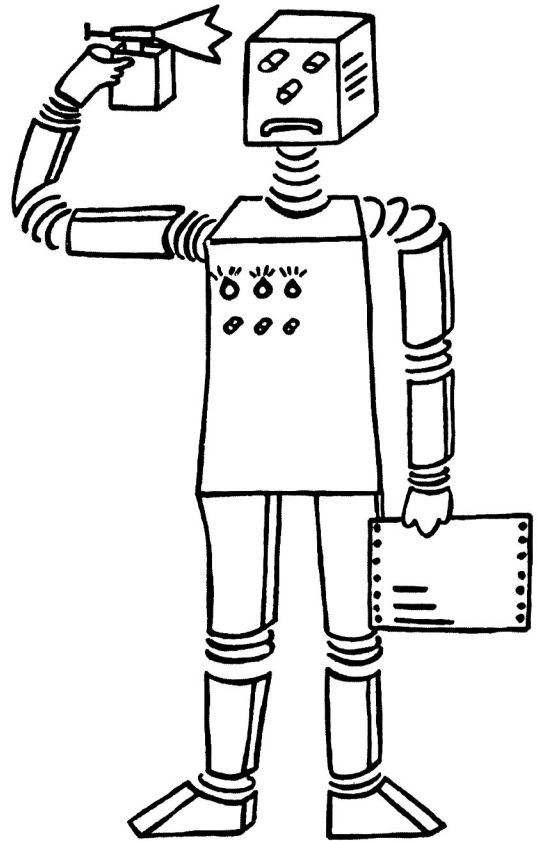


SEKI-Working Paper

Fachbereich Informatik
Universität Kaiserslautern
Postfach 3049
D-6750 Kaiserslautern 1, W. Germany



Conceptual Dependency Theory: Ein Überblick

Klaus Nökel

SEKI-Working Paper SWP-87-08 Nov. 87

Conceptual Dependency Theory:
Ein Überblick

Klaus Nökel

SEKI-Working Paper SWP-87-08 Nov. 87

Conceptual Dependency Theory: ein Überblick

Klaus Nökel

Universität Kaiserslautern
Fachbereich Informatik
Postfach 30 49
6750 Kaiserslautern
West Germany
UUCP: ...!mcvax!unido!uklirb!noekel

SEKI Working Paper
SWP 87-08

November 1987

Gliederung:

1. Anwendungsbereich und Zielsetzung: ein einführendes Beispiel
2. Syntax und (partielle) Semantik der Conceptual Structures (CD-Strukturen)
3. Primitive ACTs
4. Konzeptuelle Inferenz
5. Anwendung
6. Kritik
7. Literatur

Anhang

Abstract

The paper reflects the contents of a talk given at the 2nd KL-AI-Workshop. Its main concern is the knowledge representation formalism of CD theory. We begin with an introduction to the syntax and semantics of CD structures. Next, we explain how CD structures can be put to use in the representation of the meaning contents of utterances. Primitive ACTs play an important aspect in the transition from the input text to CD structures and lead to a general discussion of the principle of CD theory that meaning should be represented using a small (minimal?) number of primitives. The exposition of the static aspects of CD structures is complemented by a brief look at conceptual inference rules and the way that CD theory was actually used in Schank's programs MARGIE and SAM. We close with a summary of critical statements made by both Schank and other researchers in the field. Pointers to the literature are provided.

1. Anwendungsbereich und Zielsetzung: ein einführendes Beispiel

Die von Roger C. Schank in den 70er Jahren entwickelte Conceptual Dependency Theory (CD) erhebt den Anspruch, eine Theorie für den kompletten Prozeß der Sprachverarbeitung zu sein. Sie wurde mit dem Ziel entworfen, eine übergreifende Basis für

- Sprachverstehen,
- die Verarbeitung des Gehörten und
- die Sprachgenerierung

zu bieten. Entgegen den meisten Linguisten dieser Zeit vertrat Schank bereits damals die These, die Tragfähigkeit einer neuen Theorie lasse sich durch Experimente mit Computerprogrammen nachweisen, die die Ideen der Theorie beinhalteten. Insofern läßt sich das Ziel von Schanks Arbeit in folgender Weise operationalisieren: Durch die Verwendung der Konzepte der CD-Theorie sollten Programme in die Lage versetzt werden, (geschriebene) Texte mindestens soweit zu verstehen, daß sie zusammengefaßt, paraphrasiert, aus verschiedenen Blickwinkeln nacherzählt oder in eine andere Sprache übersetzt werden könnten.

Um ein Gefühl für die Art der Leistungen zu vermitteln, die Schank von seinen Programmen erwartete, ist im folgenden eine Beispielsitzung mit dem Programmsystem MARGIE¹ wiedergegeben, dem ersten System in einer ganzen Reihe, auf die in Abschnitt 5 noch näher eingegangen wird.

Inference Mode

Input: John told Mary that Bill wants a book.

Output 1: A book about what?

Output 2: Mary knows that Bill wants a book.

Output 3: Bill wants to come to have a book.

Output 4: Bill wants someone to cease to have a book.

Output 5: Bill wants to read a book.

Input: John gave Mary a beating with a stick.

Output 1: A stick touched Mary.

Output 2: Mary became hurt.

Output 3: John wanted Mary to become hurt.

Output 4: Why was John angry?

¹ Dieses wie auch die meisten folgenden Beispiele ist [Schank75] entnommen.

Input: John gave Mary an aspirin.
Output 1: John believes that Mary wants an aspirin.
Output 2: Mary is sick.
Output 3: Mary wants to feel better.
Output 4: Mary will ingest the aspirin.

Input: John is going to go to the store.
Output 1: John wants to be at the store.
Output 2: What does John want to buy?
Output 3: John will trade money to the store for something.

Paraphrase mode

Input: John advised Mary to drink the wine.
Output: John told Mary that drinking the wine would benefit her.

Input: John killed Mary by choking Mary.
Output 1: John strangled Mary.
Output 2: John choked Mary and she died because she could not breathe.
Output 3: Mary died because she was unable to inhale some air and she was unable to inhale some air because John grabbed her neck.

Input: Reading the book reminded Rita to loan the book to Bill.
Output: Rita remembered to give the book to Bill and she expects him to return it her because someone read the book.

Input: John prevented Bill from giving a banana to Mary by selling a banana to Rita.
Output 1: Bill was unable to give a banana to Mary because Rita traded John some money for a banana.
Output 2: Mary could not get a banana from Bill because Rita bought a banana from John.

Grundlage von Schanks Arbeit war die These, Sprache sei in erster Linie ein Medium für Kommunikation und es komme daher vorrangig darauf an, in einem sprachverarbeitenden System die Bedeutung des Kommunizierten zu repräsentieren. Unterschiedlichen Verbalisierungen des gleichen Bedeutungsinhalts entsprechen demzufolge gleiche "Bedeutungsstrukturen". In der Linguistik ist eine analoge Vorgehensweise bei der Abbildung verschiedener möglicher Oberflächenstrukturen eines Satzes auf eine einzige Tiefenstruktur seit langem etabliert. Die Zuordnung einer Bedeutungsstruktur zu einem Satz geht aber über rein syntaktische Aspekte (wie Passiv/Aktiv-Transformation) hinaus, wie das folgende grundlegende Axiom der Theorie besagt:

Zwei Sätzen mit gleicher Bedeutung ist - unabhängig von der Form, in der die Bedeutung ausgedrückt ist, dieselbe Bedeutungsstruktur zuzuordnen.

Im Rahmen des Workshops stehen die Formalismen, die zur Repräsentation der Bedeutungsstrukturen verwendet werden, und die zugehörigen Inferenzmechanismen im Vordergrund des Interesses; die Anwendung in der Sprachverarbeitung dient dagegen lediglich zur beispielhaften Verdeutlichung und wird daher nicht weiter vertieft. Im nächsten Abschnitt wird die Syntax des Formalismus vorgestellt; daran schließt sich eine Diskussion der Inferenzregeln an. Teil 5 gibt einen Überblick darüber, wie CD-Strukturen zu größeren Einheiten aggregiert werden können und wie diese in den von Schanks Gruppe entwickelten Programmen verwendet wurden. Den Abschluß bildet eine Kritik der CD-Theorie.

2. Syntax und (partielle) Semantik der Conceptual Structures **(CD-Strukturen)**

Die Grundeinheit der CD-Strukturen sind nicht einzelne Worte, sondern im Einklang mit Schanks kommunikationsbasierter Theorie "**Konzeptualisierungen**", d.h. kleinste Einheiten, die kommuniziert werden können. Konzeptualisierungen sind zwar strukturiert, ihre Komponenten können aber nicht in Isolation vorkommen.

Konzeptualisierungen sind entweder **aktiv** oder **statisch**, abhängig von den Komponenten, aus denen sie bestehen. In aktiven Konzeptualisierungen sind mindestens die Komponenten Akteur und Aktion, meist zusätzlich noch Objekt, Richtung und Instrument spezifiziert; statische Konzeptualisierungen bestehen dagegen aus Objekt, Attribut und Wert und ähneln in dieser Hinsicht sehr den assoziativen Tripeln in MYCIN. Die Komponenten der Konzeptualisierungen werden **Rollen**, ihre Werte **Filler** genannt. Welche Rollen in welcher Kombination im einzelnen zulässig sind, ist in den **syntaktischen CD-Regeln** festgelegt. Zur Spezifikation dieser Regeln wird eine Typisierung des Diskursuniversums mit folgenden Kategorien angenommen:

PPs (Picture Producers): physikalische Objekte, die zu Aktionen fähig sind (Tiere, Menschen, manche Maschinen (!), Naturkräfte (z.B. Wind)).

ACTs (Actions): Alle primitiven Aktivitäten, die ein Akteur entfalten kann. Diese Gruppe ist überraschenderweise sehr klein, da zusammengesetzte Aktionen als komplexe Konzeptualisierungen mit mehreren ACTs repräsentiert werden (dazu unten mehr!).

LOCs (Locations): Alle Orte, an denen sich ACTs ereignen können. LOCs sind im wesentlichen Raumkoordinaten.

Ts (Times): Zeitpunkte, die entweder absolut oder relativ zu einem anderen Zeitpunkt angegeben werden.

AAs (Action Aiders): eine recht inhomogene und in der Theorie nicht sehr stark ausgebaute Gruppe von Modifikatoren für Aktionen (z.B. die Geschwindigkeit oder die Intensität, mit der ein ACT ausgeführt wird).

PAs (Picture Aiders): die Menge der möglichen Attributnamen für statische Konzeptualisierungen.

Interpretiert man CD-Strukturen als spezielle semantische Netze, so geben diese Kategorien die Typen der Knoten im Netz an. Die CD-Regeln legen dagegen fest, Knoten welchen Typs durch Kanten verbunden werden dürfen und welche Bedeutung den Kanten in diesem Fall zukommt.

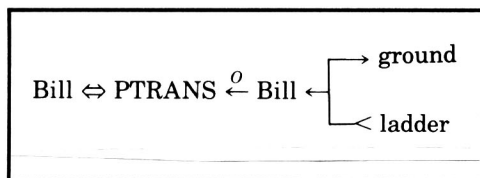
Typische syntaktische CD-Regeln² könnten etwa wie folgt aussehen:

- (R1) PPs können ACTS ausführen.
- (R2) ACTS können ein PP als Objekt haben.
- (R3) ACTS können gerichtet sein, wobei die Richtung durch zwei LOCs bestimmt ist.

Diese Regeln gestatten beispielsweise, die Bedeutung des Satzes "Bill falls from the ladder"³ durch die aktive Konzeptualisierung

Akteur:	Bill (ein PP)
Aktion:	PTRANS (ein ACT)
Objekt:	Bill (ein PP)
Richtung:	von: ladder (ein LOC)
	nach: ?

auszudrücken. In praktisch allen Veröffentlichungen Schanks werden Konzeptualisierungen in einer graphischen Notation angegeben, die die Verwandtschaft zu den semantischen Netzen noch stärker betont. Die o.a. Konzeptualisierung hätte in dieser Notation die Form



Nicht alle syntaktisch zulässigen Kombinationen von Rollenfüllern sind tatsächlich zulässig, vielmehr existieren zusätzlich eine Reihe von **semantischen CD-Regeln**, die zulässige Kombinationen spezifizieren. Beispielsweise wird die Anwendbarkeit der syntaktischen Regel (R1) durch eine komplementäre semantische Regel eingeschränkt, die eine Relation $R \subset PPs \times ACTS$ definiert - eben

² Eine vollständige Auflistung findet sich im Anhang.

³ Schank hat eine Vorliebe für Beispiele unangenehmen oder brutalen Inhalts, oftmals gegenüber dem weiblichen Geschlecht. Über die Gründe ist mir leider nichts bekannt.

die kompatiblen Akteur-Aktion-Paare. Die semantischen Regeln verkörpern Erwartungen darüber, welche Typen von Objekten in einer Aussage verknüpft werden können, und definieren auf diese Weise eine partielle Semantik für die CD-Strukturen. Sie sind insofern nicht kategorisch, als korrekte Sätze der Sprache gebildet werden können, deren CD-Struktur eine oder mehrere semantische CD-Regeln verletzen. Über die Unterteilung solcher Sätze in überraschende oder unsinnige und ihre Unterscheidung von tatsächlich inkorrekten Sätzen macht die CD-Theorie keine Aussagen. CD-Regeln können von Sprecher zu Sprecher verschieden sein, es gibt allerdings eine von allen Sprechern akzeptierte Schnittmenge, die sprachliche Kommunikation erst ermöglicht.

Man beachte, daß die Regeln auch Voraussagen über Rollenfiller erlauben, die im Satz selbst noch gar nicht erwähnt werden. So macht der Satz zwar keine Aussage über das Ziel von Hugos Fall, Regel (R3) schränkt die möglichen Ziele jedoch auf LOCs ein⁴. Genauere Voraussagen über besonders plausible Ziele werden jedoch erst möglich sein, wenn das System über Episodenwissen und dazu passende Inferenzregeln verfügt. Dazu später mehr.

3. Primitive ACTs

Von zentraler Bedeutung für Schanks Theorie ist die eingangs formulierte Forderung, bedeutungsgleichen Sätzen gleiche CD-Strukturen zuzuordnen. Kann ein Objekt oder eine Aktivität auf verschiedene Weisen referenziert werden - und das ist wohl der Normalfall -, so muß bei der Konstruktion der CD-Struktur eine Normierung vorgenommen werden. Objekte werden durch statische Konzeptualisierungen repräsentiert, deren diverse Rollen ganz ähnlich wie bei der Feature Unification aggregiert werden. In der CD-Theorie ist vor allem die Reduktion von Aktionen auf eine kleine Anzahl konzeptueller Primitive⁵ untersucht worden und auf eine ganz spezifische Weise gelöst worden, die im folgenden beschrieben werden soll.

Wir betrachten dazu das Satzpaar:

- (1) John gives Mary a book.
- (2) Mary takes a book from John.

Eine Analyse von (1) würde "gives" als zentrale Aktion des Satzes identifizieren und die für diese Aktion passenden Rollen wie folgt füllen:

Aktion:	gives
Akteur:	John
Objekt:	book
Richtung:	von: ?
	nach: Mary

⁴ Genauer: alles andere würde den Sprecher, der (R3) akzeptiert, verblüffen bzw. es erschiene ihm unverständlich.

⁵ Eine vollständige Auflistung findet sich im Anhang.

Entsprechend wäre das Resultat der Analyse von (2):

Aktion:	takes
Akteur:	Mary
Objekt:	book
Richtung:	von: John nach: ?

Ohne semantisches Zusatzwissen können diese beiden Repräsentationen nicht miteinander vereinbart werden. Es wäre z.B. denkbar, daß im Lexikoneintrag für "give" als semantische Zusatzinformation der Default "Richtung-von = Akteur" angegeben ist, mit dem wir die Bedeutungsstruktur vervollständigen könnten⁶. Der wichtige nächste Schritt ist die Ersetzung der konkreten Verben "give" und "take" durch das *konzeptuelle Primitiv* ATRANS, das gewissermaßen eine generische Bezeichnung für Eigentumsübertragungen darstellt. Die beiden CD-Strukturen haben jetzt die Gestalt

Akteur:	John	Akteur:	Mary
Aktion:	ATRANS	Aktion:	ATRANS
Objekt:	book	Objekt:	book
Richtung:	von: John nach: Mary	Richtung:	von: John nach: Mary

Man beachte, daß einerseits die Gleichheit der in beiden Sätzen beschriebenen Aktionen aus der CD-Struktur hervorgeht, andererseits aber der unterschiedliche Standpunkt aus den verschiedenen Füllern der Akteur-Rolle erschlossen werden kann.

Welche Vorteile bietet die Verwendung konzeptueller Primitive?

1) Viele Inferenzregeln in der CD-Theorie (die bisher noch nicht besprochen wurden) beziehen sich auf Vor- und Nachbedingungen von Aktionen. Würde man alle Inferenzregeln für Eigentumsübertragung (etwa "Wenn A etwas B gibt, dann hat B den Gegenstand anschließend.") unter dem Verb "give" abspeichern, so müßte man die meisten dieser Regeln auch unter "hand", "deliver" etc. und "inverse" Varianten unter "take", "receive" etc. eintragen - eine extreme Verschwendung.

2) Komplexere Wissensstrukturen (wie Scripts oder Pläne) können Aktionen auf verschiedenen Abstraktionsebenen spezifizieren. Die Angabe lediglich eines konzeptuellen Primitivs stellt dabei das eine Extrem dar, bei dem von allen Besonderheiten der Aktionsdurchführung abstrahiert wird. Erfordert ein Plan dagegen eine genauere Beschreibung einer Aktion, so können Bedeutungsnuancen durch vorbelegte Rollen oder durch Modifikatoren (AAs) widerspiegelt werden.

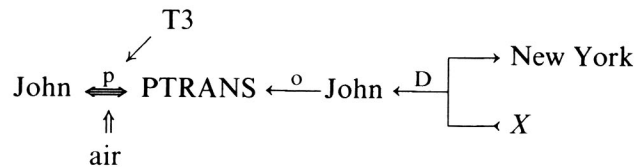
Um diesen letzten Punkt näher zu erläutern, betrachten wir einige konkrete Beispiele, in denen spezielle Aktionsverben durch Kombination von konzeptuellen Primitiven definiert werden.

⁶ analog für "take"

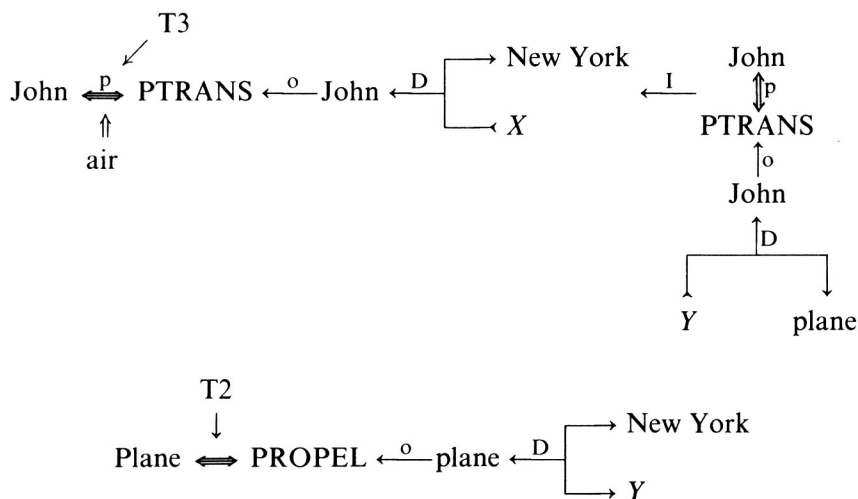
Im einfachsten Fall kann ein Verb durch ein konzeptuelles Primitiv in Verbindung mit AAs beschrieben werden, wie im folgenden Satz:

John flies to New York.

"Flies" ist ein Spezialfall von PTRANS (physical transfer), der gegenüber anderen PTRANS-Formen dadurch charakterisiert ist, daß er sich in der Luft abspielt. Weiterhin erbt "flies" von PTRANS die Eigenschaft, gerichtet zu sein. Da nur eine Richtungsangabe explizit im Satz vorkommt, erhalten wir als CD-Struktur:



Diese Analyse ist richtig, enthält aber noch nicht die weitergehenden Assoziationen, die ein menschlicher Hörer mit dem Satz verbinden würde. So ist es höchst unwahrscheinlich, daß John aus eigener Kraft nach New York fliegt, vielmehr wird er wohl ein Flugzeug benutzen. Es ist weitgehend Geschmackssache, ob man diese Assoziation schon als Inferenz einstuft oder lediglich als vollständigere konzeptuelle Beschreibung der Aktion "flies" für menschliche Akteure. Entscheidet man sich für die zweite Möglichkeit, so enthält bereits die im Lexikon gespeicherte Schablone für "flies" weitere Modifikatoren für die zentrale PTRANS-Aktion, diesmal selbst Konzeptualisierungen, die für die ursprüngliche Konzeptualisierung instrumentelle Ergänzungen sind: John PTRANSt sich nach New York, indem er sich zunächst zu einem Flugzeug PTRANSt, das sich selbst wiederum nach New York PROPELT⁷.

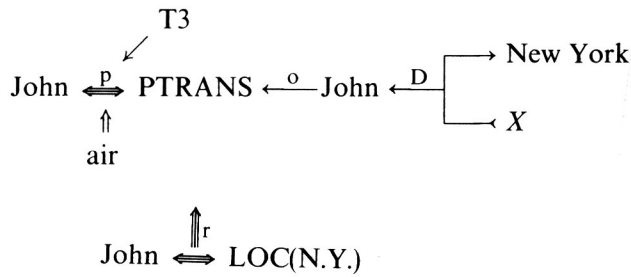


Betrachtet man dagegen den Satz

John flew to New York.

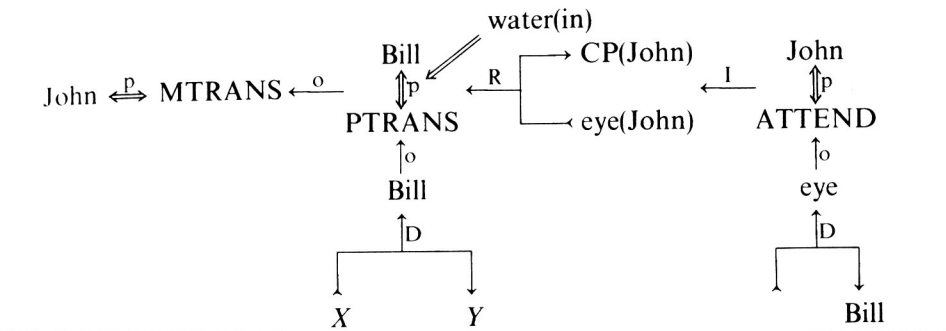
und vernachlässigt die instrumentelle Seite von Johns Flug, so kann man die Abgeschlossenheit der Aktion zum Ausdruck bringen, indem man die Repräsentation von "flew" mit der von "John arrived in New York." verschmilzt:

⁷ PROPEL ist das konzeptuelle Primitiv für physikalische Kraftanwendung. PROPEL hat häufig PTRANS zur Folge, was aber nicht unbedingt der Fall sein muß (z.B. mit dem Kopf gegen die Wand rennen).



Von besonderer Wichtigkeit ist die Möglichkeit, konzeptuelle Primitive zu modifizieren, auch bei den heterogeneren Primitiven wie etwa EXPEL, das generisch für alle Formen der Exkretion von Objekten aus tierischen Körpern in die Umgebung steht. Diese schon recht künstlich definierte Gruppe von Aktionen umfaßt so unterschiedliche Aktionsverben wie "schwitzen", "spucken" und "weinen". Man kann sich vorstellen, daß solche Aktionen praktisch nie in der reinen, unspezifizierten Form des konzeptuellen Primitivs, sondern immer nur mit ergänzenden AAs oder Konzeptualisierungen verwendet werden.

Ein besonders prägnantes Beispiel für instrumentelle Ergänzung liegt auch im folgenden Fall vor:



Der Leser sollte sich einige Momente selbst überlegen, wie die zugehörige sprachliche Äußerung aussieht, bevor er die Auflösung liest. Die ganze Konzeptualisierung in der Mitte ist das Objekt der MTRANS-Aktion von John, die durch ATTENDen der Augen in die Richtung der Informationsquelle (Bill) bewerkstelligt wird und die von Johns Augen in sein Kurzzeitgedächtnis (das konzeptuelle Working Memory) gerichtet ist. Die Objekt-Konzeptualisierung hingegen beschreibt, daß Bill sich in unbestimmter Richtung durchs Wasser PTRANSt (eine genauere Analyse hätte hier ergeben, daß an diesem PTRANS instrumentell ein PROPEL beteiligt ist, das seinerseits durch MOVE von Händen und Füßen bewirkt wird)⁸. Oder kürzer:

John sees Bill swimming.

⁸ zur der Bedeutung der nicht weiter erklärten konzeptuellen Primitive vgl. Anhang.

4. Konzeptuelle Inferenz

In den Beispielen zur Syntax und Semantik der CD-Strukturen haben wir bereits Beispiele einfacher Inferenzen kennengelernt, die sich allerdings nur auf dem Niveau des Instantiierens vorab gespeicherter Erwartungsschablonen bewegten. Die Inferenzen, die das Programm MARGIE in dem einführenden Beispiel zuwege brachte, gehen jedoch über bloßes Parsen und Rückübersetzen in eine andere Oberflächenform hinaus⁹.

Bevor wir einige Beispiele für Inferenzregeln betrachten, ist es angezeigt, "Inferenz" in der CD-Theorie von der Inferenz im mathematischen Sinne abzugrenzen. Charles Rieger führt in [Schank75] mehrere wesentliche Eigenschaften auf, die *konzeptuelle Inferenz* von traditioneller logischer Deduktion unterscheiden. Die Unterschiede liegen gleichermaßen in der angewandten Methode und in ihrer pragmatischen Zielsetzung.

- 1) Konzeptuelle Inferenzen sind reflexartige Reaktionen auf den Inhalt des konzeptuellen Working Memory, d.h. Inferenzen werden ständig erzeugt und nicht - wie etwa bei Theorembeweisern - nur auf Anfrage. In heutiger Terminologie ließe sich das wohl so paraphrasieren, daß konzeptuelle Inferenzen durch *forward chaining* gewonnen werden.
- 2) Konzeptuelle Inferenzen sind nicht unbedingt wahr in irgendeinem logischen Sinn. Sie können im Widerspruch zum bisherigen Inhalt des Working Memory stehen. Tatsächlich ist das Erkennen und Erklären solcher Widersprüche ein ganz wichtiger Aspekt umfassenden Sprachverstehens, da nur so Phänomene wie Überraschung oder ungläubige Rückfragen erklärt werden können. In den Beispielen ergeben sich Widersprüche meist aus der (unberechtigten) Anwendung von Normalitätsannahmen auf Sonderfälle, also genau dem, was man heute mit Default Reasoning oder allgemeiner mit *Non-Monotonic Reasoning* bezeichnet.
- 3) Die Resultate von konzeptuellen Inferenzen sind nicht "wahr" oder "falsch" schlechthin, sondern konzeptuelle Logik ist *fuzzy*. Die Sicherheit, mit der ein Inferenzresultat als wahr angenommen wird, hängt funktional von der Inferenzregel und den Sicherheiten der eingehenden Prämissen ab und kann sich im Laufe der Zeit ändern. Insbesondere kann sich eine Inferenz nachträglich als falsch (Sicherheit=0) herausstellen; in diesem Fall müssen darauf basierende weitere Inferenzen zurückgezogen werden können. Obwohl der Begriff der *Truth Maintenance* nicht fällt, ist in Verbindung mit 2) klar, daß Riegers Beschreibung darauf hinausläuft.
- 4) Die Zielsetzung der konzeptuellen Inferenz unterscheidet sich grundsätzlich von der beim Beweisen mathematischer Sätze. Während im letzteren Fall ein eindeutiges Ziel (das Theorem) gegeben ist, werden konzeptuelle Inferenzen weitgehend ins Blaue hinein erzeugt. Die Nützlichkeit einer bestimmten Inferenz zeigt sich erst im Nachhinein und durch eher zufälliges Zusammenpassen mit dem übrigen Working Memory. Dieses Statement ist wohl bestenfalls als

⁹ Dies wäre gerade der ebenfalls im Beispieldialog gezeigte Paraphrase Mode.

eine Hypothese über die Funktion menschlicher Schlußfolgerungsprozesse zu verstehen. Riegers Konsequenz, die im Beweiserbau mit großem Aufwand entwickelten Verfahren zur Suchraumbeschränkung seien deshalb für die CD-Theorie schlechthin irrelevant, läßt sich im Hinblick auf die Handhabbarkeit auf dem Rechner jedenfalls kaum erstnehmen. Tatsächlich definiert Rieger im Rahmen seines Gedächtnismodells eine ganze Reihe von Eigenschaften gespeicherter Konzepte, wie RECENCY oder TOUCHED, die sehr an die Time Tags von OPS5 erinnern und die Präferenzen für die Berücksichtigung von Konzepten bei zukünftigen Inferenzen entsprechen.

Die Inferenzregeln in der CD-Theorie sind an den konzeptuellen Primitiven, den generischen Aktionen, aufgehängt. Sie lassen sich in 16 Klassen untergliedern:

1) *Aggregations-Inferenzen:*

John picked up a rock. He hit Bill. \Rightarrow John hit Bill with the rock.

2) *Kausale Inferenzen:*

John hit Mary with a rock. \Rightarrow John was probably mad at Mary.

3) *Ergebnis-Inferenzen:*

Mary gave John a car. \Rightarrow John has the car.

4) *Motivations-Inferenzen:*

John hit Mary. \Rightarrow John probably wanted Mary to be hurt.

5) *Ermöglichung von Aktionen:*

Pete went to Europe. \Rightarrow Where did he get the money?

6) *Funktionale Inferenzen:*

John wants the book. \Rightarrow John probably wants to read it.

7) *Voraussage von möglichen Aktionen:*

Dick looked in his cook book to find out how to make a roux.

\Rightarrow Dick will now begin to make a roux.

8) *Ableitung von fehlenden Voraussetzungen:*

Mary couldn't see the horses finish. She cursed the man in front of her.

\Rightarrow The man blocked her vision.

9) *Interventions-Inferenzen:*

The baby ran into the street. Mary ran after him.

\Rightarrow Mary wants to prevent the baby from getting hurt.

10) *Ableitung von instrumentellen Aktionen:*

John wanted some nails. \Rightarrow He went to the hardware store.

11) *Inferenzen über Kenntnisse anderer Akteure:*

Pete told Bill that Mary hit John with a bat. \Rightarrow Bill knew that John had been hurt.

12) *Default-Inferenzen:*

Does Pete have a gall bladder? \Rightarrow It's highly likely.

13) *Zustands-Inferenzen:*

John handed a book to Mary yesterday. Is Mary still holding it?
 \Rightarrow Probably not.

14) *Eigenschafts-Inferenzen:*

Andy's diaper is wet. Andy is probably a baby.

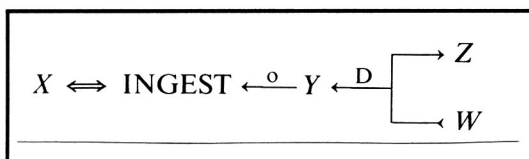
15) *Situations-Inferenzen:*

Mary is going to a masquerade. \Rightarrow She will probably wear a costume.

16) *Inferenzen über Redeanlässe:*

Mary couldn't jump the fence. \Rightarrow Why did she want to?

Nicht jedes konzeptuelle Primitiv besitzt notwendigerweise Inferenzregeln aller genannten Klassen.
Für den ACT INGEST, der in CD-Strukturen der Form



vorkommt, existieren beispielsweise die folgenden allgemeinen Inferenzregeln:

- (1) Y verliert seine bisherige Form.
- (2) Wenn Y eßbar ist, wird X satter.
- (3) Wenn Y nicht eßbar ist, nimmt X's Gesundheit ab.
- (4) Wenn X gerne Y ißt, ist X zufrieden.

Abhängig von Y gelten u.U. weitere Inferenzregeln wie

- (5) Wenn Y Medizin gegen V ist und X gerade V hat, dann wird X wahrscheinlich gesünder.

Instrumentelle Abhängigkeiten zwischen ACTs definieren eine Art Vererbungsmechanismus für Inferenzregeln. So ist etwa PTRANS instrumentell für INGEST¹⁰, wodurch die allgemeineren Regeln für PTRANS

- (6) Y befindet sich jetzt in Z.
- (7) Y befindet sich nicht mehr in W.

anwendbar werden. Analoge Regelmengen existieren für die übrigen konzeptuellen Primitiv.

¹⁰ und praktisch auch für jeden anderen physischen ACT.

5. Anwendung

Der wohl bekannteste Nachfolger von MARGIE in einer ganzen Serie von Programmen, die während der 70er Jahre in Yale entstanden, ist SAM (Script Applier Mechanism). SAM (1975) stellte eine Pioniertat in Bezug auf das Verstehen zusammenhängender Texte (Diskurse) dar und war so ausgelegt, daß nach Eingabe eines Texts aus ca. 5-10 Sätzen wahlweise eine Nacherzählung generiert, Fragen zum Text beantwortet oder eine Übersetzung angefertigt werden konnte. Die Fähigkeit des Nacherzählens ähnelte sehr stark MARGIE's Paraphrase Mode, konnte jedoch anaphorische Bezüge über die Satzgrenzen hinweg korrekt wiedergeben. Der Frage-und-Antwort-Modus zielte auf SAM's spektakulärste Fähigkeit: unvollständige Erzählungen anhand von prototypischen Episodenschemata, den Scripts, zu rekonstruieren und diese "Erkenntnisse" auf Befragen abrufen zu können. Der Übersetzungsmodus funktionierte im Prinzip genau wie der Paraphrase Mode, lediglich das Modul zur Sprachgenerierung wurde gegen das einer anderen Sprache ausgetauscht; den CD-Strukturen, die der Parser aus dem Eingabetext extrahiert hatte, kam dabei die Rolle einer Interlingua zu.

Vom Standpunkt der Wissensrepräsentation interessiert hier vor allem der Formalismus der Scripts, mit dem einzelne Konzeptualisierungen zu komplexen Geschichten zusammengesetzt werden können. *Scripts* sind im wesentlichen Sequenzen von CD-Strukturen, die anstelle von Rollenfüllern *Variablen* enthalten. Die Granularität der Episodenelemente wird durch die konzeptuellen Primitive bestimmt, die als zentrale Bestandteile der CD-Strukturen dienen. Variablen, die als Filler in mehreren Episodenelementen vorkommen, müssen überall mit dem gleichen Objekt, z.B. mit dem gleichen PP, instantiiert werden. Während der Analyse einer Geschichte wird die Konzeptualisierung des aktuellen Satzes gegen die nächsten Konzeptualisierungen im Script gematcht. Ist eine passende Konzeptualisierung gefunden, kann dies auf zweierlei Weise ausgenutzt werden. Zum einen kann inferiert werden, daß die Episodenbestandteile, die zwischen dem letzten und dem aktuellen Match im Script enthalten sind, stattgefunden haben, obwohl sie nicht im Eingabetext enthalten sind¹¹. Wartet man mit dem Instantiiieren der darin enthaltenen Variablen bis zum Ende der Geschichte, so können ggf. sogar Rückwärtsbezüge aufgelöst werden. Zum anderen kann SAM nach der Analyse eines Teils einer Geschichte recht genaue Voraussagen über noch zu erwartende Episodenbestandteile machen, indem er probeweise die bisher ermittelte Substitution für die Scriptvariablen auf den Rest des Scripts anwendet.

Im Laufe der Zeit wurde der Script-Formalismus immer weiter verfeinert, um zusätzliche Aspekte, wie alternative Subepisoden oder vorzeitigen Scriptwechsel, behandeln zu können. Speziell für die Aktivierung passender Skripts wurde ein dämonenartiger Mechanismus vorgeschlagen: alle Scripts besitzen einen Kopf mit ausgezeichneten Mustern, deren Vorkommen im Text die Anwendung des Scripts nahelegen. Die Köpfe aller Scripts werden ständig gegen die Eingabe gematcht, um Themenwechsel frühzeitig erkennen zu können. Auf diese Entwicklungen kann hier jedoch nicht im einzelnen eingegangen werden.

¹¹ Dies ist natürlich nur eine Default-Annahme, aber eine nützliche, von der alle menschlichen Sprecher/Hörer laufend Gebrauch machen.

6. Kritik

Eine Kritik aufgrund expliziter Stellungnahmen anderer Forscher in der Literatur fällt schwer, weil fast alle Veröffentlichungen zur CD-Theorie von Schank selbst oder seinen Doktoranden stammen. Daher bin ich weitgehend auf Schanks eigene (spärliche) Kritik sowie auf indirekte Hinweise in allgemeineren Kritiken der semantischen Netze und der Fundierung von NL-Ansätzen angewiesen. Aus der Sicht der Linguisten war Schanks ganzer Ansatz, insbesondere aber die Erfolgskontrolle durch Experimente mit Computer-Programmen, zur damaligen Zeit revolutionär¹².

Schank und seine Mitarbeiter räumen an verschiedenen Stellen ein, daß viele der vorgestellten Ideen sich in der Praxis als außerordentlich platz- und zeitaufwendig erweisen. Dieses Problem wird mit der Rechtfertigung in Kauf genommen, daß in Schanks Programmen eine ganze Reihe von sonst meist als "sehr unangenehm" eingeschätzten Problemen des Sprachverstehens angegangen werden. In einem ersten Anlauf komme es stärker darauf an, prinzipielle Lösungen aufzuzeigen als Effizienzbetrachtungen anzustellen. Mit dieser Ansicht steht Schank in der KI natürlich nicht allein, meines Wissens konnte er das Komplexitätsproblem aber in den zehn Jahren seit SAM nicht nachhaltig lösen.

Da CD-Strukturen als Spezialfälle von semantischen Netzen aufgefaßt werden können, trifft auch auf sie der von vielen Forschern erhobene Vorwurf zu, ihre Definition (speziell die ihrer Semantik) sei gemessen an dem Standard, den andere Wissensrepräsentationsformalismen gesetzt haben, an vielen Stellen unpräzise und ad hoc (stellvertretend [Woods75]). Speziell im Fall der CD-Theorie fällt auf, daß in verschiedenen Veröffentlichungen Vollständigkeitsbehauptungen aufgestellt werden, die im Licht späterer Papers hinfällig wurden. In begrenztem Umfang ist dies sicherlich auf die Weiterentwicklung des Forschungsgebietes zurückzuführen; wenn jedoch nach 15 Jahren noch immer nicht abzusehen ist, ob der Vervollständigungsprozeß terminieren wird, und die jüngeren Veröffentlichungen noch immer den Eindruck erwecken, als würde der Formalismus für jedes neue Beispiel gerade passend um ein spezielles Konstrukt erweitert, so schmälert dies das Vertrauen in den Ansatz.

Insbesondere geht bei dieser Vorgehensweise jedes Gefühl dafür verloren, welche Ausdrucksmächtigkeit und welche Entscheidbarkeitseigenschaften der gerade aktuelle Formalismus besitzt bzw. welche Vollständigkeits- und Korrektheitseigenschaften man von einer algorithmischen Umsetzung erwarten kann. Das zentrale Papier, in dem zwar ohne Nennung von Namen, aber unter Verwendung der CD-Syntax die Entwicklung von Formalismen bei gleichzeitiger Vernachlässigung der semantischen Aspekte angeprangert wird, ist [McDermott78]. In diesem (sehr kurzen) Papier weist McDermott darauf hin, daß "erfolgreiche" experimentelle KI-Systeme, deren Leistung nicht auf der Basis eines syntaktisch und semantisch wohlverstandenen Formalismus nachvollzogen werden können, wertlos weil unanalysierbar sind. Er schlägt im Falle des Sprachverstehens allgemein die Tarski-Semantik als semantische Grundlage zukünftiger Systeme vor und skizziert speziell Semantikregeln zu ausgewählten CD-Strukturen.

¹² It. [Shapiro87], nicht durch Zitate belegt

7. Literatur

[McDermott78]

D. McDermott: Tarskian Semantics, or No Notation Without Denotation!
Cognitive Science 2(3), 1978

[Schank72]

R.C. Schank: Conceptual Dependency: A Theory of Natural Language Understanding
Cognitive Psych. 3(4), 1972

[Schank73]

R.C. Schank: Identification of Conceptualizations Underlying Natural Language
in: R.C. Schank, K.M. Colby (eds.): Computer Models of Thought and Language
San Francisco 1973

[Schank75]

R.C. Schank: Conceptual Information Processing
New York 1975

[Schank,Abelson77]

R.C. Schank, R.P. Abelson: Scripts, Plans, Goals and Understanding
Hillsdale, NJ, 1977

[Schank,Riesbeck81]

R.C. Schank, C.K. Riesbeck: Inside Computer Understanding
Hillsdale, NJ, 1981

[Schank82]

R.C. Schank: Dynamic Memory: A Theory of Learning in Computers and People
Cambridge, UK, 1982

[Shapiro87]

S.C. Shapiro (ed.): Encyclopedia of Artificial Intelligence
New York 1987
Stichwort "Conceptual Dependency"

[Woods75]

W.A. Woods: What's in a Link?
in: D.G. Bobrow, A. Collins (eds.): Representation and Understanding
New York 1975

Anhang: Die syntaktischen CD-Regeln

- (1) $PP \leftrightarrow ACT$ Certain PPs can ACT.
- (2) $PP \rightleftarrows PA$ PPs (and some conceptualizations) can be described by an attribute.
- (3) $ACT \xleftarrow{o} PP$ ACTs have objects.
- (4) $ACT \xleftarrow{D} \begin{cases} \rightarrow LOC \\ \rightarrow LOC \end{cases}$ ACTs have direction.
- (5) $ACT \xleftarrow{R} \begin{cases} \rightarrow PP \\ \rightarrow PP \end{cases}$ ACTs have recipients.
- (6) $ACT \xleftarrow{o} \updownarrow$ MTRANS requires conceptualizations or combinations of conceptualizations as objects, and MBUILD has its own special object type.
- (7) $ACT \xleftarrow{I} \updownarrow$ ACTs have conceptualizations as instruments.
- (8) $\begin{matrix} PP & PP \\ \updownarrow & \updownarrow \\ \rightleftarrows & \rightleftarrows \end{matrix}$ PPs can be described by conceptualizations in which they occur.
- (9) $\begin{matrix} T \\ \downarrow \\ \rightleftarrows \end{matrix}$ Conceptualizations have times.
- (10) $\begin{matrix} LOC \\ \downarrow \\ \rightleftarrows \end{matrix}$ Conceptualizations have locations.
- (11) $\begin{matrix} \rightleftarrows \\ \uparrow r \\ \rightleftarrows \end{matrix} \begin{cases} \rightarrow \\ \rightarrow \end{cases}$ Conceptualizations can result in state changes for PPs.
- (12) $\begin{matrix} \rightleftarrows \\ \uparrow R \\ \rightleftarrows \end{matrix}$ Conceptualizations involving mental ACTs can serve as reasons for conceptualizations.
- (13) $\begin{matrix} \rightleftarrows \\ \uparrow E \\ \rightleftarrows \end{matrix}$ or $\begin{matrix} \rightleftarrows \\ \uparrow E \\ \rightleftarrows \end{matrix} \begin{cases} \rightarrow \\ \rightarrow \end{cases}$ States or state changes can enable conceptualizations to occur.
- (14) $PP \rightleftarrows PP$ One PP is equivalent to or an instance of another PP.
- (15) $\begin{matrix} ACT \\ \uparrow \\ AA \end{matrix}$ ACTs can be varied along certain dimensions (e.g., speed for motion ACTs).

Anhang: Die 13 konzeptuellen Primitive (ACTs)

<u>Name</u>	<u>Beispiel</u>	<u>Definition</u>
ATRANS	geben, kaufen	Übertragung einer abstrakten Relation (Besitz, Kontrolle)
PTRANS	gehen, stellen, legen	Veränderung der physikalischen Position eines Objektes
PROPEL	drücken, werfen	Anwendung von physikalischer Kraft auf ein Objekt
MOVE	(Hand heben)	Bewegung eines Körperteils (meist nur instrumentell)
GRASP	greifen	Ergreifen eines Objekts, die inversen Verben können als Beenden eines GRASPs repräsentiert werden
INGEST	essen, trinken, atmen	Überführen eines Objekts in das Innere eines Menschen/Tiers
EXPEL	spucken, weinen	Gegenteil von INGEST
MTRANS	mitteilen, sehen, erinnern	Informationsübermittlung
MBUILD	entscheiden, schließen	Erzeugen neuer Information aus alter durch einen Akteur
SPEAK	sprechen, bellen	Erzeugen von Tönen (bei Menschen meist instrumentell für MTRANS)
ATTEND	(hören, sehen)	ein Sinnesorgan auf einen Stimulus richten (meist nur instrumentell für MTRANS)

