Kognitionswissenschaft manuscript No.
(will be inserted by the editor)

Steuerung der Inferenz in der Diskursverarbeitung

Markus Egg[1], Claire Gardent[1], Michael Kohlhase[2] *

[1] FB Computerlintuistik
[2] FB Informatik
Universität des Saarlandes
D-66041 Saarbrücken

Received: date / Revised version: date

Guiding Inferences in Discourse Processing
Summary. Semantic interpretation is an essential component of natural language understanding which draws on extremely efficient language-based inference techniques. Such techniques are still lacking in computational systems for natural language processing. We have investigated specialized representation formalisms and suitable inference techniques that meet some of these desiderata. We have developed higher-order inference procedures to accurately represent linguistic ambiguities in terms of underspecification, and show how these procedures can be guided by information from other linguistic strata.

Zusammenfassung. Semantische Auswertung ist in der menschlichen Sprachverarbeitung unabdingbar und wird mittels sehr effizienter Inferenztechniken ausgeführt. In der maschinellen Sprachverarbeitung dagegen fehlen vergleichbare Verfahren. Wir haben spezialisierte Repräsentationsformalismen und auch geeignete Inferenzmethoden untersucht, die hier eine Verbesserung darstellen. Es wurden höherstufige Inferenzprozeduren zur paßgenauen Darstellung sprachlicher Mehrdeutigkeiten durch Unterspezifikation erarbeitet und Möglichkeiten aufgezeigt, diese durch Information aus anderen sprachlichen Ebenen zu steuern.

1 Einleitung

Inferenz ist eine wesentliche Komponente bei der Verarbeitung natürlich-sprachlichen Diskurses. Wir verwenden Inferenzen beispielsweise dazu, Anaphern und Ellipsen zu analysieren, Ambiguitäten zu resolvieren, semantische Konflikte zu vermeiden oder um die Kohärenzrelationen zu etablieren, die die einzelnen Diskurssegmente miteinander verbinden. Menschliche Inferenzen zeichnen sich durch ihre extreme Effizienz aus. Demgegenüber stellt sich bei formalen Inferenzsystemen das Problem der kombinatorischen Explosion: Die Suchräume für Beweise wachsen mit steigender Beweislänge meist exponentiell an, und tiefe Inferenzketten sind nur mit sehr gutem bereichsspezifischem Wissen kontrollierbar. Eine der zentralen Aufgaben der Sprachverarbeitungssysteme ist die Entwicklung von Systemen, die den umfassenden Anforderungen und Bedürfnissen der Diskursverarbeitung gerecht werden, aber trotzdem handhabbar bleiben.

Unser Forschungsansatz ist es, linguistische Information auf verschiedenen Ebenen in einem einheitlichen Beschreibungsformalismus zu erfassen und für die Steuerung der Inferenz heranzuziehen. Dabei wurden Verfahren entwickelt, die syntaktische, prosodische, pragmatische und Diskursinformation verwenden können. Die bei der semantischen Auswertung benötigte Kombinierbarkeit der Verfahren muß sich schon in der Kombinierbarkeit der Basisformalismen widerspiegeln.

Im folgenden werden wir zuerst die Grundzüge der höherstufigen Analysen vorstellen und zeigen, daß sie sich auf eine ganze Reihe von linguistischen Phänomenen erweitern lassen, die gemeinhin als kritisch für die semantische Auswertung angesehen werden. Im darauffolgenden Abschnitt zeigen wir, wie die Suchproblematik der dabei verwendeten Inferenzverfahren höherer Stufe durch die Einbeziehung verschiedener Arten von linguistischer Information in den betrachteten Fällen auf ein handhabbares Maß zurückgeführt werden kann.

2 Semantische Verarbeitung mit höherstufigen Verfahren

Einer wichtiger Meilenstein der Linguistik war die Einbeziehung höherstufiger Logiken zur Modellierung der Semantikkonstruktion durch Montague (1974). So kann

* Die dem Artikel zugrundeliegenden Arbeiten entstanden im Rahmen des SFB 378 der DFG in den Projekten CHORUS und LISA.

man allen Satzkonstituenten eigene (höherstufige) Teil-Semantiken zuschreiben, die durch Applikation und sukzessive *β-Reduktion* zur Satzsemantik kombiniert werden. Z.B. wird ein Artikel wie *jeder* semantisch als Inklusionsrelation zwischen Eigenschaften interpretiert und durch den λ-Ausdruck $\lambda P.\lambda Q.\forall x P(x) \rightarrow Q(x)$ repräsentiert. Die erwünschte Bedeutung

$$\forall x.\mathbf{student}'(x) \rightarrow \mathbf{schlaf}'(x)$$

des Satzes *Jeder Student schläft.* ergibt sich so unmittelbar durch Applikation der Bedeutung des Artikels auf die Bedeutung **student′** seines Substantivs und die Bedeutung **schlaf′** der Verbalphrase *schläft.* Der Prozeß der β-Reduktion überführt

$$(\lambda P.\lambda Q.\forall x.P(x) \rightarrow Q(x))(\mathbf{student}', \mathbf{schlaf}')$$

in $\forall x.\mathbf{student}'(x) \rightarrow \mathbf{schlaf}'(x)$ durch Ersetzen der formalen Parameter P und Q durch die Argumente.

Neuere Arbeiten greifen diese Ideen auf, und benutzen Inferenztechniken höherer Stufe zum Aufbau einer Diskurssemantik (Dalrymple et al., 1991; Pulman, 1997). Im folgenden werden wir die Grundzüge dieser Arbeiten und ihre Erweiterung auf ein breiteres Spektrum linguistischer Phänomene darstellen.

Unifikation höherer Stufe für VP-Ellipsen

Bei sogenannten Ellipsen muß der Hörer phonetisch nicht realisiertes Material (bei VP-Ellipsen die Verbphrase) rekonstruieren. Dabei können Mehrdeutigkeiten auftreten, die erfaßt und aufgelöst werden müssen. Für die Modellierung dieses Prozesses verwenden Dalrymple et al. (1991) die Unifikation höherer Stufe: Zum Beispiel wird der Satz (1) durch die Formel (2) repräsentiert, wobei R eine Variable höherer Stufe ist, die die Ellipse *auch* repräsentiert. Deren Wert wird aus Gleichung (3) berechnet.[1]

(1) Jon liebt seine Frau. Peter auch.
(2) $liebt(j, f(j)) \wedge R(p)$
(3) $liebt(j, f(j)) = R(j)$

Unifikation höherer Stufe (HOU) ist der Prozeß, für gegebene Terme A und B eine Substitution σ zu finden, so daß $\sigma(A)$ und $\sigma(B)$ gleich sind, wenn man die durch die β-Reduktion induzierte Gleichheit berücksichtigt. In unserem Beispiel liefert sie die erwünschten Lösungen $\lambda z.liebt(z, f(z))$ und $\lambda z.liebt(z, f(j))$ für R: Sowohl

$$(\lambda z.liebt(z, f(z)))(j)$$

als auch

$$(\lambda z.liebt(z, f(j)))(j)$$

werden durch β-Reduktion zu $liebt(j, f(j))$ reduziert. Diese beiden Lösungen liefern die korrekten Interpretationen *Jon liebt Jons Frau und Peter liebt Peters Frau* (die sogenannte „Sloppy"-Lesart) oder als *Jon liebt Jons Frau und Peter liebt Jons Frau* (die sogenannte „strikte" Lesart) für *Jon liebt seine Frau. Peter auch.*

Höherstufige Analysen nutzen aus, daß es – anders als bei der Unifikation erster Stufe (die die Theorie der β-Gleichheit nicht in Betracht zieht) – bei der höherstufigen Unifikation zu zwei gegebenen Termen mehr als einen allgemeinsten Unifikator (Lösungssubstitution) geben kann, um sprachliche Mehrdeutigkeiten direkt auszudrücken. Die logische Form (2) von (1) dient dabei als unterspezifizierte Repräsentation, deren Disambiguierung durch höherstufige Unifikation errechnet wird.

Wir konnten zeigen, daß diese Ansätze sich auf andere linguistische Phänomene erweitern lassen. Insbesondere ermöglicht eine Anwendung des HOU-Ansatzes auf *Parallelstrukturen* (Gardent, 1997b, 1997c) eine genaue Beschreibung der Interaktion von Anaphern, Ellipsen, Fokus und Kontext und eine allgemeine Theorie der notorischen „Sloppy Identity", die auch für Ambiguität im letzten Beispiel verantwortlich war. Weiterhin kann höherstufige Unifikation als allgemeiner Berechnungsmechanismus für die Informationsstruktur von Äußerungen eingesetzt werden (Gardent & Kohlhase, 1996a).

Kontext-Unifikation für Skopusambiguitäten

Weitere Mehrdeutigkeiten treten bei der Interaktion skopustragender Konstituenten, wie zum Beispiel der beiden Quantoren im folgenden Satz auf:[2]

(4) Every researcher visited a company.

Auch solche Mehrdeutigkeiten lassen sich durch Unterspezifikation erfassen (Hobbs & Shieber, 1987). Wir haben diese Art von Mehrdeutigkeit als Menge von „Constraints" über die Bedeutung eines Satzes mit Skopusambiguitäten beschrieben. Die Constraints beschreiben die Menge der eindeutigen Lesarten des Satzes, die daraus durch die sogenannte Kontextunifikation (CU) berechnet werden können. Dabei werden die in den Constraints enthaltenen Kontextvariablen instantiiert. CU ist eine Weiterentwicklung von USDL (Underspecified Semantic Description Language, Pinkal, 1996) und eine eingeschränkte Form von linearer Unifikation zweiter Stufe. Ein Berechnungsverfahren zur Kontextunifikation wie in Niehren et al. (1997a) liefert die Lösungen für derartige Constraints. Es wurde eine Resolutionskomponente für diese Beschränkungsmengen entwickelt, die eine einfache und intuitive Beschreibung auch von Sätzen mit eingebetteten Quantoren erlaubt.

[1] Die Intuition ist hier, daß der elliptische Satz Peter die Eigenschaft R zuspricht. R ist dadurch bestimmt, daß wenn Jon sie hätte, gerade die Bedeutung des ersten Satzes herauskäme.

[2] Skopusambiguitäten bei Quantoren sind eine besonders für das Englische charakteristische Erscheinung, daher haben wir als Beisiele für dieses Phänomen englische Sätze verwendet.

Erweiterung auf dynamische Logiken

Die bisher beschriebenen Beschreibungsformalismen sind statisch im linguistischen Sinne, d.h. die Zugänglichkeit von gebundenen Variablen ist durch die logischen Skopusverhältnisse vorgegeben. Dies ist vor allem im Zusammenhang mit Quantoren problematisch. So wird z.B. der Satz *Ein*$_i$ *Mann schläft* repräsentiert durch die Formel $\exists x.mann(x) \wedge schl\ddot{a}ft(x)$; damit suggeriert die formale Repräsentation in Prädikatenlogik erster Stufe fälschlicherweise, daß es unmöglich sei, den Diskurs fortzusetzen durch *Er schnarcht*$_i$, da der Diskursreferent x nur im Skopus des Quantors $\exists$ Sinn macht. Zur Beschreibung solcher Phänomene haben sich sog. dynamische Logiken wie DRT (Kamp, 1981) etabliert, die relativ bald auf die höhere Stufe zur λ-DRT (Bos et al., 1994) verallgemeinert wurden. Eine Übertragung der oben genannten HOU-Ansätze zur Semantikkonstruktion auf eine dynamische Basis würde diese um eine uniforme Möglichkeit zur Quantorenbehandlung erweitern. Daher wurde als Vorstufe eine denotationale Semantik für λ-DRT erarbeitet (Kohlhase et al., 1996) und auf dieser Basis ein dynamischer λ-Kalkül DLC (Kohlhase & Kuschert, 1997) als allgemeiner Basisformalismus für dynamische Logiken höherer Stufe entwickelt. Genau wie $\lambda^{\rightarrow}$ eine algebraische Basis für höherstufige Logiken ist und damit der Rahmen für höherstufige Unifikation, ist DLC eine algebraische Basis für λ-DRT und so eine algebraische Basis für dynamische Unifikation höherer Stufe HODU, die gerade in Arbeit ist. Erste Anwendungen (Egg & Kohlhase, 1997a) zeigen, daß diese einen Inferenzprozeß zur adäquaten Quantorenbehandlung in HOU-Ansätzen bereitstellt.

Integration von Pragmatik und Weltwissen

All diesen Arbeiten ist gemeinsam, daß sie das Sprachverstehen als einen isolierten, kontextunabhängigen Prozeß modellieren. Das Zusammenwirken sprachlichen und nichtsprachlichen Wissens wird dabei völlig ausgeblendet, was zu Analysefehlern führen kann. So wird zum Beispiel der folgende (wohlgeformte) Dialog fälschlicherweise von HOU-Analysen zurückgewiesen, da die entscheidende Information, daß Sara die Nachbarstochter ist, nicht in die Analyse einbezogen werden kann.

(5) A: Peter liebt die Nachbarstochter.
(6) B: Nein, KLAUS liebt Sara.

Daher wurde von Gardent et al. (1996) der HOU-Ansatz um die Behandlung logischer Äquivalenz erweitert. Dabei werden zwei Terme auch dann als unifizierbar angesehen, wenn ihre logische Äquivalenz vor dem Hintergrund des gegebenen Weltwissens beweisbar ist. Dabei kommen Techniken des automatischen Beweisens höherer Stufe zum Einsatz (Bibel, in press).

Diskursrelationen

Die bisher besprochenen Verfahren haben ausgenutzt, daß zwischen den Teilen eines sinnvollen Diskurses Beziehungen (sogenannte Diskursrelationen) bestehen, die die Textkohärenz erzeugen. Zum Beispiel wurde im vorangegangenen Beispiel ausgenutzt, daß die Semantik des zweiten Satz mit der des ersten übereinstimmen muß, wenn man vom prosodisch markierten Material (KLAUS) absieht.

Die oben skizzierten Verfahren beschränkten sich implizit auf diejenigen Diskursrelationen, in denen eine derartige strukturelle/semantische Übereinstimmung vorliegen muß, da sich diese direkt durch höherstufige Unifikation verarbeiten läßt. Weiterhin setzen sie voraus, daß die Relationen bereits von einer anderen Komponente expliziert worden sind.

Gardent and Kohlhase (1997) beschreiben einen integrierten Ansatz ARP (Abduktive Rekonstruktion der Parallelitätsrelation) zur Erkennung von Parallelität und zur Ellipsenbehandlung. Darin wird höherstufige Unifikation mit einem sortenbasierten Kalkül zur Parallelismuserkennung verbunden. Die dabei zugrundeliegende Diskursrelation der kontrastiven Parallelität benötigt statt der Identität eine Ähnlichkeitsrelation, die in ARP aus dem taxonomischen Weltwissen (konkret aus der Sortenhierarchie) inferiert wird. Für allgemeine Ellipsen macht zum Beispiel der Kalkül bei (7) zwei Voraussagen:

(7) Jon mag Fußball, und Sara auch.

Entweder ist *Jon* parallel zu *Sara* und *Sara auch* wird interpretiert als *Sara mag Fußball* oder *Fußball* ist parallel zu *Sara* und der zweite Teil wird interpretiert als *Jon mag Sara.*

3 Einbeziehung linguistischer Beschränkungen

Die im letzten Abschnitt beschriebenen Verfahren stellen einen allgemeinen, inferenzbasierten Rahmen für die Diskursverarbeitung zur Verfügung, der es erlaubt, einzelne linguistisch interessante Phänomene zu erklären und ihre Interaktion zu beschreiben. Als Berechnungsmodell sind sie in dieser Form noch nicht geeignet, da die Inferenz völlig uneingeschränkt ist und systematisch linguistisch unerwünschte Lösungen generiert. Wie Gardent and Kohlhase (1996b) zeigen, sind solche Probleme allgegenwärtig und behindern alle oben angesprochenen Anwendungen. Die Einbeziehung linguistischer Beschränkungen hilft, sowohl das Übergenerierungsproblem als auch das Problem der kombinatorischen Explosion der Suchräume während der Analyse zu vermeiden.

Restriktionen für Parallelitätsrelationen

In unserem Ellipsenbeispiel (1) generiert höherstufige Unifikation zwei weitere Lösungen, nämlich $\lambda z.liebt(j, f(j))$

und $\lambda z.liebt(j, f(z))$. Dies liefert die unerwünschten Lesarten *Jon liebt Jons Frau und Jon liebt Jons Frau.* und *Jon liebt Jons Frau und Jon liebt Peters Frau.* Auf einer konzeptuellen Ebene ist das Problem, daß die Semantikkonstruktion Beschränkungen aus anderen linguistischen Modulen unterliegt. In unserem Beispiel ist die Beschränkung, daß der Term, der das Subjekt im Antezedenten der Ellipse repräsentiert (hier *Jon*), nicht in der Lösung vorkommen darf. Also kommt die Beschränkung sowohl aus dem Pragmatik-Modul (der Antezedent muß identifiziert werden) als auch aus dem syntaktischen Modul (die grammatikalischen Funktionen). In anderen Fällen (z.B. Fokuskonstruktionen oder „Deaccenting") können die Beschränkungen auch prosodisch sein.

Wir verwenden zur Steuerung der Inferenz eine Variante der höherstufigen Unifikation, nämlich gefärbte Unifikation höherer Stufe (HOCU) zur Modellierung dieser Beschränkungen. Diese Inferenzprozedur wurde unabhängig von den sprachlichen Anwendungen für das induktive automatische Theorembeweisen entwickelt. Dabei können Symbolvorkommen in Formeln durch Annotation (mit sogenannten Farben) unterschieden werden und lassen sich so differenziert behandeln. Gardent and Kohlhase (1996b) zeigen, daß HOCU eine geeignete Basis ist, die Schnittstelle zwischen der Semantikkonstruktion und anderen linguistischen Modulen zu formalisieren und insbesondere, daß so der Einfluß von prosodischer, syntaktischer und pragmatischer Information auf die Semantik von Ellipsen, Fokuskonstruktionen, „second occurrence expressions" und Adverbialquantifikation erfaßt werden kann. Durch eine Erweiterung der Farbmenge in HOCU auf Feature-Strukturen (im Gegensatz zu atomaren Farben) können Gardent et al. (1997) auch dynamische Beschränkungen verarbeiten, die sich aus der Kombination der oben genannten Beschränkungen ergeben.

Restriktion von Mehrdeutigkeiten durch Parallelismusrelationen

Beim Zusammenwirken verschiedener Quellen von Ambiguität ergeben sich oft wechselseitige Einschränkungen: Zum Beispiel bestehen die sogenannten „Hirschbühler-Sätze" wie (8) aus einem skopusunterspezifizierten Quellsatz und einem elliptischen, noch zu resolvierenden Zielsatz. Auch der Zielsatz ist skopusambig. (8) hat aber trotzdem nur zwei Lesarten (und nicht vier, wie eine einfache Kombination der Einzellesarten ergeben würde), da die im Antezedenssatz gewählte Skopierung der Quantoren bei der Ellipsenrekonstruktion übernommen wird. Dies wird durch die Parallelismusrelation zwischen beiden Sätzen erzwungen.

(8) Two European languages are spoken by many linguists, and two Asian ones, too.

In der Kontextunifikation kann diese Beschränkung unmittelbar durch weitere Constraints ausgedrückt werden: Z.B. beschreibt ein Constraint der Form $C(tel) = C(tal)$, daß zwei Terme strukturell gleich sind bis auf eine Position, wo der linke Term „*tel*" und der rechte Term „*tal*" enthält (Niehren et al., 1997b); hierbei stehen „*tel*" und „*tal*" für die Bedeutungen von *two European/Asian languages.* Damit lassen sich Parallelitätsphänomene auch für unterspezifizierte Quell- und Zielsätze modellieren, und zwar ohne daß vorher disambiguiert werden müßte.

Restriktion von Mehrdeutigkeiten durch anaphorische Relationen

Skopusambiguitäten zwischen Quantoren können durch anaphorische Bezüge eingeschränkt werden. So wird z.B. aufgrund der anaphorischen Abhängigkeit zwischen den Quantoren in (9) oder durch die anaphorische Wiederaufnahme eines Quantors in (10) jeweils Skopusmehrdeutigkeit ausgeschlossen:

(9) Every man with a picture of himself arrived.

(10) Every researcher visited [a company]$_i$. It$_i$ belonged to a tycoon.

Erweitert man die oben vorgestellte USDL-Analyse um das Typsystem von DLC, lassen sich diese Fälle direkt repräsentieren, ohne eine zusätzliche Metaebene zu benötigen (Egg & Kohlhase, 1997b): Ermöglicht wird dies durch das dynamische Bindungskonzept in DLC, das ein kontrolliertes Einfangen freier Variablen (anders als bei der herkömmlichen λ-Bindung) erlaubt. Somit kann man die Erkenntnisse der Forschung im Rahmen von USDL direkt in einen dynamischen Kontext übernehmen.

Bewertung von Lösungen

In ARP werden mehrere Inferenzkomponenten integriert, die auf verschiedenartiges Wissen zurückgreifen. Farben kodieren linguistisches (also syntaktisches, prosodisches oder pragmatisches) Wissen, Sorten steuern den Kalkül mit Rückgriff auf taxonomisches Weltwissen, und schließlich besitzt der Kalkül selbst Wissen über Diskursrelationen (die Beziehungen zwischen den Segmenten eines Diskurses), in diesem Fall über Parallelität und Kontrast. Im Beispiel (7) ergibt sich damit unmittelbar die Möglichkeit, die beiden Lesarten zu bewerten: Aufgrund der stärkeren semantischen Ähnlichkeit von *Jon* und *Sara* gegenüber *Sara* und *Fußball*, die sich durch unterschiedliche Konzeptdistanz in der Taxonomie ergibt, wird die Lesart *Sara mag Fußball* präferiert.

Steuerung der Verarbeitung durch Diskursstruktur

Die Struktur eines Diskurses liefert wichtige Steuerungsinformation für die semantische Auswertung. Intuitiv wird während der Diskursverarbeitung eine Repräsentation aufgebaut, in der nur Teile der semantischen Struktur für die weitere semantische Interpretation sichtbar sind. Praktisch heißt das z.B. für Anaphern, daß sie nur mit bestimmten Teilen des vorangegangenen Diskurses resolviert werden können, oder daß Inferenzen nur mit gerade sichtbaren Fakten gezogen werden können. Somit kann eine geeignete Diskurstheorie zur Steuerung der Suche bei der Diskursverarbeitung eingesetzt werden.

Diese Einschränkungen sind notwendig, um die in Abschnitt 2 beschriebenen Inferenzverfahren zur Einbeziehung von Weltwissen in realistischen Anwendungen einsetzen zu können. Eine Diskurstheorie kann aber nur dann die Diskursverarbeitung steuern, wenn sie die Diskurssemantik inkrementell und monoton aufbaut. Bisherige Ansätze wie der von Lascarides and Asher (1993) konnten dieser Anforderung jedoch nicht gerecht werden. Daher erweitern wir die „Feature-Based Tree Adjoining Grammar“ (FTAG) zu einer geeigneten Diskurstheorie (Discourse TAG, Gardent, 1997a). Es soll in Zukunft mit Ideen aus der Baumlogik von Vijay-Shankar (1992) erweitert werden, um mit den dort beschriebenen Inferenzsystemen für unterspezifizierte Bäume eine sparsamere Baumdarstellung zu erreichen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben die Grundlagen für ein uniformes Constraint-basiertes Berechnungsmodell für die semantische Auswertung gelegt. Durch gezielte Erweiterung der Ausdrucksmächtigkeit über die klassische Prädikatenlogik hinaus ist es uns gelungen, die Abdeckung linguistischer Phänomene zu erhöhen, ohne dabei den Rahmen realistischer Berechnung zu verlassen. Im Gegenteil konnten durch die erweiterte Expressivität der Basisformalismen und Inferenzprozeduren geeignete linguistische Beschränkungen in der Inferenz ausgenutzt werden und so die Suchräume verkleinert werden. Wir erwarten hier weitere Fortschritte von einer Weiterentwicklung der Formalismen. Langfristig hoffen wir, so zu Auswertungsverfahren vorzustoßen, die bei breiter Abdeckung natürlichsprachlicher Phänomene lineare praktische Komplexität besitzen. Bisher sind derartige Auswertungsverfahren nur aus der menschlichen Sprachverarbeitung bekannt.

References

Bos, J., Mastenbroek, E., McGlashan, S., Millies, S., & Pinkal, M. (1994). A compositional DRS-based formalism for NLP-applications. In *Proceedings of the International Workshop on Computational Semantics, Tilburg* (pp. 21–31).

Dalrymple, M., Shieber, S., & Pereira, F. (1991). Ellipsis and higher-order unification. *Linguistics & Philosophy*, *14*, 399–452.

Egg, M., & Kohlhase, M. (1997a). Dynamic control of quantifier scope. In P. Dekker, M. Stokhof, & Y. Venema (Eds.), *Proceedings of the 11th Amsterdam Colloquium* (p. 109-114).

Egg, M., & Kohlhase, M. (1997b). Underspecification of quantifier scope. In *Proceedings der 6. Fachtagung der Sektion Computerlinguistik der DGfS.* Heidelberg.

Gardent, C. (1997a). *Discourse tree adjoining grammars* (CLAUS Report No. 89). Saarbrücken: University of the Saarland.

Gardent, C. (1997b). *Parallelism, HOU and deaccenting* (CLAUS Report No. 85). University of Saarbrücken.

Gardent, C. (1997c). Sloppy identity. In C. Retoré (Ed.), *Logical aspects of computational linguistics* (pp. 188–207). Springer.

Gardent, C., & Kohlhase, M. (1996a). Focus and higher–order unification. In *Proceedings of the 16th International Conference on Computational Linguistics.* Copenhagen.

Gardent, C., & Kohlhase, M. (1996b). Higher–order coloured unification and natural language semantics. In *Proceedings of the 34th annual meeting of the Association for Computational Linguistics.* Santa Cruz: ACL.

Gardent, C., & Kohlhase, M. (1997). Computing parallelism in discourse. In *Proceedings of IJCAI ‘97* (pp. 1016–1021). Tokyo.

Gardent, C., Kohlhase, M., & Konrad, K. (1997). *Higher-order coloured unification: a linguistic application.* (Zur Veröffentlichung eingereicht)

Gardent, C., Kohlhase, M., & Leusen, N. van. (1996). Corrections and Higher-Order Unification. In *Proceedings of KONVENS'96* (pp. 268–279). Bielefeld, Germany: De Gruyter.

Hobbs, J., & Shieber, S. (1987). An algorithm for generating quantifier scoping. *Computational Linguistics*, *13*, 47–63.

Kamp, H. (1981). A theory of truth and semantic representation. In J. Groenendijk, T. Janssen, & M. Stokhof (Eds.), *Formal methods in the study of language* (p. 277 - 322). Amsterdam: Mathematisch Centrum Tracts.

Kohlhase, M. (in press). Higher-order automated theorem proving. In W. Bibel & P. Schmitt (Eds.), *Automated deduction – a basis for applications* (Vol. 2). Kluwer.

Kohlhase, M., & Kuschert, S. (1997). *Dynamic lambda calculus.* CLAUS-Report 91, Universität des Saarlandes.

Kohlhase, M., Kuschert, S., & Pinkal, M. (1996). A type-theoretic semantics for λ-DRT. In P. Dekker & M. Stokhof (Eds.), *Proceedings of the 10th Amsterdam Colloquium* (pp. 479–498). Amsterdam.

Lascarides, A., & Asher, N. (1993). Temporal interpretation, discourse relations and common sense entailments. *Linguistics & Philosophy*, *16*, 437-493.

Montague, R. (1974). The proper treatment of quantification in ordinary English. In R. Thomason (Ed.), *Formal philosophy. Selected papers.* New Haven: Yale University Press.

Niehren, J., Pinkal, M., & Ruhrberg, P. (1997a). On equality up-to constraints over finite trees, context unification and one-step rewriting. In *Proceedings of CADE'97.*

Niehren, J., Pinkal, M., & Ruhrberg, P. (1997b). A uniform approach to underspecification and parallelism. In *Proceedings of ACL'97* (p. 410-417). Madrid, Spain.

Pinkal, M. (1996). Radical underspecification. In P. Dekker & M. Stokhof (Eds.), *Proceedings of the 10th Amsterdam Colloquium* (p. 587-606). Amsterdam.

Pulman, S. (1997). Higher order unification and the interpretation of focus. *Linguistics & Philosophy*(20), 73-115.

Vijay-Shankar, K. (1992). Using descriptions of trees in a tree-adjoining grammar. *Computational Linguistics*(18), 481-518.