

Solver

Bas Vossen, Beau Verdiesen, Rick Franken

31 augustus 2009

Inhoudsopgave

1	Voorwoord	3
2	Inleiding	4
3	Probleemstelling	5
4	Theoretisch kader	6
4.1	Mastermind	6
4.2	Algoritme	7
4.2.1	Voorbeeld 1	9
4.2.2	Voorbeeld 2	11
5	Methode	12
6	Resultaten	13
7	Disussie	14
8	Conclusie	15
9	Literatuur	18
10	Appendix	19

1 Voorwoord

Voor de cursus Research & Development 1 hebben wij een onderzoek uitgevoerd over een onderwerp in het kader van de Kunstmatige Intelligentie. Voorafgaan aan dit onderzoek hebben wij een pilot uitgevoerd, die we al met al succesvol afgerond hebben, maar helaas konden we geen raakvlakken meer vinden met het vervolgonderzoek, dus hebben wij een ander onderwerp gekozen. Onze pilot ging over bots (computergestuurde spelers) en dit bleek niet meer levensvatbaar, maar omdat bots (en de wijze waarop deze werken ten opzichte van mensen) ons nog steeds erg interessant lijkt hebben wij hier niet veel van afgeweken. Na wat brainstormen kwamen we op het idee om de verschil waarom een mens en een bot een Mastermind spelletje oplost.

2 Inleiding

Waar zitten de verschillen tussen een mens en een bot? Dit lijkt op het eerste oog een simpele vraag, een bot heeft immers geen hersens en kan louter met wiskunde bepaalde beslissingen maken, maar kan een mens door middel van simpele logica niet diezelfde beslissingen nemen? Wij trachtten in dit onderzoeksverslag de verschillen tussen het menselijk kunnen en dat van een bot duidelijker te maken. Onze bot opereert op zichzelf in de vorm van de eenvoudigste kunstmatige intelligentie: één simpel algoritme. Het plan was om nog wat diepere intelligentie in de bot in te bouwen maar door gebrek aan de juiste kennis en middelen was dit niet haalbaar. Ons onderzoek verduidelijkt de verschillen tussen mens en bot.

3 Probleemstelling

We gaan in ons onderzoek het verschil in denkwijze tussen mens en machine vergelijken. Aangezien we dit met het spelletje Mastermind gaan doen, is onze onderzoeksvraag: 'Is er een verschil in denkwijze tussen de mens en een computer bij het oplossen van een spelletje Mastermind?'

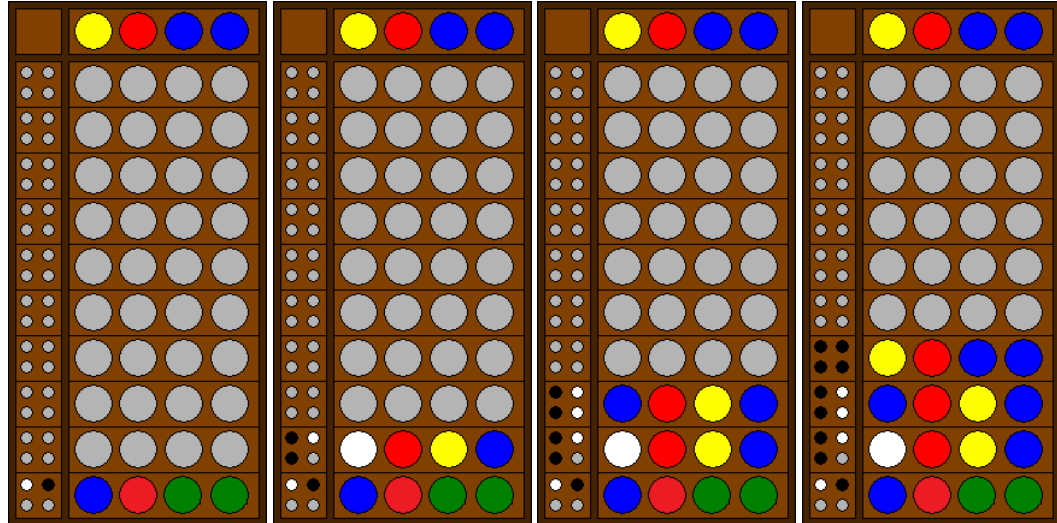
4 Theoretisch kader

Wij gebruiken voor de uitleg van Mastermind en het algoritme om Mastermind op te lossen, 'echte' kleuren (bijvoorbeeld: rood, red, blauw) en kleuren gerepresenteerd door nummers (0 t/m 5) door elkaar heen. Het maakt niet uit wat voor kleur aan welk nummer gekoppeld wordt, als dit maar consistent gebeurt.

4.1 Mastermind

Mastermind werkt met een combinatie van vier kleuren, één persoon verzint een combinatie van vier pinnetjes en heeft daarbij de keuze uit de volgende kleuren: rood, geel, blauw, groen, zwart en wit. Deze persoon mag elke combinatie van deze kleuren gebruiken, zo mag hij vier verschillende kleuren gebruiken maar ook mag hij één kleur meerdere malen gebruiken. Vervolgens probeert persoon twee deze combinatie te raden door een combinatie te geven waarop hij feedback krijgt van persoon een. Deze feedback bestaat uit twee verschillende pinnetjes: Het witte pinnetje betekend dat één van de pinnetjes uit de combinatie wel de goede kleur heeft, maar niet op de goede plaats zit en het zwarte pinnetje betekend dat één van de vier pinnetjes uit de combinatie de goede kleur heeft n op de goede plek zit. Om mastermind te kunnen winnen heb je dus een gezonde dosis logica nodig en af en toe een beetje geluk. Hier onder is een spelletje Mastermind in stappen uitgelegd: (zie ook het plaatje op de volgende pagina)

1. De proefpersoon krijgt één wit pinnetje omdat hij een blauwe pin heeft maar niet op de goede plek, en een zwart pinnetje omdat hij een rode pin heeft die op de goede plek zit.
2. Deze keer heeft de proefpersoon twee zwarte pinnetje omdat zowel de rode als de blauwe pin op de goede plek zit, daarnaast krijgt hij ook een wit pinnetje omdat de gele pin wel in de combinatie zit, maar niet op de goede plek.
3. Nu krijgt de proefpersoon twee zwarte pinnetjes vanwege de rode en blauwe pinnen en twee witte pinnetjes vanwege de gele en andere blauwe pin die wel in de combinatie zitten, maar niet op de goede plek.
4. Nu heeft de proefpersoon de juiste combinatie geraden en krijgt dus vier zwarte pinnetjes.



4.2 Algoritme

We hebben voor ons onderzoek een bot gecreëerd om ons een beeld te geven van de denkwijze van computers. Een bot is een computergestuurde tegenstander die vaak is ontworpen om een speler te laten denken dat hij tegen een ander persoon speelt. Ze komen daarom vaak voor in First-person-shooter spelletjes. In ons geval heeft de bot dus niet de functie om een mens te imiteren, maar juist om ons duidelijk te maken hoe een computer denkt.

```

Aantal zwarte: 1
Aantal witte: 1

POGING 2
Ik zoek nu naar codes die dezelfde score heeft als de vorige score, als deze de
geheime code zou zijn!
Mogelijkheden gevonden :208
Ik probeer de volgende code :
 5 1 4 1
Aantal zwarte: 1
Aantal witte: 0

POGING 3
Ik zoek nu naar codes die dezelfde score heeft als de vorige score, als mijn vor
ige poging de geheimecode zou zijn!
Hierbij kijk ik alleen naar de codes die bij de vorige zoekactie nog mogelijk wa
ren.
Dit waren er :208
Mogelijkheden gevonden :21
Ik probeer de volgende code :
 0 1 3 2
Aantal zwarte: 3
Aantal witte: 0

POGING 4
Ik zoek nu naar codes die dezelfde score heeft als de vorige score, als mijn vor
ige poging de geheimecode zou zijn!
Hierbij kijk ik alleen naar de codes die bij de vorige zoekactie nog mogelijk wa
ren.
Dit waren er :21
Mogelijkheden gevonden :2
Ik probeer de volgende code :
 0 1 2 2
Goed zo! Helemaal goed!
De code was :
 0 1 2 2

```

Ons algoritme heeft als basis het algoritme van Donald Knuth, die dit algoritme als eerst in 1977 demonstreerde. En dit algoritme maakt gebruik van een handige eigenschap, namelijk het verband tussen de verschillende mogelijkheden en de aantal verschillende score-mogelijkheden. Hieronder meer hierover. Je hebt altijd een beperkt aantal mogelijke 'codes': een verzameling. De goede code zal altijd in deze verzameling zitten. Deze verzameling kan je steeds kleiner maken door een poging te doen en vervolgens met behulp van de score verscheidene codes schrappen. Hierbij komt de handige eigenschap ter pas, stel je doet een poging, die fout is, daar krijg je een bepaalde score voor (aantal zwarte en witte pinnetjes). Je kijkt vervolgens welke codes (uit je verzameling) precies dezelfde score zou krijgen als je je poging als de te kraken code opvat. De rest schrap je en je herhaalt dit tot je de code gekraakt hebt. Hierbij wordt de verzameling steeds kleiner, en er zal uiteindelijk maar één overblijven. De code waarmee je begint mag van alles zijn, maar 0011 blijkt het efficiënts te zijn, dus deze gebruiken wij.

1. De eerste poging is altijd 0011.
2. Vervolgens wordt de score berekent (aantal zwarte en witte pinnetjes).
3. Als de code niet gekraakt is ga voor alle andere mogelijkheden na welke codes precies dezelfde score zou geven als je de vorige poging als de te kraken code opvat.
4. Kies één van deze codes, en ga terug naar de tweede stap.

4.2.1 Voorbeeld 1

Om het iets makkelijker te maken gebruiken we nu echte kleuren in plaats van nummers, en er zijn maar vier verschillende kleuren (R(red) G(green) Y(yellow) B(lue), en 3 'pinnetjes', dus een code zou bijvoorbeeld RRB kunnen zijn. Verschillende mogelijkheden: $4^3 = 64$.

GGG	BGG	YGG	RGG
GGB	BGB	YGB	RGB
GGY	BGY	YGY	RGY
GGR	BGR	YGR	RGR
GBG	BBG	YBG	RBG
GBB	BBB	YBB	RBB
GBY	BBY	YBY	RBY
GBR	BBR	YBR	RBR
GYG	BYG	YYG	RYG
GYB	BYB	YYB	RYB
GY Y	BY Y	YY Y	RY Y
GYR	BYR	YYR	RYR
GRG	BRG	YRG	RRG
GRB	BRB	YRB	RRB
GRY	BRY	YRY	RRY
GRR	BRR	YRR	RRR

We nemen als te kraken code YGR, eerste poging is YRY, de score hiervoor is: 1 zwarte en 1 witte. Vervolgens worden uit de aantal mogelijkheden (dit zijn er inmiddels $64-1=63$) de codes geplukt die dezelfde score zouden geven als YRY de goede code zou zijn. Dit zijn er in dit geval maar acht, namelijk: RGY, YGR, RBY, YBR, YYG, YYB, GYY, BYY (merk op dat de goede code hierbij zit).

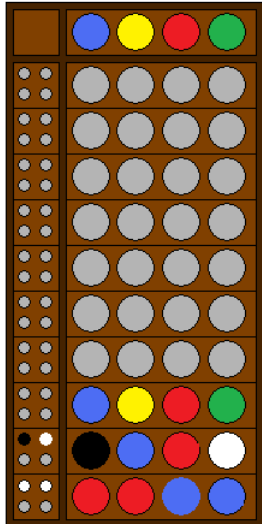
G G	B G	Y G	R G
G R	B B	Y R	R B
G Y	B Y	Y Y	R Y
G R	B R	YGR	RGR
G R	B G	Y G	R G
G B	B B	Y B	R B
G B	B Y	Y Y	RBY
G B	B R	YBR	R B
G Y	B Y	YYG	R Y
G Y	B B	YYB	R Y
GYY	BYY	Y Y	R Y
G Y	B Y	Y Y	R Y
G R	B R	YRG	R R
G R	B B	YRB	R B
G R	B Y	Y R	R Y
G R	B R	Y R	R R

We kiezen uit deze acht random één code: 'YBR'. Deze gebruiken we als poging en levert de volgende score op: 2 zwarte en 0 witte. Nu wordt er uit de resterende zeven codes de codes geschrapt die niet 2 zwarte en 0 witte zou opleveren als YBR de code zou zijn. Nu blijft er nog maar één code over, namelijk YGR. De te kraken code!

Wij hebben dit algoritme gementeerd in ons programma (dit is helemaal in console). Het programma kan een code van de gebruiker zelf oplossen of een zelf gegenereerde code oplossen, tevens kan de gebruiker ook een zelf ingevoerde code of een gegenereerde code proberen op te lossen. Als het programma via het algoritme een code oplost dan zal dit altijd binnen zes beurten gebeuren. Via uitvoer zal het programma uitleg geven over de te nemen stappen, en de hoeveelheid mogelijkheden.

In ons programma hebben we gebruikt gemaakt van nummers in plaats van kleuren (die het originele Mastermind spel gebruikt), dit vonden wij makkelijker te implementeren, en er zit in feite geen verschil tussen.

4.2.2 Voorbeeld 2



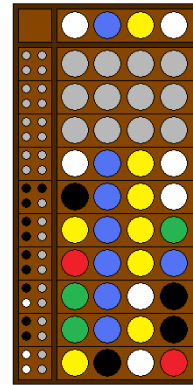
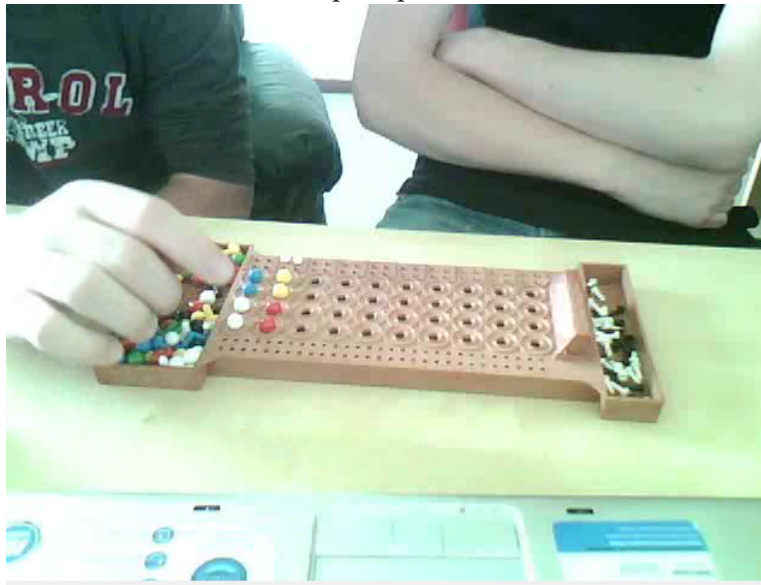
Een voorbeeld met zes verschillende kleuren (rood, blauw, geel, groen, zwart en wit (als respectievelijk 0,1,2,3,4 en 5) en vier pinnetjes, zoals in het originele Mastermind spel. We hebben nu $6^4 = 1296$ mogelijkheden.

Dit zijn teveel mogelijkheden om dit uit te schrijven dus gebruiken we onze bot. De te kraken code is blauw, geel, rood, groen. Onze eerste poging is rood rood blauw blauw. En daar krijgen we de volgende score op: 2 witte. Nu kijkt de bot welke codes nog mogelijk zijn, dit zijn alle codes die dezelfde score zou krijgen als je de vorige poging als de te kraken code beschouwt in dit geval dus rood rood blauw blauw. Zwart blauw rood wit is een van deze codes. Want als we deze code loslaten op rood rood blauw blauw zou je ook 2 witten krijgen. Maar nu laten we dit los op de te kraken code en deze geeft 1 zwarte en 1 witte als score. Nu doet de bot weer precies hetzelfde het kiest uit de verzameling (die nu kleiner is geworden) één code die voldoet aan de voorwaarde: blauw geel rood groen in dit geval. Deze voldoet aan de voorwaarde dat deze poging dezelfde score heeft als we de vorige code als de te kraken code opvatten. In dit geval is dit ook de goede code.

5 Methode

Het is bij ons onderzoek belangrijk om de gangbare tactiek van de mens te vergelijken met de tactiek van onze solver. Aangezien we zelf de bot hebben geprogrammeerd weten we deze tactiek al, maar voor het achterhalen van de gangbare tactiek van de mens hebben we een proefopstelling bedacht. We hebben een groot aantal proefpersonen een spelletje mastermind laten spelen, met het verzoek om hardop te denken. Dit hebben we op film opgenomen zodat we kunnen horen wat de persoon op dat precieze moment denkt. Naast een paar gewone potjes hebben we ook een paar specifieke situaties voorgeschoteld (vier dezelfde kleuren etc.) om te kijken hoe de testpersoon hierop reageert.

Na het opnemen hebben we de filmpjes geanalyseerd en geformaliseerd. Hierna hebben we dezelfde kleurencombinaties laten oplossen door onze mastermind-solver, en vervolgens op dezelfde manier in kaart gebracht wat de resultaten van de solver waren. Deze resultaten hebben we vergeleken met de resultaten van de proefpersonen.



6 Resultaten

Onze rauwe resultaten bestaan uit de filmpjes die we hebben gemaakt van de gespeelde potjes mastermind en de resultaten die voortkomen uit de bot. Deze filmpjes en gegevens hebben we geformaliseerd tot schemas waaruit we de meeste conclusies hebben getrokken.

Tijdens het analyseren hebben we tevens gekeken naar het aantal beurten waarin het spelletje wordt uitgespeeld. We hebben hierbij de filmpjes onderverdeeld in drie categorieën:

- Enkel: De groep enkel bevat alle oplossingen met enkelen (dus vier verschillende) kleuren, bijvoorbeeld rood-groen-zwart-wit.
- Dubbel: Deze categorie bevat de oplossingen met dubbele (dus twee dezelfde) kleuren, bijvoorbeeld blauw-blauw-groen-geel.
- Identiek: Deze groep bevat alle oplossingen met identieke (dus vier dezelfde) kleuren, bijvoorbeeld geel-geel-geel-geel.

We hebben per groep het aantal beurten genoteerd en vervolgens het gemiddelde aantal beurten, het minimale aantal beurten en het maximale aantal beurten uitgerekend. Vervolgens hebben we dezelfde procedure uitgevoerd met de resultaten van de bot. Het volgende schema is het resultaat van de beide procedures:

BOT			
	Gemiddeld	Minimum	Maximum
Enkel	4,4	3	5
Dubbel	4,5	3	5
Identiek	4,0	4	4
Overall	4,4	3	5

MENS			
	Gemiddeld	Minimum	Maximum
Enkel	4,0	2	6
Dubbel	6,5	4	9
Identiek	5	5	5
Overall	5,5	2	9

7 Disussie

We hebben gemerkt dat tussen de testpersonen onderling een aantal verschillen waar te nemen zijn. Zo heb je vooral verschillen in intellectueel vermogen en verschillen in ervaring met het spelletje Mastermind. Mensen met ervaring weten natuurlijk veel beter hoe ze dit probleem moeten aanpakken, terwijl mensen zonder ervaring nog wel eens een steuntje in de rug konden gebruiken. Ook speelt het verschil in intellect mee. Bij een grootschaliger onderzoek zou je dit waarschijnlijk het beste kunnen onderverdelen in verschillende categorieën.

Het hardop denken door de testpersonen in ons onderzoek bleek succesvol, maar toch kan je hiermee niet alle gedachten van de testpersoon in kaart brengen. Veel dingen denk je automatisch en vermeld je dus niet bij je hardop denken. Dit is voor ons echter ook niet zo interessant, aangezien we niet echt de neurowetenschappelijke kant willen belichten.

Ons algoritme dat in onze bot is verwerkt lijkt veel op die van Donald Knuth, maar is iets gesimplificeerd, zo kiezen wij bij de laatste stap willekeurig een code die de volgende poging wordt, terwijl in het algoritme van Knuth, door middel van Minimax¹ de beste poging wordt gekozen. Onze bot had nog iets efficiënter kunnen zijn als we Minimax (of een andere AI zoekmethode) ook gecomplementeerd hadden, maar dit was voor ons te moeilijk om te programmeren.

¹Minimax staat voor het minimaliseren van het maximale. Het wordt in verschillende gebieden toegepast, zoals bij verkiezingen, en bij zoekbomen in spelen. Bron: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Minimax>

8 Conclusie

Gangbare tactiek van de mens:

Een menselijke speler begint intuïtief vaak met vier verschillende kleuren om er 'maar zo veel mogelijk in een keer af te kunnen strepen', hoewel dit toch niet de beste methode blijkt. Als je nu namelijk een wit pinnetje krijgt (dus de informatie dat één van de kleuren correct is maar nog niet op de goede plaats staat) is er maar 25% kans dat je voor de goede gaat. Door nu te controleren welke van die vier kleuren de goede is verlies je kostbare kansen. Meestal wordt er op dezelfde manier doorgespeeld, dus met steeds vier verschillende kleuren, tot er toevallig één of meer goed zijn. Na een treffer wordt er logisch nagedacht totdat er een oplossing uitrolt. Er wordt dus grotendeels meer intuïtief gedacht dan echt logisch.

Als je met twee verschillende kleuren begint (bijvoorbeeld rood-rood-groen-groen) en je krijgt een wit pinnetje, dan heb je een kans van 50% dat je met de goede kleur verder gaat. Nu heb je inderdaad wel de helft zoveel kans om een wit pinnetje te krijgen, maar als je er dan een daadwerkelijk krijgt weet je tenminste beter wat je er mee moet.

Door terug te kijken naar vorige resultaten (de witte/zwarte pinnetjes of het gebrek hieraan) wordt ook vaak geconcludeerd welke keuzes goed en slecht zijn (ik zie dat twee beurten terug blauw het niet kan zijn dus dan moet dit wel rood zijn bijvoorbeeld). Het frappante is dat als dit te vaak in een ronde gebeurt, de speler door de bomen het bos niet meer ziet. Als een speler bijvoorbeeld in beurt twee tot en met vijf van een ronde allerlei kleuren uitsluit of bevestigt, is hij/zij bij de code van de zesde beurt vaak alweer vergeten wat hij/zij in de tweede ronde heeft uitgesloten of bevestigd. Vaak wordt er in de laatste rondes ook dingen gegokt.

Naast de gangbare methode hebben we ook een aantal specifieke situatie voorgelegd aan de proefpersonen en aan de bot:

Situatie: Vier dezelfde kleuren

Als de code bestaat uit vier identieke kleuren dan lost een mens dit anders op dan een bot. Een bot blijft kleuren proberen en elimineren tot er maar één kleur over blijft, wat automatisch betekend dat alle pinnetjes deze kleur moeten zijn. Een mens heeft op een gegeven moment door dat alle pinnetjes dezelfde kleur hebben maar gaat dan (indien er nog meerdere kleuren mogelijk zijn) raden welke kleur dit zou kunnen zijn door vier iden-

tieke kleuren te proberen. Dit kan een positief effect hebben als men in één keer de goede kleur raadt maar komt gemiddeld negatief uit. Een bot blijft dus dezelfde techniek gebruiken als deze situatie zich voordoet terwijl een mens juist afwijkt zijn gebruikelijke strategie.

Situatie: Twee (of meerdere keren) achter elkaar dezelfde combinatie

Als er twee maal achter elkaar dezelfde combinatie wordt gebruikt passen zowel de bot als de mens hun strategie niet aan. Voor de bot is dit logisch aangezien die maar één strategie heeft. De mens verwacht niet dat er twee keer dezelfde combinatie komt maar heeft dit na het oplossen van de tweede combinatie wel door en probeert dan bij de volgende combinatie wel gelijk de oplossing van de vorige combinatie. Dit leidt er dus toe dat als je 10 keer achter elkaar dezelfde combinatie doet de mens er meestal 8 maar zeker 7 van de 10 in één keer goed heeft terwijl de bot elke keer zijn gemiddeld aantal pogingen nodig heeft.

Zie de tabel op pagina 13, er zijn een paar dingen die bij deze resultaten opvallen. De gemiddeldes van de bot zijn overal ongeveer gelijk (rond de 4,5) terwijl deze bij de mens nogal verschillen (4,0 tegenover 6,5) De mens lijkt Mastermind dus sneller op te kunnen lossen als er geen dubbele kleuren worden gebruikt wat logisch is aangezien de mens meestal opent met enkele kleuren (zie kopje Gangbare tactiek van de mens). Wat ook opvalt is dat gemiddeld gezien de mens de combinatie sneller heeft dan de bot als de combinatie allemaal verschillende kleuren bevat. Het verschil is weliswaar minimaal maar als je het vergelijkt met het verschil tussen de gemiddeldes van de mens en de bot als er wel dubbele kleuren worden gebruikt is het toch opvallend. Verder liggen ook de minimale en maximale scores van de mens verder uit elkaar dan die van de bot. Dit kan toegeschreven worden aan het feit dat de mens vaker gokt dan een bot en dus ook vaker raak- en misgokt.

Is er een verschil in denkwijze tussen de mens en een computer bij het oplossen van een spelletje Mastermind? Zoals de meeste zullen denken is het antwoord ja, maar toch is het niet zo zwart-wit. Er zijn inderdaad veel verschillen in de denkwijze tussen de mens en een computer bij het oplossen van een spelletje Mastermind, maar toch zijn er ook overeenkomstigheden. Een algoritme werkt natuurlijk puur wiskundig bij het oplossen van Mastermind, terwijl een mens vooral intuïtief te werk gaat. Het algoritme kijkt

puur en alleen naar wat hij al heeft uitgesloten en wat nog mogelijk is, terwijl de mens vooral anticipeert op wat hij/zij in de laatste beurten als feedback krijgt. Vaak krijgt het algoritme hierdoor een hogere score, maar het komt zelfs voor dat de mens de computer verslaat in sommige situaties (zie de tabel op pagina 13). Toch zijn er ook wel overeenkomstigheden waar te nemen. Een mens gokt vaak om tot zijn einddoel te komen bij dit spelletje. Ons algoritme doet dit in een van de stappen ook ongeveer: er is nog een verzameling mogelijke codes over, waaruit hij een willekeurige code pakt om mee verder te gaan. Ook komt het voor dat de mens ietwat dezelfde tactiek aanneemt als het algoritme, en dus terugkijkt naar alle vorige beurten om vervolgens kleuren en posities uit te sluiten en te bevestigen. Er zijn dus overeenkomsten waar te nemen, maar het grootste deel van de denkwijze is verschillend.

9 Literatuur

Referenties

- [1] "The Computer as a Master Mind", Journal of Recreational Mathematics (9): 16, Knuth, Donald (1976-77)
- [2] "Efficient solutions for Mastermind using genetic algorithms", Lotte Berghman, Dries Goossens and Roel Leus
- [3] "Artificial Intelligence, A Modern Approach", Stuart Russel, Peter Norvig
- [4] "A Simpler Case", unknown, <http://www.delphiforfun.org/programs/Download/Mastermind%20Algorithm%20Example.doc>

10 Appendix

De filmpjes zijn te bekijken op: <http://cid-a279c8039b6cffd1.skydrive.live.com/browse.aspx/R%7C0D%20Mastermind?permissionsChanged=1>