Sonderforschungsbereich 378
Ressourcenadaptive kognitive Prozesse

KI-Labor am Lehrstuhl für Informatik IV

Leitung: Prof. Dr. W. Wahlster

Universität des Saarlandes
FB 14 Informatik IV
Postfach 151150
D-66041 Saarbrücken
Germany

Tel. 0681 / 302-2363

REAL

Experimentelle Kognitionspsychologie
VEVIAG

Bericht Nr. 141

Ressourcenadaptierende Objektlokalisation: Sprachliche Raumbeschreibung unter Zeitdruck

Wolfgang Wahlster, Anselm Blocher, Jörg Baus, Eva Stopp, Harry Speiser

April 1998

Sonderforschungsbereich 378
Ressourcenadaptive Kognitive Prozesse

ISSN 0944-7814

141

Ressourcenadaptierende Objektlokalisation: Sprachliche Raumbeschreibung unter Zeitdruck

Wolfgang Wahlster, Anselm Blocher, Jörg Baus, Eva Stopp und Harry Speiser*

Fachbereich Informatik *Fachrichtung Psychologie
Universität des Saarlandes
Sonderforschungsbereich 378
Postfach 15 11 50
D-66041 Saarbrücken
email: {wahlster,blocher,baus,stopp}@cs.uni-sb.de
WWW: http://w5.cs.uni-sb.de/real/

Zusammenfassung

Es wird ein algorithmisches Modell der Beantwortung von Wo-Fragen unter Zeitdruck beschrieben. Das implementierte System beruht auf einer ressourcenadaptierenden Kombination von Anytime-Algorithmen, wobei sich die Qualität der resultierenden räumlichen Beschreibungen mit steigender Verarbeitungszeit graduell verbessert. Es wird gezeigt, daß das System empirische Resultate von Experimenten reproduzieren kann, welche die Produktions- und Verstehenslatenz für räumliche Referenzen untersuchen.

Resource-adapting Object Localization:
Verbal Space Descriptions under Time Pressure

Abstract

We describe a computational model for answering Where-questions under time pressure. The implemented system is based on a resource adapting combination of anytime algorithms whose quality of resulting spatial descriptions improves gradually as computation time increases. We show that the system can reproduce empirical results from experiments investigating the production and comprehension time for spatial references.

Erscheint in: Kognitionswissenschaft, Sonderheft zum Sonderforschungsbereich 378, 1998.

1 Einführung und Motivation

Es ist eine Alltagserfahrung, daß sprachliche Raumbeschreibungen z.B. im Rahmen von Wegauskünften drastisch verkürzt werden können, wenn die beteiligten Kommunikationspartner unter Zeitdruck stehen. Will ein ortskundiger Beifahrer einen Autofahrer, dem er den Weg zu einem Ziel weisen soll, während einer Fahrt mit hoher Geschwindigkeit zum Abbiegen nach links veranlassen, so wird man von einem kooperativen Sprecher erwarten, daß er eine kurze raumbezogene Anweisung wie „gleich links" äußerst (vgl. Abb. 1). Auf jeden Fall aber wird er gegen das Gricesche Kooperationsprinzip[1] (Grice, 1975) verstoßen, wenn er in dieser Situation eine sehr elaborierte Raumbeschreibung generiert, deren Äußerung so lange dauert, daß der

[1] „Leiste deinen Beitrag so, wie er vom gegenwärtigen Stadium des Dialoges und vom Dialogziel gefordert wird."

Fahrer die kritische Kreuzung bereits passiert hat. Andererseits wird man erwarten, daß bei sehr langsamer Fahrt in der gleichen Situation eine möglichst präzise Beschreibung geäußert wird, die möglichst jedes Mißverständnis ausschaltet. Eine solche präzisere Raumbeschreibung wie „Erst gerade aus, dann hinter der Kirche links“ kann u.a. Landmarken wie die Kirche in die Wegbeschreibung einbeziehen, was aber sowohl auf der Sprecher- als auch auf der Hörerseite mehr Verarbeitungszeit voraussetzt. Es handelt sich also um einen ressourcenadaptierenden Prozeß (Wahlster & Tack, 1997): Die gleiche Aufgabe wird in einer bestimmten Situation bei einer Variation der Ressource Zeit anders gelöst.

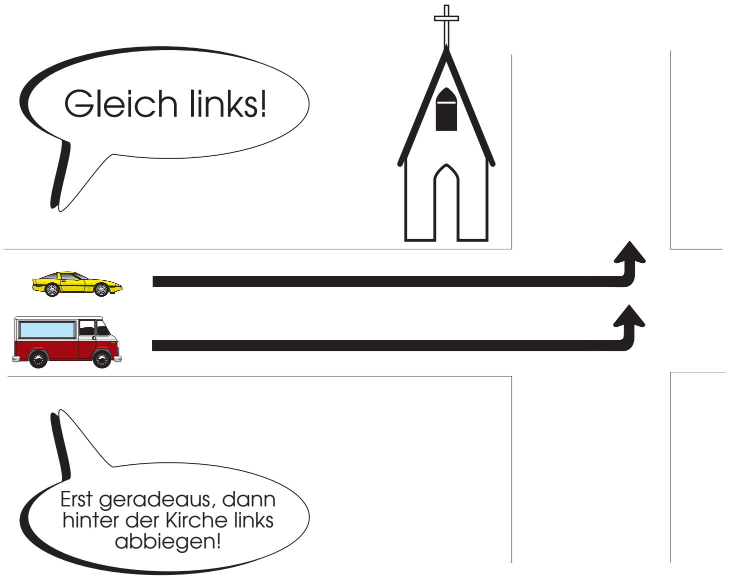

Abbildung 1: Ressourcenadaptierende Wegbeschreibung

Der Beifahrer muß bei der zeitlichen Planung seiner Raumbeschreibung nicht nur die von ihm benötigte Generierungs- und Sprechzeit, sondern auch eine Abschätzung der vom Hörer voraussichtlich beanspruchten Zeit zum Verstehen und zum Umsetzen in eine Lenkaktion berücksichtigen (Maaß, 1996). Denn nur wenn die Addition dieser Zeitschätzungen zur Realzeit noch vor der geschätzten Zeitschranke für die Ausführung der kritischen Lenkaktion liegt, kann die geplante Äußerung erfolgreich sein.

Folglich sollten heutige Fahrerinformationssysteme, welche die Rolle eines menschlichen Beifahrers übernehmen, so erweitert werden, daß eine explizite Modellierung der Ressource Zeit bei der Antizipation von menschlichen Verstehensprozessen berücksichtigt wird. Dazu ist es zunächst notwendig, ausgehend von experimentellen Befunden zur Latenz bei der Dekodierung von Raumbeschreibungen ein explizites zeitliches Modell des Verstehensprozesses in das Generierungssystem einzubauen. Da die synthetisierten Raumbeschreibungen des Systems möglichst natürlich wirken sollen, ist es zudem sinnvoll, auch die Produktionsseite möglichst stark an das empirisch ermittelte Verhalten menschlicher Kommunikatoren anzupassen. Es wäre für einen Fahrer äußerst verwirrend, wenn ein System sehr ausführliche und präzise Raumbeschreibungen wesentlich schneller als knappe und grobe Lokalisationsäußerungen generieren würde.

Unsere Forschungen zur ressourcenadaptierenden Lokalisation sind insgesamt geprägt durch das Ziel der Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion. Durch die explizite Modellierung von ressourcensensitiven kognitiven Prozessen beim Menschen sollen die von einem künstlichen Lokalisationsagenten erzeugten sprachlichen Raumbeschreibungen möglichst stark an den menschlichen Interaktionspartner angepaßt werden. Wir haben das Beispiel der Fahrernavigation gewählt, weil erste Versionen solcher Systeme derzeit als Produkt erhältlich sind. Selbstverständlich gibt es eine Vielzahl anderer Situationen mit stark variierenden Zeitkontingenten wie Verfolgungsjagden, Unfall- und Katastrophensituationen sowie Bahn- und Flughafenauskünfte, für die das in dieser Arbeit vorgestellte Modell ressourcensensitiver Lokalisationen ebenfalls verwendet werden kann.

2 Methodische Grundlagen

2.1 Anytime-Algorithmen

Im Zusammenhang mit zeitbeschränkten Verfahren spielt der Begriff der unterbrechbaren Algorithmen, die vor ihrer vorgesehenen Terminierung ein jeweils approximatives Resultat liefern, eine besondere Rolle. Anytime-Algorithmen können als Sonderfälle von unterbrechbaren Algorithmen (Dean & Boddy, 1988) angesehen werden, die jederzeit mit vernachlässigbarem Verwaltungsaufwand unterbrochen und wieder gestartet werden können. Ihre Resultate werden bei vorzeitiger Terminierung als Funktion der investierten Verarbeitungszeit bezüglich einer Qualitätsmetrik monoton besser. Der Zusammenhang zwischen der Laufzeit t eines Anytime-Algorithmus A bis zur Unterbrechung und der dann zu erwartenden Ergebnisqualität Q wird in sog. Performanzprofilen $Q_A(t)$ angegeben (Russell & Wefald, 1991).

2.2 Referenzsemantik von Lokationsausdrücken

Für die Lösung von Lokalisierungsaufgaben muß man in der Lage sein, über räumliche Aspekte der Umgebung, z.B. die Lage von Objekten, zu sprechen. Dazu müssen die räumlichen Referenzausdrücke auf der Definition einer Referenzsemantik basieren, die perzeptuell oder zumindest geometrisch verankert ist. Die Klasse der *Lokationsausdrücke* wird nach (Herskovits, 1986) gebildet durch Präpositionen in ihrer räumlichen Bedeutung (Retz-Schmidt, 1988), kombiniert mit dem zu lokalisierenden Objekt (LO) und einem oder mehreren Referenzobjekten (RO). Ihre semantische Analyse führt zu dem Begriff der *räumlichen Relation* als zielsprachenunabhängiges Konzept (Herskovits, 1986; Landau & Jackendoff, 1993; Pribbenow, 1991; Talmy, 1983). Die Definition und Repräsentation der formalen Semantik räumlicher Relationen ist eine Grundbedingung für die automatische Synthese räumlicher Referenzausdrücke in natürlicher Sprache. Durch Angabe von Constraints über Objektkonfigurationen z.B. bezüglich der Distanz von Objekten oder ihrer relativen Position zueinander können solche Relationen definiert werden (Herzog, Blocher, Gapp, Stopp & Wahlster, 1996). Die Abhängigkeiten von *essentiellen Parametern* wie Distanz oder Winkel können mit Hilfe von kubischen Spline-Funktionen approximiert werden (Gapp, 1997).

Wenn Menschen räumliche Relationen anwenden, abstrahieren sie oft von Eigenschaften der beteiligten Objekte. So reicht oft der geometrische Schwerpunkt des LOs aus, um die Anwendbarkeit einer bestimmten räumlichen Relation zu ermitteln. In dieser Arbeit werden drei Klassen von statischen – im Sinne von bewegungsunabhängigen – räumlichen Relationen betrachtet: distanzabhängige Relationen (z.B. *an* oder *bei*), winkelabhängige projektive Relationen (z.B. *vor*, *rechts*, *über* usw.) und Spezialfälle wie *auf* oder *zwischen*.

2.3 Eine Anytime-Architektur zur Beantwortung von Wo-Fragen

Unser Projekt REAL (*REssourcenAdaptive Lokalisation*) hat zunächst die Konzeption und Implementierung eines kognitiven Systems zum Ziel, das Wo-Fragen eines menschlichen Partners unter verschiedenen Ressourcenbeschränkungen beantwortet.

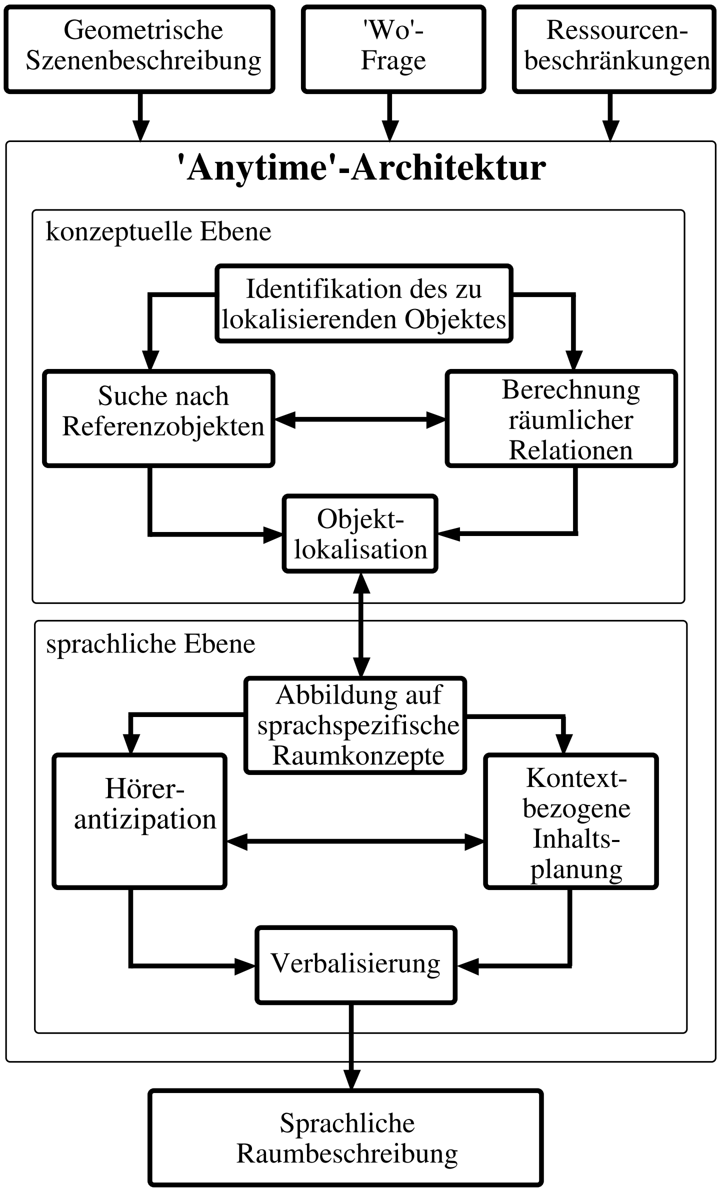

Abbildung 2: Die Anytime-Architektur von REAL

Die grundlegende Anytime-Architektur von REAL (vgl. Abb. 2) gliedert sich in zwei Hauptteile, die konzeptuelle und die linguistische Ebene (Herzog et al., 1996): Die konzeptuelle Ebene beinhaltet die Module, die im wesentlichen direkt auf einer geometrischen Umgebungsrepräsentation arbeiten, um nebenläufig geeignete Referenzobjekte zu suchen und räumliche

Relationen zu berechnen. Die linguistische Ebene, die hier nicht weiter thematisiert werden soll, transformiert die Objektlokalisation in eine kontextadäquate natürlichsprachliche Beschreibung. Auf das dreidimensionale geometrische Umgebungsmodell kann mittels verschiedener Idealisierungen zugegriffen werden: je nachdem wieviele Ressourcen vorhanden sind, können schnelle, aber eventuell suboptimale Ergebnisse durch Verwendung von Punkt- oder Punktmengenrepräsentationen erzielt werden, während längere Berechnungen, die auf umschreibenden Quadern oder sogar voll dreidimensional modellierten Objekten basieren, bessere Resultate liefern.

3 Empirische Grundlagen

Durch eine in Zusammenarbeit mit dem Projekt VEVIAG[2] entwickelte computergestützte Experimentalserie sollte untersucht werden, wie schnell es Versuchspersonen unter Zeitdruck gelingt, die räumliche Anordnung von Objekten sprachlich zu beschreiben und solche Lokalisierungen zu verstehen. Zunächst wurde der Gebrauch räumlicher Lokalisationsausdrücke zur Verbalisierung einfacher projektiver Relationen untersucht (Zimmer, Speiser, Baus, Blocher & Stopp, 1997). Zu diesem Zweck wurde folgende Kommunikationssituation zwischen zwei durch eine Sichtwand getrennte Versuchspersonen entworfen: Der Produzent hat die Aufgabe, eine ihm auf seinem Monitor dargebotene räumliche Konfiguration, bestehend aus einem RO und einem LO, schnellstmöglich natürlichsprachlich zu beschreiben. Dabei soll die Lage des LO zum RO durch präpositionalen Gebrauch von *links, rechts, oben, unten* oder durch Kombination (z.B. *links oben*) beschrieben werden. Zu Beginn der Konfigurationsbeschreibung wird dem Rezipienten das RO und ein Suchfenster auf seinem Monitor dargeboten. Zur Suche kann das Fenster mit einer Computermaus bewegt werden. Überschneiden sich Fenster und LO, so wird das gefundene LO sichtbar.

Als *lokales* Referenzsystem zur Darstellung der vorgegebenen acht Relationen wird ein Kreis verwendet. Das RO, ein roter Kreis, wird immer im Zentrum dieses Kreises dargeboten. Bei der Positionierung des LO als gleichgroßer blauer Kreis werden sowohl Winkel als auch Distanz zum RO variiert. Die Variation der Winkel erfolgt in 15 Grad Schritten. Die genaue Lage des LO auf diesen Strahlen wird durch die Distanz zum RO bestimmt, wobei die drei Distanzen *nah, mittel* und *fern* unterschieden werden (vgl. Abb. 3). Es ergeben sich somit 72 mögliche räumliche Konfigurationen. Die Konfigurationen werden pseudozufällig durch Transformation des lokalen Referenzsystems auf vier jeweils unterschiedlichen Monitorpositionen dargestellt. Die genaue Beschreibung des Experimentalaufbaus, der zeitlichen Abfolge eines Experimentaldurchgangs, sowie die Definition der gemessenen Latenzzeiten wird in (Zimmer et al., 1997) dargestellt.

Zur Auswertung der Experimentaldaten wurden die vom Produzenten geäußerten räumlichen Präpositionen auf Tonband aufgenommen und transkribiert. Zusätzlich wurde die Produktionslatenz mit einem Voicekey erfaßt. Dieser mißt die Zeitspanne zwischen Reizdarbietung und dem Beginn der verbalen Beschreibung der Konfiguration. Anschließend wurde der Gebrauch der verschiedenen Präpositionen zur Beschreibung der räumlichen Konfigurationen und die Latenzzeiten analysiert. Abbildung 3 zeigt das lokale Referenzsystem mit den zugehörigen projektiven Relationen. Darin eingetragen sind die durchschnittlichen Produktionslatenzen für die gegebenen Beschreibungen. Die Latenzzeiten sind in den vier Quadranten nahezu symme-

[2] **Ve**rbales und **vi**suelles **A**rbeits**g**edächtnis, Projektleitung: Prof. Dr. H. Engelkamp und Dr. H. Zimmer

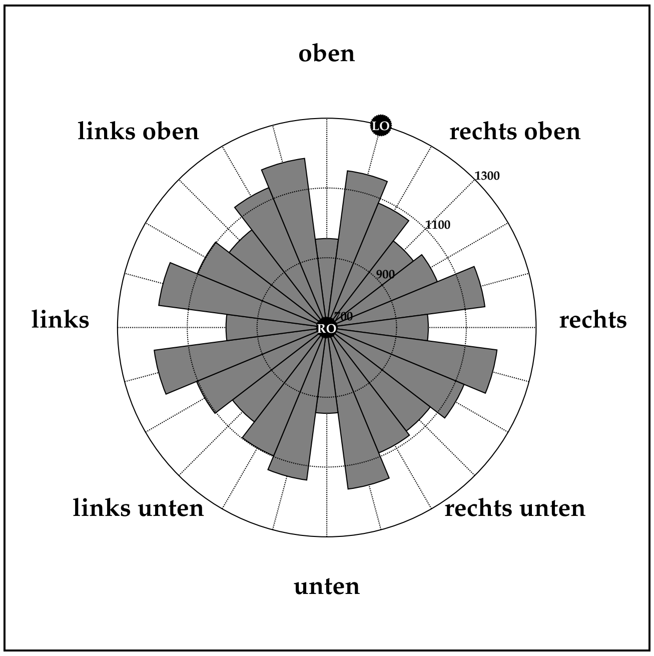

Abbildung 3: Die Produktionslatenzen (in ms) für die dargebotenen räumlichen Konfigurationen

trisch. Es zeigt sich, daß die Zeiten für Beschreibungen von Positionen auf den kanonischen Achsen (d.h. beim prototypischen Gebrauch von *links*, *rechts*, *oben*, *unten*) kürzer sind als von Positionen auf den Diagonalen (z.B. *links oben*) $[F(2,58) = 7,5; p < 0,01; MSE = 9748]$. Bei einer Abweichung von +/- 30 Grad von den Diagonalen und somit von +/- 15 Grad von den kanonischen Achsen haben die Versuchspersonen beide Möglichkeiten genutzt, die vorgegebene Konfiguration zu beschreiben (z.B. *rechts* vs. *rechts über*). Hier existiert offensichtlich ein *Konfliktbereich*. Der damit verbundene Entscheidungsprozeß scheint ein Grund für die Verlängerung der Latenzzeiten zu sein $[F(1,29) = 104,9; p < 0,001; MSE = 8276]$. Dies soll in weiteren Experimenten untersucht werden.

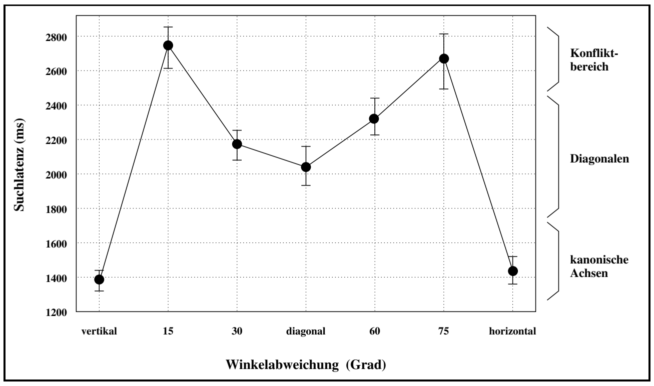

Abbildung 4: Die Suchlatenzen (in ms) in Abhängigkeit von der Winkelabweichung des LO

Die Analyse, der bei der Suche nach dem LO auftretenden Latenzzeiten, ergab ähnliche Ergebnisse. Bei dieser Analyse werden die Verteilungen der einzelnen Quadranten zusammengefaßt. Dabei werden die Relationen *links, rechts* der horizontalen Achse, *oben, unten* der vertikalen Achse und die zusammengesetzten den Diagonalen zugeordnet. Abbildung 4 zeigt die durchschnittlichen Suchlatenzen und den Standardfehler in Verbindung mit der Winkelabweichung des LO. Hierin ist ein Anstieg der Latenzzeiten für Lokalisierungen in vertikaler (1400ms), horizontaler (1448 ms) und diagonaler (2050 ms) Richtung festzustellen. Auch hier zeigt sich ein Anstieg der Suchlatenzen ausgehend von der Diagonalen in Richtung der jeweiligen kanonischen Achsen. Ist das LO genau auf einer Hauptdiagonalen plaziert, so beträgt die Findelatenz 2050 ms $[p < 0,001]$. Weicht die Lage des LO um +/- 15 Grad von der Hauptdiagonalen ab, so steigt die Latenzzeit auf 2177 ms bzw. 2352 ms. Sie erreicht ihre höchsten Werte (2739 ms bzw. 2712 ms) bei einer Abweichung von +/- 30 Grad $[p < 0,01]$. Zusammenfassend kann festgehalten werden: Bei der idealtypischen Verwendung der Präpositionen *oben, unten, rechts* und *links* im Bereich der kanonischen Achsen ist die Suchzeit am kürzesten. Sie steigt im Bereich der Diagonalen und erreicht ihre höchsten Werte bei im Konfliktbereich plazierten Stimuli (vgl. Abb. 4). Bei dieser Analyse wurde außerdem festgestellt, daß für Lokalisierungen im Konfliktbereich einfache Präpositionen besser geeignet sind als deren Komposita. Werden Objektkonfigurationen im Konfliktbereich durch einfache Präpositionen beschrieben, so wird das LO vom Rezipienten schneller gefunden.

4 BOLA: Realisierung eines ressourcenadaptierenden Lokalisationsagenten

Das System BOLA (*Beschränkt-Optimaler LokalisationsAgent*), das in unserem Projekt REAL prototypisch realisiert wurde, dient der Beantwortung von Wo-Fragen und kann als Basis für eine zu entwickelnde ressourcenadaptierende Navigationshilfe angesehen werden. Die zur Anwendung kommenden Verfahren sind jederzeit unterbrechbar, wobei sich die Qualität der Auskunft durch die Verwendung von Anytime-Algorithmen mit zunehmender Zeit verbessert. Bei der Objektlokalisation kann man, um Verwechslungen zu vermeiden, fordern, daß eine optimale Lösung in einer möglichst präzisen sprachlichen Raumbeschreibung besteht, deren Interpretation in dem gegebenen räumlichen Szenario das fragliche Objekt eindeutig idenfiziert. Die Generierung einer Lokationsbeschreibung muß dazu in unabhängige Teilaufgaben gegliedert werden (vgl. auch Abb. 2): Zu den wichtigsten zählen die Wahl eines besten Referenzobjektes, die Auswahl einer räumlichen Relation, welche die Lagebeziehung zwischen LO und potentiellem RO möglichst gut beschreibt (hierzu können evt. auch linguistische Hecken verwandt werden, z.B. *sehr, ziemlich*) sowie eine Antizipationsrückkopplungsschleife zur Kontrolle des Hörerverständnisses (Schirra, 1994); ferner wird eine Komponente zur Verbalisierung benötigt. Anhand der Ergebnisse der Experimentalreihe bzgl. Verstehens- und Suchlatenzen und unter Berücksichtigung der Verbalisierungszeit einer natürlichsprachlichen Äußerung durch das System wird eine Abschätzung der zur Verfügung stehenden Zeit vorgenommen. Daran orientiert sich die Ressourcenverteilung für die an der Generierung der Lokationsbeschreibung beteiligten Prozesse; Ihre Modellierung ist dabei an den Erkenntnissen der Experimente hinsichtlich des Produzentenverhaltens orientiert. BOLA realisiert diese einzelnen Module als unabhängige, aber miteinander kommunizierende Anytime-Prozesse, die selbst wieder aus mehreren Subprozessen bestehen können. Auf unterster Ebene sind ununterbrechbare Transaktionen definiert.

Während die *Modul-Kontrolle* den Datenfluß koordiniert und z.B. auflaufende (Teil-)Ergebnisse auswertet, mit bereits erzielten Resultaten vergleicht und das zum jeweiligen Zeitpunkt beste Ergebnis zur Generierung bereithält, weist die *Prozeß-Kontrolle* den Modulen jeweils für einen *Zyklus* die verfügbaren Ressourcen zu – entsprechend den von (Zilberstein, 1996) entwickelten Konzepten und unter Einbeziehung des aktuellen Zustands der Berechnung. Zilberstein verwendet Performanzprofile zur Optimierung der Ressourcenverteilung: sie geben Auskunft darüber, ob eine signifikante Qualitätssteigerung nur durch eine längere Rechenzeit erreichbar ist. Ein Zyklus entspricht der Zeitdauer für die eine gegebene Gesamtressource auf die aktuell beteiligten Prozesse verteilt werden kann. Seine Länge kann einerseits auf den Performanzprofilen kombinierter Prozesse basieren, wohingegen die Ressourcenverteilung *innerhalb* dieses Zyklus dann (u.a.) durch die Performanzprofile der Subprozesse determiniert wird. Andererseits kann auch das Warten auf Zwischenresultate, die von weiterführenden Modulen zwingend benötigt werden, die Allokation der Gesamtressource des Zyklus beeinflussen. Die einfachste Möglichkeit besteht in einer fixen Aufteilung der Ressourcen zu Beginn des Systemlaufs.

BOLA kommuniziert mit dem Benutzer über das plattformunabhängige Graphical User Interface (GUI) JAMES – *Java Anytime Management & Editor System* –, das als Schnittstelle mit Werkbankcharakter konzipiert ist: Neben Benutzeranfragen und Systemausgaben können z.B. Simulationen und Modifikationen von Ressourcenbeschränkungen sowie Manipulationen ihrer Verteilung erfolgen. Ein Prototyp ist in Abb. 5a1 als Teil eines Bildschirmabzuges dargestellt. Darunter sind Performanzprofile (Abb. 5a2) zu sehen, die bei der Beantwortung der im GUI gestellten Frage *Wo ist Europa?* erzeugt wurden. Zum einen wird die Entwicklung der Lokationsqualität für das BOLA-Gesamtsystem dargestellt, zum anderen lassen sich Profile für einzelne ROs und Merkmale wie Größe und Distanz (Gapp, 1997), deren Berechnung jeweils eigenen Modulen zugeordnet ist, darstellen.

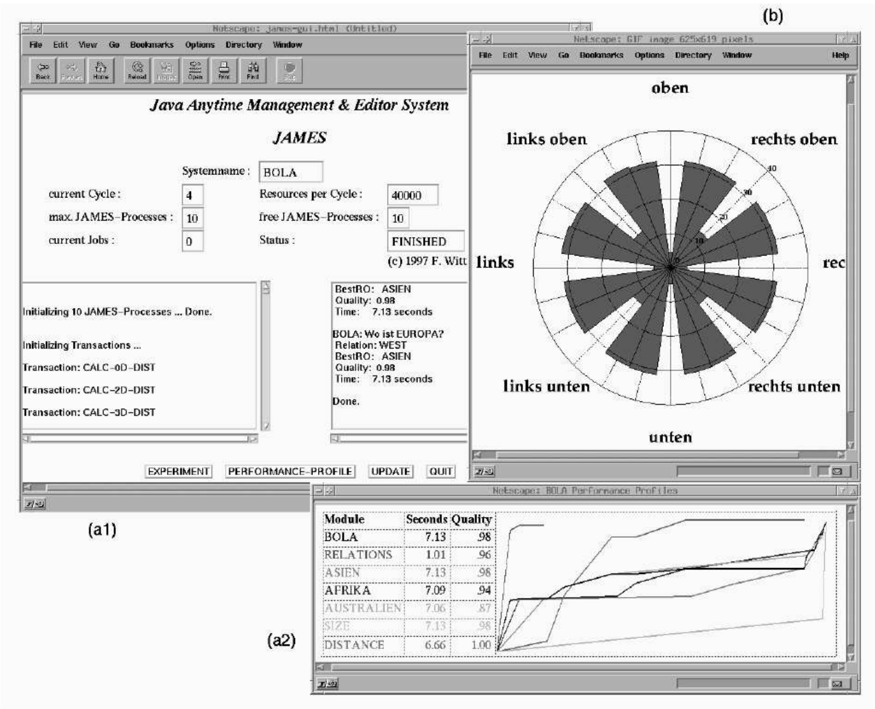

Abbildung 5: BOLA: (a1) graphische Oberfläche mit Beispielanfrage, (a2) ausgewählte Performanzprofile zu (a1), (b) Ergebnisse eines simulierten Experimentaldurchlaufs

In Abb. 5b sind die Ergebnisse einer Simulation der in Abschnitt 3 beschriebenen Experimentalserie durch BOLA zu finden. Es zeigt sich, daß qualitativ ähnliche Resultate geliefert werden: Die kanonischen Relationen werden am schnellsten generiert, gefolgt von den prototypischen Diagonalen, während der Konfliktbereich auch hier die längsten Latenzzeiten aufweist. Er erstreckt sich allerdings über eine größere Winkelabweichung.

Die folgende Beschreibung des Anytime-Moduls von BOLA zur Auswahl einer besten Relation beschränkt sich nicht auf die eingegrenzte Situation der Simulation der Experimentalreihe, bei der nur acht winkelabhängige Relationen verwendet werden durften, sondern betrachtet das gesamte Spektrum der verfügbaren räumlichen Lagebeziehungen. Eine schematische Darstellung ist in Abb. 6 wiedergegeben. Dabei sind Zyklen als vertikale Balken variabler Breite (d.h. Zeitdauer) visualisiert und entsprechend der prozentualen Ressourcenverteilung auf die beteiligten Prozesse gegliedert.

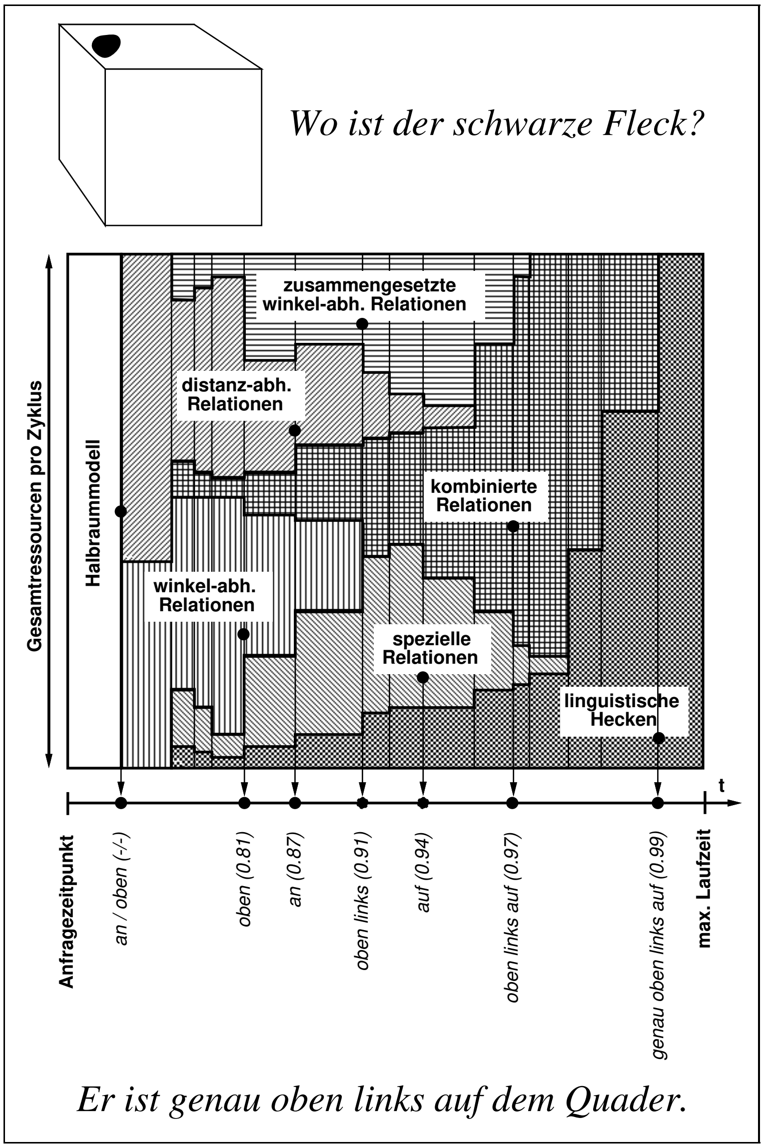

Abbildung 6: Die Ressourcenverteilung der Anytime-Prozesse

In einem ersten Schritt wird ein Referenzsystem aufgebaut, das seinen Ursprung im RO hat und durch seine drei kanonischen Achsen ein Halbraummodell induziert. Dieses erlaubt zwar lediglich eine binäre Unterteilung des Raumes, kann aber sehr rasch ausgewertet werden. Als Ergebnis wird eine Präferenzliste der Halbräume sowie eine qualitative Distanzinformation geliefert. Sie unterscheidet zwischen den topologischen Relationen *inside*, *meet* (in Abb. 6 auf *an* abgebildet) und *disjoint* (Egenhofer, 1991).[3] Es könnte nun als eine erste grobe Lagebeschreibung eine Distanz- und die zum besten Halbraum gehörende winkelabhängige Relation generiert werden. Allerdings können noch keine Aussagen über die Qualität von Lokationsbeschreibungen gemacht werden, denen diese Relationen zugrunde liegen, so daß eine Vergleichbarkeit mit anderen Referenzobjekten nicht gegeben ist.

Aufbau und Auswertung des Halbraummodells entsprechen *einer* Transaktion, ohne deren vollständige Durchführung keine Antwort generiert werden kann. Falls noch Zeit zur Verfügung steht, wird eine Optimierung des Resultats angestrebt. Im Falle von Zeitrestriktion (vgl. Experiment in Abschnitt 3) sollte beim Erreichen einer bestimmten Qualitätsstufe die Berechnung abgebrochen und die Raumbeschreibung verbalisiert werden, auch wenn spätere Verbesserungen nicht auszuschließen sind. Auf den Ergebnissen des Halbraummodells bauen zunächst zwei weitere Prozesse auf: Die bisher gefundenen Relationen werden hinsichtlich der Qualität bezogen auf ihre Anwendbarkeit und Präzision untersucht. Dadurch wird einerseits die Vergleichbarkeit untereinander sowie mit anderen ROs ermöglicht, andererseits kann sich herausstellen, daß die Qualität einer Relation den Ansprüchen einer Lokationsbeschreibung nicht genügt. In diesem Fall sollte eine Verfeinerung der Beschreibung angestrebt werden. Dies geschieht in weiteren, teilweise parallelen Prozessen, die basierend auf den erzielten Zwischenergebnissen komplexere räumliche Strukturen analysieren:

- zusammengesetzte räumliche Relationen wie *links über* oder *rechts bei*;
- spezielle Relationen wie *auf* oder *zwischen*, die sich nicht als winkel- oder distanzabhängig charakterisieren lassen;
- die Anwendung linguistischer Hecken wie z.B. *sehr*, *genau* oder *etwa(s)* auf räumliche Relationen.

Bei einer vollständigen Abarbeitung aller Berechnungsebenen ist das Resultat *der* räumliche Ausdruck, der die gegebene Objektkonstellation am präzisesten beschreibt. Dies muß nicht immer eine komplexe räumliche Relation sein: In manchen Fällen wird auch nach größtem Aufwand noch die allererste Lösung valide sein – allerdings ist die Verläßlichkeit ihrer Aussagekraft gesichert.

Für die Rekonstruktion der experimentellen Ergebnisse ergibt sich folgender Ablauf: Das Halbraummodell liefert hier nur winkelabhängige Ergebnisse, da nur winkelabhängige Relationen zugelassen waren. Ihre Anwendbarkeit kann unter Verwendung der Anwendbarkeitsfunktionen (vgl. Abschnitt 2.2 und (Gapp, 1997)) berechnet werden. Unter der o.g. Voraussetzung, daß das Erreichen einer *guten Qualität* die Terminierung und Verbalisierung erlaubt, kann BOLA hier terminieren, wenn die mit dem Halbraummodell assoziierte Relation (R1) als gut anwendbar betrachtet wurde. Dies geht mit einem geringen Rechenaufwand einher. Andernfalls muß eine zusammengesetzte winkelabhängige Relation (R2) evaluiert werden: Wieder muß entschieden werden, ob die Qualität ausreicht. Falls ja, kann das Ergebnis, nach längerer Zeit als bei R1, geäußert werden; ansonsten müssen R1 und R2 verglichen und die aussagekräftigere Relation verbalisiert werden. In diesem Fall dauert die Berechnung am längsten: Wir befinden uns im Konfliktbereich.

[3] Hier bietet sich eine Anwendung von Verfahren zur Gradierung topologischer Relationen an (Rupp, 1996).

5 Ausblick

Bislang wird in REAL nur die Ressource Zeit explizit modelliert. Bei der Verwendung sprachlicher Raumbeschreibungen spielt aber auch das Arbeitsgedächtnis als begrenzte Ressource eine wichtige Rolle. Der Produzent einer Raumbeschreibung muß daher auch die jeweilige Belastung des Arbeitsgedächtnisses des Rezipienten antizipieren, um seine Äußerung so zu gestalten, daß der Hörer sie in der jeweiligen Situation auch behalten kann. Hier kann in weiteren Arbeiten auf Ergebnisse des parallelen Projektes READY zurückgegriffen werden, in dem u.a. die Belastung des Arbeitsgedächtnisses in Dialogsituationen modelliert wird (Schäfer, Weis, Weyrath & Jameson, 1997).

REAL ist ein Generierungssystem für Raumbeschreibungen, in dem auch der antizipierte Verstehensprozeß bei Generierungsentscheidungen mitberücksichtigt wird. Es gibt empirische Hinweise darauf, daß Menschen häufig redundante Raumbeschreibungen erzeugen, um den Dekodierungsprozeß auf der Hörerseite zu beschleunigen oder robuster gegen Fehlinterpretationen zu machen. Im gegenwärtigen Modell ist dies noch nicht berücksichtigt, denn der Anytime-Generierungsprozeß wird abgebrochen, sobald eine optimale Präzision im Performanzprofil erreicht ist. Es ist eine interessante Frage, wie bei der Optimierung der zwei kombinierten Anytime-Prozesse für die Generierung und die Analyse eine „Übergenerierung“ aufgrund einer erwarteten Verkürzung der Analysezeit auf der Hörerseite ausgelöst werden kann.

Literatur

Dean, T. & Boddy, M. (1988). An Analysis of Time-Dependent Planning. In *Proc. of AAAI-88* (S. 49-54). St. Paul, MN.

Egenhofer, M. J. (1991). Reasoning about Binary Topological Relations. In O. Günther & H.-J. Schek (Hrsg.), *Advances in Spatial Databases* (S. 144-160). Berlin, Heidelberg: Springer.

Gapp, K.-P. (1997). *Objektlokalisation: Ein System zur sprachlichen Raumbeschreibung.* Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.

Grice, H. P. (1975). Logic and Conversation. In P. Cole & J. L. Morgan (Hrsg.), *Syntax and Semantics: Vol. 3: Speech Acts* (S. 41-58). London: Academic Press.

Herskovits, A. (1986). *Language and Spatial Cognition. An Interdisciplinary Study of the Prepositions in English.* Cambridge, London: Cambridge University Press.

Herzog, G., Blocher, A., Gapp, K.-P., Stopp, E. & Wahlster, W. (1996). VITRA: Verbalisierung visueller Information. *Informatik – Forschung und Entwicklung*, *11*(1), 12-19.

Landau, B. & Jackendoff, R. (1993). “What” and “Where” in Spatial Language and Spatial Cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, *16*, 217-265.

Maaß, W. (1996). *Von visuellen Daten zu inkrementellen Wegbeschreibungen in dreidimensionalen Umgebungen: Das Modell eines kognitiven Agenten.* Doktorarbeit, Technische Fakultät, Universität des Saarlandes, Saarbrücken.

Pribbenow, S. (1991). *Zur Verarbeitung von Lokalisierungsausdrücken in einem hybriden System.* Doktorarbeit, Fachbereich Informatik, Univ. Hamburg.

Retz-Schmidt, G. (1988). Various Views on Spatial Prepositions. *AI Magazine*, *9*(2), 95-105.

Rupp, U. (1996). *GRATOR - Räumliches Schließen mit GRAdierten TOpologischen Relationen über Punktmengen.* Diplomarbeit, Universität des Saarlandes, Saarbrücken.

Russell, S. & Wefald, E. (1991). *Do the Right Thing: Studies in Limited Rationality.* Cambridge, MA: MIT Press.

Schäfer, R., Weis, T., Weyrath, T. & Jameson, A. (1997). Wie können Ressourcenbeschränkungen eines Dialogpartners erkannt und berücksichtigt werden? *Kognitionswissenschaft*, *6*(4). (im Druck)

Schirra, J. R. J. (1994). *Bildbeschreibung als Verbindung von visuellem und sprachlichem Raum: Eine interdisziplinäre Untersuchung von Bildvorstellungen in einem Hörermodell.* St. Augustin: infix.

Talmy, L. (1983). How Language Structures Space. In H. Pick & L. Acredolo (Hrsg.), *Spatial Orientation: Theory, Research and Application* (S. 225-282). New York, London: Plenum.

Wahlster, W. & Tack, W. (1997). SFB 378: Ressourcenadaptive Kognitive Prozesse. In M. Jarke, K. Pasedach & K. Pohl (Hrsg.), *Informatik'97 - Informatik als Innovationsmotor, 27. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, Aachen, 24.-26. September 1997* (S. 51-57). Berlin, Heidelberg: Springer.

Zilberstein, S. (1996). Using Anytime Algorithms in Intelligent Systems. *AI Magazine*, *17*(3), 73-83.

Zimmer, H., Speiser, H., Baus, J., Blocher, A. & Stopp, E. (1997). The Use of Locative Expressions as a Function of the Spatial Relation between Target and Reference Object in a Two-Dimensional Layout. In C. Freksa (Hrsg.), *Tagungsband des 3. Kolloquiums des DFG-Schwerpunktprogramms Raumkognition, 29.9.-1.10.97.* Trier, Deutschland. (im Druck)