut:

Moduuli	Vastuu
Board.hs	Luo datatyyppit Side ja PlaceData, jotka kuvaavat puolta (Valkoinen/Musta) ja yhdessä ruudussa olevaa dataa. Luo tyyppi aliaksia paikalle ja laudalle. Luo funktioita laudan anaysoinnille ja manipuloinnille.
Region.hs	Luo tyyppi alueelle (lista paikkoja) ja funktioita yhtenäisten alueiden etsimiselle, alueiden reunojen hakemiselle ja alueiden sisällön analysoimiselle ja muokkaamiselle.
GameState.hs	Luo datatyyppit pelaajan datalle ja pelin tilalle.
Move.hs	Luo datatyyppi siirrolle. Luo pelilogiikka käyttäen hyväksi edellä kuvattuja moduuleita. Sisältää funktiot siirtojen oikeellisuuden tarkastukselle (movesValid) ja siirtojen suorittamiselle (executeMove).
GoHttpServer.hs	Luo Happstack kirjaston avulla HTTP palvelin. Muodosta HTTP rajapinta, jonka avulla peliä voidaan peliä. Pelin tila voidaan muuntaa JSON muotoiseksi ja data välitys HTTP:n yli on juurikin JSON muotoista.

Laudan analysointi

Ohjelmassa on määritelty seuraavat datatyyppit ja tyyppialiakset laudan kuvaamiseksi.

```
data Side = Black | White
data PlaceData = Empty | Stone { side :: Side }
type Place = (Int, Int)
type Row = [PlaceData]
type Board = [Row]

data RegionType = Undefined | RegionType PlaceData deriving (Eq, Show)
type Region = [Place]
```

Lauta koostuu siis kaksiulotteisesta listasta alkioita, joiden arvo voi olla tyhjä, valkoinen kivi tai musta kivi. Paikka on koordinaatti tietty laudan alkioon. Alue (Region) on lista paikkoja. Alueen tyyppi on joko määrittelemätön (jos se sisältää monta erityyppistä dataa), tai jokin paikkadatasta. Alue on erittäin kätevä abstraktio pelin logiikan toteuttamiseksi. Go lautapelissä pelaajat yrittävät vallata alueita ympäröimällä niitä oman värisillä kivillä. Ympäröimällä vastustajan yhtenäisen alueen, pelaaja vangitsee alueen kivet. Ohjelmaan on tehty funktiot yhtenäisten alueiden löytämiselle, aluetta ympäröivän reuna-alueen löytämiseksi ja alueiden tyyppin määrittämiseksi. Näiden funktioiden avulla pelilogiikka voi analysoida laudan tilannetta, ja laskea pelaajien pisteet.

Pelin tila

Pelin tilaa varten on määritelty datatyyppit Player ja GameState seuraavasti.

```
data Player = Player {
  playerSide :: Side,
  captured :: Int,
  hasPassed :: Bool,
  hasFinished :: Bool,
  finalScore :: Int
}

data GameState = GameState {
  board :: Board,
  prevBoard :: Board,
  playerInTurn :: Player,
  otherPlayer :: Player,
  gameOver :: Bool,
}
```

Player pitää sisällään tiedon tiety pelaajan puolesta, pisteistä ja siitä, onko hän viime vuorolla ohittanut vuoronsa tai halunnut lopettaa pelin.

GameState puolestaan pitää sisällään se hetkisen ja edellisen laudan tilan, molempien pelaajien tilan (myös kumpi pelaaja on vuorossa) ja tiedon siitä onko peli ohi. Edellistä laudan tilaa tarvitaan siirton oikeellisuuden tarkistuksessa.

Myös siirroille on määritelty datatyyppi, josta selviää siirron tyyppi (Kiven asetus, vuoron ohitus tai ilmoitus pelin lopettamista), sekä uuden kiven paikka.

Pelilogiikka

Pelin logiikka koostuu kahdesta funktiosta, joilla on seuraavat tyypit.

```
moveIsValid :: GameState -> Move -> Bool
executeMove :: GameState -> Move -> GameState
```

`moveIsValid` ottaa parametrina pelin tilan ja siirron ja palauttaa totuusarvon siitä, onko kyseinen siirto sallittu. Uuden kiven asettamisen oikeellisuudeksi funktio tarkistaa, että uuden kiven paikka on laudan sisällä, uusi paikka on tyhjä, uutta kiveä ei välittömästi vangita (suicide) ja että siirron jälkeinen laudan tilanne ei ole sama kuin edellinen laudan tilanne. Siirron ohittaminen on mahdollista aina kun peli ei ole ohi ja molemmat pelaajat eivät ole juuri edellisillä vuoroillaan ohittaneet siirtoa. Pelin lopettamisen ehdottaminen on mahdollista aina kun peli ei ole ohi.

`executeMove` funktio ottaa parametreina pelin tilan ja siirron ja palauttaa uuden pelin tilan siirron suorittamisen jälkeen.

Kiven asettamiseksi kivi ensin lisätään laudalle, jonka jälkeen laudalta poistetaan mahdolliset vangitut kivet, joiden määrä lisätään vuorossa olevan pelaajan pisteisiin. Vangittujen kivien löytäminen tapahtuu etsimällä asetetun kiven vieressä olevat vastustajan kivien alueet, jotka tämän jälkeen suodatetaan sen perusteella, onko niiden ympärillä jäljellä tyhjiä paikkoja.

Vuoron ohituksessa vuorossa olevaan pelaajan tilaan lisätään vain tieto ohituksesta. Pelin päättymisen ehdottamisessa, tieto siitä lisätään pelaajan tilaan. Jos kuitenkin myös toinen pelaaja on jo ehdottanut lopettamista, lasketaan pelaajien pisteet laudasta ja lisätään pelaajien tietoon. Tällöin myös tieto pelin loppumisesta asetetaan pelin tilaan.

Jos peliä haluttaisiin pelata esimerkiksi komentoriviltä, täytyisi peli looppi toteuttaa rekursiolla esimerkiksi seuraavasti.

```
play :: GameState -> ()
play gameState = do
  let move = chooseMove (playerInTurn gameState)
  if (not $ moveIsValid gameState move)
    then play gameState
    else do
      let newState = executeMove move
      if (gameIsOver newState)
        then ()
        else play newState
```

Olemme kuitenkin luoneet pelille HTTP:n yli toimivan käyttöliittymän.

HTTP palvelin

Pelille on tehty HTTP protokollan yli toimiva rajapinta. HTTP palvelimen luomiseksi on käytetty Happstack kirjastoa. Back endillä ei ole ollenkaan omaa tilaa. HTTP palvelin ainoastaan kuuntelee pyyntöjä, ja jos saa pyynnön siirron suorittamiseksi se suorittaa pyydentyä siirron ja palauttaa uuden pelin tilan. Pelin tila on tallella ainoastaan asiakkaan selaimessa, jonka avulla se voi tehdä uusia siirtopyyntöjä.

Toteutimme pelin kyseisellä tavalla, koska se tuntui todella funktionaaliselta. Palvelin on todella puhdas, koska sillä ei ole mitään tilaa. HTTP pyyntöjä voidaan pitää funktion kutsuja vastaavana. Palvelin saa parametrinä pelin tilan, ja vastaa pyyntöön uudella pelin tilalla.

Palvelin jakaa React front end applikaation tietostoja staattisesti. Kaikki pyynnot juureen ohjataan kyseiseen applikaatioon.

Palvelin vastaa "/newgame" polulla tulleisiin pyyntöihin uudella pelin tilalla (tyhjä lauta). Polkuun "/game" tulleisiin POST pyyntöihin vastataan seuraavasti. Pelin tila ja siirto pyritään ensin lukemaan pyynnöstä. Jos tämä ei onnistu vastataan virheilmoituksella. Jos pelin tila ja siirto onnistutaan lukemaan, tarkistetaan siirron oikeellisuus. Jos siirto ei ole sallittu, vastataan virheilmoituksella. Jos siirto on sallittu, se suoritetaan ja vastataan uudella pelin tilalla.

Parannettavaa

Kokemattomuuden takia funktioista tuli valitettavan sotkuisia ja vaikealukuisia. Opettelimme haskelin syntaksia ja rakenteita samalla kun toteutimme harjoitustyötä. Loppua kohden opimme käyttämään niitä paremmin hyväksi koodin selkeyttämiseksi, mutta osasta funktioita tuli silti erittäin sotkuisia.

Vasta harjoitustyön loppuvaiheessa tutuistuimme monadeihin. Yksi olellisesti parannettavista osa-alueista ohjelman koodissa on virheidenhallinta. Nykyisesti virheiden sattuessa operaatioita yritetään yleensä

uudestaan, ilman minkäänlaista ilmoitusta virheestä. Luultavasti jos olisimme paremmin tutustuneet Maybe monadiin, olisimme voineet saada virheiden hallinnasta paremman.

Reaktiivinen paradigma

Paradigman esittely

Ohjelman käyttöliittymä on tehty käyttäen reaktiivista React viitekehystä. Reaktiivisuus tarkoittaa ohjelman sisäistä reagointia tiettyihin signaaleihin. Signaalit voivat olla esimerkiksi ohjelman muuttuva tila, tai käyttäjältä saatu syöte. Paradigma reaktiivisuus pyrkii olemaan kuvaileva ja pyrkii helpottamaan tiedon jakamista ohjelmassa, eli keskittyy tietovuohon.

Reaktiivisessa ohjelmoinnissa voidaan luoda monimutkaisia tietovoita, joilla uuden tiedon jakamisen hallitseminen helpottuu. Uusia tietovoita voidaan muodostaa esimerkiksi käyttäjän syötteisiin, raskaiden asynkroonisten toimintojen suorittamiseen tai datan hakemiseen verkon yli. Tietoa voidaan tämän jälkeen muokata erilaisilla funktioilla ja lopulta välittää se kyseisen tietovuon tilanteille tahoille.

Koska tietovuo voi kulkea useiden asynkroonisten vaiheiden läpi, jotka saattavat kestää eri pituisia aikoja, usen voiden yhteyteen on implementoitu "Back pressure" mekanismi, jolla pyritään estämään tiedon tarpeeton kasautuminen vaiheiden välisiin puskureihin ja turha muistin täyttyminen. Mekanismissa vaiheet voivat esimerkiksi kertoa kuinka paljon ne ovat valmiita ottamaan uutta dataa prosessoitavaksi.

Kontrollin ja tilan hallinta

Usein ohjelman kontrollin ja tilan hallinta voi olla monimutkaista. Reaktiivinen ohjelmointi kuitenkin pyrkii vaihtamaan ohjelmoinnin kontrollin hallinnasta tietovoiden hallintaan. Tietovoiden luominen on deklarativista, eli koodiin kuvataan halutut rakenteen sen sijaan, että siihen kirjattaisiin imperatiivisesti toiminnot, jotka toteuttavat halutut rakenteet. Deklaratiivisesti kuvattu ohjelma on usein helpommin hallittavissa kuin imperatiivisesti kirjattu ohjelma.

Paradigmassa kontrollivuoto seuraa kuvatuista rakenteista implisiittisesti. Tiedon valuessa voissa eteenpäin, kontrolli siirtyy sitä seuraavaksi tarvitsevalle taholle. Tietovuoto ovat abstraktio kontrollin jakamiselle tiedon muuttuessa, ja tiedon välitykselle ohjelman sisällä.

Samanaikaisuus

Tietovuolle yleensä koostuu selvästi erillisistä tapahtumista/tietorakenteista. Sille voidaan tehdä erilaisia operaatiota. Suodatus karsii tietovuosta tapahtumia jollain perusteella. Mappauksella taas voidaan jokainen erillinen tietorakenne käsitellä jollain tapaa uudeksi tietorakenteeksi.

Reaktiivisilla tietovoilla voidaan myös asynkroonisuutta ja samanaikaista laskentaa hyödyntää helpommin. Kun tietovuoto kuvataan deklarativisesti, operaatioiden välinen riippuvuus on huomattavasti selkeämpää, kuin kontrollivuon monimutkaisen jakamisen kanssa. Esimerkiksi verkon yli suoritettavat haut voidaan suorittaa omassa säikeessä, ja vastauksen tullessa palauttaa tietovuon kontrolli alkuperäiseen säikeeseen. Myös esimerkiksi mappauksessa tehdyt toiminnot voidaan suorittaa samanaikaisesti.

React

Projektissa käytetty React viitekehys pyrkii irrottamaan DOMin (Document object model), eli nettisivun sisällön, joka piirretään käyttäjälle, sivun toiminnallisuudesta. Tietovuo pyritään muodostamaan tilan ja näkymän välillä niin, että tieto automaattisesti valuu tilasta näkymään, ilman että ohjelman kirjoittajan tarvitsee manipuloida näkymää. Näkymä luodaan siis implisiittisesti ohjelman tilasta. Reactilla on oma virtuaalinen DOM, jonka muutokset siirretään automaattisesti sivun varsinaiseen DOMiin. Virtuaalisen DOMin kuvaamiseksi on luotu JSX syntaksi, joka muistuttaa HTML:llän syntaksia.

React mahdollistaa helposti hallittavien yhden sivun web applikaatioiden luonnin. Monimutkaisissa yhden sivun applikaatioissa sivun tilaa voi olla yllättävän paljon. Reactin avulla sivu voidaan jakaa uudelleenkäytettäviin komponentteihin, joilla voi olla omaa tilaa. Komponenttien sisällä voi olla muita komponentteja, tai matalimmilla tasolla perinteisiä HTML elementtejä/tageja. Itseasiassa nämä komponentit muodostavat Reactin virtuaalisen DOMin. Virtuaalisten komponenttien tilan on kytketty reaktiivisesti oikean DOMiin, ja muutokset tilassa aiheuttavat muutoksia näkymään.

React käyttää edistynyttä algoritmia muutoksen analysoimiseksi. Muutokset eivät aina aiheuta kovinkaan suurta muutosta näkymään. React analysoi muutokset ja muutta oikeaa DOMia ainoastaan tarvittavan määrän.

React hoitaa ohjelman reaktiivisuuden itse, ja ohjelmoijan ei tarvitse määrittää tietovoitoa itse. Riittää kun ymmärtää miten viitekehys välittää tietoa ja noudattaa kehyksen määäämiä sääntöjä esimerkiksi tilan muuttamiselle. Reaktiivisuus helpottaa kuitenkin monimutkaisten web ohjelmien luomista huomattavasti. Näkymän abstraktointi virtuaaliseen DOMiin tekee ohjelman tilasta paljon hallittavampaa kuin tilan säilyttämisestä aidossa DOMissa, tai jokaisen näkymää muuttavan muutoksen explisiittistä välittämistä ohjelman tilan lisäksi näkymään.

Front end

Pelin back end oltiin toteutettu Haskelilla niin, että HTTP palvelimen kuuntelee kutsuja ja jos kutsu on joko uuden pelin aloitus, tai meneillään olevan pelin tila ja seuraava siirto, palvelin vastaa seuraavalla pelin tilalla. Front endin tehtäväksi jää siis vain tilan piirtäminen, käyttäjän klikkausten kuunteleminen ja uuden siirron ja nykyisen tilan lähettäminen HTTP pyynnöllä palvelimelle.

Valitsimme front endin toteuttamiseksi seilaimessa näkyvän web käyttöliittymän. Valinta tuntui helpolta, sillä palvelin toimii HTTP pyyntöjen avulla. Toteutukseen valitsimme reaktiivisen React viitekehyksen. React on erittäin suosittu ja sen tilanhallinta ja reaktiivinen renderöinti tuntui hyvältä valinnalta. Koska palvelin toimii ainoastaan HTTP pyyntöjen ylitse, ja välitetty data on JSON muotoista, valitsimme kehyksen, jolla voidaan helposti toteuttaa HTTP pyyntöjä ja saatu vastaus tallentaa ohjelman tilaan.

Komponentit

Yhden sivun applikaatio koostuu muutamasta eri komponentista. Ylimpänä olevan App komponentin tilassa on tieto siitä, ollaanko valikossa vai pelissä. Tilassa on myös uuden pelin aloittamiin tarvittava tieto laudan koosta.

MainMenu komponentti mahdollistaa laudan koon valitsemisen ja pelin aloittamisen. Käyttäjän klikkaukset nousevat App komponentin tilanmuutoksiksi.

Kun peli alkaa muutetaan App komponentin tila valikko tilasta peli tilaan. Tällöin virtuaaliseen DOMiin laitetaan komponentti Game. Game komponentti lähettää heti kiinnittymisensä jälkeen pyynnön palvelimelle,

jossa se pyytää uutta peliä tietyllä valitulla laudankoolla. Vastauksen saavuttua Game tallentaa saadun pelin tilan omaan tilaansa ja renderöi ActionMenu ja Board komponentit, joilla käyttäjä voi tehdä siirtoja. Board komponentti saa Game komponentin tilasta sen hetkisen laudan tilanteen jonka se renderöi. Käyttäjän valitessa siirron, Game komponentti lähettää tiedon nykyisestä pelin tilasta ja pelaajan siirrosta palvelimelle, joka vastaa uudella pelin tilalla, joka jälleen tallennetaan Game komponenttiin ja tapahtuu uudelleen renderöinti. Pelin loputtua (tieto saadaan palvelimelta) renderöidään pisteet ja mahdollisuus siirtyä takaisin valikkoon.

Sivua luodessa pyrimme pitämään sivulla tapahtuvan pelilogiikan minimissä. Board komponentilla olvat ruudut ovat kuitenkin valittavissa siirroiksi ainoastaan, jos ne ovat tyhjiä. Tämä oli erittäin helppo implementoida. Kaikki tyhjät siirrot ovat kuitenkin valittavissa, vaikka pelilogiikka ei niitä siirroiksi sallikkaan. Tällöin palvelin vastaa lähetettyyn pyyntöön samalla pelitilalla. Kyseinen ratkaisu ei ole kaikkein informatiivisin käyttäjälle, mutta yksinkertaisuuden vuoksi se on mielestämme tarpeeksi hyvä.