



Artificiële Intelligentie

Lesnota's

Stijn Lievens

Professionele Bachelor in de Toegepaste Informatica

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	i
1 Rationale Agenten	1
1.1 Definities van Artificiële Intelligentie	1
1.2 Rationale Agenten	4
1.3 Eigenschappen van Omgevingen	9
1.4 Structuur van Agenten	11
1.5 Oefeningen	13
Bibliografie	16

Rationale Agenten

1.1 Definities van Artificiële Intelligentie

Artificiële intelligentie (AI) is een relatief nieuw (onderzoeks)domein; werk in dit domein startte na de tweede wereldoorlog en de naam “artificiële intelligentie” zelf werd voor het eerst gebruikt in 1956.

Over de tijd heen zijn er een heel aantal definities geweest van AI waarvan je er enkele kan zien in Figuur 1.1. De meeste definities van AI kunnen

<p>“[The automation of] activities that we associate with human thinking, activities such as decision-making, problem solving, learning . . .” (Bellman, 1978)</p>	<p>“The study of the computations that make it possible to perceive, reason and act.” (Winston, 1992)</p>
<p>“The study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better.” (Rich and Knight, 1991)</p>	<p>“AI . . . is concerned with intelligent behavior in artifacts” (Nilsson, 1998)</p>

Figuur 1.1: Een aantal verschillende definities van artificiële intelligentie. De horizontale as beschrijft “menselijkheid vs. rationaliteit”, de verticale as beschrijft “handelen vs. denken”. Figuur gebaseerd op (Russell and Norvig, 2014).

geplaatst worden op twee assen. De eerste as gaat over “denken vs. handelen”; de tweede as beschrijft systemen alnaargelang hun “menselijkheid” of “rationaliteit”.

Menselijk handelen Turing (Turing, 1950) stelde een operationele definitie van intelligentie voor. Een computer slaagt in de Turing-test wanneer een menselijke ondervrager niet kan uitmaken of de geschreven antwoorden van een persoon of een computer afkomstig zijn. De ondervrager en ondervraagde zitten in verschillende kamers. De ondervrager kan vragen stellen en converseren over gelijk welk onderwerp.

Een computer die zou kunnen slagen in de Turing-test moet een heel aantal deelvelden van AI goed beheersen, zoals bv.

- Het beheersen van natuurlijke taal om in een taal zoals het Engels vlot te kunnen communiceren.
- Kennisrepresentatie om te kunnen opslaan wat hij weet of hoort.
- Geautomatiseerd redeneren om de opgeslagen kennis te gebruiken om vragen te beantwoorden en zelf nieuwe conclusies te kunnen afleiden.
- Machinaal leren om zich te kunnen aanpassen aan nieuwe omstandigheden of om patronen te kunnen ontdekken.

In de Turing-test is er geen fysieke interactie tussen de ondervrager en de ondervraagde omdat Turing redeneerde dat het niet nodig was om het uiterlijk van een persoon te imiteren om te kunnen spreken van intelligentie.

In een uitbreiding van de Turing-test, de zogenaamde *totale* Turing-test, beschikt de ondervrager over een camera om de perceptuele mogelijkheden van de ondervraagde te testen (door bv. objecten op te houden voor de camera). Verder is er ook een luik waardoor de ondervrager objecten kan doorgeven naar de ondervraagde. Wanneer een computer wil slagen voor deze test dan heeft die naast de bovengenoemde vaardigheden ook nog het volgende nodig:

- De mogelijkheid om te zien.
- Robotica mogelijkheden om objecten te manipuleren.

Er wordt niet overdreven veel onderzoek gedaan naar het laten slagen van een computer in de Turing-test. Immers, zo interessant is het niet dat een computer een persoon kan wijsmaken dat hij een mens is en geen computer. De studie van de onderliggende principes van de deelvelden is vele malen belangrijker. Het is dan ook de verdienste van Turing dat hij een test heeft bedacht die, ook bijna 70 jaar na datum, belangrijke deelvelden van de AI omvat.

Om de definitie “menselijk handelen” af te sluiten merken we op dat de betrachting om artificieel te vliegen ook maar goed gelukt is toen men afstapte van het imiteren van vogels en inzette op het bestuderen van de aerodynamica.

Menselijk denken In dit deelveld tracht men te bepalen hoe mensen denken. Het achterliggende idee is dat eens men een gedetailleerd genoeg model heeft van de werking van het menselijk brein we dit model dan kunnen implementeren m.b.v. hard- en software. We gaan hier verder niet op in.

Rationaal denken Dit is het gebied van logica en syllogismen, i.e. redeneerprocessen die leiden tot conclusies die ontegensprekelijk correct zijn wanneer de premissen dat zijn. Een voorbeeld hiervan is:

- Alle mannen zijn sterfelijk.
- Socrates is een man.
- *Dus*: Socrates is sterfelijk.

Dit vakgebied kampt met twee grote problemen bij het bouwen van krachtige AI-systemen. Ten eerste is het vaak moeilijk om informele kennis te vertalen naar logische notatie en regels. Ten tweede is er een groot verschil tussen het “in principe” oplossen van een probleem en het “praktisch” oplossen van datzelfde probleem. Vaak hebben algoritmen in dit vakgebied een exponentiële tijdscomplexiteit waardoor het in praktijk vaak te lang duurt om een antwoord te bekomen.

Rationaal handelen Dit is het gebied waarbij men tracht om rationale agenten (cfr. infra) te bouwen en dit is de manier waarop AI nu meestal wordt opgevat, vooral onder impuls van het boek “Artificial Intelligence, A Modern Approach” (Russell and Norvig, 2014). Kort gezegd tracht een

rationale agent op zo'n manier te handelen dat hij de beste (verwachte) uitkomst verkrijgt. Deze definitie wordt gezien als de meest interessante en algemene. Inderdaad, rationaal denken kan een onderdeel zijn bij het bouwen van een rationale agent, maar dat hoeft niet noodzakelijk zo te zijn: in sommige situaties is er geen aantoonbaar beste handeling maar moet er toch "iets" gedaan worden. Wanneer men zijn hand in een reflex wegtrekt van een warm oppervlak dan kan men moeilijk zeggen dat dit gedaan werd na een redeneerproces ("oei, dat is hier warm, de eerste wet van de thermodynamica zegt dat ..."). Toch is deze handeling rationaal omdat de uitkomst beter is dan deze verkregen na een tragere reactie beslist na een redeneerproces.

Al de vaardigheden nodig om te slagen in de Turing-test zijn ook nodig wanneer we een rationale agent wensen te bouwen die het goed doet in onze huidige complexe maatschappij.

1.2 Rationale Agenten

We starten met de definitie van het begrip "agent".

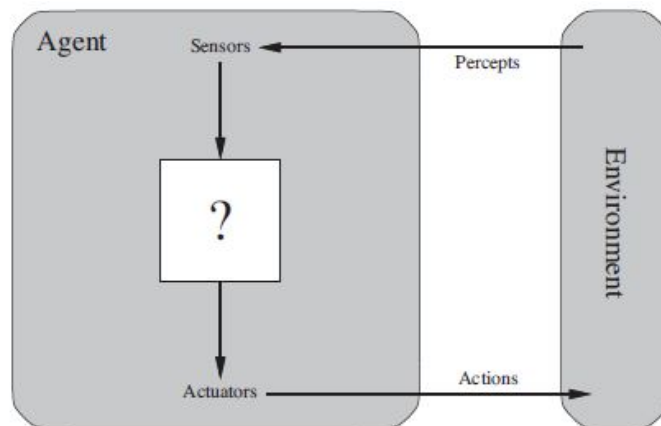
Definitie 1.1 Een AGENT is elke entiteit die zijn *omgeving* kan waarnemen (Eng. *perceive*) aan de hand van zijn *sensoren* en die invloed kan uitoefenen op zijn omgeving aan de hand van zijn *actuatoren*. ■

In Figuur 1.2 ziet men een illustratie van deze definitie.

Opmerking 1.2 De definitie van een agent is zeer algemeen en kan gebruikt worden voor zowel robots, mensen als "software"-agenten. ■

Voorbeeld 1.3 Beschouw een stofzuigeragent die leeft in een gekende omgeving met twee locaties *A* en *B* die elk vuil kunnen zijn of niet. De agent beschikt over actuatoren waarmee hij *Links* en *Rechts* kan bewegen. Aan gezien de agent een stofzuiger is beschikt hij ook over een actuator waarmee hij de actie *ZuigVuil* kan uitvoeren.

Iedere waarneming van de agent bestaat uit twee componenten: de huidige locatie (*A* of *B*) en of de huidige locatie vuil is (**true**) of niet (**false**). Een mogelijke waarneming is bv. (*A*, **false**) om aan te geven dat de robot zich in positie *A* bevindt en dat deze locatie schoon is. ■



Figuur 1.2: Illustratie van het begrip “agent”. Agenten nemen hun omgeving waar m.b.v. hun sensoren en gebruiken hun actuatoren om invloed uit te oefenen op hun omgeving. Bron: (Russell and Norvig, 2014).

Op elk moment krijgt de agent één enkele waarneming binnen. Na verloop van tijd verzamelt de agent (conceptueel) een WAARNEMINGSSEQUENTIE en het is de taak van de agent om, voor elke mogelijke waarnemingssequentie te reageren met de “juiste” actie. Dit noemen we de AGENTFUNCTIE: de afbeelding van waarnemingssequenties naar acties. De agentfunctie is m.a.w. een abstract wiskundig begrip.

Voorbeeld 1.4 Voor de stofzuigeragent kunnen we (een deel van) de agentfunctie weergeven in de volgende tabel:

Waarnemingssequentie	actie
$[(A, \text{true})]$	ZuigVuil
$[(A, \text{false})]$	Rechts
$[(B, \text{true})]$	ZuigVuil
$[(B, \text{false})]$	Links
$[(A, \text{true}), (A, \text{true})]$	ZuigVuil
$[(A, \text{true}), (A, \text{false})]$	Rechts
$[(A, \text{true}), (B, \text{true})]$	ZuigVuil
$[(A, \text{true}), (B, \text{false})]$	Links
...	...
$[(B, \text{false}), (A, \text{true})]$	ZuigVuil
$[(B, \text{false}), (A, \text{false})]$	Rechts
$[(B, \text{false}), (B, \text{true})]$	ZuigVuil
$[(B, \text{false}), (B, \text{false})]$	Links
$[(A, \text{true}), (A, \text{true}), (A, \text{true})]$	ZuigVuil
...	...
$[(B, \text{false}), (B, \text{false}), (B, \text{false})]$	Links
...	...

Wanneer de stofzuiger een levensduur heeft van 1000 tijdseenheden, dan bevat deze tabel meer dan 4^{1000} rijen. Deze tabel kan duidelijk *niet* worden bijgehouden in het geheugen van de agent. ■

De cruciale vraag bij het antwoorden van rationele agenten is uiteraard of de tabel “juist” is ingevuld, m.a.w. of de agent de “juiste” acties onderneemt. Zolang we echter geen maat hebben om het gedrag van de agent te beoordelen *kunnen we deze vraag niet beantwoorden*. Het gedrag van de agent wordt beoordeeld door te kijken naar de *gevolgen* van de ondernomen acties. Sommige opeenvolgingen van toestanden zijn wenselijk, andere niet.

Een PERFORMANTIEMAAT evalueert sequenties van (omgevings)toestanden. De performantiemaat kan (en zal) voor elke applicatie verschillend zijn. Het opstellen van een goede performantiemaat is echter niet zo eenvoudig als het lijkt.

Veronderstel dat we een (algemene) stofzuigeragent belonen volgens de hoeveelheid vuil die werd opgeruimd. Een rationale agent kan zijn performantiemaat maximaliseren door een vuile locatie te reinigen (en de punten te verzamelen) en vervolgens het vuil weer op de grond te gooien, het vuil

te reinigen en opnieuw de punten te verzamelen enzovoort. Dit is duidelijk *niet* wat we in gedachten hadden! In dit geval belonen we het gedrag van de agent en niet de gevolgen van zijn acties.

In het algemeen is het beter om een performantiemaat niet te definiëren in termen van het gedrag van de agent maar in termen van *wat* je wil bereiken, i.e. we belonen de gevolgen van de acties en niet de acties zelf. In het geval van de stofzuiger wensen we propere locaties: we kunnen de performantiemaat dan bijvoorbeeld definiëren als één punt per propere locatie per tijdseenheid.

Wat rationaal is op een bepaald moment hangt in het algemeen af van de volgende vier factoren:

1. De performantiemaat die het succescriterium definieert.
2. De ingebouwde kennis van de agent betreffende de omgeving.
3. De acties die de agent kan ondernemen.
4. De huidige waarnemingssequentie.

Definitie 1.5 Een RATIONALE AGENT selecteert, voor elke mogelijke waarnemingssequentie, die actie waarvan verwacht wordt dat deze zijn performantiemaat maximaliseert, rekening houdend met het bewijs aangebracht door de huidige waarnemingssequentie en de eventuele ingebouwde kennis van de agent. ■

Voorbeeld 1.6 Beschouw een stofzuigeragent die een vuile locatie schoonmaakt en zich naar de andere locatie begeeft indien de huidige locatie schoon is. (Dit is de agent waarvan de agentiefunctie in tabelvorm wordt gegeven in Voorbeeld 1.4.)

Is dit een rationale agent? Deze vraag kan slechts beantwoord worden wanneer we hebben gedefinieerd wat de performantiemaat is, wat er geweten is over de omgeving en welke sensoren en actuatoren de agent ter beschikking heeft. We nemen het volgende aan:

- De performantiemaat kent één punt toe per propere locatie voor iedere van de 1000 tijdseenheden.

- De geografie van de omgeving is gekend maar de verdeling van het vuil en de initiële locatie van de agent zijn dat niet. Propere locaties blijven proper en alle acties werken (perfect betrouwbaar) zoals men zou verwachten.
- De acties die de agent kan uitvoeren zijn: `Links`, `Rechts` en `ZuigVuil`.
- De sensoren van de agent geven zijn huidige locatie en of die locatie vuil is of niet.

Onder deze assumpties is de agent inderdaad een rationale agent: geen enkele andere agent kan (gemiddeld) een strikt hogere performantie behalen.

Wanneer we echter de performantiemaat aanpassen om onnodig energieverbruik af te straffen (bv. 10 punten voor een proper vakje in een tijdseenheid maar een strafpunt voor elke beweging) dan is de agent niet langer rationaal. Een rationale agent stopt immers met bewegen wanneer beide locaties proper zijn.

Wanneer propere locaties opnieuw vuil kunnen worden (bv. door de aanwezigheid van een hond of kinderen) dan wordt het verhaal opnieuw anders. Een rationale agent kan nu maar beter af en toe de locaties opnieuw gaan controleren om ze eventueel opnieuw schoon te maken. ■

Opmerking 1.7 Rationaliteit is niet hetzelfde als helderziendheid; daarom spreken we ook van het maximaliseren van de *verwachte* performantie.

Beschouw de volgende situatie: op een dag loopt een persoon langs de straat en ziet aan de overkant een oude vriend die hij reeds lang niet meer heeft gezien. Hij besluit om over te steken en een praatje te maken met die vriend. Hij kijkt links en rechts en merkt dat er geen verkeer is maar bij het oversteken wordt hij geraakt door de losgekomen deur van een overvliegende Boeing 747 en sterft. Wat het irrationaal van die persoon om de straat over te steken? Neen!

Bekijken we de volgende cijfers.

toestand	performantie	kans
niets doen	+1	1
praatje maken	+10	0.999
geraakt door deur	−1000	0.001

Wanneer we besluiten om niet over te steken dan is onze performantie gegarandeerd (en gemiddeld) gelijk aan 1. (We nemen aan dat de deur ons niet kan raken als we niet oversteken.) Wanneer we oversteken kunnen er twee dingen gebeuren: we bereiken veilig de overkant (met kans 0.999) of we worden geraakt door de deur (met kans 0.001). De gemiddelde performantie is m.a.w.

$$0.999 \times 10 - 1000 \times 0.001 = 9.99 - 1 = 8.99$$

Dit is groter dan de performantie van 1 die we krijgen als we niet oversteken. Het was dus rationaal van deze persoon om over te steken (zelfs al is deze nu dood). ■

1.3 Eigenschappen van Omgevingen

De omgeving waarin agenten handelen kunnen gecatalogiseerd worden al naargelang hun kenmerken. Sommige omgevingen zijn gemakkelijk voor agenten, andere een pak moeilijker.

Definitie 1.8 Een omgeving is **COMPLEET OBSERVEERBAAR** als de huidige waarneming toegang verschaft tot alle relevante aspecten om de volgende actie te ondernemen. Wanneer dit niet het geval is dan noemt men de omgeving **PARTIEEL observeerbaar**. ■

Voorbeeld 1.9 Een spel zoals schaken is compleet observeerbaar¹, poker bv. is dat niet. Bij poker kan je de kaarten van de tegenstander immers niet waarnemen. Een autorijdende agent opereert duidelijk in een partieel observeerbare omgeving. De inhalende auto in zijn blinde hoek kan hij niet zien. ■

Definitie 1.10 Wanneer de agent alleen handelt in de omgeving dan spreken we van een **EENPERSOONS** omgeving. Wanneer er meerdere agenten zijn dan spreken we van een **MULTIPERSOONS** omgeving. ■

Voorbeeld 1.11 Een spel zoals solitaire wordt gespeeld in een eenpersoons omgeving. Schaken en autorijden daarentegen zijn multipersoons omgevingen. ■

¹Op een aantal kleine aspecten, zoals bv. de rokade, na.

Binnen de multipersoons omgevingen kunnen agenten **competitief** zijn (zoals bij schaken) of **coöperatief**, zoals je teamgenoten bij voetbal. In sommige omgevingen kunnen de andere agenten zoals coöperatief als competitief gedrag vertonen. Dit is bv. het geval bij autorijden, dit is een omgeving die voor het grootste gedeelte coöperatief is (vlotte doorstroming, vermijden van ongevallen, ...) tot het moment dat men op een parking komt waar er te weinig vrije parkeerplaatsen zijn ...

Definitie 1.12 Een omgeving is DETERMINISTISCH wanneer de volgende toestand van de omgeving volledig wordt bepaald door de huidige toestand en de actie die werd ondernomen door de agent. Wanneer dit niet het geval is dan wordt de omgeving STOCHASTISCH genoemd. ■

Voorbeeld 1.13 Een spel als schaken is deterministisch: wanneer men de pion verplaatst van b2 naar b4, dan zal dit ook gebeuren. Een kansspel als backgammon waarbij met een dobbelsteen moet worden gegooid is stochastisch. Autorijden is een zodanig complexe omgeving dat ze beschouwd wordt als stochastisch. ■

Opmerking 1.14 Merk op dat in de definitie geen rekening wordt gehouden met onzekerheid die veroorzaakt wordt door andere agenten, zoals bv. bij schaken. ■

Definitie 1.15 In een EPISODISCHE omgeving is de ervaring van de agent opgedeeld in verschillende *onafhankelijke* episodes. De actie die wordt ondernomen in de huidige episode heeft *geen* invloed op de volgende episode. Wanneer de huidige actie een (potentiële) invloed heeft op alle volgende acties dan noemt men de omgeving SEQUENTIEEL. ■

Voorbeeld 1.16 Een agent die defecte onderdelen van een lopende band moet plukken handelt in een episodische omgeving. De beslissing die genomen werd m.b.t. het huidige onderdeel heeft geen invloed op de beslissing m.b.t. het volgende onderdeel. Schaken is dan weer een sequentiële omgeving: veel schakers weten dat één slechte zet een negatieve invloed kan hebben op het volledige verdere verloop van het spel. ■

Definitie 1.17 Een omgeving is STATISCH wanneer die niet verandert terwijl de agent nadenkt over zijn volgende actie; wanneer dit wel het geval is dan noemen we de omgeving DYNAMISCH. ■

Voorbeeld 1.18 Het invullen van een kruiswoordraadsel is een statische omgeving. Zolang de agent geen woord invult wijzigt het kruiswoordraadsel niet. Autorijden is duidelijk een dynamische omgeving: zelfs wanneer de agent geen actie onderneemt verandert de omgeving. ■

Statische omgevingen zijn gemakkelijk omdat de agent in principe zoveel tijd kan nemen als hij wil bij het nemen van zijn beslissing. Dynamische omgevingen zijn veeleisender: zij vragen voortdurend welke actie er moet ondernomen worden.

Definitie 1.19 Een omgeving kan DISCRETE of CONTINUE aspecten hebben. Die slaat op het aantal mogelijke toestanden, de manier waarop met de tijd wordt omgegaan en op de acties en de waarnemingen van agent. Wanneer er bv. maar een eindig aantal toestanden zijn dan noemt men dit een discrete omgeving; wanneer er bv. een oneindig aantal mogelijke acties zijn dan noemt men de acties continu. ■

Voorbeeld 1.20 Schaken (zonder klok) heeft slechts een eindig aantal toestanden² en is dus een discrete omgeving. Ook het aantal mogelijke acties in elke toestand is eindig, dus de acties zijn ook discreet. Bij autorijden is het aantal mogelijke toestanden duidelijk oneindig. Ook de acties zelf zijn continu, er zijn bv. oneindig veel mogelijkheden (hoeken) om aan het stuur te draaien. ■

Het is duidelijk dat de *meest eenvoudige* omgeving een compleet observeerbare, eenpersoons, deterministische, episodische, statische en discrete omgeving is. Helaas zijn *realistische* omgevingen vaak partieel observeerbaar, multipersoons, stochastisch, sequentieel, dynamisch en continu!

1.4 Structuur van Agenten

We hebben reeds gezien dat de implementatie van een agent a.d.h.v. een tabel in de praktijk niet haalbaar is.

Praktisch is de invoer van een agent op elk moment één enkele waarneming, en dus *geen* waarnemingssequentie. We bekijken nu hoe agenten geïmplementeerd kunnen worden, weliswaar nog steeds op een abstract niveau.

²Zelfs al is dit aantal zeer groot.

Op een hoog niveau worden agenten onderverdeeld in vier types. Deze vier types zijn in oplopende volgorde van complexiteit (en bruikbaarheid):

- Een eenvoudige reflex agent.
- Een modelgebaseerde reflex agent.
- Een doelgebaseerde agent.
- Een utiliteitsgebaseerde agent.

We bespreken nu kort deze vier types.

De eenvoudige reflex agent Dit type van agent heeft geen geheugen, en neemt zijn volgende actie *enkel en alleen op basis van de huidige waarneming*. Conceptueel bestaat er een lijst van conditie-actie regels die één voor één worden getest en de eerste regel waarvan het antecedent voldaan is wordt uitgevoerd. Een voorbeeld van zo'n conditie-actie regel is:

ALS auto voor mij aan het remmen is DAN rem.

Het is duidelijk dat een eenvoudige reflex agent in de problemen komt wanneer de omgeving niet compleet observeerbaar is. Wanneer de auto voor ons niet over een derde remlicht beschikt is het niet altijd mogelijk om op basis van één enkel frame (foto) uit te maken of deze aan het remmen is of niet.

De modelgebaseerde reflex agent Dit type van agent houdt een *inschatting* bij van wat de huidige toestand is; deze inschatting is over het algemeen *niet gelijk* aan de werkelijke toestand. De agent beschikt over een model van de manier waarop de toestand wijzigt zowel onafhankelijk van de agent (i.e. de fysica van de wereld) als door de acties van de agent. Telkens wanneer een nieuwe waarneming binnenkomt wordt de inschatting van de huidige toestand aangepast m.b.v. het model, de waarneming en de laatst ondernomen actie. Daarna worden de conditie-actie regels losgelaten op de inschatting van de huidige toestand.

De doelgebaseerde agent De inschatting (of zelfs de volledige kennis) van de huidige toestand is niet steeds voldoende om te weten wat je moet doen. Veronderstel dat de huidige toestand "op kruispunt de Sterre in Gent" is. Wat is nu de volgende actie die men moet ondernemen? Dit hangt duidelijk

af van de bestemming die men wil bereiken! Behalve een inschatting van de huidige toestand heeft een agent ook een beschrijving nodig van het *doel* dat moet bereikt worden.

Een doelgebaseerde agent beschikt, net zoals de modelgebaseerde agent, over een model van de wereld. Een doelgebaseerde agent bedenkt echter hoe de wereld zal evolueren op basis van zijn acties en selecteert die acties die (hopelijk) het doel zullen bereiken.

Soms kan het doel bereikt worden door één enkele actie. Vaak zijn meerdere acties nodig en dan kunnen bv. de zoekalgoritmes uit Hoofdstuk ?? worden gebruikt.

Een doelgebaseerde agent is veel flexibeler dan een modelgebaseerde reflex agent. Wanneer men een modelgebaseerde reflex agent een nieuwe bestemming wil geven dan moeten alle conditie-actie regels worden herschreven. Bij een doelgebaseerde agent moet enkel de bestemming worden gewijzigd.

De utiliteitsgebaseerde agent Veronderstel dat de taak van een doelgebaseerde agent is om je Gent naar Brugge te brengen. De agent gaat van Gent naar Brussel en dan via Doornik en Kortrijk naar Brugge. Vanuit het oogpunt van een doelgebaseerde agent is de missie geslaagd: het doel is bereikt. Het is echter duidelijk dat rechtstreeks van Gent naar Brugge gaan via de E40 wellicht een betere optie was. Een doelgebaseerde agent is dichotoom: een toestand is een doelttoestand of niet.

Een utiliteitsgebaseerde agent gebruikt een UTILITEITSFUNCTIE die aangeeft hoe “goed” een toestand is. De utiliteitsfunctie is in essentie niets anders dan de internalisatie van de performantiemaat! Wanneer utiliteitsfunctie en performantiemaat overeenkomen dan zal een utiliteitsgebaseerde agent die zijn (verwachte) utiliteit gaat maximaliseren ook meteen zijn performantiemaat gaan maximaliseren.

Het gebruik van de utiliteitsfunctie zorgt ervoor dat dit type van agent veel flexibeler is dan een doelgebaseerde agent.

1.5 Oefeningen

1. Rush Hour wordt gespeeld op een $n \times n$ spelbord. Op het spelbord staan een aantal auto's, die elk twee aaneengrenzende vakjes beslaan,



Figuur 1.3: Illustratie van het spel Rush Hour.

en een aantal vrachtwagens, die elk drie aaneengrenzende vakjes beslaan. Het spelbord bevat aan één van de zijden een uitgang. De spelregels zijn heel eenvoudig: je kan bij elke beurt een willekeurige auto of vrachtwagen een aantal vakjes voorwaarts of achterwaarts verplaatsen in de richting waarin deze geplaatst is op het spelbord. Uiteraard kunnen voertuigen elkaar niet overlappen en kunnen ze niet over elkaar springen. Het probleem is dat een specifieke auto (op Figuur 1.3 gemarkeerd met X) naar de uitgang van het spelbord moet geleid worden. Hierbij moet de totale afgelegde afstand (som van alle afstanden door verplaatsen van auto's en/of vrachtwagens) zo laag mogelijk gehouden worden.

- a) Geef een concrete invulling voor de performantiemaat van een agent die dit spel gaat spelen.
- b) Is de omgeving compleet of partieel observeerbaar? Verklaar bondig je antwoord.
- c) Is de omgeving een eenpersoons of een multipersoons omgeving? Verklaar bondig je antwoord.
- d) Is de omgeving deterministisch of stochastisch? Verklaar bondig je antwoord.

- e) Is de omgeving dynamisch of statisch? Verklaar bondig je antwoord.
 - f) Is de omgeving continu of discreet? Verklaar bondig je antwoord.
2. (Russell and Norvig, 2014, Oefening 2.10) Beschouw de versie van de stofzuigerwereld waarin de agent 10 punten krijgt voor elke propere locatie in één tijdseenheid, maar een strafpunt krijgt voor elke verplaatsing die hij uitvoert. De agent beschikt over 1000 tijdseenheden. De opbouw van de omgeving is gekend (twee locaties *A* en *B*), maar de initiële verdeling van het vuil is onbekend. Elke waarneming geeft de positie aan (*A* of *B*) en of de locatie vuil is of niet.
- a) Kan een eenvoudige reflex agent perfect rationaal zijn in deze omgeving? Verklaar je antwoord.
 - b) Wat met een modelgebaseerde reflex agent? Ontwerp zo'n agent in pseudocode.
 - c) Hoe veranderen de antwoorden op de voorgaande vragen eventueel wanneer elke waarneming bovendien ook de proper/vuil status van de andere locatie teruggeeft.

Bibliografie

- Bellman, R. (1978). *An introduction to artificial intelligence: Can computers think?* Thomson Course Technology.
- Nilsson, N. J. (1998). *Artificial Intelligence : a new synthesis*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Prieditis, A. E. (1993). Machine discovery of effective admissible heuristics. *Machine learning*, 12(1-3):117–141.
- Rich, E. and Knight, K. (1991). *Artificial Intelligence*. McGraw Hill Higher Education, 2 edition.
- Russell, S. J. and Norvig, P. (2014). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson Education, Limited, Harlow, third edition.
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236):433–460.
- Winston, P. H. (1992). *Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, 3 edition.