

Samenvatting

Een compositionele semantische structuur voor de dynamiek van multi-agentsystemen

Sinds enige jaren is er in de Informatica en in de Kunstmatige Intelligentie veel belangstelling voor *multi-agentsystemen*. Hieronder worden software- (of hardware-) systemen verstaan die zijn opgebouwd uit samenwerkende autonome delen, de agenten. Er bestaat, voor analyse en ontwerp, behoefte aan specificatieformalismen die speciaal geschikt zijn voor dergelijke systemen. De betekenis (semantiek) van dergelijke formalismen moet precies worden vastgelegd om geautomatiseerde ondersteuning van het analyse- en ontwerpproces mogelijk te maken.

De semantiek van een specificatieformalisme bestaat uit een afbeelding van uitdrukkingen in dat formalisme op een verzameling van concepten en relaties tussen deze concepten die voldoende rijk is om de beoogde semantiek uit te drukken. In dit proefschrift wordt een dergelijke verzameling een *semantische structuur* genoemd. Ten behoeve van bovengenoemde precisie wordt de semantische structuur zelf beschreven met behulp van formele, wiskundige begrippen.

Doel van het in dit proefschrift gepresenteerde onderzoek is het ontwikkelen van een semantische structuur voor de beschrijving van de dynamiek van multi-agentsystemen. Vanwege de specifieke eigenschappen van multi-agentsystemen wordt aan de semantische structuur een viertal eisen gesteld: (i) de semantische structuur moet ondersteuning bieden voor de beschrijving van zowel de interne dynamiek van een agent als van de interactie tussen agenten, (ii) de beschrijving van dynamiek moet compositioneel zijn (dat wil zeggen, gedrag van een systeem wordt beschreven in termen van het gedrag van de onderdelen van het systeem), (iii) dynamiek moet worden uitgedrukt in termen van de toestand en toestandsovergangen van de agenten, en (iv) dynamiek van een bepaald systeemdeel moet beschreven kunnen worden in termen die alleen aan dat systeemdeel (en eventueel onderdelen daarvan) refereren (met andere woorden, er kan niet worden uit-

Samenvatting

gegaan van een toestandsbegrip op globaal ofwel systeemniveau). Deze eisen worden nader toegelicht in hoofdstuk 1.

Het startpunt voor de ontwikkeling van de semantische structuur is de aanname dat een multi-agentsysteem gemodelleerd kan worden als een *compositioneel systeem*. Met een compositioneel systeem wordt een systeem bedoeld dat bestaat uit *componenten* en verbindingen tussen deze componenten: de *information links*. Een component vormt een eenheid van gegevens en bewerkingen op die gegevens. Een component biedt diensten aan ten behoeve van andere componenten, en kan zelf van diensten van andere componenten gebruik maken. De hiervoor benodigde uitwisseling van informatie vindt plaats via de information links tussen de componenten. Een component kan zelf bestaan uit andere componenten. Hierdoor ontstaat een recursieve systeemstructuur.

In de hoofdstukken 2 en 3 wordt het startpunt voor de ontwikkeling van de semantische structuur verder uitgewerkt. In hoofdstuk 2 wordt het componentbegrip nader toegelicht en wordt een groot aantal keuzes besproken met betrekking tot het mechanisme van informatie-uitwisseling tussen componenten. Voor de ontwikkeling van de semantische structuur moet een aantal van deze keuzes worden vastgelegd. In hoofdstuk 3 wordt besproken hoe een multi-agentsysteem gemodelleerd kan worden als een compositioneel systeem. Ook hierbij is sprake van een zekere keuzevrijheid, die in hoofdstuk 3 aan de orde komt. Deze keuzes hoeven echter niet vastgelegd te worden voor de verdere ontwikkeling van de semantische structuur.

De hoofdstukken 4 tot en met 7 bevatten de formele beschrijving van de semantische structuur. Hoofdstuk 4 beschrijft op informele wijze de centrale constructie in de semantische structuur, die in hoofdstuk 5 formeel wordt uitgewerkt. Daarnaast wordt een voorbeeld geïntroduceerd dat in de volgende hoofdstukken gebruikt wordt om de semantische structuur te illustreren. Een beschrijving van de dynamiek van een compositioneel systeem in termen van de semantische structuur bestaat uit *traces*, één voor elke component, waarbij een trace een opeenvolging is van *lokale toestanden* van die component. In een lokale toestand komt alleen de (beschrijving van) de toestand van de component in kwestie voor in zijn trace, niet die van andere componenten. Alleen lokale traces die *compatibel* zijn komen tezamen voor in de verzameling van traces die het gedrag van een compositioneel systeem beschrijft. Lokale traces van twee componenten die aan elkaar zijn verbonden met een information link, zijn compatibel als de traces informatie-uitwisseling volgens de beschrijving van deze link respecteren. Hiermee wordt in essentie bedoeld dat informatie die verzonden wordt in de ene trace moet ontvangen worden in de andere. (Lokale traces van twee componenten die niet verbonden zijn met een information link, zijn per definitie compatibel.)

In hoofdstuk 5 worden allereerst formele definities gegeven voor de begrippen die in de hoofdstukken 2 en 3 geïntroduceerd zijn. Hiermee is de niet-dynamische structuur van compositionele systemen vastgelegd. Vervolgens worden drie perspectieven op het gedrag van een compositioneel systeem formeel gedefinieerd.

Deze drie perspectieven verschillen in de mate waarin het gedrag van sub-componenten zichtbaar is in de beschrijving van het gedrag: in het geheel niet, één niveau diep, of volledig. Hoofdstuk 6 gaat nader in op het begrip compatibiliteit. De keuzes die in hoofdstuk 2 beschreven zijn met betrekking tot het mechanisme van informatie-uitwisseling, worden in dit hoofdstuk gerepresenteerd als eisen op de compatibiliteitsrelaties tussen verzamelingen van lokale traces. Hoofdstuk 7 laat zien dat, uitgaande van de concepten gepresenteerd in de hoofdstukken 5 en 6 (waarin geen globaal toestandsbegrip voorkomt) een globaal toestandsbegrip gedefinieerd kan worden, zonder daarbij uit te gaan van een globaal (gesynchroniseerd) tijdsbegrip. Het geïntroduceerde globale toestandsbegrip wordt vergeleken met soortgelijke noties uit de literatuur.

Hoofdstuk 8 is gewijd aan het modelleren van besturing in de semantische structuur en in multi-agentsystemen. Vanwege de veronderstelde autonomie van agenten is de modellering van besturing aan beperkingen onderhevig. Besturing wordt opgevat als informatietransmissie van een component naar een te besturen component met het beoogde doel om invloed uit te oefenen op het gedrag van de te besturen component. Op deze wijze opgevat kan besturing worden beschreven in termen van de semantische structuur zonder dat de semantische structuur uitgebreid hoeft te worden, en wordt de autonomie van bestuurd componenten niet aangetast.

De hoofdstukken 9, 10 en 11 gaan in op toepassingen van de semantische structuur. In deze hoofdstukken staat het DESIRE modelleerraamwerk centraal. Dit modelleerraamwerk biedt een gedeeltelijk grafische en gedeeltelijk tekstuele taal voor de specificatie van multi-agentsystemen. De taal is voldoende rijk om automatische vervaardiging van uitvoerbare prototypes van de gespecificeerde systemen mogelijk te maken. In hoofdstuk 9 wordt een gedetailleerde beschrijving van de betekenis van DESIRE-specificaties in termen van de semantische structuur gegeven, met nadruk op de dynamiek van in DESIRE gespecificeerde multi-agent-systemen. In hoofdstuk 10 wordt een samenwerkingsmodel voor het verkrijgen van exclusieve beschikking over een zeker middel gespecificeerd met behulp van DESIRE. Bij dit model gaat het om samenwerking tussen een gering aantal agenten met een complexe structuur. Het omgekeerde is het geval in hoofdstuk 11, waar een DESIRE-specificatie wordt gepresenteerd van altruïstisch gedrag van eenvoudige agenten. Van beide specificaties wordt geschetst hoe zij geanalyseerd kunnen worden door uit te gaan van hun betekenis in termen van de semantische structuur.

Het laatste hoofdstuk van het proefschrift, hoofdstuk 12, bevat een evaluatie van de semantische structuur met betrekking tot de eisen die in hoofdstuk 1 gesteld zijn. Daarnaast wordt de in dit proefschrift gepresenteerde benadering vergeleken met enkele andere benaderingen uit de literatuur.

Samenvatting