

hyväksymispäivä arvosana

arvostelija

Heuristisen panostusstrategian toteuttaminen pokerin tekoälysovelluksissa

Teemu Saukonoja

Helsinki 7.11.2007

Pro gradu -tutkielma

HELSINGIN YLIOPISTO

Tietojenkäsittelytieteen laitos

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Tietojenkäsittelytieteen laitos	
Tekijä — Författare — Author			
Teemu Saukonoja			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Heuristisen panostusstrategian toteuttaminen pokerin tekoälysovelluksissa			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Tietojenkäsittely			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages
Pro gradu -tutkielma		7.11.2007	68 sivua + 3 liitesivua
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Texas hold'em pokeri on nykyään erittäin suosittu peli internetpokerin ja televisioitujen turnausten myötä. Texas hold'em pokeri soveltuu myös hyvin tekoälyn tutkimuskohteeksi, koska se sisältää elementtejä, joiden käsittely usein luokitellaan ihmisille luontaisiksi, mutta tietokoneille mahdottomaksi omaksua. Pokerissa käsiteltävä informaatio on epätäydellistä, minkä lisäksi satunnaisuus vaikeuttaa tiedon luotettavaa käsittelyä.</p> <p>Tässä tutkielmassa esitellään pokerin tekoälysovellusten yleisiä ratkaisuja ja eri menetelmien kehitystä. Lisäksi havainnollistetaan konkreettisesti se, kuinka tekoälysovellus pokerissa rakentuu, mitä seikkoja tekoälysovelluksen toteuttamisessa tulee ottaa huomioon ja minkälaisia puutteita tai etuja erilaisilla ratkaisuilla on. Pyrkimyksenä on luoda yleiskäyttöinen kehys, jota voidaan käyttää erilaisten pokerin tekoälyjärjestelmien perustana.</p> <p>ACM Computing Classification System (CCS): I.2.1 [Applications and Expert Systems]</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
pokeri, tekoäly, panostusstrategia, Texas hold'em			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Kumpulan tiedekirjasto, sarjanumero C-			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Additional information			

Sisältö

1 Johdanto	1
1.1 Lähtökohta	1
1.2 Tavoitteet	3
1.3 Tutkielman rakenne	3
2 Pokeri	4
2.1 Texas hold'em	5
2.1.1 Panostusrajoitukset	7
2.1.2 Strategiat	8
2.2 Panostusstrategian määrittäminen	10
2.2.1 Toimintavaihtoehdon valinta	11
2.2.2 Odotusarvo	13
2.2.3 Subjektiiiviset todennäköisyydet	17
2.3 Pokeri tekoälytutkimuksessa	18
3 Pokerin tekoälyn toteuttaminen	18
3.1 Käden vahvuuden määrittäminen	19
3.1.1 Jaon ensimmäisessä vaiheessa	20
3.1.2 Evaluointi jaon muissa vaiheissa	21
3.2 Vastustajan mallinnus	22
3.2.1 Korttien johtaminen	24
3.2.2 Toimintojen johtaminen	24
3.3 Vastustajakohtainen mallinnus	25
3.3.1 Mallin muodostaminen ja päivitys	25
3.3.2 Eri menetelmiä mallinnuksen toteuttamiseksi	27
3.3.3 Menetelmien yhdistäminen	27
3.4 Panostusstrategian toteuttamiseksi käytettyjä menetelmiä	28
3.4.1 Asiantuntijatietämys	28

	iii
3.4.2	Simulaatiot 30
3.4.3	Peliteoria 31
3.4.4	Odotusarvon maksimoivat haut pelipuista 34
3.4.5	Menetelmien yhdistäminen 37
4	Toimintojen odotusarvojen estimointi 38
4.1	Evaluointifunktion muodostaminen 39
4.1.1	Jaon ensimmäisessä vaiheessa 40
4.1.2	Jaon muissa vaiheissa 41
4.1.3	Odotusarvojen laskeminen 44
4.2	Heurististen funktioiden toteutus 44
4.2.1	Vastustajan mallinnus 46
4.2.2	Mahdollisia parannuksia 46
4.3	Toiminnon valitseminen 46
5	Järjestelmän rakentaminen ja testaaminen 47
5.1	Järjestelmän kuvaus 48
5.1.1	Panostusstrategian toteuttaminen ensimmäisessä vaiheessa . . 50
5.1.2	Käden vahvuuden evaluointi 51
5.1.3	Toimintojen odotusarvojen estimointi 51
5.1.4	Vastustajan mallinnus 52
5.2	Järjestelmän rakentaminen 52
5.2.1	Vastustajan mallinnus 53
5.2.2	Vastustajan käden vahvuuden määrittäminen 54
5.2.3	Vastustajan toimintojen ennakoiminen 55
5.3	Järjestelmän testaus 55
5.3.1	Pelitason testaus 56
5.3.2	Testitulokset 57
5.4	Järjestelmän puutteet ja parannusehdotukset 58

6 Yhteenveto ja tulevaisuuden näkymät	59
6.1 Tekoälysovellukset vs. ihminen	60
6.1.1 Uhka internetpokerille	62
6.2 Tulevaisuuden tutkimuskohteita	62
Lähteet	64

Liitteet

1 Käsien arvojärjestys

2 Sklanskyn lähtökorttiluokittelu [SkM99]

1 Johdanto

Pokeri on taitopeli, jossa myös satunnaisuus näyttelee merkittävää roolia. Pokeriin perehtymättömästä saattaa tuntua, että pokerissa voittaminen ja häviäminen perustuu ainoastaan hyvään ”tuuriin”. Tämä harhakuvitelma johtuu siitä, että yksittäisessä jaossa satunnaisuuden osuus on erittäin suuri. On kuitenkin huomattava, että jakojen määrän kasvaessa satunnaisuuden osuus pienenee, lähestyen nollaa samalla, kun jakojen määrä kasvaa kohti ääretöntä. Tämä takaa sen, että riittävän suurella jakojen määrällä, satunnaisuuden osuus voidaan rajata niin pieneksi, että voidaan tehdä tilastollisesti merkitseviä päätelmiä esimerkiksi pelaajien paremmuudesta toisiinsa nähden.

Pokeri on epätäydellisen informaation peli. Täydellisen informaation peleissä, kuten esimerkiksi shakissa, pelaaja voi koko ajan tehdä havaintoja kaikesta peliympäristössä tapahtuvista liikkeistä, kun taas pokerissa pelaaja ei jaon aikana, eikä välttämättä edes jaon jälkeen, näe vastustajan kortteja. Mikäli pokerikin olisi täydellisen informaation peli, olisi jokaisessa tilanteessa, satunnaisuudesta huolimatta, aina mahdollista tehdä matemaattisesti oikeat päätökset [ToP94]. Pokerissa näin ei kuitenkaan ole. Sen sijaan vastustajan toimintojen perusteella on mahdollista pyrkiä täydentämään informaatiota vastustajan korteista mahdollisimman täydelliseksi. Vastaavasti omat ratkaisut on syytä pyrkiä tekemään siten, että vastustajalle luovutetaan mahdollisimman vähän informaatiota omista korteista.

1.1 Lähtökohta

Nykyiset pokerin tekoälysovellukset eivät vielä ole saavuttaneet tasoa, jolla ne pystyisivät antamaan varteenotettavan vastuksen parhaimmille ihmispelaajille kaikissa pelimuodoissa. Joissakin pelimuodoissa tulokset ovat olleet rohkaisevia ja voidaankin sanoa, että tietokone on saavuttanut jo lähes parhaimpien ihmispelaajien tason, mutta tästä huolimatta kaikilla saroilla riittää edelleen töitä, jotta päästäisiin samanlaisiin tuloksiin kuin esimerkiksi shakin tekoälytoteutuksissa on päästy. Tähän vaikuttaa se, että toisin kuin shakissa, ei pokerissa, sen tarjoaman epätäydellisen informaation vuoksi, ole mahdollista käyttää samanlaisia raakaan laskentatehoon perustuvia ratkaisuja, jotka toimisivat yhtä hyvin kaikenlaisia vastustajia vastaan.

Epätäydellisen informaation vuoksi pokeri tarjoaa paremmin mahdollisuuksia uusille tutkimuksille [SBP99]. Tähän mennessä tutkimus on keskittynyt lähinnä *Texas hold’emiin*, jossa panostaminen on *kiinteästi rajoitettu* (fixed limit). Texas hold’emin

valintaa puoltaa sen suosio, mutta *rajoittamaton* (no limit) panostaminen nähdään yleensä vielä turhan monimutkaisena, vaikka se onkin nykyään suosituin pelimuoto ihmisten keskuudessa.

Pokerissa hyvin erilaiset menetelmät sopivat erilaisiin järjestelmiin. Jos tarkoitus on luoda järjestelmä, joka kykenee mahdollisimman suureen voittoon 10 hengen pöydässä harrastelijoita vastaan, niin vaatimukset voivat olla hyvin erilaiset kuin järjestelmän, joka pyrkii voittamaan *kaksinpelissä* (heads-up) maailman parhaisiin lukeutuvan ammattilaisen. On kuitenkin mahdollista löytää myös menetelmiä, joiden avulla järjestelmät pystyvät toimimaan hyvinkin erilaisissa ympäristöissä.

Pokerin tekoälytutkimus on kehittynyt viimeisten vuosien aikana huomattavasti ja useita uusia menetelmiä on kokeiltu aivan viimeisten vuosien aikana. Parhaita tuloksia kaksinpelissä on saavutettu menetelmillä, joissa päätökset tehdään joko pyrkien peliteoreettiseen optimaaliseen peliin tai vaihtoehtoisesti pelipuihin kohdistuvilla hauilla siten, että myös vastustajan yksilöllisyys otetaan huomioon [BDS04]. Menetelmät eivät sinällään ole uusia ja esimerkiksi pelipuihin kohdistuvia hakuja on käytetty menestyksekkäästi jo vuosikymmeniä deterministisissä täydellisen informaation nollasummapeleissä. Vaikka esimerkiksi kaksinpelissäkään ei täydellistä peliteorian mukaista optimaalista ratkaisua ole mahdollista löytää, vaikeutuu menetelmien käyttö entisestään, mikäli niitä yritetään soveltaa suuremmalle määrälle pelaajia.

Suuremmalla määrällä pelaajia onkin yleensä turvauduttu menetelmiin, joissa paras toimintavaihtoehto voidaan valita esimerkiksi asiantuntijatietämykseen tai simulointeihin perustuen [Bil06]. Yhteistä näille kaikille menetelmille on myös se, että toisin kuin peliteorian mukaisen optimaalisen ratkaisun tapauksessa ne vaativat toimiakseen vastustajan mallinnusta. Vaikkakin pokerissa peliteorian mukainen optimaalinen ratkaisu on tekoälytutkimuksen kannalta monitahoinen ja tärkeä tutkimuskohde, voidaan se nähdä myös osaltaan ratkaisuna, joka ei ole ominainen pokerin luonteeseen nähden. Toisin kuin yleensä peleissä, voidaan pokerissa parhaimpana pelaajana pitää voittamattoman pelaajan sijasta pelaajaa, jonka saavuttama yhteen laskettu tuotto kaikkia vastustajia vastaan on suurin, vaikka joitakin yksittäisiä pelaajia vastaan tuotto olisikin selvästi negatiivinen.

Näihin eri tavoitteisiin pyrkivien järjestelmien rakentaminenkin vaatii myös erilaiset lähtökohdat. Tässä työssä lähtökohtaisesti tarkastellaan pokerin tekoälysovelluksia jälkimmäisen näkökohdan mukaan. Tämä tarkoittaa sitä, että esiteltävä malliratkaisu tekoälyjärjestelmän rakentamiseksi on toteutettu periaatteella, jossa pyritään

maksimaaliseen tuottoon jokaista vastustajaa vastaan. Käytännössä tällöin tehdyt ratkaisut eivät välttämättä ole optimaalisia, mutta mikäli vastustaja ei myöskään pelaa optimaalisesti, ne takaavat paremman tuoton kuin optimaaliset ratkaisut.

1.2 Tavoitteet

Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena on pokerin ja sen erilaisten tekoälyratkaisujen yleisen esitellyn lisäksi määrittellä yleiskäyttöinen erilaisiin pokeripeleihin soveltuva runko panostusstrategian toteuttamiseksi. Rungon määrittelyn lisäksi toteutetaan myös esimerkkijärjestelmä, jonka tarkoituksena on demonstroida, mitä pokerin tekoälyn toteuttaminen vaatii ja näyttää esimerkeillä yksi mahdollinen tapa, kuinka nämä eri osa-alueet voidaan käytännössä toteuttaa. Teorian ja käytännön kautta esitetään myös pokerin tekoälysovellusten testaamiseen liittyvät suurimmat ongelmat ja ratkaisumallit, joilla testitulosten luotettavuutta voidaan parantaa. Lisäksi pyritään tuomaan esille, mitä kaikkea tulisi ottaa huomioon tekoälyjärjestelmien toteutuksessa, kun pyritään kohti järjestelmiä, jotka voittavat ihmispelaajat kaikissa pokerin muodoissa.

1.3 Tutkielman rakenne

Tutkielman rakenne on pyritty laatimaan siten, että luku luvulta, luvuissa 2-4, aiheessa syvennyttään kohti pienempiä yksityiskohtia - aloittamalla pokerista itsestään ja siirtymällä tekoälyratkaisujen esittelystä panostusstrategian toteuttamisen ongelmaan.

Luku 2 tutustuttaa lukijan pokeriin siinä mittakaavassa kuin se sellaiselle lukijalle, joka ei entuudestaan tunne pokerin periaatteita, on välttämätöntä, ymmärtääkseen ongelmakentän, jolle tekoälysovellusta suunnitellaan. Tämä pitää sisällään pokerin luonteen, säännöt, yksinkertaisia strategioita ja tekoälysovellusten ongelmakentän esittelyn. Tässä on syytä huomata, että ongelmakenttä sinällään on niin laaja, että sen täydellinen läpikäyminen ei käytännössä ole tämän työn puitteissa mahdollista, joten joitakin asioita on jouduttu karsimaan ja esiin on pyritty tuomaan vain tärkeimmät vaikuttavat asiat. Lisäksi mukana on joitakin esimerkkejä konkretisoimassa muuten abstrakteja tilanteita.

Luvussa 3 esitellään kuinka tekoälysovellus pala palalta voidaan rakentaa - sisältäen käden vahvuuden ja panostusstrategian määrittämisen ja vastustajan mallinnuksen.

Eri elementtien toteuttamiseksi on pyritty esittelemään tärkeimmät vaihtoehtoiset menetelmät ja lisäksi esitellään tuloksia mitä erilaisilla menetelmillä toteutetuilla järjestelmillä ollaan saavutettu.

Luvussa 4 perehdytään tarkemmin panostusstrategian toteuttamiseen. Tässä keskitytään siihen, kuinka voidaan riittävällä tarkkuudella pyrkiä estimoimaan eri toimintavaihtoehtojen odotusarvoja. Koska ratkaisu on monikäyttöinen ja ei sido eri elementtejä liian tiukasti osaksi järjestelmää, vaan siinä on mahdollista käyttää monia eri menetelmiä, myös rinnan, soveltuu se hyvin kaiken tasoisin peleihin eri pelaajamäärän sisältävissä pelipöydissä.

Luvussa 5, edellisissä luvuissa esitetyt asiat konkretisoidaan malliksi heuristisesta odotusarvon estimointiin pohjautuvasta järjestelmästä, jonka tarkoituksena on testata luvussa neljä esitetyn panostusstrategian määrittelyä käytännössä. Samalla perehdytään järjestelmän testaamiseen käytännössä ja testattavuuden ongelmiin yleisellä tasolla.

Luvussa 6 nidotaan yhteen tämän työn anti sekä pohditaan erilaisia ongelmakohtia, niiden mahdollisia ratkaisuja ja esitetään menetelmiä, joilla tuloksia erilaisissa järjestelmissä voitaisiin mahdollisesti parantaa. Tämän lisäksi otetaan kantaa ihmisen ja tietokoneen vastaiseen kamppailuun paremmuudesta ja yhteiskunnallisesti myös parantuneiden tekoälyjärjestelmien muodostamasta uhasta internetpokerin pelaajille ja palveluiden tarjoajille.

2 Pokeri

Pokeri nimike pitää sisällään lukuisia erilaisia pelejä. Yleisesti tunnettujakin pokeripelejä voi laskea olevan kymmeniä ellei satoja, mutta lisäksi erilaisia pokeripelejä on helppo kehittää myös itse, joten periaatteessa erilaisia pokeripelejä on ääretön määrä. Yhteistä pokeripeleille on käsien arvojärjestys (liite 1), johon siihenkin löytyy kuitenkin myös tiettyjä variaatioita.

Vaikka pokeripelejä on valtava määrä, voidaan niitä ryhmitellä tietyillä melko yksinkertaisilla periaatteilla [ToP94]. Ensinnäkin pelissä voidaan pyrkiä mahdollisimman korkeaan (high poker) tai mahdollisimman alhaiseen (low poker) käteen tai näiden yhdistelmään (high-low split poker). Pelitavan mukaan pelit voidaan myös jakaa kolmeen joukkoon. Perinteisesti Suomessa on pelattu viiden kortin *ostopokeria* (draw poker), jossa kerran saa vaihtaa korttejaan, sekä *sököä*, joka on viiden kortin

avopokeri (stud poker), jossa ensin jaetaan kaksi korttia, joista toinen *pimeänä* eli kuvapuoli alaspäin ja loput kolme yksitellen *avoimena* eli kuvapuoli ylöspäin. Sökön erikoisuutena on lisäksi käsien arvojärjestyksestä poikkeavat neljän kortin väri ja suora. Maailmalla sen sijaan on yleisesti pelattu *seitsemän kortin avopokeria* (seven card stud), jossa ensin jaetaan kolme korttia, joista kaksi pimeänä, jonka jälkeen kolme korttia yksitellen avoimena, jonka jälkeen jaetaan vielä yksi kortti pimeänä.

Nykyisiin suosituimmat pelit, kuten Texas hold'em ja *Omaha hold'em* sisältävät pelaajan omien pimeiden korttien lisäksi *yhteisiä avoimia kortteja* (community cards). Omaha hold'em eroaa Texas hold'emista ainoastaan siinä, että Omaha hold'emissa pimeitä kortteja jaetaan jokaiselle pelaajalle neljä kappaletta - Texas hold'emissä kahden sijaan, joista aina on käytettävä täsmälleen kahta korttia käden muodostamiseen.

2.1 Texas hold'em

Texas hold'em on kasvattanut suosiotaan räjähdysmäisesti viimeisen vuosikymmenen aikana ja on nykyään selkeästi suosituin pokeripeli. Suosion kasvun taustalla on useita eri tekijöitä. Ensinnäkin Texas hold'em on säännöiltään varsin yksinkertainen pokeripeli, joten aloittelijaltakaan ei kulu hirveästi aikaa sääntöjen opiskeluun. Kaikille pelaajille yhteiset kortit tuovat uuden elementin peliin, verrattuna peleihin, joissa jokaiselle pelaajalle jaetaan omat kortit. Yhteisiä kortteja sisältävässä pelissä, esimerkiksi pelaajan juuri toivoma seuraava kortti voikin osoittautua kaikista huonoimmaksi kortiksi pelaajan kannalta, koska se tarjoaa vastustajalle vielä paremman käden. Tätä ominaisuutta ei ole peleissä, jotka eivät sisällä yhteisiä kortteja.

Vaikka Texas hold'em on säännöiltään varsin yksinkertainen peli, on se strategisesti erittäin kompleksinen. Monien mielestä juuri Texas hold'emissä vastustajien tasoerot tulevat pokeripeleistä parhaiten esiin [BPS98]. Viimeisimpänä, vaan ei vähäisimpänä syynä Texas hold'emien nykyiseen vallitsevaan asemaan pokeriyhteisössä, voidaan nähdä se, että Texas hold'emilla ratkaistaan myös vuosittain pokerin *maailmanmestaruus* eli se on *World Series of Pokerin* pääturnauksen pelimuoto.

Texas hold'emia pelataan yleisesti kahdesta kymmeneen pelaajalla. Seitsemästä kymmeneen pelaajaa sisältävää pöytää kutsutaan *täydeksi* (full), kolmesta kuuteen *vajaaksi* (short-handed) ja kahden pelaajan peliä kaksinpeliksi. Strategisesti esimerkiksi kaksinpeli eroaa huomattavasti täyden pöydän pelistä, joten luokittelu on tältä osin tarpeen. Joitain selkeitä eroja on tietysti myös esimerkiksi kolmella tai kuudella

pelaajalla pelattavassa pelissä, mutta kyseinen luokittelu on yleisesti käytetty ja vastaavasti eroavaisuudet näiden pelien osalta voidaan ilmoittaa myös muuten, mikäli se nähdään jossakin yhteydessä tarpeelliseksi.

Texas hold'em peli jakautuu neljään vaiheeseen eli *panostuskierrökseen* (kuva 1). *Ensimmäisessä vaiheessa* (pre-flop) jokaiselle pelaajalle jaetaan kaksi pimeää korttia. *Toisessa vaiheessa* (flop) pöytään jaetaan kolme yhteistä avointa korttia. *Kolmannessa* (turn) ja *neljännessä* (river) vaiheessa, molemmissa, pöytään jaetaan yksi yhteinen avoin kortti. Kättä paljastettaessa (showdown) pelaajilla on siis käytettävissä kaksi henkilökohtaista korttia ja viisi muiden pelaajien kanssa yhteistä korttia, joista muodostaa paras mahdollinen viiden kortin pokerikäsi.



Kuva 1: Panostuskierrosten eteneminen täydessä pöydässä.

Täyden pöydän pelissä pelaajien paikat eli *positiot* pöydässä on nimetty myötäpäivään kiertävästi siten, että viimeisenä toimiva pelaaja istuu *jakajan* (button) paikalla. Tästä pelaajasta seuraavat pelaajat - yleensä kaksi - maksavat *sokkopanokset* (blinds). Yleisimmin on käytössä sovellus, jossa jakajan paikasta seuraava maksaa *pienen sokkopanoksen* (small blind) ja tästä seuraava *ison sokkopanoksen* (big blind).

Yleisin tapaus on, että pieni sokkopanos on puolet ison sokkopanoksen määrästä, mutta se voi olla myös esimerkiksi yhden kolmasosan tai kaksi kolmasosaa. Toinen yleisesti käytetty sovellus on, että molemmat sokkopanokset ovat samansuuruisia. Loput paikat voidaan jakaa kolmeen osaan siten, että seuraavat paikat ovat *etuposiitiota* (early position), siitä seuraavat *keskiposiitiota* (middle position) ja viimeiset mukaan lukien jakajan paikka ovat *myöhäistä positiota* (late position). Ensimmäisessä vaiheessa sokkopanokset maksaneet pelaajat toimivat vielä jakajan paikalla olevan pelaajan jälkeen, mutta muissa vaiheissa he toimivat ensimmäisinä, mikäli ovat vielä pelissä mukana.

Sokkopanosten lisäksi pelissä voi olla myös *alkupanos* (ante), jonka jokainen pelaaja joutuu maksamaan. Vajaassa pöydässä sokkopanokset määräytyvät, kuten täydesäkin pöydässä. Kaksipelissä vakiintunut käytäntö on, että jakajan paikalla oleva pelaaja maksaa pienen sokkopanoksen ja toimii ensimmäisessä vaiheessa ensimmäisenä, kun taas toinen pelaaja maksaa ison sokkopanoksen ja toimii ensimmäisenä muissa vaiheissa. Sokkopanosten ja alkupanosten tarkoituksena on varmistaa, että pelaajat pelaavat useampia käsiä. Mikäli pelissä ei olisi ollenkaan alku- ja/tai sokkopanoksia, voisi esimerkiksi Texas hold'emia pelata voittoastrategialla, jossa pelataan vain ainoastaan paras aloituskäsi.

Jokaisessa vaiheessa pelaajalla on tilanteesta riippuen mahdollisuus *luopua* (fold) korteistaan, *passata* (check), *panostaa* (bet) tai *korottaa* (raise). Korteistaan voi luopua aina, kun haluaa. Sen sijaan passata voi ainoastaan silloin, kun kukaan edellä olevista ei ole vuorollaan panostanut tai vaihtoehtoisesti mikäli pelaaja on jo maksanut sokkopanoksen, eikä kukaan ole vuorollaan korottanut. Mikäli joku edellä toimineista pelaajista on jo panostanut, pelaaja voi joko maksaa panoksen tai vaihtoehtoisesti korottaa.

2.1.1 Panostusrajoitukset

Panostaminen on tärkein osa pokeria. Onkin sanottu, että pokeri ei ole rahalla pelattava korttipeli, vaan korteilla pelattava rahapeli. Mikäli pokeriin ei kuuluisi panostamista, kyseessä olisi täysin satunnaisuuteen perustuva korttipeli. Panostamista määräävät pokerissa *panostusrajoitukset*. Yleisesti nykyään käytössä olevat panostusrajoitukset ovat kiinteästi rajoitettu, *potin kokoon rajoitettu* (pot limit) ja rajoittamaton.

Eri panostusrajoituksilla pelatuista peleistä potin kokoon rajoitettu ja rajoittama-

ton Texas hold'em ovat strategisesti hyvin lähellä toisiaan. Myös rajoittamattomassa Texas hold'emissa pelaajat yleensä määrittelevät panostuksen koon suhteessa potin kokoon ja se harvoin nousee suuremmaksi kuin potin koko. On kuitenkin tilanteita, joissa pelaajan voi olla strategisesti kannattavaa panostaa kaikki pelimerkkinsä (all-in), vaikka tämä panostus onkin suurempi kuin sen hetkinen potin koko. Tästä johtuva ero näiden kahden panostusrajoituksen välillä riippuu hyvin paljon siitä, kuinka suuret määrät pelaajilla on pelimerkkejä pöydässä verrattuna alkupanokseen ja sokkopanoksiin. Potin kokoon rajoitettua Texas hold'emia pelataan varsin marginaalisesti, mutta esimerkiksi Omaha hold'emissa se on jopa suosituin pelimuoto.

Kiinteästi rajoitettu Texas hold'em sen sijaan eroaa strategisesti huomattavasti kahdesta muusta esitellystä panostusrajoituksesta. Yleensä kiinteästi rajoitettua Texas hold'emia pelataan siten, että ison sokkopanoksen kokoa kutsutaan *pieneksi panokseksi* (small bet) ja sitä käytetään panostuksen kokona ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa. Kolmannessa ja neljännessä vaiheessa panoksen koko kaksinkertaistuu ja sitä kutsutaan *isoksi panokseksi* (big bet). Panostuskierros on rajoitettu kolmeen korotukseen eli sanotaan, että pelissä on neljän panoksen *katto* (cap). Tästä säännöstä poiketaan usein siten, että mikäli pelissä on panostuskierroksen alkaessa mukana enää kaksi pelaajaa, niin kyseistä kattoa ei ole, vaan korottelua voi jatkaa tarvittaessa, niin kauan kuin pelimerkkejä riittää. Tekoälytutkimuksessa pidättäydytään yleisesti kuitenkin panostuskatossa myös kaksinpelin osalta.

2.1.2 Strategiat

Voittavaa pokeria voidaan jopa huipputasolla pelata useilla erilaisilla strategioilla. Toisaalta toisessa pelissä voittava strategia saattaa olla täysin sopimaton toiseen peliin. Pokerissa voikin olla monesti mahdotonta tietää edes hyvää saati sitten parasta toimintavaihtoehtoa edes yksittäisessä pelitilanteessa tuntematta muiden pöydässä pelaavien tyyliä pelata. Strategian valinnassa onkin tärkeä sopeuttaa se muiden pöydässä pelaavien mukaan. Tämä on nähtävissä myös kirjallisuudessa siten, että osin samojen kirjoittajien, eri tyyppisiin peleihin, tarjoamat strategiat voivat joiltain osin erota melko radikaalistikin toisistaan [SkM99, MSM04]. Toisaalta samassa pöydässäkin voi olla voittavia pelaajia hyvin erilaisilla strategioilla.

Strategian muodostamisessa on hyvä lähteä perusasioista. Ensinnäkin on tärkeää ymmärtää pokerin syvin olemus ja se mihin pokerissa pyritään, koska tällöin on helpompi ymmärtää myös eri strategioita. Pokerissa pyritään voittamaan mahdollisimman paljon rahaa - ei mahdollisimman paljon potteja [ToP94]. Koska pokeris-

sa satunnaisuus on hyvin voimakkaasti läsnä, ei rahan voittamisesta pystytä tekemään pitkälle meneviä johtopäätöksiä, mikäli otoskoko ei ole tarpeeksi suuri. Tällöin tarkastellaankin mieluummin odotusarvoa. Odotusarvo pelitilanteessa määrää sen, kuinka hyvän tai huonon päätöksen pelaaja pelitilanteessa tekee, riippumatta siitä mikä pelin lopputulos rahallisesti on. Pelaaja voi siis, lyhyessä sarjassa, voittaa suuria summia huonoilla ja hävitä hyvillä päätöksillä.

Erilaisia strategioita voidaan jaotella pokerissa hyvin monella tapaa. Vaikuttavia asioita on muun muassa kuinka *tiukasti* (tight) tai *löyhästi* (loose) pelaaja pelaa eli kuinka usein pelaaja haluaa olla mukana poteissa. Yleensä tiukalla pelaajalla tarkoitetaan pelaajaa, joka pelaa vain parhaimmat lähtökortit ensimmäisessä vaiheessa. Kuitenkin lähtökortit tiukasti pelaavaa pelaaja voi vastaavasti pelata muut vaiheet pelissä myös erittäin löyhästi, joten luokittelu ei tältä osin ole täydellinen. Toinen merkittävä luokitteluperuste on pelaajan aggressiivisuus/passiivisuus. Kärjistettyä, aggressiivinen pelaaja korottaa tilanteissa, joissa passiivinen pelaaja ainoastaan maksaa. Aggressiivisuuden hyöty tulee siinä, että vastustajan käsiä paremmille käsillemme saadaan suurempi voitto, saadaan vastustaja maksamaan suurempi hinta pelatuista *vetokäsistä* (draw) eli käsistä, mitkä eivät vielä muodosta vahvaa kättä, mutta joilla on mahdollisuus parantua - esimerkiksi neljän *suora* (straight) tai *väri* (flush) ja lisäksi on mahdollisuus, että vastustaja luopuu paremmasta kädestään jo jaon aikana, jolloin potti voitetaan ilman käden paljastamista.

Edellä esitettyjen kahden parametrin avulla pelaajat voidaan jakaa karkeasti neljään luokkaan. Tosiasiassa esimerkiksi pelaajien aggressiivisuus saattaa vaihdella huomattavasti eri vaiheissa, mutta seuraava jaottelu on yleisesti käytössä myös kirjallisuudessa:

- Tiukka ja passiivinen (tight and passive, TAP).
- Löyhä ja passiivinen (loose and passive, LAP).
- Tiukka ja aggressiivinen (tight and aggressive, TAG).
- Löyhä ja aggressiivinen (loose and aggressive, LAG).

Näistä kaksi viimeistä ovat yleisesti käytössä voittavilla pelaajilla. Toki millä tahansa esitetyistä strategioista voidaan pelata voittavasti ainakin tietynlaisissa peleissä, mutta aggressiivisuuden tuoma etu on yleensä kiistaton. Kuitenkin aggressiivisuuden kanssa on tärkeitä sovittaa se vallitsevaan peliin. Yliaggressiivisuus ei ole mo-

nestikaan hyväksi, mikäli vastustajat osaavat lukea peliä ja muodostaa tätä kautta vastastrategian yliaggressiivista pelaajaa vastaan.

Tiukka ja aggressiivinen pelityyli on yleisesti kirjallisuudessa suositeltu strategia. Sen etuja on löyhään ja aggressiiviseen pelityyliin verrattuna se, että pelaaja ei joudu yhtä usein vaikeiden valintojen eteen. Tästä syystä se sopiikin paremmin varsinkin aloittelijoille. Lisäksi matalamman tason peleissä vastustajat ovat usein liian löyhiä, joten pelaamalla tiukasti vain parhaita lähtökortteja saadaan yksistään tällä riittävä etu vastustajiin nähden ja tätä kautta saavutetaan tavoitteena oleva voitettavan pokerin pelaaminen. Myöskään vastustajat eivät alemmilla tasoilla ole yhtä hyviä löytämään vastastrategioita helpostikin havaittuihin puutteisiin, joten strategia, jossa pelaaja antaa liian paljon informaatiota hyvälle vastustajille, saattaa kuitenkin olla paras mahdollinen strategia vastustajia vastaan, jotka eivät osaa käyttää hyödykseen tätä tarjottua lisäinformaatiota.

Löyhä ja aggressiivinen pelityyli taas soveltuu paremmin kokeneelle taitavalle pelaajalle. Tässä pelityylissä pelaaja ajautuu usein tilanteisiin, joissa joudutaan arvioimaan oman käden vahvuuden riittävyyttä vastustajan käsiin nähden. Vastustajan lukeminen on tässä tilanteessa tärkeää, että voi riittävällä tarkkuudella sijoittaa vastustajiaan joillekin tietyille käsille. Myöskään löyhästä pelityylistä ei vastustajan ole mahdollista saada yhtä paljon informaatiota, joten se sopii siinä mielessä paremmin niitä vastustajia vastaan, jotka ovat hyviä keräämään informaatiota toisten pelaajien toiminnoista.

Yleisesti, mitä vähemmän pöydässä on pelaajia, sitä enemmän käsiä pitäisi pelata. Jos täydessä pöydässä tiukka hyvä pelaaja pelaa noin 20 prosenttia aloituskäsistään, voi kaksinpelissä samakin pelaaja pelata yli 80 prosenttia käsistään. Tähän vaikuttaa erityisesti sokkopanokset. Täydessä 10 hengen pöydässä 10 käden pelaaminen maksaa sokkopanoksien muodossa 1,5 kertaa ison sokkopanoksen, kun taas vastaavasti 2 hengen pöydässä hinta on 7,5 kertaa iso sokkopanos eli viisikertainen täyteen pöytään nähden.

2.2 Panostusstrategian määrittäminen

Panostusstrategia pokerissa sisältää kaikki pelaajan pelipöydässä tekemät päätökset. Texas hold'em pelissä, jossa panostaminen on kiinteästi rajoitettu, näitä mahdollisia vaihtoehtoja ovat kädestä luopuminen, tilanteesta riippuen passaaminen tai maksaminen sekä panostaminen tai korotus. Valittavana on siis ainoastaan kolme

eri vaihtoehtoa, pois lukien erikoistilanteet (esimerkiksi kiinteästi rajoitetussa pelissä joku pelaajista korottaa kaikki merkkinsä, joka on alle minimipanoksen tai panostamisessa on saavutettu määrätty katto), joissa on vain kaksi vaihtoehtoa eli luopuminen tai maksaminen. Texas hold'emissa, jossa panostaminen on rajoitettu potin kokoon tai panostaminen on rajoittamatonta, on näiden vaihtoehtojen lisäksi mukana tietysti panoksen koon määrittely.

Vaikka vaihtoehtoja on näennäisesti vähän, ei useimmissa tilanteissa edes ole löydettävissä yksittäistä parasta toimintavaihtoehtoa. Toimintavaihtoehdon valintaan vaikuttavat ainakin seuraavat tekijät:

- Oman käden vahvuus päätöksentekohetkellä ja vahvuuden mahdolliset muutokset seuraavissa vaiheissa peliä eli käden *potentiaali*.
- Arvioidut vastustajien käsien vahvuudet ja vahvuuksien mahdollisuudet muutokset seuraavissa vaiheissa.
- Arvio vastustajien käyttäytymisestä eri tilanteissa.
- Potin koko ja *pottikertoimet* (pot odds).
- Toimintavuoro eli positio vastustajiin nähden.

Näistä jokainen tekijä voidaan myös jaksotella pienempiin osatekijöihin. Lisäksi, jos panostaminen on rajoitettu potin kokoon tai se on rajoittamatonta, vaikuttavana tekijänä on myös oma ja vastustajien merkkimäärä. Kiinteästi rajoitetussa tämä ei yleensä ole vaikuttavana tekijänä ellei merkkimäärä ole huomattavan alhainen sokkopanoksiin nähden, joten yleensä se jätetään huomioimatta.

2.2.1 Toimintavaihtoehdon valinta

Tilanteet, joissa panostetaan tai korotetaan voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään:

- *Arvopanostaminen* (value betting) eli panostaminen tai korottaminen, kun oletetaan, että oma käsi on parempi kuin vastustajien kädet ja halutaan mahdollisimman hyvä tuotto kädelle.
- *Bluffaaminen* (bluffing) eli panostaminen tai korottaminen, kun oletetaan, että oma käsi ei ole paras, mutta pyritään panostuksella saamaan vastustajat luopumaan käsistään.

- *Semibluffaaminen* (semi bluffing) eli panostaminen tai korottaminen, kun oletetaan, että oma käsi ei ole paras, mutta sillä on riittävän hyvä mahdollisuus parantua parhaaksi, mikäli vastustajat eivät luovu käsistään.

Panostamisen lisäksi on pokerissa, tarvittaessa, myös osattava luopua korteistaan. Mikäli pelaajalla ei ole tarpeeksi suurta todennäköisyyttä voittaa pottia, tulee hänen rationaalisesti toimiessaan luopua kädestään. Pelaaja voi myös ainoastaan maksaa vastustajan panostuksen tai korotuksen. Usein korottaminen saattaa olla maksamista parempi vaihtoehto, koska se sisältää myös mahdollisuuden, että vastustaja luopuu omasta kädestään. Tilanteita, jossa maksaminen on varteenotettava vaihtoehto, ovat muun muassa seuraavat tilanteet:

- Maksaminen *vetokädellä* (draw) eli pelaaja olettaa, että oma käsi ei ole paras, mutta sillä on riittävän suuri mahdollisuus parantua parhaaksi jäljellä olevilla korteilla.
- Oman käden *vahvuuden piilottaminen* (slow playing) eli pelaaja olettaa, että oma käsi on paras, mutta pelkäänsä maksamalla on mahdollisuus saada vastustaja luulemaan omaa kättään parhaaksi ja tätä kautta enemmän tuottoa.
- Maksaminen tällä panostuskierroksella ja panostaminen tai korottaminen seuraavalla panostuskierroksella bluffaustarkoituksessa.
- Maksetaan, vaikka oletetaan, että ollaan jäljessä, eikä pidetä todennäköisenä, että vastustaja luopuisi omasta kädestään, mikäli korotetaan. Kuitenkin on riittävän suuri todennäköisyys - potin kokoon nähden - sille, että oma käsi on paras.

Toimintavaihtoehdon valintaan vaikuttaa myös oman pelin ennustettavuuden karsiminen. Mikäli aina pelataan samankaltaiset tilanteet tietyn kaavan mukaan, on vastustajien helpompi tehdä havaintoja pelistä ja perustaa ratkaisunsa näiden havaintojen pohjalle. Varioimalla omia toimintoja samankaltaisissa tilanteissa vaikeutetaan tätä informaation keruuta.

Inhimillinen päättely voidaan jakaa kahteen aliluokkaan - intuitiiviseen ja harkittuun [StW00]. Monessa tilanteessa ihmispelaaja saattaa perustaa päätöksensä toimintavaihtoehdosta intuitioon, mutta vaikka ulkopuolisesta tällainen toiminta saattaakin

vaikuttaa epärationaaliselta, on päätöksenteon taustalla yleensä hyvin opittuja ja sisäistettyjä automatisoituja malleja, joiden pohjalta henkilö tekee *heuristisesti* päätöksensä. Vaikka automaattisessa, intuitiivisessa päättelyssä voidaan päätyä eri tulokseen kuin syvällisemmässä, harkintaan perustuvassa päättelyssä [KaF05], on tässä *rajoittuneessa rationaalisuudessa* (bounded rationality) kuitenkin pyrkimys mahdollisimman rationaaliseen eli virheettömaan, päätösteorian mukaiseen päättelyyn [GiS01].

2.2.2 Odotusarvo

Edellä puhutaan riittävän suuresta todennäköisyydestä voittaa potti, jolloin on kannattavaa maksaa panostus tai vastaavasti, jos todennäköisyys ei ole riittävä luopua kädestä. Kyseessä on suhteellinen todennäköisyys. Jossakin tilanteessa pelaajan saattaa kannattaa maksaa, vaikka todennäköisyys voittaa potti on alle 10 prosenttia, kun taas toisissa tapauksissa kannattaa luopua kädestä, vaikka todennäköisyys voittaa potti on yli 40 prosenttia. Pottikertoimet määrittävät tämän rajatodennäköisyyden, jolloin pelaajan tulisi maksaa tai luopua [ToP94]. Jos potissa on esimerkiksi vastustajan 10 merkin panostuksen jälkeen 60 merkkiä voidaan rajatodennäköisyys P_r , 10 merkin maksamiselle, laskea seuraavasti:

$$P_r = \frac{10}{60 + 10} = \frac{1}{7} \quad (1)$$

eli yleisessä muodossa voidaan kirjoittaa:

$$P_r = \frac{B}{S + B}, \quad (2)$$

jossa B on maksettavan panoksen suuruus ja S potin koko. Tästä voidaan myös johtaa myös odotusarvo $E(w)$ voitolle, kun tiedetään voittotodennäköisyys P_w seuraavasti

$$E(w) = P_w \times S - (1 - P_w) \times B. \quad (3)$$

Odotusarvolla on pokerissa erittäin suuri merkitys. Rationaalinen toimija pokerissa perustaa päätöksensä sille, että päätöksen ansiosta odotusarvo pelissä muodostuu mahdollisimman suureksi. Koska pokeri on epätäydellisen informaation peli, odotusarvo ei ole yksiselitteinen. Jaon aikainen ja jälkeinpäin tarkasteltu toimintavaihtoehtojen odotusarvo voi olla eri, sillä jaon aikainen odotusarvo pokerissa on aina subjektiivinen ja tästä syystä se ei ikinä voi olla täysin virheetön.

Yksinkertaisimmillaan odotusarvon laskeminen on tilanteissa, joissa vastustaja on panostanut kaikki merkkinsä pottiin ja valittavana on ainoastaan kahdesta vaihtoehdosta eli on mahdollista maksaa vastustajan panostus tai luopua kädestä. Tällaisessa tilanteessa ainoat parametrit, joita odotusarvon laskennassa tarvitaan ovat potin koko, panostuksen koko, oma käsi ja vastustajan käsi. Näistä ainoastaan vastustajan käden informaatio on epätäydellistä.

Seuraava esimerkki havainnollista edellä kuvattua tilannetta. Oletetaan, että pelaajalla on kädessään $A\clubsuit K\clubsuit$ täydessä rajoittamattomassa Texas hold'em pöydässä, jossa pieni sokkopanos on 1 ja suuri sokkopanos 2 merkkiä. Ensimmäinen panostuskierros on edennyt siten, että vastustaja keskipositiosta korotti aluksi seitsemään merkkiin, jonka päälle pelaajamme jakajan paikalta uudelleen korotti kahteenkymmeneen merkkiin, jolloin sokkopanokset maksaneet pelaajat luopuivat, mutta alkuperäinen korottaja maksoi korotuksen. Toisessa vaiheessa pöytään tulevat seuraavat kortit: $8\clubsuit 6\clubsuit 3\spadesuit$. Nyt vastustaja panostaa suoraan kaikki jäljellä olevat kuusikymmentä merkkiänsä (kuva 2). Potin koko vastustajan panostuksen jälkeen on 103 merkkiä. Tässä tilanteessa pelaajan maksaminen on rationaalisesti perusteltu eli odotusarvo on positiivinen, mikäli hänen todennäköisyytensä voittaa jako on suurempi kuin $\frac{60}{103+60}$ eli n. 37 prosenttia.

Pelaaja tuntee vastustajan hyvin ja hän tietää, että vastustaja pelaa aina tiukasti ja varovaisesti, eikä olisi ensimmäisellä panostuskierroksella korottanut ellei hänellä olisi ollut hyviä lähtökortteja. Tästä hän päättelee, että vastustajan lähtökortit ovat erittäin suurella todennäköisyydellä Sklanskyn lähtökorttiluokittelun (liite 2) kolmesta ensimmäisestä ryhmästä. Koska pelaaja myös arvioi, että vastustaja bluffaa tällaisissa tilanteissa (uudelleenkorotus ensimmäisellä panostuskierroksella ja pöytään toisessa vaiheessa ainoastaan pieniä kortteja) ainoastaan erittäin harvoin, päätyy hän vastustajan käyttäytymisen, omien korttiensa ja pöydässä olevien korttien perusteella arvioon, jossa vastustajalla on 65 prosentin todennäköisyydellä pöydässä olevaa korkeinta korttia suurempi ylipari QQ-99, 5 prosentin todennäköisyydellä ylipari AA-KK, 5 prosentin todennäköisyydellä kolmoset, 5 prosentin todennäköisyydellä kaksi paria, 2 prosentin todennäköisyydellä pari ässä- tai kuningashailla, 3 prosentin todennäköisyydellä pari jollakin muulla hailla, 5 prosentin todennäköisyydellä suoran veto, 3 prosentin todennäköisyydellä pienempi värinveto ja 7 prosentin todennäköisyydellä jokin muu käsi.

Näistä arvioista vastustajan eri käsistä ja niiden suhteellisesta vahvuudesta pelaajan omaan käteen verrattuna [POC], voidaan nyt laskea subjektiivinen toden-

ka $0.53 \gg 0.37$ on rationaalisen pelaajan ainoa vaihtoehto tällaisessa tilanteessa maksaa. Tämä kuitenkin edellyttää, että pelaajan arviot ovat edes lähellä todellisia lukuja. Tässä tapauksessa odotusarvo maksulle c voidaan laskea seuraavasti $E(c) = 0.53 \times 103 - 0.47 \times 60 = 26.39$, kun se korteista luopumiselle on tietysti nolla.

Jatketaan jakoa vielä hetki eteenpäin. Pelaajamme päättää maksaa, koska saa mielestään maksamisella suuremman odotusarvon kuin korteista luopumisella. Vastustaja paljastaa kädestään $8\heartsuit 8\spadesuit$ ja pöytään tulevat kortit ovat $K\heartsuit$ ja $J\clubsuit$. Pelaaja voittaa jaon värillä, mutta nyt täydellisen informaation valossa hänen ratkaisunsa oli odotusarvoltaan negatiivinen: $E(c) = 0.25 \times 103 - 0.75 \times 60 = -19.25$.

Toimintavaihtoehtoa valittaessa pitäisi päätöksen siis perustua yksinomaan positiivisen odotusarvon maksimointiin. Tämä ei kuitenkaan välttämättä tarkoita yksittäisen käden odotusarvon maksimointia, vaan välillä saattaa tulla esiin tilanteita, jossa yksittäinen käsi voitaisiin pelata siten, että sen tarjoama positiivinen odotusarvo olisi suurempi tai negatiivinen odotusarvo olisi pienempi, mutta päädytään toiseen ratkaisuun, koska päätellään, että tämän odotusarvoltaan kyseisessä jaossa huonomman ratkaisun ansiosta voidaan tuleville käsille saada suurempi positiivinen odotusarvo. Esimerkkinä tällaisesta tilanteesta voisi olla tilanne, jossa pelin viimeisellä panostuskierroksella maksetaan vastustajan panostus, vaikka todennäköisyys potin voittamiselle ei ole riittävän suuri suhteessa potin kokoon eli odotusarvo maksamiselle on negatiivinen. Kuitenkin vastustajan käden näkemisestä saatava informaatio, sekä tietynlainen kuva, että pelaajaa ei ole mahdollista bluffata jaon viimeisessä vaiheessa, voidaan tässä tilanteessa arvottaa suuremmaksi kuin päätöksen negatiivinen odotusarvo tässä yksittäisessä jaossa, jolloin päätöksen kokonaisodotusarvo onkin positiivinen. Edellä esitetyn kaltaisten kokonaisodotusarvojen määrittäminen on kuitenkin hyvin monimutkaista, joten yleensä yksinkertaistetaan siten, että päätöksen odotusarvo yksittäisessä kädessä on myös päätöksen kokonaisodotusarvo. Tämä yleistys voi kuitenkin johtaa siihen, että vastustaja pystyy keräämään enemmän informaatiota pelistä ja voi tätä lisäinformaatiota hyväksi käyttäen esimerkiksi bluffata onnistuneesti vastaavissa tilanteissa myöhemmin.

Päätöksen eri toimintavaihtoehtojen odotusarvojen laskeminen yksittäisissä käsissäkään ei ole helppo tehtävä, koska se vaatii mahdollisimman paikkansapitävää epätäydellisen informaation täydentämistä. Lisäksi arviot esimerkiksi todennäköisyydestä sille, että vastustaja luopuu kädestään ovat aina ainoastaan suuntaa antavia. Jos oletetaan edellisen tilanteen kanssa muuten identtinen tilanne, jossa pelaajan omat

kortit ja pöydän yhteiset kortit ovat samat, mutta pelaajien merkkipinot suurempia ja vastustaja panostaa ensimmäisenä 30 merkkiä. Nyt potin koko S on 73 merkkiä ja maksettavan panoksen suuruus B on 30 merkkiä. Vastustajalla on jäljellä 150 merkkiä ja pelaajalla yhtä paljon kuin vastustajalla tai enemmän. Pelaajan omalla merkkimäärällä ei ole tässä tilanteessa merkitystä, mikäli se on vähintään yhtä suuri kuin vastustajan. Tässä tilanteessa pelaajalla on edellisen tapauksen kahden vaihtoehdon sijaan kolme vaihtoehtoa: luopua korteistaan, maksaa 30 merkkiä, tai korottaa. Koska kyseessä on rajoittamaton peli, voi pelaaja korottaa minimissään 30 merkkiä (B) vastustajan panostuksen päälle ja maksimissaan kaikki merkkinsä, joka käytännössä tässä tapauksessa on sama kuin vastustajan merkkimäärä eli 150 merkkiä vastustajan panostuksen päälle. Minimikorotus maksaa pelaajalle siis 60 merkkiä ($2B$) ja maksimikorotus 180 merkkiä. Toisaalta pelaaja voi korottaa minkä tahansa summan näiden summien välistä. Nyt odotusarvon laskeminen toiminnoille vaatii sen, että huomioon otetaan myös seuraavien panostuskierrosten mahdolliset tapahtumat, ellei panosteta kaikkia merkkejä. Mikäli esimerkiksi päädytään maksuun, joudutaan seuraavalla panostuskierroksella tekemään uusi päätös. Lisäksi vielä korotuksilla on mahdollisena vaikutuksena se, että vastustaja luopuu kädestään. Toisinaan tämä voi olla toivottava vaihtoehto, mutta toisinaan maksimaalinen positiivinen odotusarvo taas voidaan saavuttaa, kun vastustaja pidetään mukana jaossa mahdollisimman pitkään.

2.2.3 Subjektiiviset todennäköisyydet

Edellä kuvatussa esimerkissä sivuttiin subjektiivisen todennäköisyyden käsitettä odotusarvon laskemiseksi. Klassisen todennäköisyysteorian mukaan ajateltuna pelaaja teki virheen, koska täydellisen informaation valossa hänen ratkaisunsa oli odotusarvoltaan negatiivinen. Pitää kuitenkin huomata, että päätöksentekohetkellä pelaajan informaatio on epätäydellinen. Epätäydellisen informaation tilanteessa pelaaja joutuu perustamaan ratkaisunsa bayesilaisittain ainoastaan uskomukseensa vastustajan käsistä, jolloin todennäköisyys on subjektiivinen ja perustuu pelaajan keräämiin havaintoihin vastustajan pelistä.

Täydellisen informaation perusteella tehty kontrafaktuaalinen päättely [PeJ00] on täten edellä esitetyn valossa turhaa, mikäli päätöksentekohetkellä käytetty uskomus vastustajan mahdollisista korteista oli tehty virheettömästi tai lähes virheettömästi. Pokerissa päätökset voivat perustua ainoastaan vastustajien niin sanottuihin *panostusmalleihin* (betting patterns) ja tätä kautta täydennettyyn, mutta yhä epätäydell-

liseen informaatioon, ei täyteen informaatioon kädestä. Toki joissakin tapauksissa panostusmalli voi olla lähes yksiselitteinen, jolloin todennäköisyys jollekin vastustajan kädelle lähestyy ykköstä. Yleensä näin ei kuitenkaan ole.

2.3 Pokeri tekoälytutkimuksessa

Pokeri on viimeisten vuosien aikana noussut kiinnostavaksi kohteeksi myös tekoälytutkimuksen saralla. Tähän on vaikuttanut tietysti pokerin yleinen suosion kasvu, mutta myös se, että pokeri luontaisesti tarjoaa monia erilaisia haasteita tekoälytutkimukselle. Sen lisäksi, että pokeriin on pyritty kehittämään yhä parempia tekoälysovelluksia, pokeri soveltuu myös testialustaksi yleisille tekoälysovelluksille. Pokerin voi esimerkiksi nähdä sisältävän seuraavat yleiset tekoälyongelmat [BPS98]:

- Epätäydellinen informaatio - vastustajan kortit pimeitä.
- Useita kilpailevia agenteja - useita pelaajia.
- Riskien hallintaa - panostusstrategia.
- Agenttien mallintaminen - vastustajan mallinnus.
- Hämääminen - bluffaus ja pelityylin vaihtelevuus.
- Epäluotettavan tiedon käsittely - vastustajan bluffien ja hämäysten huomauttaminen.

Pokerin tekoälysovellusten toteuttamisessa kaikki edellä asetetut ongelmat ovat tietysti myös läsnä. Toisaalta kohtalaisesti pokeria pelaava tekoälysovellus voidaan toki myös toteuttaa ilman, että kaikkia esitettyjä ongelmia edes otetaan huomioon. Kuitenkin mikäli halutaan rakentaa järjestelmä, joka kykenee voittamaan parhaat pelaajat maksimaalisella marginaalilla pokerissa, vaaditaan näiden kaikkien ongelmien hallintaa ainakin jollakin tasolla.

3 Pokerin tekoälyn toteuttaminen

Kilpailukykyisen tekoälyn pokerissa täytyy sisältää useita eri elementtejä [SBP99]. Näistä tärkeimpiä ovat käden vahvuuden arviointi, vastustajan mallintaminen ja

oikean panostusstrategian määrittäminen. Vastustajan mallinnusta tarvitaan, mikäli pyritään saavuttamaan maksimaalinen tulos. Tähän ei pelkkä oman käden vahvuuden arvioiminen vielä riitä. Vahvakin käsi voi hävitä, mikäli vastustajan käsi on parempi. Näistä mainituista elementeistä käden vahvuuden evaluointi on selvästi triviaalein toteuttaa.

Panostusstrategian määrittämisessä voidaan käyttää useita erilaisia menetelmiä. Yksinkertaisin menetelmä on sääntöperustaiset asiantuntijajärjestelmät, joissa päätökset tehdään pelkästään etukäteen annettuja sääntöjä noudattaen. Sääntöperustaiset asiantuntijajärjestelmät soveltuvat hyvin tilanteisiin, joista on riittävästi tarjolla sääntöjen perustaksi sopivaa aineistoa. Ongelmia syntyy, jos säännöistä joudutaan tekemään hirveän monimutkaisia tai järjestelmä paisuu hirveän suureksi. Tällaisissa tapauksissa järjestelmän testaaminen, päivittäminen ja ylläpito saattaa osoittautua liian vaikeaksi.

Deterministisessä järjestelmässä ongelmaksi muodostuu lisäksi järjestelmän pelitavan ennustettavuus. Probabilistisessa asiantuntijatietämykseen perustuvassa järjestelmässä voidaan vähentää huomattavasti sääntöjen määrä, sekä vaikeuttaa ennustettavuutta. Muita mahdollisia menetelmiä, joita on käytetty, ovat muun muassa simulaatioihin ja peliteoriaan perustuvat järjestelmät.

Texas hold'em pokerissa varsinkin kahden pimeän kortin jälkeinen, ensimmäisen vaiheen panostusstrategia on sellainen, joka voidaan melko yksinkertaisesti toteuttaa suoraan noudattaen probabilistista sääntöpohjaista asiantuntijajärjestelmää. Pokerikirjallisuus on täynnä erilaisia aloituskortitaulukoita siitä, kuinka eri tilanteissa tulisi toimia. Vastaavasti myös muille panostuskierroksille on samankaltaista tietoa tarjolla, vaikkakaan ei yhtä jäsennellysti.

3.1 Käden vahvuuden määrittäminen

Käden vahvuuden määrittäminen pitää sisällään käden sen hetkisen vahvuuden lisäksi myös potentiaalin eli mahdollisuuden parantua tai huonontua jaon seuraavissa vaiheissa. Kuten edellä huomattiin, toimintavaihtoehdon valinnassa on sekä oman, että vastustajien mahdollisten käsien vahvuuksien määrittäminen ratkaisevan tärkeää. Kokenut pokerin pelaaja pystyy hyvin helposti määrittämään kätensä vahvuuden intuitioon perustuen. Koska Texas hold'em pelissä on myös pelaajien yhteisiä kortteja, täytyy käden vahvuuskin määrittää suhteellisena yhteisiin kortteihin nähden, lukuun ottamatta jaon ensimmäistä vaihetta, jolloin yhteisiä kortteja ei ole vielä

jaettu, vaan voidaan suhteuttaa ainoastaan todennäköisyyksiin vastustajien käsistä.

Käden sen hetkinen suhteellinen vahvuus voidaan tekoälysovelluksissa toteuttaa yksinkertaisimmillaan ainoastaan muodostamalla funktio pelaajan omista ja yhteisistä korteista [SBP99] ja tiedosta pelaajien lukumäärästä, jotka vielä ovat mukana kyseisessä kädessä. Pelaajien lukumäärän merkitys on intuitiivisesti täysin ilmeinen, koska todennäköisyys, että oma käsi on kyseisellä hetkellä paras on lähes aina, lukuun ottamatta tilannetta, jossa oma käsi on absoluuttisesti paras mahdollinen, pienempi, mitä enemmän vastustajia on mukana kädessä. Tarkempi määrittäminen voi ottaa huomioon lisäksi pelaajan position pöydässä muihin jaossa jäljellä oleviin pelaajiin nähden, jaossa tehtyjen panostusten merkityksen, sekä tämän ja vastustajan mallinnuksen avulla tehdyt arviot todennäköisyyksistä muiden pelaajien käsille, mutta nämä eivät varsinaisesti kuulu enää käden vahvuuden määrittämiseen perinteisessä mielessä.

Käden suhteellisen kokonaisvahvuuden määrittämisessä tarvittava mahdollisuus parantua voidaan yhdistää edellä esitettyyn funktioon siten, että myös jäljellä olevat, seuraavissa vaiheissa pöytään tulevat yhteiset kortit otetaan huomioon niiden ilmestymistodennäköisyyksien mukaan. Tyypillisiä tapauksia, jossa pelaajan käden kokonaisvahvuus voi olla suuri, vaikka sen hetkinen vahvuus olisikin vähäinen, ovat esimerkiksi suoran- ja värinvedot sekä näiden yhdistelmät.

3.1.1 Jaon ensimmäisessä vaiheessa

Käden vahvuuden määrittäminen Texas hold'em pelin ensimmäisessä vaiheessa (preflop) jaettujen niin sanottujen lähtökorttien eli jokaisen pelaajan henkilökohtaisten pimeiden korttien jälkeen voidaan suorittaa usealla eri tavalla. Yksi vaihtoehto on asiantuntijajärjestelmä [BPS98], jossa toiminnot on valmiiksi kiinnitettyinä, jolloin käden varsinaista vahvuutta suhteessa vastustajien käsiin ei tarvitse määrittää, vaan toiminnon valinta tapahtuu suoraan esimerkiksi korttien, position ja vastustajien edeltävien toimintojen perusteella. Tätä tukee osaltaan myös se, että pokerikirjallisuudesta löytyy paljon erilaisia käsikarttoja siitä, miten eri lähtökortit tulisi pelata, joten asiantuntijatietämystä asiantuntijajärjestelmää varten on tarjolla riittävästi. Lisäksi jaon ensimmäisessä vaiheesta toteutettavan asiantuntijajärjestelmän laajuus voidaan pitää hallinnassa, koska eri arvoisia lähtökäsiä on ainoastaan 169 paria.

Vastaavasti lähtökorttien vahvuus voidaan myös esimerkiksi simuloida valmiiksi tai muodostaa asiantuntijatietämykseen perustuen ja käyttää tätä taulukkoa panostus-

strategian määrittämisessä jollakin muulla tavalla kuin sääntöperustaisella asiantuntijajärjestelmällä. Tyypillinen simulaatioiden ongelma on, että esimerkiksi täyden pöydän simulaatioissa kaikkien 10 pelaajan kädet pysyvät mukana loppuun saakka, mikä ei vastaa todellista pelitilannetta. Tällä tavalla toteutettu approksimointi on kuitenkin yleensä riittävä lähtökäsien vahvuuden määrittämiseksi. Simulaatioita voidaan toki myös kehittää, jotta ne vastaisivat paremmin oikeita pelitilanteita.

3.1.2 Evaluointi jaon muissa vaiheissa

Evaluointi jaon neljännessä (river) eli viimeisessä vaiheessa on tietysti triviaalein toteuttaa, koska tällöin ei tarvitse ottaa huomioon enää tulevia kortteja, joten käden sen hetkinen vahvuus on tietysti myös käden kokonaisvahvuus. Käden sen hetkinen vahvuus voidaan ajatella todennäköisyytenä, että käsi on kyseisellä hetkellä paras. Kaksinpelissä tämä todennäköisyys eli käden sen hetkinen vahvuus HS voidaan laskea tai simuloida käyttäen seuraavaa kaavaa [Peñ99]:

$$HS = \frac{h_a + h_t/2}{h}, \quad (4)$$

jossa vahvuus määritetään laskemalla yhteen ne muista mahdollisista muodostettavista käsistä, joita ollaan edellä h_a sekä puolet niistä käsistä, joiden kanssa ollaan tasoissa h_t . Kun tämä summa jaetaan muodostettujen käsien kokonaismäärällä h , saadaan käden vahvuus.

Jaon toisessa (flop) ja kolmannessa (turn) vaiheessa täytyy myös jäljellä olevat kortit ottaa huomioon. Tällöin voidaan laskea tai simuloida mahdollisuus parantua tai huonontua sen mukaan kuinka montaa kättä ollaan odotusarvoisesti edellä, tasoissa tai jäljessä myös jaon loputtua. Seuraavan pöytään tulevan kortin kohdalla tämä voidaan määrittää laskemalla seuraavilla kahdella kaavalla [Peñ99] käden positiivinen

$$PPOT = \frac{h_{ba} + h_{bt}/2 + h_{ta}/2}{h_b + h_t/2}, \quad (5)$$

ja negatiivinen potentiaali:

$$NPOT = \frac{h_{ab} + h_{at}/2 + h_{tb}/2}{h_a + h_t/2}, \quad (6)$$

joissa h_b tarkoittaa kaikkien niiden käsien lukumäärää, joita ollaan jäljessä, h_{ba} ja h_{bt} niiden käsien lukumäärää joita ollaan jäljessä, mutta odotusarvoisesti seuraavan

kortin jälkeen edellä ja tasoissa. Vastaavasti myös h_{ab} ja h_{at} tarkoittavat niitä käsiä, joita ollaan edellä, mutta seuraavan kortin jälkeen odotusarvoisesti jäljessä ja tasoissa.

Määritettyjen potentiaalien perusteella voidaan muodostaa käden kokonaisvahvuus EHS esimerkiksi seuraavalla tavalla. Lasketaan yhteen todennäköisyydet, että ollaan edellä vastustajaa eikä vastustaja pysty nousemaan ohi ja ollaan jäljessä vastustajaa, mutta kyetään itse nousemaan vastustajan ohi. Voittotodennäköisyys on nyt käden kokonaisvahvuus ja se voidaan laskea määritettyjen potentiaalien avulla seuraavasti [BDS02]:

$$EHS = HS \times (1 - NPOT) + (1 - HS) \times PPOT. \quad (7)$$

Edellä esitetyn kaltaisessa evaluoinnissa, oletetaan, että vastustajan kaikki kädet ovat yhtä todennäköisiä. Yhdistettynä vastustajan mallinnukseen, voidaan kuitenkin päätellä todennäköisyyksiä vastustajien eri käsille ja tätä kautta evaluoida käden vahvuus kuten edellä on esitetty siten, että todennäköisyydet vastustajan eri käsille on nyt otettu huomioon.

3.2 Vastustajan mallinnus

Vastustajan mallinnus on yksi tärkeimmistä elementeistä toteutettaessa tekoälyä, joka kykenee pelaamaan korkealla tasolla ja pyrkii mahdollisimman suureen tuottoon. Alemmilla tasoilla ja useamman pelaajan pöydissä on hyvin mahdollista pärjätä kaavamaisella pelillä, jossa ei oteta huomioon vastustajien erilaisuutta, mutta siirryttäessä korkeammille tasoille tai vain muutaman pelaajan pöytiin, vastustajien havainnoiminen ja luokittelu on erityisen tärkeää. Yleisesti puhutaankin, että pelataan vastustajia, ei kortteja.

Monissa täydellisen informaation peleissä vastustajan mallinnus voidaan sivuuttaa tarpeettomana. Siitä saatava hyöty on vähäinen tai jopa merkityksetön. Pokerissa sen sijaan vastustajan mallinnuksesta saatavat hyödyt ovat kiistattomia [BPSS98]. Löytämällä peliteoreettisesti optimaalinen ratkaisu voidaan ilman vastustajan mallinnustakin taata, että vastustaja ei ainakaan pysty voittamaan peliin järjestelmää vastaan, mutta tällöin menetetään etu, joka vastustajan mallinnuksella saadaan vastustajaa vastaan, joka ei pelaa optimaalisesti.

Epätäydellistä informaatiota voidaan täydentää huomattavasti vastustajan mallinnuksen avulla. Erilaiset vastustajat pelaavat hyvin eri tavoilla. Pelaamalla ”oikein”

juuri kyseistä vastustajaa vastaan maksimoidaan positiivinen odotusarvo. Edellisten jakojen ja käynnissä olevan jaon jo tapahtuneiden toimien perusteella voidaan päätellä todennäköisyyksiä vastustajan eri käsille ja sitä kautta vahvuus, sekä oman käden mahdollinen pärjääminen vastustajan kädelle. Samalla voidaan päätellä myös omien toimien mahdollinen vaikutus siihen, kuinka vastustaja jatkossa pelaa kätensä.

Vastustajan mallinnuksen muodostamiseksi tarvitaan malli, jonka pohjalta vastustajan korttien todennäköisyysjakaumaa päivitetään. Tämän muodostamiseksi voidaan käyttää erilaisia menetelmiä, joista tilastollinen vastustajan mallinnus on perinteisin. Yksinkertaisimmillaan vastustajan mallinnus voidaan toteuttaa jopa pelkällä yhdellä staattisella kaikkia vastustajia kuvaavalla mallilla [BPSS98], mutta tällöin menetetään lähes kaikki ne vastustajan mallinnuksen edut joita edellä on esitelty.

Lähtökohtana vastustajan mallinnukselle voidaan ottaa joitakin tilastollisia parametreja. Jo muutamalla tällaisella tilastollisella parametrilla, jotka ainoastaan karkeasti kuvaavat vastustajan pelityyliä, voidaan muodostaa jo huomattavasti realistisempi arvio vastustajan korteista. Lähtökohdaksi näiden parametrien valinnassa voidaan ottaa esimerkiksi tilastointi- ja analysointiohjelmat, jotka ovat varsin suosittuja online-pelaajien keskuudessa. Esimerkiksi Poker Tracker -ohjelmiston [PT] kolme tärkeintä luokitteluparametria ovat seuraavat:

- VPIP (Voluntarily put in pot percentage) määrittää sen kuinka löyhästi tai tiukasti pelataan jaon ensimmäisessä vaiheessa.
- PFR (Pre-flop raise percentage) taas määrittää pelaajan korotustiheyden jaon ensimmäisessä vaiheessa.
- AF (Aggression factor) puolestaan indikoi sitä, kuinka aggressiivisesti pelaaja pelaa eli panostamisen ja korottamisen suhdetta maksamiseen.

Edellä kuvatuista parametreista pystytään suoraan näkemään ainoastaan se, kuinka tiukasti tai löyhästi ja aggressiivisesti tai passiivisesti vastustaja pelaa. Tästä ei suoraan pystytä päättelemään edes vastustajan mahdollista korttivalikoimaa. Tarvitaan malli, jolla parametrien informaation avulla voidaan johtaa vastustajan korttijakauma. Tämän kaltainen malli ei tietenkään edes pyri olemaan täydellinen, vaan antaa ainoastaan summittaisen approksimaation yksittäisen vastustajan käyttäytymisestä. Monimutkaisemmassa järjestelmässä voidaan ottaa huomioon myös pelaajien mieltymykset tietyn tyyppiisiin kortteihin, bluffaus- ja semibluffausfrekvenssit ja esimerkiksi position vaikutus pelaajan toimintoihin.

3.2.1 Korttien johtaminen

Kun vastustajan mallinnuksen tarkoituksena on pyrkiä selvittämään oman käden vahvuus suhteessa vastustajan käteen sekä ennustamaan todennäköisyydet vastustajan eri toiminnoille ja tätä kautta panostusstrategialla pyrkiä valitsemaan omat toiminnot, niin että ne maksimoivat positiivisen odotusarvon, on välttämätöntä pystyä jollakin tapaa määrittämään vastustajan käden vahvuus. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi johtamalla todennäköisyydet vastustajan eri käsille. Vastustajan korttien johtaminen voidaan toteuttaa ylläpitämällä painotettua taulukkoa kaikista vastustajan mahdollisista korttikombinaatioista [DBS00]. Yksinkertainen mallinnus sisältää siis ainoastaan vastustajan korttijakauman eli 1081 korttiparin taulukon, jota päivitetään jaon eri vaiheissa vastustajan toimintojen perusteella.

Taulukon päivittäminen toimintojen perusteella voi siis perustua ainoastaan yhteen malliin tai jokaiselle vastustajalle voidaan muodostaa oma vastustajakohtainen malli [BPSS98]. Mallissa esimerkiksi vastustajan ensimmäisessä vaiheessa tekemät panostukset ja korotukset lisäävät tiettyjen lähtökorttien todennäköisyyksiä ja vastaavasti laskevat toisten, mallissa määritettyjen, lähtökorttien todennäköisyyksiä. Näitä todennäköisyyksiä päivitetään vastaavasti jaon seuraavissa vaiheissa.

Esimerkiksi, mikäli käytetään yhtä ainoaa mallia, kun vastustaja korottaa pelin ensimmäisessä vaiheessa, päivitetään taulukkoa siten, että vahvojen lähtökäsien todennäköisyyksiä korotetaan ja heikkojen lähtökäsien vastaavasti lasketaan. Mikäli nyt itse korotetaan ja vastustaja ainoastaan maksaa, voidaan vastaavasti esimerkiksi aivan parhaiden lähtökäsien todennäköisyyksiä laskea mallin mukaisesti. Toisessa vaiheessa, jos vastustaja passaa ja itse panostetaan, jonka jälkeen vastustaja korottaa, voidaan jälleen vastaavasti korottaa niiden lähtökäsien todennäköisyyksiä, jotka muodostavat vahvoja käsiä kolmen yhteisen kortin kanssa. Vastaavasti jatketaan myös seuraavat vaiheet.

3.2.2 Toimintojen johtaminen

Vastustajan korttien todennäköisyyksien lisäksi, vastustajan mallinnuksen tarkoituksena on myös johtaa todennäköisyydet vastustajan toiminnoille omalla vuorollaan. Vastustajan toimintojen ennustaminen on tärkeää, jotta voidaan valita oma panostusstrategia siten, että se maksimoisi positiivisen odotusarvon. Vastustajien toimintojen johtaminen voi myös perustua geneeriseen tai vastustajakohtaiseen malliin.

Vastaavasti kuin vastustajan korttien johtamisessa, jossa johdetaan todennäköisyydet eri korttipareille, myös toimintojen johtamisessa muodostetaan todennäköisyydet eri toiminnoille. Toimintojen johtamista voi ajatella käänteisenä korttien johtamiselle. Kun korttien johtamisessa pyritään johtamaan todennäköisyyksiä vastustajien eri korttikombinaatioille toimintojen perusteella, pyritään toimintojen johtamisessa johtamaan todennäköisyyksiä vastustajien eri toiminnoille vastustajan korttien todennäköisyysjakauman pohjalta.

3.3 Vastustajakohtainen mallinnus

Vastustajakohtainen mallinnus voidaan toteuttaa useilla erilaisilla menetelmillä [Dav02]. Käytännössä vastustajakohtainen mallinnus palautuu ongelmaksi havainnoista oppimiseen ja muodostetun mallin pohjalta tehtävään ennustamiseen. Ongelmaksi muodostuu muun muassa se, että ainoastaan osassa pelatuista käsistä on mahdollista tehdä täydellisiä havaintoja vastustajan kädestä (käden paljastaminen). Mikäli käytetään ainoastaan näitä havaintoja, on erittäin todennäköistä, että tehdyt havainnot aiheuttavat vääristymiä muodostettavaan malliin. Tästä syystä tilastollisen aineiston kerääminen myös niistä jaoista, joista täydellistä havaintoa vastustajan kädestä ei ole, on välttämätöntä luotettavamman oppimisen takaamiseksi.

Tilastollisissa menetelmissä toinen tärkeä huomioon otettava seikka on asiantuntijatietämykseen perustuvien taustaolettamusten eli prioritiedon käyttäminen ja sen suhde tilastollisesti kerättyyn aineistoon ja havaintoihin. Taustaolettamukset ovat hyvin merkittävässä roolissa, koska pokerin satunnaisuus ja suuri erilaisten tilojen määrä aiheuttaa sen, että tarvitaan erittäin suuri määrä jakoja, ennen kuin voidaan tehdä päätelmiä vastustajan pelityylistä pohjautuen pelkästään havaintoihin. Tarvitaan priorimalli, jota päivitetään havaintojen perusteella.

3.3.1 Mallin muodostaminen ja päivitys

Priorimallin valinta perustuu asiantuntijatietämykseen. Käytännössä priorimalleina voi olla useita erilaisia valmiiksi asetettuja staattisia malleja, jotka on luokiteltu soveltumaan tilastollisten parametrien mukaan ja joista valitaan tilastollisen aineiston perusteella lähimmäksi osuva. Vaihtoehtoisesti malli voi olla myös dynaaminen ja sitä päivitetään tilastojen ja havaintojen pohjalta. Tilastollisia malleja muodostettaessa ratkaisevaa on, kuinka tarkka mallista tehdään eli kuinka paljon erilaisia parametreja se sisältää.

Käytettävää staattista mallia voidaan siis vaihtaa pelin aikana tilastollisten parametrien mukaisesti, mutta tehokkaampaa on käyttää dynaamista mallia, jota voidaan päivittää. Esimerkiksi, mikäli priorimallissa vastustajan lähtökorttien todennäköisyysjakaumaa päivitetäisiin simuloitua vahvuustaulukkoa mukaillen, niin sitä dynaamisen mallin tapauksessa voidaan havaintojen pohjalta päivittää vastaamaan juuri kyseisen vastustajan panostusmallia. Käytännössä siis, jos tilastojen mukaan vastustaja keskipositiosta korottaisi joka viides kerta, jolloin priorimallissa esimerkiksi simuloidun vahvuustaulukon mukaisesti vahvimpien käsien todennäköisyyksiä korotettaisiin ja muiden laskettaisiin, niin mikäli taas tehtyjen havaintojen mukaan vastustaja olisi useasti korottanut juuri eri maita olevilla seiskalla ja kakkosella, jotka simulaatioiden mukaan muodostavat huonoimman lähtökäden täydessä pöydässä, voidaan tämä lähtökäsi päivittää kyseisen vastustajan mallissa niiden lähtökäsien joukkoon, joilla vastustaja todennäköisesti korottaa jaon ensimmäisessä vaiheessa. Tämän jälkeen vastustajan mallinnuksen määrittämä todennäköisyys sille, että esimerkiksi jaon toisessa vaiheessa, kun pöytäkortteina on esimerkiksi kaksi kakkosta, todennäköisyys sille, että vastustajalla on kolmas kakkonen, vaikka vastustaja olisikin korottanut jaon ensimmäisessä vaiheessa, on huomattavasti suurempi kuin alkuperäisen priorimallin perusteella.

Ihannetilanne on tietysti, että täydellistä aineistoa olisi käytettävissä, niin paljon, että malli voitaisiin päivittää mahdollisimman paljon pohjautumaan ainoastaan havaintoihin. Ongelmaksi aineiston riittämättömyyden lisäksi muodostuu kuitenkin myös se, että vastustaja voi kesken pelin muuttaa täysin strategiaansa. Tämä voi olla tietoista adaptoitumista tai vaihtoehtoisesti myös ihmispelaaja voi vaihtaa strategiaa esimerkiksi hermostuttuaan. Mikäli malli pohjautuu ainoastaan suureen määrään havaintoja, ei äkillisiin strategiamuutoksiin kyetä reagoimaan tarvittavan nopeasti. Muutenkin mallin päivityksessä on otettava huomioon viimeisimmät jaot suuremmalla painolla kuin aikaisemmat. Toisaalta, koska satunnaisuus on suuressa roolissa pokerissa, täytyy päivityksen ottaa huomioon myös aikaisemmat jaot. Järjestelmä voidaan kuitenkin rajata esimerkiksi johonkin tiettyyn määrään jakoja, jota aikaisemmat jaot eivät enää vaikuta järjestelmään.

Tilastollisessa vastustajanmallinnuksessa erilaisten tilanteiden ja toimintojen luokittelu on ratkaisevassa osassa. Mallin parametrien määrä kasvaa helposti erittäin suureksi, jolloin sen muokkaaminen ja ylläpitäminen hankaloituu. Lisäksi, jos parametreja on paljon, joudutaan kiinnittämään erityistä huomiota siihen, kuinka ne vaikuttavat toisiinsa. Myös havaintoja tarvitaan enemmän suuremmalla paramet-

rien määrällä, jolloin adaptoituminen on hitaampaa. Malli voi sisältää esimerkiksi korotusfrekvenssin eli kuinka usein korotetaan, eri panostuskierroksilla, eri positioista ja erilaisten panostusten jälkeen (eli onko ”korotus” ensimmäinen panostus, ensimmäinen korotus, uudelleenkorotus vai korotus uudelleenkorotukseen). Esimerkiksi täyden pöydän pelissä, jos nämä kaikki ovat omia parametrejaan, tulee yhteensä $4 \times 10 \times 4 = 160$ parametria. Tässä tapauksessa esimerkiksi eri positioita voidaan helposti luokitella yhdeksi ainoaksi parametriksi, jolloin myös parametrien kokonaismäärä vähenee radikaalisti.

3.3.2 Eri menetelmiä mallinnuksen toteuttamiseksi

Edellä esitetyn kaltainen tilastollinen mallinnus on vain yksi mahdollinen tapa toteuttaa vastustajan mallinnus pokerissa. Myös muita menetelmiä on kokeiltu. Pelin ja vastustajien käyttäytymisen oppimiseksi voidaan käyttää esimerkiksi Bayes-verkkoja [KNJ99], neuroverkkoja [DBS00], *tapauspohjaista* (case-based) [SaT06] tai *palauteoppimista* (reinforcement learning) [Dah01]. Näistä varsinkin neuroverkot on osoittautunut myös käytännössä hyvin käyttökelpoiseksi menetelmäksi, jolla on saavutettu varsin hyviä tuloksia vastustajan mallinnuksessa [BDS02]. Periaatteessa vastustajakohtainen mallinnus pokerissa voidaan toteuttaa millä tahansa koneoppimisesta tutulla menetelmällä. Kuten mainittua pokerissa rajoittavaksi tekijäksi nousee, kuitenkin se, että oppimisen tulisi olla hyvin nopeata, sillä usein vastustajan pelityyliin adaptoitumiseen on käytettävissä ainoastaan pieni määrä epätäydellisiä jakoja. Tällöin on myös valitettavan suuri todennäköisyys, että liian pienen aineiston perusteella tehdään vääriä johtopäätöksiä.

Esimerkiksi neuroverkkojen etuna tilastolliseen mallintamiseen on, että niiden avulla toteutettuna vastustajan mallintamisessa ei tarvita vastaavaa asiantuntijätietämystä, kuten tilastollisissa menetelmissä. Myös näissä muissa menetelmissä, tärkeäksi tekijäksi nousee se, kuinka hyvin esimerkiksi korttien näytöstä saatavaa informaatiota pystytään käyttämään hyödyksi [DBS00].

3.3.3 Menetelmien yhdistäminen

Yhtenä vaihtoehtona vastustajan mallinnuksen toteuttamiseksi on myös yhdistellä erilaisia menetelmiä. Tällä voidaan saavuttaa käytettävien erilaisten menetelmien etuja ja vastaavasti pyrkiä välttämään haittoja. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi vastustajan toiminnon johtamisessa siten, että eri menetelmät ”äänestävät” vastus-

tajan odotetusta toiminnasta, painotettuna menetelmien tähän mennessä saavuttamien ennakoimistarkkuuksien perusteella [Dav02].

3.4 Panostusstrategian toteuttamiseksi käytettyjä menetelmiä

Panostusstrategian toteuttamisessa tekoälysovelluksissa on vuosien mittaan koekeltu useita erilaisia menetelmiä. Ensimmäiset järjestelmät olivat deterministisiä asiantuntijajärjestelmiä, mutta näiden järjestelmien heikkoudet ovat varsin ilmeisiä [Bil06]. Näistä sääntöjen määrän kasvaminen liian suureksi, jolloin järjestelmän hallitseminen eli päivittäminen ja testaus muodostuu erittäin hankalaksi, lienee suurin. Lisäksi pelistä tulee helposti ennalta arvattavaa, koska samankaltaiset tilanteet pelataan aina samalla tavalla.

Probabilistisella asiantuntijatietämykseen perustuvalla järjestelmällä pystytään vähentämään sääntöjen määrää ja vaikeuttamaan ennustettavuutta. Näissä järjestelmissä voidaan yhdistää asiantuntijajärjestelmän lisäksi muun muassa simulaatioita tai perustaa osa päätöksistä esimerkiksi peliteoriaan. Näillä pelin aikaiseen laskentaan perustuvilla osilla on ilmeinen vaikutus sääntöjen määrään ja tätä kautta myös järjestelmän hallittavuuteen. Panostusstrategian toteuttamisessa käytetyt menetelmät voidaan karkeasti jakaa kolmeen joukkoon: asiantuntijatietämykseen, simulaatioihin ja peliteoriaan perustuviin järjestelmiin.

3.4.1 Asiantuntijatietämys

Asiantuntijatietämys on varmasti intuitiivisin lähtökohta pokerin tekoälysovelluksen rakentamiselle. Suurin osa hyvistä ihmispelaajistakin perustaa pelinsä jossain määrin ulkopuoliseen asiantuntijatietämykseen. Näitä asiantuntijalähteitä ovat muun muassa erilaiset pokeristrategioita käsittelevät kirjat, mutta vastaavasti myös esimerkiksi Internet on lisännyt merkitystään tiedon välittäjänä.

Asiantuntijatietämystä voidaan käyttää pokerin tekoälyssä useissa eri ongelmissa. Toimintavaihtoehdon valinnassa voidaan tietysti käyttää jo mainittuja asiantuntijajärjestelmiä, mutta myös esimerkiksi vastustajan mallinnuksessa asiantuntijatietämystä voidaan käyttää johdettaessa vastustajan kortteja.

Asiantuntijatietämyksen ongelmana voidaan pitää sen oikeellisuutta. Asiantuntijatietämys perustuu johonkin olettamukseen, esimerkiksi pokerin tapauksessa useim-

miten erilaisiin kokemuksiin pelistä, vaikka myös teoreettista pohjaa väitösten tueksi ainakin joissakin tapauksissa on tosin saatavilla. On myös huomattava, että vaikka jokin asiantuntijatietämykseen perustuva menetelmä toimisikin käytännössä hyvin, ei ole mitään takeita, että se olisi optimaalinen.

Filosofisena pohdintana asian pohjalta voidaan ottaa käsittelyyn se, kuinka paljon asiantuntijatietämystä olisi suosittava laskennallisten menetelmien kustannuksella tai vastaavasti toisinpäin. Laskennallisten menetelmien etuna on, että niillä voidaan löytää parempia ratkaisuja jo asiantuntijatietämyksen valossa hyvälle ratkaisulle. Toisaalta, mikäli laskennalliset menetelmät eivät riittävän tarkasti approksimoisi optimaalisia ratkaisuja, ei ole mitään takeita siitä, että ratkaisut olisivat parempia kuin jo tunnetut asiantuntijatietämykseen perustuvat ratkaisut. Kaiken kaikkiaan voidaan tiivistää, että laskennallisten menetelmien etu on mahdollisten uusien innovatiivisten ratkaisujen löytyminen, kun taas asiantuntijatietämykseen perustuvissa sovelluksissa pyritään mahdollisimman hyvin hyödyntämään jo ennestään tunnettuja hyviä menetelmiä. Vastaavasti laskennallisten menetelmien ongelma on, että jotkin hyväksi tiedetyt ratkaisut jätetään hyödyntämättä, kun käytetään uusia löydettyjä joskin huonompia kuin jo tiedetyt ratkaisut.

Heuristisen asiantuntijatietämykseen perustuvan järjestelmän lähtökohtana pidetään yleensä sääntöperustaista *asiantuntijajärjestelmää* (expert system), jossa pelitilanne voidaan yksinkertaistaa johonkin järjestelmästä löytyvään skenaarioon, jonka perustella toiminnon valinta suoritetaan [Sch06].

Muodostettaessa sääntöperustainen asiantuntijajärjestelmä heuristisen päätöksenteon pohjaksi voidaan järjestelmä tiettyjen sääntöjen pohjalta asettaa toimimaan kuin asiantuntija toimisi vastaavassa tilanteessa. Esimerkiksi shakkiohjelman avauskirjastot toimivat näin. Myös kokeneet ihmispelaajat toimivat samoin. Sekä tietokoneelle, että ihmiselle kaikkien mahdollisten siirtojen muodostaman pelipuun läpikäyminen avaustilanteessa on mahdoton tehtävä.

Sääntöperustainen asiantuntijajärjestelmä voidaan luoda yksinkertaisilla ”if-then” -säännöillä [Abr05], joilla annetuista faktoista saadaan päätelmä. Sääntöperustaisia asiantuntijajärjestelmiä on helppo luoda, jos asiantuntijatietämys on riittävän korkea. Ongelmaksi muodostuu järjestelmien päivittäminen ja ylläpito. Sääntöperustaisissa asiantuntijajärjestelmissä joudutaan väistämättä tilanteeseen, jossa huomioon otettavien asioiden määrän rajaamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Mikäli otetaan huomioon liian vähän asioita, tulee säännöistä liikaa pelkistäviä eli päätökset eivät välttämättä ole riittävän hyviä. Sen sijaan, jos otetaan liikaa asioita huomioon,

tulee sääntökokoelmasta niin suuri, että sen ylläpito muuttuu mahdottomaksi.

Sääntöperustaiset asiantuntijajärjestelmät soveltuvatkin tilanteisiin, jossa valmista sääntöjen perustaksi sopivaa aineistoa on riittävästi tarjolla, mutta säännöt eivät luonteensa puolesta ole liian monimutkaisia. Lisäksi koska sääntöjen päivittäminen voi olla hankalaa ja kustannustehotonta sopivat sääntöpohjaiset asiantuntijajärjestelmät paremmin staattisiin ympäristöihin eli tilanteisiin, jossa dynaamista päivittämistarvetta ei ole.

Edellä kuvatun kaltaisen järjestelmän käytössä panostusstrategian toteutuksessa ongelmaksi muodostuu erilaisten skenaarioiden määrä. Erilaisia skenaarioita on varsin helppo luoda, mutta ylläpito ja testattavuus heikentyy skenaarioiden määrän kasvaessa. Vastaavasti liian vähäinen skenaarioiden määrä aiheuttaa todennäköisesti selviä pelillisiä puutteita.

Sääntöperustaisen asiantuntijajärjestelmän sijasta voidaankin käyttää järjestelmää, joka suoran toiminnon valitsemisen sijaan pyrkii asiantuntijatietämyksen avulla esimoimaan esimerkiksi odotusarvoa. Vastaavasti toiminto valitaan estimoidun odotusarvon perusteella.

3.4.2 Simulaatiot

Erilaisia simulaatioihin perustuvia menetelmiä on käytetty useiden eri pelien tekoälysovelluksissa [BPP99]. Pokerissa simulaatioita voidaan intuitiivisesti käyttää määrittämään odotusarvot eri toiminnoille. Määritettyjen odotusarvojen perusteella voidaan tämän jälkeen valita toiminto, joka maksimoi positiivisen odotusarvon.

Koska jokaisessa tilanteessa pelaajalla on korkeintaan kolme vaihtoehtoa, joista kahdesta luopumisen odotusarvo on aina nolla, tarvitaan jokaisessa tilanteessa korkeintaan kahden eri toiminnon simulaatiota. Simulaatiot suoritetaan pelitilanteesta jaon loppuun ja yhden toiminnon tulosten keskiarvo määrää kyseisen toiminnon odotusarvon [BPP99]. Mikäli kahden tai useamman toiminnon odotusarvo on hyvin lähellä toisiaan, voidaan toiminto valita näistä myös satunnaisesti.

Tunnetuimman ja yleisesti parhaana pidetyn usean pelaajan kiinteästi rajoitetun Texas hold'emin tekoälysovelluksen, Albertan yliopiston Pokin, panostusstrategia perustuu myös osaltaan simulaatioihin [BDS02]. Simulaatioiden käytön etuna määrittäessä panostusstrategiaa verrattuna esimerkiksi asiantuntijatietämykseen on se, että ei tarvitse tuntea taustoja päätösten takana, vaan voidaan luottaa siihen, että simuloitu tulos on riittävä.

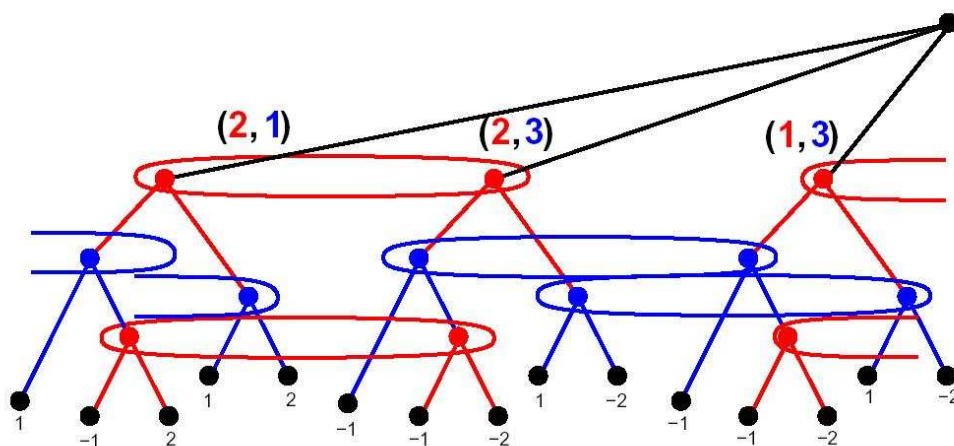
Vaikkakin Pokin suorituskykyä on mitattu kokeellisesti ihmispelaajia vastaan Internetin välityksellä, on sen todellisesta suorituskyvystä vaikea tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Ensinnäkin pelaajien taso vaihtelee huomattavasti, joten suurenkaan joukkoon pelaajia ei välttämättä kuulu yhtään taidollisesti varteenotettavaa pelaajaa. Vanha totuus pokerissa onkin, että vaikka pelaaja olisi maailman kymmenenneksi paras pelaaja, on hän häviävä pelaaja, jos pelaa säännöllisesti maailman yhdeksää parasta pelaajaa vastaan. Vastaavasti tämä pätee myös toisin päin.

3.4.3 Peliteoria

Viimeisten vuosien aikana, pokerin tekoälyn toteutuksessa on kokeiltu myös peliteoriaan perustuvia sovelluksia. Pokeri soveltuukin luontaisesti erittäin hyvin peliteorian sovelluskohteeksi, mutta samalla se sisältää lukuisia haasteita peliteoreettisesti optimaaliselle ratkaisulle. Peliteoreettisen optimaalin ratkaiseminen mahdollistaisi sen, että olisi mahdollista rakentaa järjestelmä, jota yhdenkään vastustajan ei olisi mahdollista voittaa. Suurin ongelma peliteoreettisen optimaalin ratkaisemisessa on Texas hold'em pelin tarjoama tilojen määrä. Tilojen mallintamisen suuruusluokka kahden pelaajankin kiinteästi rajoitetulle Texas hold'em pelille on $O(10^{18})$, joten täydellisen optimaalisen ratkaisun löytäminen ei ole mahdollista [BBD03]. Ongelman ratkaisemiseksi on kuitenkin luotu *näennäisoptimaalista* (pseudo-optimal) strategioita, joissa etsintäavaruuden kokoa on karsittu, jolloin optimaalista ratkaisua voidaan approksimoida.

Pokeria voidaan mallintaa pelipuilla, joissa jokainen puun sisäsolmu on joko *valinta* (decision) tai *sattumasolmu* (chance node), jotka on jaoteltu erilaisiin *informaatiojoukkoihin* (information sets) [KoM92]. Kuvassa 3 [KoP95] on esitetty pelipuu yksinkertaistetussa pokeripelissä. Muodostettua peliteoreettisen optimaalin etsintäavaruutta Texas hold'em pelissä voidaan karsia erilaisilla menetelmillä. Näitä ovat esimerkiksi panostuskierrosten vähentäminen, korotuskertojen määrän rajoittaminen ja useiden eri tilojen, esimerkiksi (lähes) saman vahvuisten käsien, luokittelu yhdeksi niiden samankaltaisuuden vuoksi. Lisäksi koko malli voidaan jakaa erillisiin osiin, kuten esimerkiksi erottaa pelin ensimmäinen vaihe omaksi mallikseen. Karsintojen vaikutukset vaihtelevat ja sitä kautta näennäisoptimaalisen ratkaisun vastaavuutta peliteoreettiseen optimiin on vaikea arvioida [BBD03].

Albertan yliopiston PsOptin ja sen varianttien panostusstrategia perustuu edellä esitetyn kaltaiseen peliteoreettiseen näennäisoptimiin [BBD03]. Siinä kahden pelaajan kiinteästi rajoitettua Texas hold'em peliä on yksinkertaistettu malliin, jonka tilojen



Kuva 3: Puolikas pelipuu yksinkertaisesta kahden pelaajan pokeripelistä, jossa molemmille pelaajille jaetaan yksi kortti kolmesta vaihtoehdosta (1,2,3) ja pelaajalla on vuorollaan kaksi vaihtoehtoa valittavanaan. Ellipsit kuvaavat informaatiojoukkoja, joissa pelitilannetta ei voida erotella toisistaan [KoP95].

määrä oli saatu karsittua suuruusluokkaan $O(10^7)$. Tämän mallin optimaalinen ratkaisu oli saatu noin vuorokauden laskenta-ajalla käyttäen lineaarista ohjelmointia. Käytännössä tämän kaltainen ratkaisu on laskennallisesti tuotettu sääntökokoelma, joka pyrkii peliteorian mukaisen optimaaliseen peliin. Tästä ei kuitenkaan ole mitään takeita, koska taulukon tuottamisessa on käytetty epätäydellistä mallia. Lisäksi peliteorian mukainen optimaalinen järjestelmä ei edes pyri saavuttamaan maksimaalista positiivista tulosta, mikä edellyttäisi, että jouduttaisiin tekemään myös optimaalista poikkeavia ratkaisuja, mikäli vastustaja ei pelaa optimaalisesti [BDS04].

Tulokset, joita näillä järjestelmillä on saavutettu ihmisiä vastaan, ovat melko kiistanalaisia. Näennäisesti rohkaisevista tuloksista ei voi välttämättä vetää kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Esimerkiksi PsOpti-järjestelmä ei toteuta minkäänlaista vastustajanmallinnusta ja lisäksi panostusstrategia on valmiiksi kiinnitetty. Tästä on seurauksena se, että mikäli on löydettävissä jokin hyvin toimiva strategia kyseistä järjestelmää vastaan, tietyissä toistuvissa tilanteissa, voidaan sitä hyödyntää surutta, eikä järjestelmä kykene adaptoitumaan tilanteeseen. Suurin osa testatuista pelijaksoista oli pituudeltaan verrattain lyhyitä - satoja, maksimissaan muutamia tuhansia käsiä, jolloin kaikkia heikkouksia ei välttämättä ole vielä, pelaajan havaintokyvystä tietysti riippuen, mahdollista havaita. Toisaalta uusia menetelmiä optimaalin approksimoimiseksi kehitetään koko ajan ja tämä on vaikuttanut myös siihen, että puutteita näennäisoptimaalisista ratkaisuista on entistä vaikeampi löytää.

Halukkaiden on mahdollista testata kaksinpeliä Albertan yliopiston pokeritutkimusyksikön sivuilta [UAP] löytyvää näennäisoptimaalista Sparbot- eli PsOpti4-järjestelmää vastaan. Allekirjoittaneen vaikutelma muutaman tuhannen pelatun jaon jälkeen oli, että järjestelmän pelissä on useita varsin selviä puutteita, jotka kokenut pelaajan voi myös helposti havaita ja hyödyntää.

Allekirjoittanut pelasi kyseistä Sparbot-järjestelmää vastaan noin 2500 kättä, joissa tuotto oli järjestelmän mukaan n. 0.24 SB/h eli 0.24 pientä panosta jakoa kohti. Internetpokerissa yksikkönä käytetään yleensä isoa panosta sataa jakoa kohti, joiksi muutettuna allekirjoittaneen tuotto oli n. 12 BB/100. Internetpokerissa tästä vähennettäisiin vielä talon osuus (rake), jonka osuus pienissä peleissä saattaa olla jopa yli 5 BB/100, mutta isommissa peleissä vastaavasti jopa alle 1 BB/100. Edellä mainittu tulos on kuitenkin aika selkeä. Internetpokerissa tuottoa, joka on suurempi kuin 3 BB/100 pidetään usein jo hyvänä marginaalina.

Sattuman osuus on tietysti pyrittävä sulkemaan pois tuloksista, joka on pokerin luonteen vuoksi varsin hankalaa. Kokeellisesti on kuitenkin osoitettu, että varianssia voidaan approksimoida kaavalla [GiS06]:

$$\pm 6/\sqrt{N}, \quad (8)$$

jossa N on pelattujen jakojen määrä, joka tässä tapauksessa, kun $N = 2500$ tuottaa varianssiksi ± 0.12 , jolloin allekirjoittaneen estimoitu tuotto Sparbot-järjestelmää vastaan on 0.24 ± 0.12 pientä panosta jakoa kohden. Edellä olevista tuloksista voidaan päätellä, että kyseinen järjestelmä ei yllä vielä kovinkaan lähelle parhaiden ihmispelaajien tasoa pitkissä sarjoissa.

Eräs toinen lähestymistapa, jota on kokeiltu, on Andrew Gilpinin ja Tuomas Sandholmin esittelemä etukäteen laskettujen ja reaaliaikaisen laskennan yhteensovitus, jossa kaksi ensimmäistä panostuskierrosta on laskettu etukäteen lineaarisella ohjelmoinnilla, mutta kaksi viimeistä panostuskierrosta lasketaankin pelitilanteesta reaaliaikaisesti. Gilpin ja Sandholm testasivat GS1-järjestelmäänsä Sparbotia vastaan 10 000 jaon sarjan, jossa GS1-saavutti tuloksen 0.007 SB/h, kun arvioitu varianssi oli ± 0.06 [GiS06]. Gilpin ja Sandholm ovat esitelleet järjestelmästä myös parannetun version, jonka pitäisi pystyä jopa parempiin tuloksiin [GiS07].

Heinäkuussa 2007 järjestetyssä toisessa vuosittaisessa Computer Poker Competition -tapahtumassa [CPC07] Albertan yliopiston sarjansa voittanut Hyberborean07-agentin peliteoreettinen ratkaisu perustuu *kontrafaktuaalisen katumuksen minimointi* (counterfactual regret minimization) -menetelmään. Tässä menetelmässä approk-

simaatio muodostetaan, käytännössä pelaamalla kahden pelaajan välillä erilaisista *informaatiojoukoista* (information sets), eli erilaisiksi luokitelluiksi pelitilanteiksi, muodostettuja jakoja siten, että pyritään minimoimaan kontrafaktuaalista katumusta valitun toiminnon hyödyn ja maksimaalisen hyödyn välillä. Tässä menetelmässä informaatiojoukkojen pienempi määrä suhteessa kaikkiin tiloihin mahdollistaa tarkemman approksimaation laskemisen, koska menetelmän käyttämä muistimäärä ei ole lineaarinen approksimaatiossa käytettyjen pelitilojen suhteen, kuten aikaisemmissa ratkaisuisissa, vaan informaatiojoukkojen suhteen [Joh07].

3.4.4 Odotusarvon maksimoivat haut pelipuista

Albertan yliopistossa on kokeilu myös toisenlaista lähtökohtaa toteutettaessa erityisesti kaksinpeliin soveltuvaa järjestelmää. Järjestelmä, joka kantaa nimeä Vexbot, on toteutettu siten, että myös vastustajan mallinnus on mukana. Toisin kuin edeltäjässään (PsOpti) ratkaisut tehdään nyt odotusarvon maksimoivilla hauilla reaaliaikaisesti muodostetuista pelipuista. Tämänkaltaisessa järjestelmässä ei pyritä peliteorian mukaiseen optimaaliseen peliin, vaan saavuttamaan maksimaalinen tulos juuri kyseistä vastustajaa vastaan [BDS04].

Toimintavaihtoehdon valinnassa Vexbot-järjestelmässä käytetään expectimax-algoritmia [BDS04]. Expectimax-algoritmi on läheistä sukua expectiminimax-algoritmillemme, joka on tarkoitettu hakuihin peleissä, joissa satunnaisuuselementti on läsnä. Expectiminimax-algoritmi taas on läheistä sukua perinteiselle minimax-algoritmillemme, jota pitkään on käytetty erilaisissa deterministisissä, täydellisen informaation nollasummapeleissä. Expectiminimax-haku laajentaa minimax-haun pelipuihin, joissa valintasolmujen lisäksi on myös sattumasolmuja, jolloin absoluuttisten minimax-arvojen sijaan lasketaan odotusarvo [RuN03]. Expectimax-algoritmi sisältää kaksi hakuvarianttia, miximax ja miximix. Toisin kuin peliteoreettisesti optimaalisessa expectiminimax-haussa ei miximax-haussa pyritä vastustajan toiminnon kohdalla valitsemaan vastustajan pelin optimoivaa vaihtoehtoa, vaan vastustajan mallinnuksen avulla tuotettu vastustajan todennäköisin toiminto. Miximix-haussa vastaavasti myös oma toiminto voidaan perustaa muuhun kuin odotusarvon maksimoivaan toimintaan [Dav02].

Vexbot-ohjelmassa haku suoritetaan koko pelipuu läpikäyden. Pelipuun lehtisolmut ovat päätesolmuja, joissa joko pelaajat lopuksi paljastavat korttinsa (showdown) tai toinen pelaajista luopuu korteistaan. Lehtisolmuissa odotusarvo lasketaan käyttäen heuristista evaluointifunktiota. Solmuissa, joissa toinen pelaajista luopuu kädestään,

odotusarvo on yksinkertaisesti ainoastaan hävitty tai voitettu summa kyseisessä jaossa, mutta loppuun asti pelatuissa jaoissa, käytetään vastustajan mallinnuksella saatuja todennäköisyyksiä vastustajan käsistä määrittämään oman käden voiton todennäköisyyttä [BDS04].

Vexbot-ohjelman tuloksia voidaan pitää varsin vakuuttavina, mutta tässäkin lähestymistavassa on omat ongelmansa. Varsinkin pidemmissä sarjoissa järjestelmä on suoriutunut ylivoimaisesti aikaisempia järjestelmiä vastaan [BDS04]. Ohjelman etuna voidaankin pitää juurikin kykyä adaptoitua vastustajan pelityyliin ja käyttää hyödyksi puutteita ja virheitä vastustajan pelissä. Sen sijaan lyhyissä sarjoissa peliteoreettiset ratkaisut ovat olleet siihen nähden varsin kilpailukykyisiä [GiS07].

Allekirjoittanut testasi myös Poker Academy -sovelluksesta löytyvää Vexbot-järjestelmää sen oletusasetuksilla. Vastaavan kokoisella otosmäärällä kuin Sparbot-järjestelmän tapauksessa allekirjoittaneen tuotto oli n. 0.12 SB/h. Pelin eteneminen näkyy kuvasta 4. Täytyy kuitenkin huomata, että tuoton suuruus osuu ainoastaan vaihteluvälin rajalle, joten tilastollisesti tarkasteltuna kyseisestä tuloksesta ei voida johtaa tarkempia johtopäätöksiä. Toinen huomioon otettava seikka, joka taas voidaan päätellä kuvaajasta, on se, että sarjan alussa allekirjoittaneen tuotto on ollut suhteessa huomattavasti suurempi kuin pelin loppuvaiheessa. Kuitenkin, jos tarkastellaan ainoastaan esimerkiksi viimeistä pelijaksoa, voidaan todeta, että tässä jaksossa tuotto on ollut kuitenkin jopa 0.17 SB/h.



Kuva 4: Seitsemän eri pelijakson tulos Vexbot-järjestelmää vastaan esitettynä yhdessä kuvaajassa.

Oma vaikutelma pelistä Vexbot-järjestelmää vastaan oli, että varsinkin alussa peli oli verrattain heikkoa. Selviä puutteita ja heikkouksia pelissä oli varsin helppo hyödyntää. Tähän saattoi osaltaan vaikuttaa, kuitenkin se, että alussa sattuman vaikutus peliin tuntui olevan varsin selvästi allekirjoittanutta suosiva, joka osaltaan saattoi vaikuttaa siihen, että järjestelmä tuntui pelaavan huonommin kuin todellisuudessa pelasikaan. Lisäksi järjestelmä pyrkii alussa varsin aktiivisesti tulkitsemaan vastustajan peliä ja keräämään informaatiota vastustajasta, mitä se voi myöhemmin hyödyntää, joten se ei edes pyri pelaamaan alussa maksimaalisesti [BDS04].

Kuvaajasta on myös selvästi nähtävissä notkahdus allekirjoittaneen pelissä kolmannen pelijakson lopussa, jossa käyrässä on nähtävissä jyrkkä alamäki. Tämä on selitettävissä vastustajan hyvällä otteella peliin, joka aiheutti allekirjoittaneen hermostumisen vastustajan peliin ja siten ajautumisen epäoptimaaliseen peliin. Kuitenkaan sattuman vaikutusta on mahdotonta sulkea myöskään pois tarkasteltaessa muutoksia voimasuhteissa. On myös huomattava, että todennäköisesti tässä vaiheessa järjestelmä on alkanut varsinaisesti hyödyntämään havaintojaan.

Tämän tyyppisissä ratkaisuisa vastustajan mallinnus on ratkaisevassa asemassa. Mikäli vastustajan mallinnus on hidas ja epätarkka, järjestelmä ei pysty tekemään oikeita ratkaisuja. Vastaavasti, mikäli vastustajanmallinnus kyettäisiin tekemään täydellisenä, olisi järjestelmä täydellinen eli sen ratkaisut aina maksimoisivat odotusarvon, aikaisempien toimintojen valossa.

Menetelmä voidaan rakenteensa puolesta ulottaa tietysti käsittämään myös useamman pelaajan tai jopa rajoittamattomat pelit. Nämä pelimuodot kuitenkin asettavat tiettyjä erityisvaatimuksia, joten täsmälleen esitellyn kaltaista ratkaisua ei voida suoraan käyttää.

Pelitalanteen heuristisella evaluoinnilla on tärkeä rooli tekoälyratkaisuisa, jotka perustuvat pelipuiden läpikäymiseen. Kaikkien pelipuiden läpikäyminen on vähänkään monimutkaisemmissa peleissä usein liian raskasta, joten haku joudutaan pysäyttämään tilanteisiin, joista suoraan ei voida päätellä niiden paremmuutta. Heuristisia evaluointifunktioita on jo pitkään käytetty muun muassa toteutettaessa tekoälyshakissa.

Mikäli pokerissa pelipuu läpikäydään täydessä syvyydessään voidaan odotusarvot eri toiminnoille evaluoida lehtisolmuissa, jotka toimivat myös ainoina päätesolmuina. Jos kuitenkin koko pelipuun läpikäyminen on laskennallisesti liian raskasta tai se nähdään muusta syystä kannattamattomaksi, voidaan muodostaa evaluointifunktio myös siten, että se heuristisesti arvioi eri toimintojen hyvyttä. Tunnetuissa

pelipuun läpikäyntiin perustuvissa ratkaisuisa, evaluointifunktiolla pyritään arvioimaan, missä tahansa syvyydessä katkaistua pelipuuta löytyvän pelitilanteen hyvyttä. Pokerissa pelitilanteen evaluointina voidaan kuitenkin pitää toimintojen odotusarvojen määrittämistä, jolloin evaluoinnin tarkoituksena on löytää toiminto, joka maksimoi positiivisen odotusarvon.

Evaluointifunktion muodostaminen pelipuun päätesolmuissa on huomattavasti triviaalimpi toteuttaa kuin valintasolmuissa. Pokerissa päätesolmuja voi olla kolmea erilaista tyyppiä. Joko itse luovutaan kädestä, kaikki vastustajat luopuvat käsistään tai pelataan oma käsi loppuun saakka, niin että vähintään yksi vastustaja on vielä lopussa mukana. Näistä tilanne, jossa itse luovutaan kädestä on siinä mielessä merkityksetön, että sen odotusarvo on aina negatiivinen. Mikäli pelissä pyritään aina tekemään ratkaisuja, jotka ovat odotusarvoltaan positiivisia, voidaan tällaiset solmut automaattisesti karsia. Odotusarvo voidaan toki laskea helposti, sillä se on jaossa hävitty summa. Vastaavasti odotusarvo päätesolmulle, jossa kaikki vastustajat luopuvat käsistään, on jaossa voitettu summa [BDS04].

Odotusarvon määrittäminen loppuun asti pelatuissa jaoissa vaatii vastustajan mallinnuksella toteutetun todennäköisyysfunktion vastustajan mahdollisista käsistä. Tämän jälkeen solmun odotusarvo voidaan laskea, kun tiedetään todennäköisyys voittaa käsi P_w kaavalla [BDS04]:

$$E(l) = P_w \times S_l - B, \quad (9)$$

jossa S_l on potin koko päätesolmussa ja B omien, jaon sen hetkisestä tilanteesta päätesolmuun mennessä, asetettujen panosten summa.

Nyt järjestelmässä voidaan jokaisen mahdollisen loppuun asti kulkevan polun osalta laskea todennäköisyys voittaa jako, kun vastustajan mallinnuksella on määritetty todennäköisyydet vastustajan eri käsille kyseisellä panostusketjulla. Vastaavasti tämän pohjalta voidaan nyt laskea odotusarvot niille poluille, jotka päättyvät käsien vertailuun [BDS04].

3.4.5 Menetelmien yhdistäminen

Kuten vastustajan mallinnuksen tapauksessa, myös panostusstrategian määrittämisessä voidaan käyttää useampaa menetelmää. Menestyksekkäästi tätä on käytetty muun muassa Albertan yliopiston Polaris-järjestelmässä [Joh07], joka osallistui ensimmäiseen järjestettyyn ihmisen ja tietokoneohjelman väliseen pokeriturnaukseen.

Kesällä 2007 pidetyssä turnauksessa [MMP07] kaksi maailman huippuihin lukeutuvaa pokerin pelaajaa mittelivät taitojaan kyseistä tietokoneohjelmaa vastaan kiinteästi rajoitetussa Texas hold'em kaksinpelissä.

Polaris-järjestelmä sisältää useita erilaisia agenteja. Osa agenteista pyrkii peliteorian mukaiseen optimaaliseen peliin, kun taas toiset pystyvät oppimaan havainnoista ja tätä kautta adaptoitumaan vastustajan peliin. Kyseisessä turnauksessa järjestelmää käytettiin osassa 500 jaon pelijaksoista niin, että ainoastaan yksi agentti pelasi kerrallaan ja vastaavasti myös siten, että ratkaisut tehtiin usean agentin voimin [Joh07].

4 Toimintojen odotusarvojen estimointi

Edellisessä luvussa kuvattiin menetelmiä panostusstrategian määrittämiseksi Texas hold'em pelissä. Tässä luvussa syvennyttään yhteen vaihtoehtoon eli toimintojen odotusarvojen estimointiin. Toimintojen odotusarvon estimoinnissa jokaiselle valittavana olevalle toiminnolle lasketaan odotusarvo, jonka perusteella toiminto valitaan. Käytännössä toiminto voidaan valita joko suurimman maksimaalisen odotusarvon mukaan tai vaihtoehtoisesti myös toiminnon valitsemisessa voidaan käyttää lisäksi esimerkiksi satunnaisuutta mukana.

Tämä toimintojen odotusarvojen estimointi voidaan suorittaa useilla eri vaihtoehtoisilla menetelmillä. Tässä luvussa kuvatussa panostusstrategiassa, odotusarvojen estimointi voitaisiin vastaavasti toteuttaa myös esimerkiksi simulaatioilla [BPS99], kuten edellisessä luvussa on kuvattu simulaatioiden käytöstä panostusstrategian määrittämisessä. Tässä kuitenkin simulaatioiden sijaan toimintojen odotusarvot estimoidaan muodostamalla evaluointifunktio toiminnolle. Menetelmässä on löydettävissä samankaltaisuuksia Albertan yliopiston Poki-järjestelmän arkkitehtuuriin nähden [BDS02], jossa kuitenkin käytetään simulaatioiden rinnalla sääntöperustaista järjestelmää evaluoimaan eri toimintojen valitsemisen kannattavuutta ja tämän jälkeen toimintavaihtoehto valitaan probabilistisesti muodostetusta todennäköisyys kolmikosta (probability triple) eli jokaiselle toiminnolle määrätään todennäköisyys, jolla sitä käytetään toiminnon valitsemistilanteessa.

Tämän kaltaisten mallien etuna, esimerkiksi peliteoriaan perustuviin järjestelmiin nähden, on se, että ne yleistyvät helposti eri pelaajamäärille, mutta toisaalta myös eri panostusrajoituksilla toteutettavaksi. Tässä esitettyä menetelmää voidaan käyttää kahdesta kymmeneen pelaajalla, mutta vastaavasti myös pienillä muutoksilla

esimerkiksi rajoittamattomassa Texas hold'em pelissä.

Edellisen luvun lopussa kuvattiin, kuinka evaluointifunktio voidaan toteuttaa pelipuiden lehtisolmuissa, niissä tapauksissa, kun jako päättyy korttien paljastamiseen. Toisaalta evaluointifunktio voidaan muodostaa, missä tahansa pelitilanteessa, estimoimalla eri toimintojen odotusarvoja. Tässä esitetty panostusstrategian määrittäminen aloitetaan evaluointifunktion muodostamisen ongelmalla, jonka jälkeen tarkastellaan myös panostusstrategian määrittämistä kokonaisuudessaan.

4.1 Evaluointifunktion muodostaminen

Muodostettaessa evaluointifunktiota eri toiminnoille, asiantuntijatietämykseen perustuen, voidaan lähtökohdaksi ottaa näkemys siitä, miten samankaltaisia käsiä voidaan pelata eri tavalla. Esimerkiksi, mikäli oletetaan, että oma käsi on paras, niin kuinka taataan se, että saadaan kädelle mahdollisimman hyvä tuotto. Vastaavasti, mikäli oma käsi ei välttämättä ole paras, mutta on mahdollisuus, että vastustajillakaan ei kenelläkään ole erityisen vahvaa kättä, onko mahdollista, että panostamalla saisi vastustajat luopumaan käsistään. Tämän kaltaiset skenaariot ovat varsin tyyppillisiä ihmispelaajille, mutta ratkaisut perustuvat lähinnä intuitioon, eikä tarkkoja odotusarvoja ole edes mielekästä lähteä arvioimaan.

Tekoälyjärjestelmällä on kuitenkin käytössään toteutettu malli vastustajan pelityylistä ja korttijakaumasta, joten tällaisessa tapauksessa odotusarvojen estimoiminen muuttuu selkeästi. Odotusarvojen estimointiin riittävä informaatio saadaan, kun pystytään arvioimaan jaon kulkua pelitilanteesta eteenpäin. Lisäksi pelin kulusta ei ole välttämätöntä pystyä päättämään täydellisiä ketjuja, vaan ainoastaan uskomus oman käden vahvuudesta vastustajien käsiin nähden pelin lopussa; omasta ja vastustajien todennäköisyydestä luopua käsistään sekä odotusarvoisesta potin koosta ja omien asetettujen panosten määrästä.

Näiden päättelyminen ei kuitenkaan onnistu suoraan vastustajan mallinnuksen avulla tarkasti ilman, että muodostettaisiin pelipuita, jotka voidaan läpikäydä. Tarvitaankin menetelmä, jolla odotusarvot voidaan estimoida ilman pelipuiden muodostamista. Lisäksi menetelmän täytyy olla laskennallisesti kevyt, mikäli sitä haluttaisiin käyttää yhdessä pelipuiden kanssa. Yksi menetelmä, jota voidaan käyttää evaluointifunktiota muodostettaessa on luokitella pelitavat erilaisissa tilanteissa. Yleensä näitä on ainoastaan kaksi. Esimerkiksi vahvat kädet voidaan pelata perinteisesti nopeasti eli panostamalla aina, kun siihen on mahdollisuus tai vaihtoehtoisesti hi-

taasti, jolloin vahva käsi pyritään naamioimaan vastustajalta. Yleensä tällaisissa tapauksissa on tarkoituksena, että vastustajan käsi paranisi myöhemmissä vaiheissa. Vastaavasti vaarana on, mikäli oma käsi ei ole riittävän vahva, kuitenkin se, että vastustajan käsi paranee omaa kättä paremmaksi. Samalla tavalla myös vetokäsien pelaaminen voidaan jakaa kahteen luokkaan eli joko ainoastaan maksetaan vedolla tai vaihtoehtoisesti voidaan myös panostaa, vaikka valmista kättä ei vielä olisikaan. Odotusarvon estimoiminen vaatii sen, että pystytään tällaisissa tilanteissa päättämään ne skenaariot, joihin eri pelitavat johtavat. Esimerkiksi ainoastaan maksettaessa vastustajan korotus on mahdollisuus, että joku toinen jäljellä toimivista pelaajista vielä korottaa samalla panostuskierroksella, jolloin alkuperäisen yhden panoksen sijaan panostuskierroksella joudutaankin maksamaan kaksi panosta.

4.1.1 Jaon ensimmäisessä vaiheessa

Evaluointi jaon ensimmäisessä vaiheessa voidaan muodostaa ilman tarkkoja skenaarioita jaon muista vaiheista. Käytännössä odotusarvoa estimoitaessa riittää esimerkiksi seuraavat tiedot:

- Käden suhteellinen vahvuus.
- Positio.
- Potin koko.
- Odotusarvoinen vastustajien määrä pelin eri vaiheissa.
- Odotusarvoinen vastustajien yhteinen panostusten määrä eri vaiheissa.

Tietysti jaon ensimmäinen vaihe voidaan hoitaa myös esimerkiksi asiantuntijajärjestelmällä. Odotusarvon estimoinnin etuna on kuitenkin parempi adaptoituminen erilaisiin vastustajiin, vaikkakin pelattaisiin enemmän koko pöytää vastaan kuin yksittäisiä vastustajia. Jaon ensimmäisessä vaiheessa tärkeäksi muodostuukin seikka, miten erilaiset kädet pärjäävät eri vastustajamääriä vastaan. Mikäli pöydässä on useampi löyhästi ja passiivisesti pelaava vastustaja, pärjäävät näitä vastaan hiukan erilaiset lähtökädet kuin tiukkoja pelaajia vastaan, jolloin toisessa vaiheessa mukana olevia pelaajia on huomattavasti vähemmän. Tämän huomioon ottaminen asettaa vaatimuksia ensimmäisessä vaiheessa tehtävälle käden evaluoinnille.

Position merkitys on sen avulla saatava suurempi informaation määrä. Mitä myöhemmin oma toimintavuoro vastustajiin nähden on, sitä suurempi osa vastustajien

toiminnoillaan tarjoamasta informaatiosta voidaan käyttää hyödyksi. Lisäksi omilla toiminnoilla on tällaisissa tapauksissa suuremmalla todennäköisyydellä haluttu vaikutus. Esimerkiksi, jos toimitaan jakajan paikalta, eikä yksikään edellä pelaavista vastustajista ole maksanut tai korottanut, niin itse korottamalla on hieman heikommallakin kädellä suurempi mahdollisuus voittaa potti suoraan ilman toista vaihetta. Vaihtoehtoisesti, mikäli esimerkiksi suuren sokkohanoksen maksanut pelaaja maksaa, niin jatkamalla panostamista yhteisistä korteista välittämättä, voidaan potti voittaa myös seuraavassa vaiheessa, koska on todennäköistä, että vastustajakaan ei saa yhteisistä korteista muodostettua itselleen vahvaa kättä.

Kädestä luopumisen odotusarvo on tietysti joka tapauksessa nolla. Kuinka sitten maksamisen tai korottamisen odotusarvoa voidaan estimoida? Voidaan olettaa, että riittävän tarkka estimaatti saadaan seuraavasti:

$$E(t) = P_w \times ES_{tot} - EB_{tot}, \quad (10)$$

jossa todennäköisyys voittaa jako P_w saadaan käden suhteellisesta vahvuudesta, kun voidaan päätellä kuinka monta vastustajaa on odotusarvoisesti vastassa eri vaiheissa. Odotusarvoinen potin koko ES_{tot} ja omien panosten odotusarvo EB_{tot} sisältävät myös tapaukset, joissa kättä ei pelata loppuun saakka. Vastustajien tai oman luopumisen huomioon ottaminen määrittäessä odotusarvoa potille ja omien panosten määrälle vaatii tietysti erityishuomiota.

4.1.2 Jaon muissa vaiheissa

Evaluointi jaon muissa vaiheissa vaatii tarkempien skenaarioiden muodostamista kuin jaon ensimmäisessä vaiheessa. Tämä pitää sisällään muun muassa sen, että vastustaja pelaa vahvat kätensä hitaasti tai panostaa vahvasti vetokäsillä. Nyt odotusarvoa estimoidessa vaaditaan ensimmäisen vaiheen evaluoinnissa vaadittavien parametrien lisäksi myös siis yksityiskohtaisempia todennäköisyyksiä vastustajien eri toiminnoille myös muilla kuin kyseisellä panostuskierroksella. Toki evaluointi voidaan suorittaa, kuten ensimmäisessäkin vaiheessa, mutta se ei välttämättä ole riittävän tarkka approksimaatio käytännössä, sillä tilanne jaon muissa vaiheissa on strategisesti hyvin erilainen kuin jaon ensimmäisessä vaiheessa. Jokainen tilanne on huomattavasti ainutlaatuisempi, jolloin tarvitaan huomattavasti yksityiskohtaisempaa approksimaatiota.

Luvussa 2, käsiteltäessä toimintavaihtoehtojen valintaa, luetellaan juuri ne kohdat, jotka myös evaluointifunktion skenaarioiden määrittelyssä on otettava huomioon.

Tällöin voidaan päätellä ne tilanteet, joissa on kannattavaa arvopanostaa, semibluffata tai bluffata. Vastaavasti voidaan määritellä, milloin kannattaa ainoastaan maksaa tai milloin luopua kädestä. Tämä on kuitenkin hyvin ihmisläheinen tapa ajatella pelitilannetta, joten se ei välttämättä ole paras mahdollinen tekoälyjärjestelmän lähtökohdaksi.

Toinen vaihtoehtoinen menetelmä on luokitella erilaiset kädet. Luokittelu voidaan myös muodostaa niin, että käsi voi kuulua myös useampaan luokkaan. Kädet voidaan luokitella niiden sen hetkisen vahvuuden ja mahdollisuuden parantua mukaan. Esimerkiksi kädet voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- Valmiit kädet eli kädet, joiden tämän hetkinen suhteellinen vahvuus on hyvä ja jotka riittävällä todennäköisyydellä ovat parhaita.
- Vetokädet eli kädet, joiden tämän hetkinen suhteellinen vahvuus on heikko, mutta joilla on mahdollisuus tarpeeksi suurella todennäköisyydellä parantua parhaaksi kädeksi.
- Roskat eli kädet, joiden tämän hetkinen suhteellinen vahvuus on heikko ja joiden mahdollisuus parantuakaan ei todennäköisyyksien mukaan ole riittävä.

Tämän luokittelun perusteella ja vastustajien käyttäytymistä arvioivien todennäköisyyksien perusteella voidaan vastaavasti määrittää, milloin on kannattavaa panostaa, milloin maksaa ja milloin luopua korteistaan. Toki luokittelua voidaan tarkentaa ja käytännössä pelkästään kolmeen kategoriaan luokittelu on usein riittämätön. Esimerkin vuoksi pitäydytään nyt kuitenkin ainoastaan kolmessa luokassa. Nyt jokaiselle luokitellulle käsityypille voidaan muodostaa vaihtoehtoisia skenaarioita. Ensinnäkin jokainen näihin luokkiin kuuluva käsi voidaan pelata vähintään kahdella vaihtoehtoisella tavalla. Nyt kuitenkin tarkoituksena on muodostaa tarkemmat skenaariot, joista odotusarvot voidaan estimoida.

Valmiille käsille löytyy ainakin seuraavat skenaariot:

- Panostetaan itse alusta loppuun.
- Panostetaan itse aluksi ja lopulta kaikki vastustajat luopuvat käsistään.
- Panostetaan itse aluksi ja yksi tai useampi vastustaja korottaa jossakin vaiheessa, jolloin luovutaan kädestä.
- Ainoastaan maksetaan loppuun saakka, mikäli yksi tai useampi vastustaja panostaa.

- Ainoastaan maksetaan aluksi ja luovutaan myöhemmin.
- Ainoastaan maksetaan aluksi ja korotetaan myöhemmin.

Vetokäsille voidaan löytää esimerkiksi seuraavat skenaariot:

- Maksetaan aluksi, kunnes veto täyttyy, jolloin korotetaan.
- Maksetaan aluksi, kun veto ei täyty, luovutaan.
- Maksetaan aluksi, kun veto ei täyty, panostetaan.
- Panostetaan alusta loppuun, vaikka veto ei täytyisikään.
- Panostetaan aluksi, kun veto ei täyty, maksetaan.
- Panostetaan aluksi, kun veto ei täyty, luovutaan.

Niin sanotuille roska-käsille voidaan löytää seuraavat skenaariot:

- Panostetaan ja pyritään samaan vastustajat luopumaan käsistään.
- Maksetaan ja pyritään bluffaamaan myöhemmin.

Edellä olevista skenaarioista voidaan yhdistää ne, jotka ovat lähes identtisiä tai täysin identtisiä. Samalla voidaan muokata joitakin vastaamaan paremmin tarkoitustaan. Lopuksi voidaan saada esimerkiksi seuraavat skenaariot:

- Panostetaan itse aluksi, jatketaan panostamista tai maksetaan loppuun asti.
- Panostetaan itse aluksi ja lopulta kaikki vastustajat luopuvat käsistään.
- Panostetaan itse aluksi ja yksi tai useampi vastustaja korottaa jossakin vaiheessa, jolloin luovutaan jossain vaiheessa jakoa.
- Ainoastaan maksetaan loppuun saakka, mikäli yksi tai useampi vastustaja panostaa tai korottaa, tai korotetaan itse myöhäisemmässä vaiheessa.
- Ainoastaan maksetaan aluksi ja luovutaan myöhemmin.

Jokainen näistä muodostetuista skenaarioista voidaan tietysti tarpeen mukaan jakaa pienempiin osaskaarioihin. Esimerkiksi luettelon ensimmäinen skenaario voidaan jakaa niihin jakoihin, jotka panostetaan suoraviivaisesti loppuun saakka ja niihin, joissa jostain syystä joudutaan panostaminen vaihtamaan maksamiseksi jossain vaiheessa jakoa.

4.1.3 Odotusarvojen laskeminen

Odotusarvot voidaan laskea nyt hyvin suoraviivaisesti. Skenaarioiden s loppuun asti pelattujen jakojen odotusarvo $E(s)$ saadaan johdettua luvussa 2 esitetystä kaavasta 3 seuraavasti:

$$E(s) = P_w \times (ES_{tot} - EB) - (1 - P_w) \times EB = P_w \times ES_{tot} - EB, \quad (11)$$

jossa P_w on voittotodennäköisyys, ES_{tot} odotusarvoinen potin kokonaismäärä ja EB odotusarvoinen sijoitettujen merkkien summa. Vastaavasti jakojen, joissa kaikki vastustajat luopuvat käsistään, odotusarvo saadaan laskemalla todennäköisyyden, että kaikki vastustajat luopuvat käsistään P_{vf} ja jaossa odotusarvoisesti voitettavan merkkimäärän tulo:

$$E(s) = P_{vf} \times (ES_{tot} - EB). \quad (12)$$

Jakojen, joissa itse luovutaan kädestä, odotusarvo taas saadaan laskemalla todennäköisyyden, että itse luovutaan kädestä P_{hf} ja jaossa odotusarvoisesti hävittävän merkkimäärän tulo:

$$E(s) = P_{hf} \times (-EB). \quad (13)$$

Toiminnon odotusarvo $E(t)$ voidaan nyt laskea eri skenaarioiden summana:

$$E(t) = \sum_s P(s)E(s). \quad (14)$$

Mikäli yhdistetään kaikki samaan lopputulokseen päätyvät skenaariot yhdeksi, voidaan muodostaa seuraava lauseke toiminnon kokonaisodotusarvon laskemiseksi:

$$E(t) = (P_w \times ES_w - EB_w) + P_{vf} \times (ES_{vf} - EB_{vf}) - P_{hf} \times EB_{hf}. \quad (15)$$

Käytännössä kyseinen lauseke on täydellinen, mikäli jokaiselle lausekkeessa esiintyvälle parametrille kyettäisiin laskemaan koko peliä - ei vain yhtä jakoa - koskevat tarkat, virheettömät arvot. Käytännössä tämä on tietysti mahdotonta, joten joudutaan tyytymään jonkinlaisiin heuristisiin approksimaatioihin.

4.2 Heurististen funktioiden toteutus

Edellisen luvun lopussa esitetyn toimintojen odotusarvoille muodostettu lauseke edellyttää seuraavien parametrien estimoimista:

- P_w , todennäköisyys voittaa loppuun asti mennyt jako.
- P_{vf} , todennäköisyys, että kaikki vastustajat luopuvat käsistään.
- P_{hf} , todennäköisyys, että itse luovutaan kädestä.
- ES_w , potin koko loppuun asti menneessä jaossa.
- ES_{vf} , potin koko jaossa, jossa vastustajat luopuvat käsistään.
- ES_{hf} , potin koko jaossa, jossa itse luovutaan kädestä.
- EB_w , loppuun asti menneessä jaossa panostettujen merkkien määrä.
- EB_{vf} , vastustajien luopumiseen päättyneessä jaossa panostettujen merkkien määrä.
- EB_{hf} , kädestä luopumiseen päättyneessä jaossa panostettujen merkkien määrä.

Mikäli parametrit on tarkoitus estimoida suoraan, tarkoittaa se, että käytännössä jokaista parametria varten on luotava heuristinen funktio, jolla voidaan tarpeeksi luotettavasti approksimoida parametrin arvoa. Yksi tapa on käyttää asiantuntijätietämystä näiden funktioiden määrittämiseksi. Esimerkiksi voidaan muodostaa funktio todennäköisyydelle P_w voittaa käsi siten, että lasketaan oman käden vahvuus ja verrataan sitä vastustajan toimintojen perusteella johdettuun vastustajan käden vahvuuteen. Vastaavasti vastustajan todennäköisyys luopua kädestä voidaan laskea vastustajan käden vahvuuden ja asiantuntijätietämykseen perustuvan suoran evaluoinnin perusteella, minkä pohjalta voidaan estimoida myös odotusarvoista potin kokoa. Toinen tapa on käyttää esitettyjä erilaisia skenaarioita, jolloin edellä esitettyjä parametreja ei suoraan tarvitse estimoida, vaan estimoidaan skenaarioiden sisältämiä parametreja.

Edellä esitetyn kaltaisissa funktioissa ei oteta kuitenkaan huomioon vastustajien yksilöllisyyttä. Lisäämällä asiantuntijätietämyksen lisäksi tilastolliset parametrit, voidaan estimoivista funktioista tehdä tarkempia ja kyseistä vastustajaa vastaan yksilöllisemmin paikkaansa pitäviä. Se ei kuitenkaan ratkaise kaikkia ilmeneviä ongelmia. Vastustajat ovat yleensä hyvin yksilöllisiä esimerkiksi sen mukaan, miten erittäin vahvat kädet tai vastaavasti vetokädet pelataan. Toisilla pelaajilla on tapana - lähes aina - pelata vahvat kädet hitaasti, kun taas toiset pelaavat ne suurimman osan ajasta suoraan panostamalla. Vastaavasti vetokädet voidaan pelata myös hyvin aggressiivisesti, vaikka niiden sen hetkinen vahvuus onkin hyvin heikko.

4.2.1 Vastustajan mallinnus

Vastustajan mallinnuksen avulla voidaan parametreja estimoida myös siten, että vastustajalle ominaiset käyttäytymismallit tulevat huomioiduiksi. Funktioiden toteutukseen tämä vaikuttaa siten, että välttämättä asiantuntijatietämystä ei tarvitse käyttää ollenkaan, vaan todennäköisyydet esimerkiksi vastustajien käyttäytymiselle eli esimerkiksi vastustajien todennäköisyydelle luopua käsistään ja sitä kautta odotusarvoiselle potin koolle, voidaan suoraan määrittää vastustajan mallinnusta hyväksi käyttäen.

Käytännössä vastustajan mallinnuksen tarkkuus vaikuttaa hyvin suoraan siihen, kuinka paljon asiantuntijatietämystä on tarvetta käyttää funktioiden määrittämisessä. Yleisesti ottaen kuitenkin, mikäli käytetään tilastollista mallintamista, tietty määrä asiantuntijatietämystä on välttämätöntä, mikäli ratkaisussa ei käydä läpi pelipuita täydessä syvyydessään.

4.2.2 Mahdollisia parannuksia

Kun muodostetaan evaluointifunktio siten, että se perustuu ainoastaan yhden jaon tapahtumiin, kuten edellä on esitetty, on vaarana se, että vaikka valittavat toiminnot kyseisen jaon suhteen vaikuttavat oikeilta, voivat ne kokonaisuutena tehdä pelistä liian helposti ennustettavan. Toki tämä voidaan ottaa huomioon toimintoa valittaessa, mutta vastaavasti se voitaisiin ottaa huomioon jo evaluointifunktiossa. Koko peliä vastaavien odotusarvojen määrittäminen on kuitenkin erityisen hankalaa, joten siltä osin tässä ratkaisussa pyritään ennakoitua vähentämään ainoastaan toimintoa valittaessa.

Myös vastustajan mallinnuksen kohdalla on syytä kiinnittää huomiota siihen, kuinka epätäydellistä informaatiota tarjoavien jakojen tietoja, voidaan käyttää hyödyksi, täydellisen informaation tarjoavien jakojen lisäksi. Esimerkiksi asiantuntijatietämystä voidaan käyttää hyödyksi, kun määritetään esimerkiksi jaon loppuun asti pelattujen käsien vahvuuksia, joissa vastustaja ei joudu näyttämään kättään, mutta tiedetään sen olevan heikompi kuin oma käsi.

4.3 Toiminnon valitseminen

Toiminnon valitseminen voidaan tietysti suorittaa suoraan toimintojen odotusarvojen perusteella. Käytännössä mikäli käytetään edellä esitetyn kaltaista vain yhden

jaon huomioon ottavaa evaluointifunktioita, ajaututaan kuitenkin tilanteeseen, jolloin pelistä tulee liian helposti ennustettavaa, jolloin yhtä jakoa koskevat odotusarvot eivät enää vastaakaan koko pelin odotusarvoja.

Ennustettavuuden karsimiseksi voidaan toiminnon valitsemisessa käyttää *satunnais-tettua strategiaa* (randomized strategy). Tässä menetelmässä käytetään todennäköisyysjakaumaa määrittämään toiminto eri vaihtoehtoista [KoP95]. Satunnaisuuden lisäämiseksi toiminnon valitsemisessa voidaan ottaa erilaisia lähtökohtia. Esimerkiksi valinta voidaan tehdä painottamatonta tai painotettua satunnaisuutta käyttäen ai-noastaan positiivisen odotusarvon tarjoavien toimintojen välillä tai vastaavasti mu-kaan voidaan myös ulottaa negatiivisen odotusarvon tarjoavat vaihtoehdot. Satun-naisuusasteen määrittämiseksi voidaan käyttää asiantuntijatietämystä, jota on saa-tavilla myös pokerikirjallisuudessa. Esimerkiksi tunnettu pokeriammattilainen Phil Gordon esittää kirjassaan [Gor05] varsin yksinkertaiset säännöt sille, kuinka satun-naistamalla toimintoja eri tilanteissa voidaan vaikeuttaa vastustajan kykyä lukea peliä.

Toisaalta asiantuntijatietämystä voidaan käyttää myös toiminnon valitsemisessa, li-säämään tiettyjä hyväksi koettuja strategioita. Yksi esimerkki tällaisesta on aggres-sion jatkaminen seuraavalla panostuskierroksella. Näin esimerkiksi tilanteissa, jois-sa edellisellä panostuskierroksella on panostettu, jatketaan panostamista myös seu-raavalla panostuskierroksella, vaikka se odotusarvoisesti olisikin muuten kyseisessä pelitilanteessa huonompi vaihtoehto kuin esimerkiksi passaaminen.

Asiantuntijatietämystä voidaan käyttää myös satunnaisuusasteen määräämisessä, mikäli kokemuksen nojalla tiedetään ne tilanteet, käytännössä esimerkiksi oman kä-den vahvuuden tai jaon vaiheen perusteella, joissa pelin varioimiseksi tarvitaan suu-rempaa satunnaisuusastetta.

5 Järjestelmän rakentaminen ja testaaminen

Tässä luvussa annetaan tarkka kuvaus siitä, kuinka edellisessä luvussa kuvatun kal-tainen heuristiseen odotusarvon evaluointiin perustuva järjestelmä voidaan raken-taa. Monissa tapauksissa eri toiminnot on mahdollista toteuttaa hyvin erilaisilla menetelmillä ja eri tarkkuustasoilla. Tätä aspektia käsitellään varsinkin 'Järjestel-män rakentaminen' -osiossa, jossa on kuvattu järjestelmän rakentamisprosessia ja annettu syitä siihen, miksi on valittu juuri kyseinen tapa toteuttaa eri elementit. Lisäksi annetaan esimerkkejä siitä, kuinka eri elementit olisi mahdollisesti voitu to-

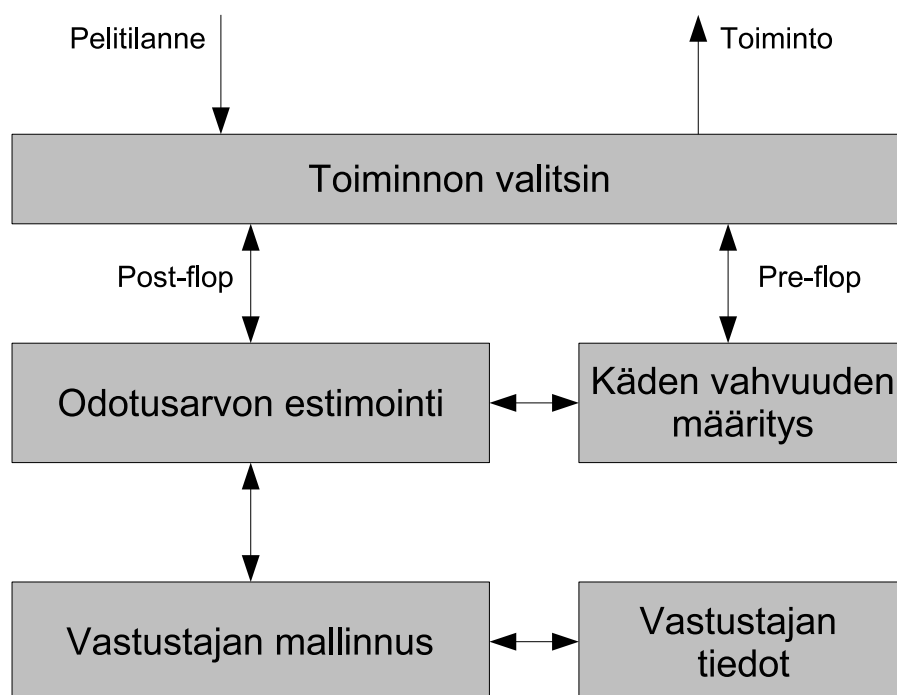
teuttaa myös toisin. Huomattavaa on, että esimerkiksi evaluointifunktion kohdalla, on luovuttu edellisessä luvussa kuvatussta skenaariomallista. Esimerkkijärjestelmä on toteutettu toimivaksi kaksinpelissä, mutta ratkaisu on kuitenkin helposti yleistettävissä toimimaan myös useammalle pelaajalle.

Vaikka odotusarvon evaluointia voidaan mahdollisesti käyttää myös osana pelipuihin perustuvaa ratkaisua, käydään tässä luvussa läpi yksinomaan ratkaisu, jossa toiminnon valitseminen perustuu suoraan odotusarvon evaluointiin. Toisaalta, kuten edellisessä luvussa kuvattiin, voidaan odotusarvojen estimointi suorittaa myös simuloimalla, mutta tässä järjestelmässä käytetään suoraan edellisessä luvussa esiteltyä funktiomallia.

5.1 Järjestelmän kuvaus

Yksinkertaisimmillaan heuristiseen odotusarvon evaluointiin perustuvan järjestelmän täytyy sisältää ainoastaan toiminnon valitsin, sekä varsinainen odotusarvon evaluointi. Tällöin ei kuitenkaan toteuteta minkäänlaista vastustajan mallinnusta, vaan odotusarvoa evaluoidaan ainoastaan oman käden vahvuuden ja etukäteen luotujen asiantuntijatietämykseen perustuvien sääntöjen perusteella. Monimutkaisemmissa, kilpailukykyisemmissä järjestelmissä on otettava odotusarvon evaluoinnissa huomioon myös vastustajan käden oletettu vahvuus, sekä käden vahvuuden merkitys vastustajan toimintoihin. Esimerkkijärjestelmä sisältää seuraavat osat, jotka on myös esitetty kuvassa 5:

- Toiminnon valitsin, joka valitsee toiminnon evaluoidun odotusarvon perusteella.
- Odotusarvon evaluointi, joka käyttää vastustajan mallinnusta parhaan mahdollisen tuloksen saavuttamiseksi.
- Vastustajan mallinnus, joka päivittää vastustajan tilastoja ja laskee niiden perusteella vastustajan keskimääräistä käyttäytymistä, sekä vastustajan oletetun käden vahvuuden.
- Vastustajan tallennetut tilastot.
- Käden vahvuuden määrittäminen.



Kuva 5: Esimerkkijärjestelmän eri osat ja niiden väliset yhteydet.

Näistä osista toiminnon valitsimessa määritetään se, miten odotusarvon evaluointia käytetään hyväksi. Yksinkertaisimmillaan toiminto valitaan ainoastaan maksimaalisen positiivisen odotusarvon perusteella. Tämä ei kuitenkaan välttämättä ole paras ratkaisu, vaan positiivisista odotusarvoista valinta voidaan satunnaistaa, painottaen suurempaa odotusarvoa. Tällöin taataan, että vastustaja ei pysty mallintamaan peliä yhtä täydellisesti. Vastaavasti voidaan valita myös negatiivisen odotusarvon tarjoama vaihtoehto, mikäli ero esimerkiksi positiiviseen odotusarvoon ei ole merkittävä.

Tässä järjestelmässä toiminto valitaan positiivisista odotusarvoista satunnaistettuna siten, että tilanteesta riippuen suurimman positiivisen odotusarvon tarjoama vaihtoehto valitaan vähintään 80 prosentin todennäköisyydellä. Vastaavasti pienemmän positiivisen odotusarvon tarjoama vaihtoehto tulee valituksi korkeintaan 20 prosen-

tin todennäköisyydellä. Tämän todennäköisyyden suuruus riippuu jaon eri vaiheista ja positiosta. Jaon toisessa vaiheessa satunnaisuus on suurimmillaan ja viimeisessä eli neljännessä vaiheessa pienimmillään.

Tämän lisäksi käytetään niin sanotun jatkettun aggressiivisuuden menetelmää, jossa edellisellä panostuskierroksella aloitettua aggressiivisuutta jatketaan seuraavalla panostuskierroksella tietyllä todennäköisyydellä, mikäli muuten päädyttäisiin toisenlaiseen ratkaisuun. Tämä jatkettu aggressiivisuus on toteutettu siten, että toimintavaihtoehdosta voidaan valita myös negatiivisen odotusarvon tarjoava vaihtoehto, mikäli aggressiivisemmalla vaihtoehdolla (korotus/panostus) on kuitenkin pienempi negatiivinen odotusarvo. Myös tässä todennäköisyydet valinnalle vaihtelevat jaon vaiheista ja pelaajan positiosta riippuen.

Nämä toiminnon valitsemisessa käytettävät menetelmät perustuvat asiantuntijatietykseen, joka on yhdistelmä omakohtaista kokemusta ja yleistä pokeristrategioiden tarjoamaa tietämystä, jota on saatavilla esimerkiksi eri pokerikirjoista. Toteutettu jatkettu aggressiivisuus on yleensä suositeltu menetelmä varsinkin kiinteästi rajoitetussa Texas hold'emissa pientä joukkoa vastustajia vastaan, koska se tarjoaa mahdollisuuden, että vastustajat helpommin luopuvat käsistään, kun kuvittelevat pelaajan käden todellista vahvemmaksi ja vastaavasti se ei yhtä helposti tarjoa vastustajille mahdollisuutta bluffaamiseen.

Odotusarvon estimointi sisältää evaluointifunktion, jossa tarvitaan käden vahvuuden evaluointia, sekä vastustajan mallinnusta. Näiden toteutus on kuvattu omissa aliluvuissaan. Lisäksi on kuvattu jaon ensimmäisessä vaiheessa käytettävän panostusstrategian toteutus.

5.1.1 Panostusstrategian toteuttaminen ensimmäisessä vaiheessa

Jaon ensimmäisessä vaiheessa käytetty panostusstrategia on toteutettu probabilistisella sääntöperustaisella järjestelmällä. Probabilistisuus on lähes välttämätön toimintapide kahden pelaajan pelissä, mikäli halutaan välttää helppoa ennustettavuutta. Sen sijaan pelaajien määrän kasvaessa, sen merkitys vähenee selvästi.

Käytetty sääntöperustainen järjestelmä käyttää käden vahvuuden määrittämisessä eri korttikombinaatioiden pohjalta muodostettua lähtökäsien välistä järjestystä [HC2], jonka mukaan pelattavat kahden kortin kädet valitaan. Tarkoituksena on, että pelatuksi tulee hieman yli 90 prosenttia käsistä. Tämän määrittämiseksi on käytetty henkilökohtaista asiantuntijatietyä, joka suurelta osin perustuu eri te-

koälyjärjestelmiä vastaan (luku 3) pelattuihin sarjoihin.

Probabilistisuutta käytetään ainoastaan käsien korotustiheyden määrittämiseksi. Tässä korotustiheys on määrätty siten, että ensimmäisen vaiheen arvoksi PFR tulisi suunnilleen 1.0 tai hieman alle. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jaon ensimmäisessä vaiheessa korotetaan yhtä usein tai hieman harvemmin kuin maksetaan. Korkeampikin korotustiheys voisi olla perusteltua, mutta tässä tapauksessa tähän on päädytty, jotta aggressiivisuus pelissä olisi sopivasti tasapainossa muiden vaiheiden kanssa.

5.1.2 Käden vahvuuden evaluointi

Oman käden vahvuuden evaluointiin järjestelmä käyttää yksinkertaista - luvussa 3 kuvattua menetelmää, jossa käden sen hetkisen vahvuuden lisäksi otetaan huomioon positiivinen ja negatiivinen potentiaali seuraavan kortin osalta käden kokonaisvahvuuden määrittämiseksi.

Vastustajan käden vahvuuden evaluointi on suoritettu ainoastaan vastustajan jaon ensimmäisen vaiheen jälkeen tekemien toimintojen perusteella. Käytössä on rinnan kaksi menetelmää, joista ensimmäinen on yksinkertainen funktio, jossa vastustajan oletettu käden vahvuus riippuu ainoastaan vastustajan näissä kolmessa eri vaiheessa tekemistä toiminnoista. Meneillään olevassa vaiheessa tehtyjen toimintojen vaikutus on tässä ratkaisussa suurempi kuin aikaisemmissa vaiheissa. Tässä menetelmässä ei käytetä ollenkaan vastustajan mallinnusta. Menetelmä ei pyri olemaan kovinkaan tarkka, vaan antamaan ainoastaan likimääräisen approksimaation, jota käytetään ennen kuin tarpeeksi informaatiota vastustajan pelistä on saatavilla.

Toista menetelmää käytetään, kun kyseistä vastustajaa vastaan on pelattu tarpeeksi suuri määrä jakoja. Tässä menetelmässä ei pyritä määrittämään vastustajan sen hetkistä käden vahvuutta, vaan käden vahvuus lopussa, kun jako päättyy käsien vertailuun. Tämän vastustajan mallinnuksen avulla saadun käden vahvuuden perusteella voidaan evaluointifunktiossa tarvittava todennäköisyys voitolle, käsien vertailussa, saada laskemalla sen suhde oman käden vahvuuteen.

5.1.3 Toimintojen odotusarvojen estimointi

Toimintojen odotusarvojen estimointi on toteutettu edellisessä luvussa kuvatulla, toiminnon kokonaisodotusarvon laskevalla evaluointifunktiolla. Funktiossa tarvittavat parametrit tuotetaan aluksi yksinkertaisilla heuristisilla funktioilla, jotka anta-

vat karkean approksimaation evaluointifunktion vaatimista parametreista. Jakojen määrän kasvaessa pyritään käyttämään suoraan vastustajan mallinnuksen avulla tuotettuja arvoja.

5.1.4 Vastustajan mallinnus

Vastustajan mallinnuksena käytettävässä menetelmässä kerätään muutamia yksittäisiä parametreja vastustajasta, mutta tämän lisäksi vastustajan toiminnoista tallennetaan polkuja, joiden perusteella voidaan päätellä sekä vastustajan käden vahvuus loppuun asti pelatuissa jaoissa, että myös vastustajan todennäköisyys luopua korteistaan. Menetelmässä jokaisen pelatun jaon toimintoketju, lukuun ottamatta jaon ensimmäistä vaihetta, tallennetaan kokonaisuudessaan järjestelmään. Myöhemmissä jaoissa kyseisen jaon sen hetkistä toimintoketjua verrataan aikaisempiin toimintoketjuihin, ja mikäli siihen mennessä yhtenäisiä toimintoketjuja löytyy riittävästi, evaluointifunktiossa tarvittavat parametrit määritellään suoraan näiden toimintoketjujen keskiarvona.

Käytännössä menetelmä toimii siis siten, että kun toiminnon odotusarvoa estimoidaan, verrataan tällä uudella toiminnolla lisättyä sen hetkistä toimintoketjua vastustajaan vastaan pelattuihin aiempiin toimintoketjuihin. Mikäli kyseiseen pelitilanteeseen nähden yhtenäisiä toimintoketjuja on tallennettu riittävästi, pystytään vastustajan todennäköisyydelle luopua kädestään ja vastustajan käden vahvuudelle korttien näytössä, muodostamaan arvot suoraan näiden ketjujen perusteella.

Mikäli aikaisempia yhteneviä toimintoketjuja ei vielä ole kertynyt riittävästi kyseisestä vastustajasta, voidaan käyttää myös kerättyjä yksittäisiä parametreja, vastustajan korteista luopumisen määrittämiseksi. Kerätyt parametrit eivät pyri olemaan edes kovin kattavia, koska kuten edellä on mainittu ne toimivat ainoastaan varsin karkeana approksimaationa ennen kuin riittävä määrä toimintoketjuja on saatavilla.

5.2 Järjestelmän rakentaminen

Edellä on kuvattu esimerkkijärjestelmä eri elementteineen. Tässä luvussa on kuvattu se, kuinka näihin ratkaisuihin päädyttiin ja mitä vaihtoehtoisia ratkaisuja voidaan käyttää edellä kuvattujen lisäksi. Valitut menetelmät eivät välttämättä ole parhaat mahdolliset, mutta tässä on tarkoitus esittää myös syyt valinnoille. Toisaalta myöskään aikarajan puitteissa ei ole ollut mahdollista testata eri menetelmiä rinnan, joten tästä syystä niiden välisistä eroista toimivuuden suhteen ei voida antaa luotettavia

arvioita.

5.2.1 Vastustajan mallinnus

Aluksi järjestelmän vastustajan mallinnuksena kokeiltiin tilastollista vastustajan mallinnusta. Tämänkaltaisessa vastustajan mallinnuksessa on tärkeää valita huolella parametrit, joita mallinnuksessa käytetään. Tietysti parametreja voidaan valita jopa satoja, mutta tällöin evaluointifunktion ja vastustajan käden vahvuuden määrittämisestä voi tulla liian monimutkaista. Oikealla parametrivalinnalla taataan se, että järjestelmä pysyy hyvin hallittuna, mutta samalla taataan riittävä pelillinen vahvuus. Vastustajanmallinnusta kokeiltiin seuraavilla parametreilla:

- Käsien kokonaismäärä.
- Pelattujen käsien määrä.
- Eri vaiheisiin pelattujen käsien määrät.
- Loppuun asti pelattujen käsien määrä.
- Panostusten ja korotusten määrä.
- Maksujen määrä.

Näistä voidaan laskea mallinnuksessa tarvittavat tilastoparametrit, kuten VPIP, PFR ja AF. Lisäksi meneillään olevasta jaosta pidetään tallessa tiedot jokaisen panostuskierroksella tehtävistä panostuksien ja korotuksien määrästä, sekä kokonaispanostuksen määrästä, jotta voidaan evaluoida vastustajan käden vahvuutta.

Ongelmia aiheutti kuitenkin se, että parametrien määrä ei riitä kuvaamaan tarpeeksi tarkasti vastustajan käyttäytymistä. Esimerkiksi eri vaiheissa luovutuista käsistä ei voida tehdä kovin luotettavia päätelmiä vastustajan todennäköisyydestä luopua kädestä kyseisessä vaiheessa jakoa, saati sitten seuraavissa vaiheissa jakoa, mikäli esimerkiksi panostetaan, vaan tämä vaatisi useampia erilaisia parametreja.

Tässä käytettiin mallinnusta, joka perustuu ainoastaan tilastollisiin parametreihin. Vastaavasti oltaisiin voitu käyttää myös vastustajan mallinnusta, jota päivitetäisiin havainnoilla. Tällaisissa järjestelmissä voidaan toki myös prioritietona käyttää asiantuntijatietämystä apuna määrittämään parametrit vastaamaan aluksi keskimääräistä vastustajaa.

Järjestelmässä lopulta käytettävään menetelmään päädyttiin, koska se luonnollisella tavalla yhdistää aluksi käytettävän asiantuntijatietämyksen, mutta myöhemmin havaintojen lisääntyessä perustuu ainoastaan tehtyihin havaintoihin.

5.2.2 Vastustajan käden vahvuuden määrittäminen

Vastustajan käden vahvuuden määrittäminen voidaan suorittaa myös kaksivaiheisesti, toisin kuin esimerkkijärjestelmän tapauksessa. Yhtenä vaihtoehtona käytetylle menetelmälle on seuraavana kuvattava menetelmä.

Vastustajan ensimmäisessä vaiheessa suorittamien toimintojen pohjalta johdetaan todennäköisyydet vastustajan kaikille mahdollisille erilaisille aloituskäsille (169) siten, että vastustajan toimintojen pohjalta painotetaan todennäköisimpiä vaihtoehtoja. Muissa vaiheissa tästä johdetaan todennäköisyydet kaikille erilaisille kahden kortin kombinaatioille, joiden pohjalta lasketaan vastustajan käden vahvuus OHS seuraavasti:

$$OHS = \sum_i (P_h(i) \times HS(i)), \quad (16)$$

jossa $P_h(i)$ on käden i todennäköisyys ja $HS(i)$ sen vahvuus.

Korttikombinaatioista on tietysti poistettava ne kahden kortin kombinaatiot, jotka sisältävät jonkun tunnetuista korteista. Tämän jälkeen vastustajan käden vahvuus voidaan määrittää tämän ensimmäisen vaiheen todennäköisyyksien mukaan lasketun vahvuuden ja muissa vaiheissa tehtyjen toimintojen perusteella. Muissa vaiheissa voidaan päivittää esimerkiksi eri korttikombinaatioiden todennäköisyyttä tai vaihtoehtoisesti ensimmäisen vaiheen jälkeen laskettua vahvuutta.

Tässä menetelmässä käytettävällä funktiolla, jolla päivitetään todennäköisimpiä korttikombinaatioita tai käden vahvuutta on tärkeä merkitys. Se voidaan perustaa esimerkiksi asiantuntijatietämykseen tai vaihtoehtoisesti myös tämän lisäksi jakojen määrän kasvaessa havaintoihin, kuten luvussa kolme on esitetty.

Käytetty menetelmä valittiin kuitenkin sen vaatiman pienemmän asiantuntijatietämyksen sekä kevyemmän algoritmisuuden vuoksi. Menetelmän haittana on kuitenkin se, että ensinnäkään se ei ota ollenkaan huomioon jaon ensimmäisessä vaiheessa tehtyjä toimintoja. Lisäksi se ei myöskään pyri päättelemään vastustajan mahdollista korttijakaumaa, vaan ainoastaan vastustajan käden vahvuutta, joten sen avulla ei pysty päättelemään pöytään tulevien korttien, vaan ainoastaan vastustajan tekemien toimintojen, vaikutusta vastustajan käden vahvuuteen.

5.2.3 Vastustajan toimintojen ennakoiminen

Yksinkertaisimmalta tuntuva menetelmä vastustajan toimintojen ennakoimiseen on johtaa ne suoraan lasketusta vastustajan käden vahvuudesta asiantuntijatietämykseen perustuen. Tässä on kuitenkin ongelmana se, että tilanteet vaihtelevat huomattavasti, vaikka käden vahvuus onkin sama. Tilannetta voidaan kohentaa, käyttämällä myös tätä varten tiettyjä tilastollisia parametreja. Käytetyn funktion muodostamisesta voi kuitenkin tässä tapauksessa tulla hankalaa ja lisäksi sen toiminnan muokkaaminen ja testaaminen voi olla vaikeasti hallittava.

Määritettäessä evaluointifunktion tarvitsemia parametreja, ei vastustajan toimintojen yksityiskohtainen ennakoiminen ole välttämätöntä, mikäli käytetään erilaisia skenaarioita, joiden summana evaluointifunktio muodostetaan, kuten edellisessä luvussa on esitetty. Tämän kaltaisessa ratkaisussa tarvitaan kuitenkin vastustajan mallinnuksessa paljon erilaisia parametreja, jotta voidaan johtaa todennäköisyydet eri skenaarioille. Tästä syystä esimerkijärjestelmässä valittiin kuvattu, menetelmä, jossa vastustajan toiminnot on suoraan johdettavissa vastustajan mallinnuksen avulla. Tämä menetelmä sopii erityisesti kaksinpeliin. Useamman vastustajan pelissä kuvattu skenaariomalli voi olla käyttökelpoisempi.

5.3 Järjestelmän testaus

Järjestelmän testaus voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Ensinnäkin järjestelmän rakennusaikaiseen testaamiseen, jonka tarkoituksena on valita oikeat menetelmät eri toiminnallisuuksien toteuttamiseksi ja toiseksi järjestelmän pelitason testaamiseen, jotta voidaan arvioida luotettavasti sitä, mikä järjestelmän todellinen pelitaso on.

Järjestelmän rakennusaikaisessa testauksessa voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi joitakin sopivia suorituskykykymittareita tarjoavia järjestelmiä. Ongelmaksi kuitenkin muodostuu se, että tällöin mikäli järjestelmää muutetaan pärjäämään paremmin kyseistä testijärjestelmää vastaan, ei ole mitään takeita siitä, että järjestelmän pelitaso todellisuudessa nousisi, vaan käytännössä tilanne voi olla jopa päinvastainen. Lisäksi kehitysaikaisessakin testaamisessa voidaan joutua kerralla pelaamaan useita satoja käsiä, joten testaaminen voi olla hyvin hidasta.

Toinen mahdollinen ratkaisu kehitysaikaiseen testaamiseen on pelata itse järjestelmää vastaan. Tässä tapauksessa oma kokemus kyseisestä pelimuodosta on ratkaisevan tärkeä, jotta voidaan riittävän nopeasti ja luotettavasti löytää mahdolliset puutteet järjestelmän pelissä. Mikäli testaaajan oma pelitaso ei ole riittävä, vaadi-

taan huomattavasti enemmän testausta erilaisia järjestelmiä vastaan.

Pokerin tekoälyjärjestelmää rakennettaessa on myös syytä kiinnittää huomiota eri osa-alueitten vaikutuksesta järjestelmän pelikykyyn. Kehitysaikaista testaamista vaikeuttaa huomattavasti se, että järjestelmä on yleensä hyvin haavoittuva ja esimerkiksi yhden parametrin muuttaminen voi vaikuttaa hyvin ratkaisevasti järjestelmän pelikykyyn [BDS02]. Vastaavasti tämä tekee myös ohjelmointivirheistä erittäin fataaleja, sillä pienikin virhe voi tietyissä tapauksissa vaikuttaa katastrofaalisesti järjestelmän pelitasoon.

5.3.1 Pelitason testaus

Pokerin tekoälysovelluksen pelitason testaamisessa on eräitä tärkeitä seikkoja, jotka tulee ottaa huomioon, että voidaan taata riittävän tarkat ja oikeelliset testitulokset. Ensinnäkin pokerin satunnaisuus aiheuttaa sen, että testauksessa käytettävien jakojen määrän tulee olla riittävän suuri, jotta voidaan taata luotettavat, tilastollisesti merkitsevät tulokset. Toisaalta suuri käsien määrä saattaa antaa kohtuuttoman edun niille järjestelmille, joilla on kyky adaptoitua vastustajan pelityylin mukaan. Toinen merkittävä seikka on järjestelmän kyky pelata erilaisia vastustajia vastaan. Usein on mahdollista luoda järjestelmä, joka toteuttaa niin sanottua vastastrategiaa jotain tiettyä pelityyliä tai vastustajaa vastaan. Tällöin järjestelmän kyky pelata muita, eri tyyliä, vastustajia vastaan voi kuitenkin olla rajoittunut. Tästä syystä onkin tarkoituksenmukaista testata järjestelmää useita eri tyyliä vastustajia vastaan, jotta voidaan todeta sen toimivuus/toimimattomuus eri tilanteissa.

Testausmenetelmänä yksinkertainen jakojen pelaaminen eri tyyliä vastustajia vastaan ei yleensä ole riittävän luotettava menetelmä sen takaamiseksi, että saadut tulokset ovat riittävän oikeellisia. Tämä käy parhaiten esille siinä tapauksessa, jos järjestelmien väliset erot ovat hyvin pieniä [Bil06]. Toisaalta, mikäli tarkoituksena ei ole määrittää tarkkaa pelitasoa, vaan ainoastaan varmistua esimerkiksi erilaisten menetelmien soveltuvuudesta jatkotutkimukseen, saadaan yksinkertaisillakin pelituloksilla helposti suuntaa antavia tuloksia. Viime aikoina on kuitenkin myös kehitetty erilaisia analysointimenetelmiä [ZBB06], joilla voidaan karsia satunnaisuuden vaikutusta, mutta myös muita mahdollisia ratkaisuja testausongelmaan on olemassa.

Mikäli halutaan pienentää varianssia, mutta vastaavasti pitää pelatut sarjat suhteellisen lyhyinä, jotta ne vastaavat todellista tilannetta ja oppivat järjestelmät eivät saa kohtuutonta etua, voidaan myös pelata useita lyhyempiä sarjoja siten, että vastus-

tajan mallinnuksen tallentamat tiedot tyhjennetään sarjojen välissä. Kaksinpelissä luotettavampia testituloksia voidaan saavuttaa myös sillä, että tuplataan jokainen pelattu jako siten, että jokainen jako toistetaan riippumattomasti. Tässä tapauksessa jokainen jako tulee pelatuksi myös alkuperäisen jaon aseman suhteen vastakkaisesta tilanteesta, mutta vaikka menetelmä vähentääkin varianssia, se ei poista satunnaisuuden vaikutusta kokonaan [Bil06].

Mikäli järjestelmät ovat hyvin tasaväkisiä voi testausaika nousta helposti hyvin pitkäksi. Erityisillä satunnaisuuden vaikutuksen karsimiseksi kehitetyillä menetelmillä, voidaan sen lisäksi, että saadaan luotettavampia tuloksia, myös vähentää testauksessa tarvittavien jakojen määrää. Esimerkiksi mikäli pelatut kädet analysoidaan DIVAT -järjestelmän avulla, tarvitaan pelattuja käsiä ainoastaan noin kuudesosa verrattuna tilanteeseen, jossa erillistä analysointiohjelmalla ei käytetä [ZBB06].

5.3.2 Testitulokset

Järjestelmän pelitasoa on testattu Poker Academy Pro -ohjelman [PA] pelialustalla kolmea eri järjestelmää vastaan, seuraavin tuloksin:

- Poki (Pokibrat), $n = 3500$, $p = 53.00$, $p/h = 0.015 \pm 0.10$
- Vexbot, $n = 3500$, $p = -847.50$, $p/h = -0.242 \pm 0.10$
- Sparbot, $n = 3500$, $p = -81.50$, $p/h = -0.023 \pm 0.10$

Näistä Sparbot- ja Vexbot-järjestelmät ovat samat järjestelmät, joita vastaan pelatut testisarjat on esitelty luvussa kolme. Pokibrat taas on Poki-järjestelmän variantti, jossa asetukset on pyritty muokkaamaan tukemaan kaksinpelin erikoisvaatimuksia.

Jokaista järjestelmää vastaan pelattiin 3500 kättä. Kyseinen käsien määrä on järjestelmän todellisen pelikyvyn määrittämisen mittarina lähinnä suuntaa antava, koska sarjojen perusteella ei voida esimerkiksi tehdä varmoja johtopäätöksiä parien välisistä paremmuuksista. Toisaalta sarjat ovat kuitenkin riittävän pitkiä todentamaan sen, että järjestelmä kykenee kilpailukykyiseen peliin testijärjestelmiä vastaan - lukuun ottamatta Vexbot-järjestelmää. Erot kahta muuta järjestelmää vastaan pelitasossa ovat kuitenkin niin pieniä, että ne mahtuvat vaihteluvälin rajoihin.

Vexbot-järjestelmää vastaan on huomattavissa pelin etenemistä seuraavasta käyrästä (kuva 6), että alussa järjestelmä oli varsin kilpailukykyinen, mutta sen jälkeen

noin tuhat käden kohdalta alkaen, Vexbot-järjestelmän tuotto suhteessa kuvattuun järjestelmään on varsin merkittävä.



Kuva 6: Rakennetun järjestelmän testisarjan kulku Vexbot-järjestelmää vastaan.

Huomattavaa on, että jo näistä tuloksista voidaan vetää selviä johtopäätöksiä järjestelmän pahimmista puutteista, joita on käsitelty jäljempänä. Samalla on käsitelty ongelmakohtien ratkaisuehdotuksia.

Vexbot-järjestelmä, joka pyrkii löytämään vastastrategioita, tarjoaa myös järjestelmän kehittäjälle hyvän mahdollisuuden löytää pahimmat puutteet järjestelmänsä pelistä. Esimerkiksi testisarjasta oli selvästi nähtävissä, että järjestelmän pelissä pahimmiksi yksittäisiksi puutteiksi nousi luopuminen heikohkoista käsistä tilanteissa, joissa vastustajan käsi oli vielä heikompi. Tätä puutetta järjestelmän pelissä, Vexbot-järjestelmä myös aktiivisesti käytti hyödykseen.

5.4 Järjestelmän puutteet ja parannusehdotukset

Testituloksista on huomattavissa, että suurin ongelma järjestelmän pelissä on ennakoitavuus, joka näkyi erityisesti siinä, että Vexbot-järjestelmä pystyi käyttämään hyväkseen tilanteita, joissa kummankaan järjestelmän kädet eivät olleet erityisen vahvoja. Tähän voidaan löytää useampiakin mahdollisia parannuksia. Ensinnäkin evaluointifunktiota olisi pyrittävä kehittämään siten, että se ottaa huomioon koko pelin, yhden jaon sijasta. Toisaalta esimerkiksi toiminnon valitsinta voidaan muokata tukemaan suurempaa variaatiota pelissä. Yksi ratkaisu voi olla myös vastustajan

mallinnuksen kehittäminen siten, että vastustajan mahdolliset adaptoitumiset peliin on huomattavissa tehokkaammin ja tätä kautta järjestelmän omaa adaptoitumista pelin kuluessa voidaan parantaa.

Myös yleistä pelitasoa on aina mahdollista parantaa. Kuten nähdään, tulokset myös kahta muuta järjestelmää vastaan jäävät selvästi niistä tuloksista, joita luvussa kolme on esitetty. Ensinnäkin vastustajan mallinnusta olisi pyrittävä kehittämään siten, että sen adaptoituminen on nopeampaa ja tehokkaampaa. Yksi ratkaisu on käyttää useita rinnakkaisia menetelmiä ja ”äänestystä”. Myös erilaisten parametrien muutokset voivat vaikuttaa suurestikin järjestelmän pelikykyyn. Tässä tapauksessa parametreja ei ole varsinaisesti yritetty optimoida, koska tällöin on suuri mahdollisuus, että järjestelmän todellinen pelitaso ei kohennu, mikäli parametrit on optimoitu juuri käytettyjä testijärjestelmiä vastaan.

Esitettyjen puutosten korjaaminen ei todellakaan ole yksinkertainen tehtävä. Huomattavaa on myös, että mitä korkeammalle tasolle järjestelmää kehitetään, sitä vaikeammaksi puutteiden havaitseminen ja korjaaminen muodostuu. Lisäksi muutosten vaikutusten todentaminen vaatii tarkempia testejä ja sitä kautta enemmän testausaikaa.

6 Yhteenveto ja tulevaisuuden näkymät

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena on ollut tuoda esille tärkeimmät pokerin tekoälyn toteuttamisessa vaadittavat elementit ja havainnollistaa, kuinka tekoäly, yhtä menetelmää käyttäen, voidaan käytännössä toteuttaa. Samalla, kun on esitetty eri menetelmien etuja ja puutteita, on myös pyritty näyttämään, kuinka näitä eri menetelmien etuja voidaan käyttää hyödyksi ja miten näitä ilmenneitä puutteita olisi mahdollista yrittää korjata, luotaessa järjestelmää, joka pyrkii maksimaaliseen tuottoon eri tasoisia vastustajia vastaan.

Kuten edellä on esitetty, tämän tavoitteen saavuttaminen ei ole tekoälytutkimukselle yksinkertainen haaste, vaan edellyttää useiden osatekijöiden huomioon ottamista järjestelmää luotaessa. Lisäksi pelillisen suorituskyvyn testaamisessa on omat ongelmansa, jotka vaikuttavat saavutettujen tulosten luotettavuuteen ja oikeellisuuteen.

Edellisessä luvussa esitetyn järjestelmän testitulokset osoittavat sen, että vaikka järjestelmä ei toteutukseltaan ole virheetön, sen pelitasoa voidaan pitää vähintään kohtuullisena. Pelitason parantaminen siten, että järjestelmä kilpailisi menestyk-

sekkäästi myös parhaita järjestelmiä vastaan, vaatii kuitenkin vielä huomattavasti enemmän ponnisteluja kuin tähän mennessä saavutettu taso itsessään on vaatinut. Kiinteästi rajoitetun Texas hold'em pelin valitsemista testialustaksi puoltaa se seikka, että tutkimus tässä pelimuodossa on laajinta ja myös ihmispelaajia vastaan on siinä saavutettu parhaat tulokset. Tämä takaa sen, että järjestelmän pelillistä suorituskykyä on helpompi arvioida. Toisaalta peliteoriaan perustuvien järjestelmien pitäminen pelillisenä tasomittarina on hieman vääristävä, sillä niiden yleistäminen kaksinpelistä useamman pelaajan ratkaisuksi ei ole yhtä suoraviivaista. Esitetyn ratkaisun pohjalla on kuitenkin ollut pyrkimys siihen, että voitaisiin muodostaa yleiskäyttöinen kehys, jota tarvittaessa voidaan muokata erilaisten pelien erityispiirteitä silmällä pitäen.

Esitettyjen tulosten sekä asetettujen lähtökohtien ja tavoitteiden valossa voidaan nähdä, että järjestelmä tarjoaa varsin selkeän yleiskäyttöisen ratkaisun, jota voidaan käyttää lähtökohtana myös muissa myöhemmin toteutetuissa ratkaisuissa. Vastavasti voidaan nähdä, että vaikka eri menetelmien kehitys viimeisten vuosien aikana alan tutkimuksessa on ollut hyvin voimakas ja nykyinen tutkimus on keskittynyt hyvin voimakkaasti peliteoreettisiin ratkaisuihin, myös muilla ratkaisuilla on mahdollisuus pyrkiä entistä parempiin tuloksiin tällä hetkellä tekoälytutkimuksen kannalta suosituimmassa muodossa, kiinteästi rajoitetussa kaksinpelissä, minkä voidaan nähdä auttavan kehitystä myös muiden pelimuotojen tekoälyn saralla.

6.1 Tekoälysovellukset vs. ihminen

Yksi mielenkiintoisimpia aspekteja pokerin tekoälytutkimuksen saralla on tietysti, kuten muidenkin tutkittujen pelien kohdalla tätä ennen, tekoälyjärjestelmien suoriutuminen parhaita ihmisvastustajia vastaan. Kuten todettua, pokerissa tämä ei ole lähtökohtaisesti aivan identtinen tilanne, esimerkiksi shakkiin verrattuna, koska ihmisten keskuudessa voidaan absoluuttisen kilpailun sijaan nähdä suorituskyvyn mittarina myös maksimaalinen tuotto eri vastustajia vastaan. Tästä syystä myös eri määränpäihin pyrkivät menetelmät voidaan rajata tältä osin eri kategorioihin; niihin, joiden strategia on pyrkiä olemaan voittamaton ja niihin joiden pyrkimys on maksimaalinen tuotto.

Eri pelaajien välisen paremmuuden määrittely, niin tietokoneohjelmien kuin ihmistenkin osalta, on usein hyvin hankalaa. Tämä on otettu huomioon myös esimerkiksi pokerin tekoälyohjelmille suunnatussa Computer Poker Competition -tapahtumassa

[CPC07], jossa kiinteästi rajoitettua Texas hold'emia pelaaville järjestelmille on kaksi erillistä sarjaa. Toisessa paremmuus on ratkaistu keskimääräisen voittomarginaalin avulla, absoluuttisen paremmuuden - kenellä eniten voittoja toisia vastaan - sijaan. Ihmistä vastaan pelatussa ensimmäisessä ”mestaruusturnauksessa” [MMP07] on ymmärrettävää, että tulokset perustuivat vastustajien väliseen absoluuttiseen paremmuuteen. Muutenkin mikäli tietokonejärjestelmän tarkoituksena on kyetä voittamaan paras ihmispelaaja, kuten muissa peleissä tätä aikaisemmin, on tämän kaltainen lähestymistapa hyvin luonnollinen. Toisaalta pokerissa pelaajien välinen vaihtelu voi olla hyvinkin suurta.

Nyrkkeilyssä käytetään lentävää lausahdusta ”styles make fights” kuvastamaan sitä tilannetta, miten erilaisten ottelijoiden tyyli ja ottelutaktiikat johtavat siihen, että vaikka ottelija *A* on helposti lyönyt ottelijan *B*, jolle taas ottelija *C* on hävinnyt, niin tämä ei automaattisesti takaa sitä, että ottelija *A* lähtisi selvänä ennakkosuosikkina ottelijaa *C* vastaan, vaan tilanne voi olla jopa päinvastainen.

Pokerissa tilanne on hieman samankaltainen. Koska pelaajien pelityyleissä on hyvin voimakkaita eroja, eivät strategiat, jotka toimivat hyvin toista pelaajaa vastaan, välttämättä ole enää yhtä menestyksekkäitä jotain toista pelaajaa vastaan. Toki hyvä pelaaja osaa muuttaa peliään vastustajan mukaan, mutta yleensä pelissä on kuitenkin nähtävissä tietyille pelaajille ominaisia piirteitä, jotka ilmenevät muutoksista huolimatta pelissä.

Näistä syistä johtuen on nähtävissä, että pokerissa, vaikka tietokonejärjestelmät pystyisivät voittamaan eräitä parhaisiin lukeutuvia ihmispelaajia, ei ole mitään takeita, että tämä tulos yleistyisi koskemaan myös muita parhaisiin kuuluvia pelaajia. Tässä mielessä kuitenkin peliteoreettiset ratkaisut ovat hyvin käytännöllisiä, koska mikäli järjestelmä kykenee hyvin lähelle optimaalista peliä, voidaan olla ainakin varmoja, että yksikään vastustaja ei pysty parempaan tulokseen järjestelmää vastaan kuin on järjestelmän poikkeama peliteoreettisesta optimaalista.

Kaiken kaikkiaan Texas hold'em in kaikissa pelimuodoissa riittää haastetta tekoälytutkimuksessa myös ihmistä vastaan käytävässä kilpailussa. Vaikka kiinteästi rajoitetussa kaksinpelissä tulokset ovat olleet varsin hyviä, ja voidaan olettaa, että lähivuosien aikana eri järjestelmät voittavat ihmisen kamppailussa paremmuudesta, niin todennäköisesti tämä tulos tulee ainoastaan kiihdyttämään tutkimusta myös muiden pelimuotojen saralla.

6.1.1 Uhka internetpokerille

Automaattiset pokeria pelaavat tekoälyjärjestelmät eli ”botit” ovat herättäneet ymmärrettävää keskustelua myös internetpokeria pelaavien keskuudessa eri keskustelupalstoilla [PoT, 2p2]. Tähän on osaltaan vaikuttanut se, että esimerkiksi kiinteästi rajoitetussa Texas hold'em pelissä, on tässäkin työssä esitetyillä menetelmillä, jopa karsittuina, mahdollista toteuttaa järjestelmiä, jotka sovitettuna tietylle pelitasolle tarjoavat todellisen uhan alhaisilla tasoilla pelaaville harrastelijoille, kaikilla pelaajamäärillä. Näissä peleissä, yhtä vastustajaa vastaan pelattujen jakojen määrä ei yleensä nouse edes kovin suureksi, joten menetelmien toteuttaman vastustajan mallinnuksen ja vastustajan pelityyliin adaptoitumisen ei tarvitse olla samalla tasolla kuin kovemman kilpailun tarjoaviin ympäristöihin suunniteltujen järjestelmien.

Vaikka tekoälyjärjestelmien pelitaso normaalissa rajoittamattomassa Texas hold'em pokerissa, ei vielä yllä samalle tasolle kuin kiinteästi rajoitetussa pelissä, on myös esimerkiksi tällä saralla herännyt epäilyjä käytetyistä tekoälyjärjestelmistä. Tämä koskee varsinkin yhden pöydän turnausmuotoisia ”sit and go” -pelejä, joissa monesti turnausrakenne suosii hyvin aggressiivista ja suoraviivaista peliä. Tämä muoto avaa mahdollisuuden varsin yksinkertaisiakin strategioita hyödyntävien järjestelmien mahdolliselle toimivuudelle alhaisilla tasoilla.

Automaattisten tekoälyjärjestelmien käyttö internetpokerissa on yleensä kielletty palveluntarjoajan säädöksissä ja esitetyt väitteet tekoälyjärjestelmien käytön yleisyydestä internetpokerissa ovat tietysti hyvin spekulatiivisia, eikä väitteiden todentamiseksi useinkaan ole mahdollista todentaa. Kuitenkin on huomattava, että pelkkä uhka siitä, että vastassa voi olla ihmisen sijaan tietokoneohjelma, voi karkottaa osan pelaajista internetpokerin parista. Tätä taustaa nähden myös palveluntarjoajat käyttävät erilaisia menetelmiä havaitakseen mahdollisia väärinkäytöksiä [Mil06].

6.2 Tulevaisuuden tutkimuskohteita

Rajoittamattoman Texas hold'em pelin osalta tutkimus ei ole vielä aivan yhtä pitkällä kuin kiinteästi rajoitetussa. Kuitenkin esimerkiksi mainitussa Computer Poker Competition -tapahtumassa on sarja myös rajoittamatonta peliä pelaaville järjestelmille. Todennäköistä onkin, että lähiaikoina tutkimuksen painopiste on siirtymässä myös tähän suuntaan. Syitä tähän voi nähdä useita. Ensinnäkin rajoittamaton Texas hold'em on huomattavasti suositumpi ja tunnetumpi pelimuoto maailmanlaajuisesti kuin kiinteästi rajoitettu. Toiseksi se on tekoälyjärjestelmille haastavampi

tutkimuskohde ja tarjoaa sitä kautta enemmän mahdollisuuksia uusille ratkaisuille. Osaltaan tutkimuksen painopisteeseen voi vaikuttaa myös se, että vaikka useamman pelaajan peleissä tulokset ovat olleet heikompia ja näiden pelien tarjoamat haasteet ovat varsin erilaisia luonteeltaan kuin kaksinpelissä, niitä ei nähdä tutkijayhteisössä yhtä houkuttelevina kuin kaksinpelejä. Tähän on löydettävissä ainakin kaksi erisyyttä. Ensinnäkin kaksinpelissä pelaajien välinen paremmuus on helpommin todennettavissa ja toiseksi pelien tekoälytutkimuksessa on lähtökohtaisesti tutkittu juuri kaksinpelejä, kuten tammea ja shakkia. Pokerissa sen sijaan pelit ovat perinteisesti koostuneet useasta pelaajasta, mutta internetpokerin suosio on muuttanut myös tätä siten, että varsinkin internetissä pokeria pelataan nykyisellään entistä pienemmällä määrällä pelaajia, jopa kaksinpelinä.

Toisaalta myös useamman pelaajan kiinteästi rajoitettu Texas hold'em tarjoaa huomattavasti laajemmat mahdollisuudet erilaisille uusille menetelmille kehitettäessä parempaa tekoälyä itse peliin, mutta myös kehitettäessä yleisiä tekoälysovelluksia pokerin avulla. Siinä missä kaksinpelellä on keskittynyt hyvin voimakkaasti peliteoreettisten approksimaatioiden ympärille, on näiden kehittäminen useamman pelaajan Texas hold'emiin huomattavasti hankalampaa. Tämä johtuu yksinkertaisesti erilaisien pelitilojen oleellisesta kasvavasta määrästä. Usean pelaajan Texas hold'em pelissä on myös useita seikkoja, jotka tekevät järjestelmän pelitason määrittämisestä huomattavasti hankalampaa kuin kaksinpelissä. Näitä ovat esimerkiksi vastustajien valinta ja kaksinpelellä hankalampi satunnaisuuden vaikutusten määrittäminen.

Rajoittamattomassa pelissä yksittäisten väärin ratkaisujen kustannus on huomattavasti merkittävämpi kuin kiinteästi rajoitetussa pelissä. Rajoittamaton panostusmahdollisuus vaikuttaa tätä kautta pelin strategiaan mahdollisuuksiin siten, että voittavaan peliin voidaan pyrkiä hyödyntämällä vastustajan virheitä. Tämän kaltaisen lähestyminen korostaa vastustajan mallinnuksen tärkeyttä ja antaa uusia mahdollisuuksia sen toteuttamiselle siten, että kaikkien käyttäytymismallien sijaan pyritään havainnoimaan syitä vastustajan käyttäytymisessä, jotka johtivat virheisiin päätöksenteossa [CPA07].

Kaiken kaikkiaan pokeri ongelmakenttänä tarjoaa jatkossakin paljon erilaisia mahdollisuuksia tekoälytutkimukselle järjestelmien pelitason kohentamiseksi, mutta samalla myös yleisen tekoälytutkimuksen saralla hyväksi käytettäväksi.

Lähteet

- 2p2 The 2+2 forums. URL <http://forumserver.twoplustwo.com/ubbthreads.php>.
- Abr05 Abraham, A., Rule-based expert systems. Teoksessa *Handbook of Measuring System Design*, Wiley, 2005.
- BBD03 Billings, D., Burch, N., Davidson, A., Holte, R., Schaeffer, J., Schauenberg, T. ja Szafron, D., Approximating game-theoretic optimal strategies for full-scale poker. *Proceedings of the Eighteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2003, URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/IJCAI03.html>.
- BDS04 Billings, D., Davidson, A., Schauenberg, T., Burch, N., Bowling, M., Holte, R., Schaeffer, J. ja Szafron, D., Game tree search with adaptation in stochastic imperfect information games. *Proceedings of the Computers and Games: 4th International Conference (CG'04)*, 2004.
- BDS02 Billings, D., Davidson, A., Schaeffer, J. ja Szafron, D., The challenge of poker. *Artificial Intelligence*, 134,1-2(2002), sivut 201–240. URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/AIJ02.html>.
- Bil06 Billings, D., *Algorithms and Assessment in Computer Poker*. Väitöskirja, University of Alberta, syyskuu 2006. URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/billings.phd.html>.
- BPP99 Billings, D., Papp, D., Peña, L., Schaeffer, J. ja Szafron, D., Using selective-sampling simulations in poker. *Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Search Techniques for Problem Solving under Uncertainty and Incomplete Information*, 1999, sivut 13–18, URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/AAAISS99.html>.
- BPSS98 Billings, D., Papp, D., Schaeffer, J. ja Szafron, D., Opponent modeling in poker. *Proceedings of the Fifteenth National Conference of the American Association for Artificial Intelligence (AAAI)*, 1998, sivut 493–499, URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/AAAI98.html>.

- BPS98 Billings, D., Papp, D., Schaeffer, J. ja Szafron, D., Poker as an experimental testbed for artificial intelligence research. *Proceedings of the Advances in Artificial Intelligence Research (Canadian Society for Computational Studies in Intelligence)*, 1998, sivut 228–238, URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/CSCSI98.html>.
- BPS99 Billings, D., Peña, L., Schaeffer, J. ja Szafron, D., Using probabilistic knowledge and simulation to play poker. *Proceedings of the Sixteenth National Conference of the American Association for Artificial Intelligence (AAAI)*, 1999, sivut 697–703, URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/AAAI99.html>.
- CPA07 Chaddock, G., Pickett, M., Armstrong, T. ja Oates, T., Models of strategic deficiency and poker. *Working Notes of the AAAI Workshop on Plan, Activity, and Intent Recognition (PAIR)*, 2007, sivut 31–36, URL http://www.coral-lab.org/~arm1/armstrong_pair_07.pdf.
- CPC07 2007 aai computer poker competition. URL <http://www.cs.ualberta.ca/~pokert/>.
- Dah01 Dahl, F. A., A reinforcement learning algorithm applied to simplified two-player texas hold'em poker. *ECML*, 2001, sivut 85–96.
- Dav02 Davidson, A., Opponent modeling in poker: Learning and acting in a hostile and uncertain environment. Pro gradu, University of Alberta, 2002. URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/davidson.msc.html>.
- DBS00 Davidson, A., Billings, D., Schaeffer, J. ja Szafron, D., Improved opponent modeling in poker. *Proceedings of the 2000 International Conference on Artificial Intelligence (ICAI'2000)*, 2000, sivut 1467–1473, URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/ICAI00.html>.
- Gor05 Gordon, P., *Phil Gordon's Little Green Book: Lessons and Teachings in No Limit Texas Hold'em*. Simon Spotlight Entertainment, 2005.
- GiS01 Gigerenzer, G. ja Selten, R., *Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox*. MIT Press, 2001.

- GiS06 Gilpin, A. ja Sandholm, T., A competitive texas hold'em poker player via automated abstraction and real-time equilibrium computation. *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*, 2006, URL <http://www.cs.cmu.edu/~sandholm/texas.aaai06.pdf>.
- GiS07 Gilpin, A. ja Sandholm, T., Better automated abstraction techniques for imperfect information games, with application to texas hold'em poker. *Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS)*, 2007, URL <http://www.cs.cmu.edu/~sandholm/gS2.aamas07.pdf>.
- HC2 Lähtökäsien järjestys kahden pelaajan pelissä. URL <http://wizardofodds.com/holdem/2players.html>.
- Joh07 Johanson, M., Robust strategies and counter-strategies: Building a champion level computer poker player. Pro gradu, University of Alberta, lokakuu 2007. URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/johanson.msc.html>.
- KaF05 Kahneman, D. ja Frederick, S., A model of heuristic judgment. Teoksessa *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning*, Cambridge University Press, 2005.
- KoM92 Koller, D. ja Megiddo, N., The complexity of two-person zero-sum games in extensive form. *Games and Economic Behavior*, 4,4(1992), sivut 528–552. URL <http://ai.stanford.edu/~koller/papers.cgi?entry=Koller+Megiddo:GEB92>.
- KNJ99 Korb, K., Nicholson, A. ja Jitnah, N., Bayesian poker. *Proceedings of the Fifteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-99)*, 1999.
- KoP95 Koller, D. ja Pfeffer, A., Generating and solving imperfect information games. *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, Montreal, Canada, August 1995, sivut 1185–1192, URL <http://ai.stanford.edu/~koller/papers.cgi?entry=Koller+Pfeffer:IJCAI95>.

- Mil06 Miller, E., Bots, cheating, and online poker, 2006. URL <http://www.notedpokerauthority.com/articles/bots-cheating-and-online-poker.html/>.
- MMP07 The first man-machine poker championship. URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/man-machine/>.
- MSM04 Miller, E., Sklansky, D. ja Malmuth, M., *Small Stakes Hold'em: Winning Big with Expert Play*. Two Plus Two Publishing, 2004.
- PA Poker academy pro -ohjelma. URL <http://www.poker-academy.com>.
- Peñ99 Peña, L., Probabilities and simulations in poker. Pro gradu, University of Alberta, 1999. URL <http://www.cs.ualberta.ca/~jonathan/Grad/pena/thesis.html>.
- PeJ00 Pearl, J., *Causality: Models, Reasoning, and Inference*. Cambridge University Press, 2000.
- POC Texas hold'em poker odds calculator. URL http://www.cardplayer.com/poker_odds/texas_holdem.
- PoT Pokeritieto, suomalainen pokeriharrastajien keskustelufoorumi. URL <http://www.pokeritieto.fi>.
- PT Poker tracker -analysointiohjelma. URL <http://www.pokertracker.com>.
- RuN03 Russel, S. ja Norvig, P., *Artificial Intelligence A Modern Approach (International Edition)*. Prentice Hall, 2003.
- SBP99 Schaeffer, J., Billings, D., Peña, L. ja Szafron, D., Learning to play strong poker. *Proceedings of the Sixteenth International Conference on Machine Learning (ICML-99)*, 1999, URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/ICML99.html>.
- Sch06 Schauenberg, T., Opponent modelling and search in poker. Pro gradu, University of Alberta, 2006. URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/schauenberg.msc.html>.
- ToP94 Sklansky, D., *Theory of Poker*. Two Plus Two Publishing, 1994.

- SkM99 Sklansky, D. ja Malmuth, M., *Hold'em Poker for Advanced Players (21st Century Edition)*. Two Plus Two Publishing, 1999.
- SaT06 Sandven, A. ja Tessem, B., A case-based learner for poker. *Proceedings of the Ninth Scandinavian Conference on Artificial Intelligence (SCAI 2006)*, 2006, sivut 159–167, URL <http://www.stes.fi/scai2006/proceedings/159-167.pdf>.
- StW00 Stanovich, K. E. ja West, R. F., Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate? *Behavioral and Brain Sciences*, 23,5(2000), sivut 645–726.
- UAP The university of alberta, computer poker research group. URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/>.
- ZBB06 Zinkevich, M., Bowling, M., Bard, N., Kan, M. ja Billings, D., Optimal unbiased estimators for evaluating agent performance. *Proceedings of the Twenty-First National Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*, 2006, sivut 573–578, URL <http://www.cs.ualberta.ca/~games/poker/papers/AAAI06.html>.

Liite 1. Käsien arvojärjestys

Pokerissa käytetään tavallista korttipakkaa, jossa on neljä maata: pata ♠, hertta ♡, risti ♣ ja ruutu ◇. Jokaista maata on 13 korttia ja niiden arvojärjestys suurimmasta pienimpään sekä niistä käytettävät tunnukset ovat A, K, Q, J, 10 tai T, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2. Kaikki maat ovat samanarvoisia. Pokerissa käsi muodostetaan käyttäen viittä korttia ja niiden järjestys korkeimmasta pienimpään on seuraava:

- Kuningasvärisuora (Royal Flush). A, K, Q, J, T, jotka kaikki ovat samaa maata. Esimerkiksi $A\heartsuit K\heartsuit Q\heartsuit J\heartsuit T\heartsuit$. Käytännössä kuningasvärisuora on vain korkein mahdollinen värisuora, mutta vakiintuneen käytännön mukaan se eritellään omaksi kädekseen.
- Värisuora (Straight Flush). Viisi peräkkäistä korttia, jotka kaikki ovat samaa maata. Poikkeuksena A voi muodostaa myös kaikkein alhaisimman värisuoran, kuten $5\diamondsuit 4\diamondsuit 3\diamondsuit 2\diamondsuit A\diamondsuit$. Mikäli kahdella pelaajalla on värisuora, korkein värisuora voittaa.
- Neloset (Four of a kind). Neljä samaa arvoa olevaa korttia. Esimerkiksi Texas hold'emissa, jos kahdella tai useammalla pelaajalla on samanarvoiset neloset, viides kortti ratkaisee. Esimerkiksi $T\diamondsuit T\spadesuit T\heartsuit T\clubsuit A\diamondsuit$ voittaa $T\diamondsuit T\spadesuit T\heartsuit T\clubsuit K\diamondsuit$ käden.
- Täyskäsi (Full House). Kolme samaa arvoa olevaa korttia ja kaksi samaa arvoa olevaa korttia. Ensisijaisesti katsotaan kolmen samaa arvoa olevan kortin korkeutta ja vasta sitten kahta samaa arvoa olevan kortin. Esimerkiksi $3\diamondsuit 3\spadesuit 3\heartsuit 2\clubsuit 2\diamondsuit$ voittaa $A\diamondsuit A\spadesuit 2\heartsuit 2\clubsuit 2\diamondsuit$ käden.
- Väri (Flush). Viisi korttia samaa maata. Mikäli kahdella tai useammalla pelaajalla on väri, tarkastellaan ensiksi värin korkeinta korttia ja tämän jälkeen mahdollisesti muita värin kortteja järjestyksessä.
- Suora (Straight). Viisi peräkkäistä korttia. Kuten värisuoran tapauksessakin A voi muodostaa myös alimman suoran.
- Kolmoset (Three of a kind). Kolme samaa arvoa olevaa korttia. Mikäli kahdella tai useammalla pelaajalla on samanarvoiset kolmoset, tarkastellaan ensiksi suurempaa kahdesta muusta kortista ja tämän jälkeen mahdollisesti vielä pienempää.

- Kaksi paria (Two pairs). Kaksi samaa arvoa olevaa korttia ja toiset kaksi samaa arvoa olevaa korttia. Mikäli kahdella tai useammalla pelaajalla on kahdet parit, tarkastellaan ensimmäiseksi suurempaa paria, tämän jälkeen mahdollisesti pienempää paria ja mikäli nämäkin ovat samat, niin viimeiseksi viidettä korttia.
- Pari (Pair). Kaksi samaa arvoa olevaa korttia. Mikäli kahdella tai useammalla pelaajalla on saman arvoinen pari, tarkastellaan muita kortteja järjestyksessä suurimmasta pienimpään.
- Korkein kortti eli hai (High Card). Mikäli pelaajilla ei ole mitään edellä mainituista korttiyhdistelmistä - korkeimman kortin omaava voittaa. Mikäli korkein kortti on sama, tarkastellaan seuraavia kortteja järjestyksessä.

Liite 2. Sklanskyn lähtökorttiluokittelu [SkM99]

Ryhmiä on kahdeksan kappaletta, jotka on lueteltu alla. Lähtökädet, joita ei ole mainittu, ovat luokittelun arvoasteikossa viimeisen eli kahdeksannen ryhmän alapuolella. Ryhmittelyssä ”s” tarkoittaa, että lähtökortit ovat samaa maata ja ”x” tarkoittaa pientä korttia (2-9).

- **Ryhmä 1:** AA, KK, QQ, JJ, AKs
- **Ryhmä 2:** TT, AQs, AJs, KQs, AK
- **Ryhmä 3:** 99, JTs, QJs, KJs, ATs, AQ
- **Ryhmä 4:** T9s, KQ, 88, QTs, 98s, J9s, AJ, KTs
- **Ryhmä 5:** 77, 87s, Q9s, T8s, KJ, QJ, JT, 76s, 97s, Axs, 65s
- **Ryhmä 6:** 66, AT, 55, 86s, KT, QT, 54s, K9s, J8s, 75s
- **Ryhmä 7:** 44, J9, 64s, T9, 53s, 33, 98, 43s, 22, Kxs, T7s, Q8s
- **Ryhmä 8:** 87, A9, Q9, 76, 42s, 32s, 96s, 85s, J8, J7s, 65, 54, 74s, K9, T8