

Testausdokumentti 3D-Ristinolla

Tekijän nimi: Kari Ojala

Päiväys: 9.3.2018

Testausdokumentti

1. Yleistä

Tekoälyohjelmien testaamiseen liittyy fundamentaalinen ongelma. Mistä löytyy se oraakkeli joka kertoo mikä on paras tai oikea siirto kussakin pelitilanteessa? Ongelma on konkreettinen esim. JUnit-testauksessa: jos testaamme tekoälyä antamalla sen siirtovuoron metodille syötteen, mihin algoritmin antamaa vastausta pitäisi verrata?

Asiaa voi lähestyä ainakin neljästä eri näkökulmasta.

1. Laitetaan tekoäly pelaamaan taitavia koehenkilöitä vastaan. Tämä menetelmä on käytössä ainakin shakkipeliohjelmassa. Jos tekoäly voittaa suurmestariluokan pelaajan shakissa, se ei voi olla kovin huono. Menetelmä edellyttää taitavien koehenkilöiden löytämistä ja käyttämistä.
2. Etsitään paras tai oikea pelisiirto matematiikan tai peliteorian avulla ja verrataan tekoälyn siirtoja teorian antamiin tuloksiin.
3. Annetaan tekoälyn itsensä kertoa mikä on paras siirto kussakin tilanteessa. Tämä tietenkin edellyttää, että ohjelmassa ei ole virheitä. (Mutta juuri sitä tähän testauksella halutaan selvittää..) ”Oikea vastaus” voi tietenkin riippua algoritmin asetuksista.
4. Oppiva tekoäly: asetetaan tekoäly tutkimaan siirtoja satunnaislukujen avulla ja tilastollisin menetelmin selvitetään, millä siirroilla peli voitetaan useimmin. Tämän jälkeen tekoäly käyttää parhaiksi havaitsemiaan siirtoja.

Hyvä lähestymistapa voisi olla se, että käytetään kaikkia näitä menetelmiä hyväksi.

Ohjelman pelit pidettiin mahdollisimman paljon pelattavissa olevana koko niiden kehittämisen ajan. Merkittävä testausmenetelmä oli siis pelata, oppia ja varmistaa, että peli ei tee hölmöjä siirtoja.

Heuristisen mini-max-algoritmin toimintaa varmistettiin kehitysvaiheessa mm. seuraavasti: Metodeissa `uusNolla` ja `uusRisti` tulostettiin väliaikaisesti evaluointitaulun `evalStat1` sisältö ja metodin palauttama luku. Seuraava tulostus näyttää eri siirtojen evaluoinnin tuottamat pisteet pelipuun lehdistä, kun tekoäly nolla on avannut pelin ruudussa 15 ja mini-max tutkii peliä 3 siirtoa eteenpäin. Ensin risti kokeilee jatkoa siirrolla 111 ja nolla kokeilee siirtoa 112. Ristille jää nyt 24 mahdollista siirtoa, jotka evaluoidaan pelipuun syvyydellä 3. Taulukosta nähdään, että paikat 1, 2 ja 15 ovat saaneet arvon 999999, eli niitä ei tutkita. Ruutu 14 on saanut parhaat pisteet, 34. Pelitilanteesta on mahdollista (hieman työläästi) tarkistaa, että eri siirtovaihtoehdot on pisteytetty oikein metodin `rivipisteet` mukaisesti.

```

> 2
      1   2   3
      -----
1 |   |   |   |
2 |   |   |   |
3 |   |   |   |
      -----
      ---ylätaso---

      1   2   3
      -----
1 |   |   |   |
2 |   |   | o |
3 |   |   |   |
      -----
      ----keski----

      1   2   3
      -----
1 |   |   |   |
2 |   |   |   |
3 |   |   |   |
      -----
      ---alataso---

```

```

Syvyys x 2
i ev(i) 1 999999
i ev(i) 2 999999
i ev(i) 3 4
i ev(i) 4 25
i ev(i) 5 26
i ev(i) 6 2
i ev(i) 7 28
i ev(i) 8 2
i ev(i) 9 28
i ev(i) 10 25
i ev(i) 11 26
i ev(i) 12 2
i ev(i) 13 26
i ev(i) 14 34
i ev(i) 15 999999
i ev(i) 16 2
i ev(i) 17 3
i ev(i) 18 2
i ev(i) 19 28
i ev(i) 20 2
i ev(i) 21 28
i ev(i) 22 2
i ev(i) 23 3
i ev(i) 24 2
i ev(i) 25 28
i ev(i) 26 2
i ev(i) 27 28

```

```

      1   2   3
      -----
1 | x | o |   |
2 |   |   |   |
3 |   |   |   |
      -----
      ---ylätaso---

      1   2   3
      -----
1 |   |   |   |
2 |   |   | o |
3 |   |   |   |
      -----
      ----keski----

      1   2   3
      -----
1 |   |   |   |
2 |   |   |   |
3 |   |   |   |
      -----
      ---alataso---

```

uR palauttaa 34

2. JUnit-testaus

JUnit-testejä rakennettu luokan Kayttoliittyma 3 eri metodille.

JUnit-testejä rakennettu luokan Peli 4 eri metodille.

JUnit-testejä rakennettu luokan Pelikuutio 17 eri metodille.

JUnit-testejä rakennettu luokan Tekoaly 7 eri metodille.

- Kaikki 31 testiä menevät läpi.

3. Suorituskyky ja pelistrateginen testaus

3.1. Aikavaativuus

Ohjelman aikavaativuus- ja pelistrateginen testaus suoritettiin asetuksilla ”tekoäly vastaan tekoäly”. Huomattakoon, että pelipuuta käydään läpi vain silloin kun välitöntä voittosiirtoa tai sellaisen estämistä ei ole tarjolla. Käytännössä heuristinen pelipuu käydään läpi suhteellisen harvoin. Kuitenkin pelin alussa välitöntä voittosiirtoa ei ole kummallekaan osapuolelle tarjolla, joten molemmat tekoälyt käyvät läpi heuristisen pelipuun.

Aluksi testattiin yleinen aikavaativuus molemmissa pelilajeissa vaativuustasoilla 2..5, 10 kerran toistokokeena. Näissä testeissä Tekoäly 2 asetettiin aina aloittamaan peli siirrolla 111, jotta vaativuustasojen tuloksia voi verrata. Toinen siirto (tekoäly 1) edellyttää jo heuristisen pelipuun läpikäyntiä, samoin seuraava siirto (tekoäly2). Yleensä tekoäly 1 tekee toisen siirtonsa niin että syntyy tilanne, jossa jollakin rivillä on kaksi samaa merkkiä. Tämän takia seuraava tekoälyn 2 siirto on pakkosiirto: estää tekoälyn hyökkäys. Tällöin ei mennä tutkimaan pelipuuta.

Yksittäisen siirron valintaan kuluva aika seuraavilla komennoilla:

```
aika1 = System.currentTimeMillis();  
paikkanro = this.tekoaly2.talysiiirto(this.kuutio);  
aika2 = System.currentTimeMillis();
```

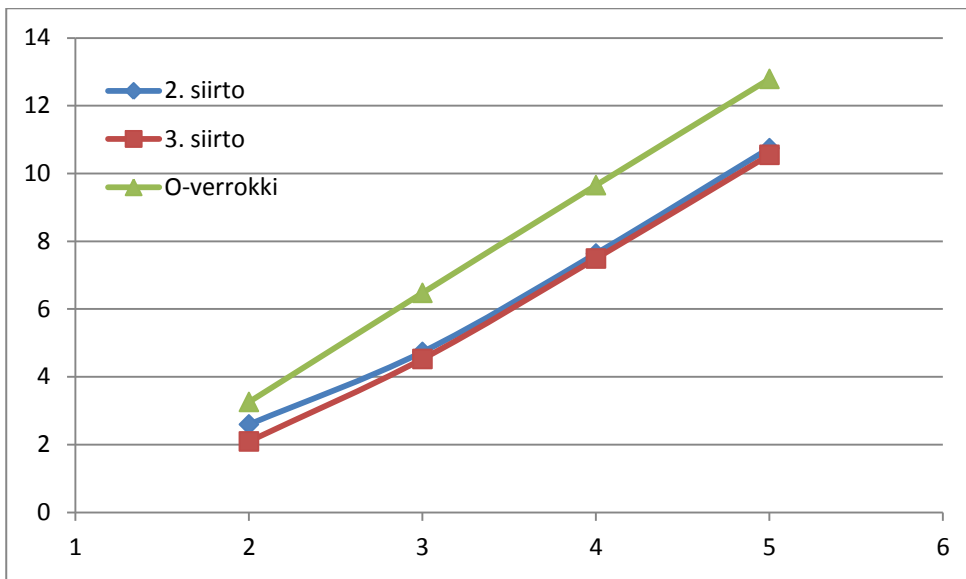
3x3x3 ristinollan versiossa, jossa keskikuutio on mukana, on pelin toisella siirrolla tutkittavana 26 vaihtoehtoa, kolmannella siirrolla 25 vaihtoehtoa, neljännellä 24 jne. Näin ollen aikavaativuus, jos lasketaan N siirtoa eteenpäin, on $O(26 \cdot 25 \cdot \dots \cdot (26 - N + 1))$.

Allaolevaan taulukkoon on koottu suorituskykytestien tulokset tästä peliversiosta. Ylin rivi kertoo, montako siirtoa on laskettu eteenpäin silloin kun pelipuuta tutkitaan. Vasemmalla on listattu siirtonumero ja vuorossa oleva tekoäly. Siirron laskenta-aika on ilmoitettu yksikkönä millisekunti.

Siirtoja lasketaan:		2	3	4	5
siirto	pelivuoro	aika (ms)	aika (ms)	aika (ms)	aika (ms)
1	2	0.2	0	0.1	0.1
2	1	13.4	113.8	2073.3	46464.5
3	2	8.1	92.3	1789.8	38147.4
4	1	0	0.1	0	0
5	2	0	0	0.1	0
6	1	6.4	59.5	0	19086.4
7	2	0.6	0.1	0	0
8	1	0	0	693.4	0
9				0	
10				0	

Kuva 1. 3x3x3 ristinollan siirtojen laskenta-ajat versiolla jossa keskikuutio on mukana.

Seuraavassa kuvassa on tulostettu pelin 2. siirron ja 3. siirron laskenta-ajat logaritmiasteikolla. Vaaka-akselilla on eteenpäin laskettavien siirtojen lukumäärä. Kuvaan on lisätty "O-verrokki", eli logaritmi teoreettisesta laskenta-ajasta.



Kuva 2. 3x3x3 ristinollan siirtojen laskenta-ajan logaritmi verrattuna lukuun $\ln(26 \cdot 25 \cdot \dots \cdot (26 - N + 1))$.

Kulmakerroin kertoo, että siirron laskenta-aika noudattaa hyvin tarkasti teoreettista kaavaa, kun siirtoja lasketaan eteenpäin riittävän monta. Absoluuttinen aika riippuu tietenkin koneesta jossa ohjelma asetaan.

Kuva 1 kertoo myös sen, että 4 siirron versiossa heuristinen pelipuu on tuottanut eri siirron kuin muissa versioissa: peli kestää 10 siirtoa kun se muissa peleissä kestää vain 8 siirtoa. Pelin tarkempi tarkastelu näyttää, että ero syntyy kolmannella siirrossa. Tekoäly 2 eli 'o' aloitti pelin siirrolla 111 ja Tekoäly 1 vastasi ristillä keskikuutioon 222. Tekoälyn 2 seuraava siirto kuvassa 3 alla.

Tekoälyn siirto (o) : 113

	1	2	3
1	o	o	
2			
3			

---ylätaso---

	1	2	3
1		x	
2			
3			

---keski---

	1	2	3
1			
2			
3			

---alataso---

Vaativuustasot 2, 3 ja 5:

Tekoälyn siirto (o) : 122

	1	2	3
1	o		
2		o	
3			

---ylätaso---

	1	2	3
1		x	
2			
3			

---keski---

	1	2	3
1			
2			
3			

---alataso---

Vaativuustaso 4:

Kuva 3. Eteenpäin laskettavien siirtojen lukumäärä vaikuttaa valittuun siirtoon.

Kaikissa yllä kuvatuissa peleissä risti oli voittaja. Pelistrateginen selitys tähän on se, että keskikuutio on niin vahva, että sen ensimmäisenä varannut käytännössä voittaa.

Peliversio, jossa keskiruutu ei ole mukana, tuottaa samansuuntaisia tuloksia siirron laskenta-ajalle. Koska kuutiolla on vähemmän osakuutioita ja erityisesti, peräti 13 linjaa vähemmän laskettavana, laskenta-aika siirrolle on noin 40% pienempi kuin versiolla jossa keskikuutio on mukana.

Siirtoja lasketaan:		2	3	4	5
siirto	pelivuoro	aika (ms)	aika (ms)	aika (ms)	aika (ms)
1	2	0.1	0.1	0.3	0.4
2	1	6	78	1335.4	27611.9
3	2	4.9	52.3	1102.9	22052.4
4	1	0	0	0	0.3
5	2	4.1	43.9	0	13743.2
6	1	0.1	0.1	0	0
7	2	0	0	0	0

Kuva 4. 3x3x3 ristinollan siirtojen laskenta-ajat versiolla jossa keskikuutio ei ole mukana.

Kuva 4 kertoo, että tässäkin versiossa 4 siirtoa laskeva tekoäly saa eri tuloksen kuin muut. Tarkempi selvitys osoittaa, että vain 3 siirtoa ja 5 siirtoa laskevat tekoälyt pelaavat samanlaisen pelin. Kaikissa peleissä aloittaja (o) kuitenkin voittaa. Kun keskiruutu ei ole käytössä, aloittajalla on yleensä etu puolellaan.

3.2. Erilaisten pelinavausten testi

Tässä testissä testattiin kaikki mahdolliset 27 erilaista peliavausta keskikuutiollisessa versiossa ja kaikki 26 erilaista pelinavausta versiossa ilman keskikuutiota. Tekoälyn vastaukset kuhunkin avaussiirtoon selvitettiin sekä 3 siirtoa että 4 siirtoa ennakoivissa peleissä. Pelin voittaja ja pelin kesto selvitettiin myös.

Pelissä ei tosiasiaassa ole näin monta erilaista avasta: käytännössä jokainen avaus esim. kulmakuutiolla vastaa symmetrisesti muita pelinavauksia kulmakuutiolla. Näin ollen esim. keskikuutioversiolla on vain 4 aidosti erilaista avasta: 8 kulmakuutiota, 6 tahkon keskikuutiota, 12 särmän keskikuutiota ja yksi koko kuution keskikuutio. Jos keskikuutio jätetään pois, jäljelle jää vain kolme erilaista avasta.

Varsinainen peli on toteutettu niin että edellä kuvatut symmetriasäännöt eivät päde. Tämä johtuu siitä, että monissa pelitilanteissa on useita samanarvoisia siirtoja ehdolla parhaaksi siirroksi. Pelin nykyinen toteutus valitsee samanarvoisista siirroista aina sen, jonka paikanumero on pienin. Tästä seuraa, että aloitukset eri kulmista eivät välttämättä tuota samaa jatkosiirtoa symmetriamielessä. (Eräs pelin kehitysidea on, että siirto aina arvottaisiin parhaiden siirtojen joukosta, jos sellaisia on useampia. Tämä ehkä tekisi pelistä mielenkiintoisemman pelaajalle.)

Osakuutioiden (tai "ruutujen") paikkojen numerointi on esitetty toteutusdokumentissa. Alla kuvatuissa testeissä avaussiirto on siis pakotettu. (Oikeassa pelissä aloittavan tekoälyn ensimmäinen siirto arvotaan.)

avaus	vastaus	tulos	kesto 3	kesto 4
1..13	222	x voittaa	8	10
14	111	0 voittaa	7	7
15..27	222	x voittaa	8	10

Kuva 5. Keskikuutiollisen pelin tulos avausruudun funktiona.

Tulos kertoo karua kieltään keskikuution merkityksestä. Tekoäly (o) voittaa aina seitsemän siirron jälkeen jos se aloittaa paikkanumerosta 14 (keskikuutio). Jos tekoäly aloittaa mistä tahansa muualta, toinen tekoäly (x) vastaa siihen aina paikkanumerolla 14 ja voittaa joko 8 siirron jälkeen (3 siirtoa laskeva versio) tai 10 siirron jälkeen (4 siirtoa laskeva versio).

Toisaalta testitulos on osoitus ohjelman oikeasta toiminnasta. Yllä saatu tulos näet perusteltavissa oikeaksi. Pelin avaus keskikuutioon varmistaa voiton, ellei pelaaja tee sen jälkeen hölmöjä siirtoja. Selitys on se, että pelimerkki keskikuutioon avaa 13 mahdollista voittolinjaa eikä vastapuoli voi mitenkään torjua niitä kaikkia. Tämän takia peli ilman keskikuutiota on mielenkiintoisempi. Seuraava taulukko näyttää testin tuloksen.

	aloitus	vastaus	3 siirtoa	tulos	4 siirtoa	vastaus
kulma	1	113	7	0 voittaa	7	113
	2	111	9	0 voittaa	13	111
kulma	3	111	7	0 voittaa	7	111
	4	111	9	0 voittaa	13	111
keski	5	111	13	0 voittaa	13	111
	6	111	7	0 voittaa	13	113
kulma	7	111	7	0 voittaa	7	111
	8	111	7	0 voittaa	13	131
kulma	9	111	7	0 voittaa	7	111
	10	111	9	0 voittaa	11	111
keski	11	111	13	0 voittaa	13	111
	12	111	7	0 voittaa	11	113
keski	13	111	13	0 voittaa	11	111
	14			ei käytössä		
keski	15	113	13	0 voittaa	11	113
	16	111	7	0 voittaa	11	131
keski	17	131	13	0 voittaa	11	131
	18	113	7	0 voittaa	11	133
kulma	19	111	7	0 voittaa	7	111
	20	111	7	0 voittaa	13	311
kulma	21	111	7	0 voittaa	7	111
	22	111	7	0 voittaa	11	311
keski	23	111	13	0 voittaa	11	311
	24	113	7	0 voittaa	11	313
kulma	25	111	7	0 voittaa	7	111
	26	131	7	0 voittaa	11	331
kulma	27	111	7	0 voittaa	7	111

Kuva 6. Keskikuutiottoman pelin tulos avausruudun funktiona.

Taulukon kaksi vasenta saraketta kertovat pelin avauskuution numeron sekä sen, onko kyseessä kulmakuutio vai sivutahkon keskikuutio. Loput ovat särmän keskikuutioita. Viides sarake vasemmalla kertoo voittavan osapuolen. Tämän sarakkeen vasemmalla puolen on 3 siirtoa ennakoivan tekoälyn vastaussiirto ja luku, joka kertoo kuinka monta siirtoa peli kestää. Oikealla on vastaavat tulokset 4 siirtoa ennakoivista peleistä. Tulokset kertovat seuraavaa:

- Aloittava tekoäly 'o' voittaa pelit kaikilla mahdollisilla avaussiirroilla.
- Aloitus kulmakuutiolla takaa aina voiton 7 siirrolla
- Aloitus sivutahkon keskikuutiolla on aina huonoin, erityisesti 3 siirtoa ennakoivassa pelissä. Tämä ei estä voittoa, voittamiseen vain tarvitaan enemmän siirtoja.
- Vastapuolen tekoälylle kulmakuutio on aina paras vastaus avaussiirtoon
- Vastapuolen kulmakuution valintaan vaikuttaa se, että samanarvoisista siirrosta valitaan se jonka paikkanumero on pienin.
- Aloitukseen vastaava tekoäly saa enemmän etua siitä, että siirtoja lasketaan pidemmälle

Peliä voitaisiin ehkä tasoittaa sillä, että pelin aloittava tekoäly laskisi 3 siirtoa eteenpäin ja toinen tekoäly 4 siirtoa eteenpäin. Sitä ei kuitenkaan testattu, riittäisikö yksi ennakoiva siirto enemmän vastaajalle takaamaan voittoa missään tilanteessa.

Miksi kulmakuutio on niin tärkeä? Ilmeinen selitys on, että kulmakuutio avaa 6 mahdollista voittavaa linjaa. Sivutahkon keskikuutio avaa 4, reunan keskikuutio vain 3 linjaa. Tältä pohjalta voidaan ennustaa, että kulmakuutiot olisivat parhaita avaussiirtoja, särmän keskikuutiot huonoimpia. Ennuste ei kuitenkaan toteudu särmän keskikuution osalta. Näyttäisi siltä, että tässä pelissä suurempi etu tulee siitä, että peli saadaan avattua useammalle sivutahkolle! Kulmakuutio avaa pelin 3 sivutahkolle, sivusärmän keskikuutio 2 sivutahkolle, sivutahkon keskikuutio vain yhdelle sivutahkolle.

Näin ollen avattujen sivutahkojen määrä ja uusien mahdollisten voitto linjojen määrä yhdessä vaikuttaisivat siirron arvoon.