

Summary

Michael Spranger

This thesis contributes to our understanding of the origins of spatial language by carrying out language game experiments with artificial agents instantiated as humanoid robots. It tests the theory of language evolution by linguistic selection, which states that language emerges through a cultural process based on the recruitment of various cognitive capacities in the service of language. Agents generate possible paradigmatic choices in their language systems and explore different language strategies. Which ones survive and dominate depends on linguistic selection criteria, such as expressive adequacy with respect to the ecological challenges and conditions in the environment, minimization of cognitive effort, and communicative success.

To anchor this case study in empirical phenomena, the thesis reconstructs the syntax and semantics of German spatial language, in particular German locative phrases. Syntactic processing is organized using Fluid Construction Grammar (FCG), a computational formalism for representing linguistic knowledge. For the semantics the thesis focusses in particular on proximal, projective and absolute spatial categories as well as perspective, perspective reversal and frame of reference. The semantic investigations use the perspective of Embodied Cognitive Semantics. The spatial semantics is grounded in the sensory-motor experiences of the robot and made compositional by using the Incremental Recruitment Language (IRL) developed for this purpose. The complete reconstructed system allows humanoid robots to communicate successfully and efficiently using the German locative system and provides a performance base line. The reconstruction shows that the computational formalisms, i.e. FCG and IRL, are sufficient for tackling complex natural language phenomena. Moreover, the reconstruction efforts reveal the tight interaction of syntax and semantics in German locative phrases.

The second part of the thesis concentrates on the evolution of spatial language. First the focus is on the formation and acquisition of spatial language by proposing strategies in the form of invention, adoption, and alignment operators. The thesis shows the adequacy of these strategies in acquisition experiments in which some agents act as learners and others as tutors. It shows next in language formation experiments that these strategies are sufficient to allow a population to self-organize a spatial language system from scratch. The thesis continues by studying the origins and competition of language strategies. Different conceptual strategies are considered and studied systematically, particularly in relation to the properties of the environment, for example, whether a global landmark is available.

Different linguistic strategies are studied as well, for instance, the problem of choosing a particular reference object on the scene can be solved by the invention of markers, which allows many different reference objects, or by converging to a standard single reference object, such as a global landmark.

The thesis demonstrates that the theory of language evolution by linguistic selection leads to operational experiments in which artificial agents self-organize semantically rich and syntactically complex language. Moreover, many issues in cognitive science, ranging from perception and conceptualization to language processing, had to be dealt with to

instantiate this theory, so that this thesis contributes not only to the study of language evolution but to the investigation of the cognitive bases of spatial language as well.

Samenvatting

Deze dissertatie draagt bij tot het begrip van de oorsprong van ruimtelijke taal door 'language game experimenten' (d.i. 'taalspel'-experimenten) met artificiële agents die geïnstanceerd zijn als humanoïde robots. Dit werk onderzoekt de theorie van taalevolutie d.m.v. linguïstische selectie, die stelt dat taal emergeert als het gevolg van een cultureel proces waarbij verschillende cognitieve capaciteiten gerecruteerd worden voor linguïstische doeleinden.

Agents brengen mogelijke paradigmatische keuzes voort in hun taalsystemen en verkennen verschillende taalstrategieën. Welke van die keuzes en strategieën uiteindelijk zullen overleven en domineren hangt af van linguïstische selectiecriteria, zoals de expressieve adequaatheid gegeven de ecologische uitdagingen en condities in de omgeving, de minimalisatie van cognitieve inspanning, en het succes in communicatie.

Om een stevige verankering in empirische fenomenen te waarborgen van deze case-study, biedt deze thesis een reconstructie aan van de syntaxis en de semantiek van het ruimtelijke taalsysteem van het Duits, meer specifiek Duitse bepalingen van plaats. Syntactische verwerking gebeurt met Fluid Construction Grammar (FCG), een computationeel formalisme voor de representatie van linguïstische kennis. Wat betreft de semantiek belicht deze thesis vooral proximale, projecterende en absolute ruimtelijke categorieën, evenals de ommekeer van perspectief en referentiekader. Dit onderzoek naar semantiek vertrekt vanuit de invalshoek van 'Embodied Cognitive Semantics'.

De ruimtelijke semantiek is gegrond in de sensomotorische ervaringen van de robot en is compositioneel dankzij het formalisme Incremental Recruitment Language (IRL), dat ontworpen is voor deze doelstellingen. Het volledige gereconstrueerde taalsysteem laat humanoïde robots toe om efficiënt en succesvol te communiceren d.m.v. de Duitse grammatica voor plaatsbepalingen en levert de prestatiebaseline voor de overige experimenten in deze thesis. De reconstructie toont aan dat de gebruikte computationele formalismen (FCG en IRL) over de nodige expressiviteit beschikken om complexe fenomenen uit natuurlijke talen aan te pakken. Bovendien brengt dit werk de nauwe interactie aan het licht tussen syntaxis en semantiek in Duitse ruimtelijke uitdrukkingen.

Het tweede deel van deze thesis concentreert zich op de evolutie van ruimtelijke taal. Een eerste aandachtspunt is de formatie en verwerving van ruimtelijke taal, gegeven een aantal strategieën die de vorm aannemen van operatoren voor uitvinding, adoptie en alignatie. Deze thesis demonstreert de adequaatheid van deze strategieën door taalverwervingsexperimenten waarbij sommige agents handelen als leerder, en andere als leraar. Daarna tonen taalformatie-experimenten aan dat deze strategieën een populatie van agents in staat stellen om hun eigen ruimtelijke taalsysteem van nul af aan te ontwikkelen via zelforganisatie. Vervolgens onderzoekt deze thesis de oorsprong en competitie van zulke taalstrategieën.

Hierbij worden verschillende conceptuele strategieën op systematische wijze onder de loep genomen, voornamelijk met betrekking tot de eigenschappen van de omgeving, bijvoorbeeld of er al dan niet een globaal oriëntatiepunt aanwezig is. Verschillende linguïstische strategieën komen ook aan bod, zoals bijvoorbeeld bij de keuze van een oriëntatiepunt in de scene. Dit probleem kan opgelost worden door een grammaticale markeerder uit te vinden die toegepast kan worden op vele verschillende referenten, of d.m.v. een populatiebrede convergentie op het gebruik van een vaste referent als globaal oriëntatiepunt.

Deze dissertatie toont aan dat de theorie van taalevolutie d.m.v. linguïstische selectie leidt tot operationele experimenten waarin artificiële agents via zelforganisatie talen kunnen ontwikkelen die erg rijk zijn op zowel semantisch als syntactisch vlak. Om deze theorie te kunnen instantiëren, raakt dit onderzoek bovendien vele kwesties aan uit de cognitieve wetenschap, gaande van perceptie en conceptualisatie tot taalverwerking. Daardoor draagt deze thesis niet alleen bij tot de studie van taalevolutie, maar ook tot het onderzoek naar de cognitieve basis van ruimtelijke taal.