

Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing

- Syntax als Untersuchungsgegenstand
- Wortartendisambiguierung
- Phrasenstrukturgrammatiken
- Parsing mit Phrasenstrukturgrammatiken
- Restrikingierte Phrasenstrukturgrammatiken
- Unifikationsgrammatiken
- Constraint-basierte Grammatiken
- Robustes Parsing



Unifikationsgrammatiken

- Merkmalstrukturen
- Regeln mit komplexen Kategorien
- Organisation des Lexikons
- Grammatikmodelle mit Unifikation



Merkmalstrukturen

- Attribute und Werte
- Rekursive Merkmalstrukturen
- Koreferenz
- Disjunktive Merkmalstrukturen
- Generalisierung
- Termunifikation



Attribute und Werte

- Attributierte Grammatiken: Merkmale als Annotation der kategorialen Symbole

$N_{nom,sg,neutr} \rightarrow Haus$

$N[nom,sg,neutr] \rightarrow Haus$

- explizite Notation von Attributnamen

$$N \begin{bmatrix} case & nom \\ num & sg \\ gen & neutr \end{bmatrix} \rightarrow Haus$$



Attribute und Werte

- komplexe Kategorien: Einbeziehung des Kategoriennamens in die Merkmalstruktur

$Haus: \begin{bmatrix} cat & N \\ case & nom \\ num & sg \\ gen & neutr \end{bmatrix}$

- Merkmalstruktur als funktionale Abbildung:

Eine Merkmalstruktur ist eine eindeutige Abbildung aus der Menge der Attribute in die Menge der Werte

- eindeutige Attributnamen / eindeutige Wertezuordnung



Attribute und Werte

- Merkmalstruktur:

Eine Merkmalstruktur ist eine endliche Menge von Attribut-Wert-Paaren, die eine funktionale Abbildung aus der Menge der Attribute in die Menge der Werte realisiert.

- Anzahl der Attribute ist endlich aber frei wählbar
- Merkmalstrukturen sind seitlich erweiterbar

- partielle Beschreibungen: unterspezifizierte Merkmalstrukturen

$Frauen: \begin{bmatrix} cat & N \\ num & pl \\ gen & fem \end{bmatrix}$



Attribute und Werte

- Subsumtion:

Eine Merkmalstruktur M_1 subsumiert eine Merkmalstruktur M_2 gdw. jedes Attribut-Wert-Paar aus M_1 auch in M_2 enthalten ist.

→ nicht alle Paare aus M_2 müssen auch in M_1 enthalten sein



Attribute und Werte

- Notationsvariante 1:

Constraint-basiert (SHIEBER 1986): $M_1 \sqsubseteq M_2$

- M_2 enthält eine größere Menge von Constraints als M_1
- M_2 ist eine Erweiterung von M_1 (POLLARD UND SAG 1987)
- M_1 ist weniger informativ als M_2 (SHIEBER 1986, POLLARD UND SAG 1987)

aber:

- M_1 ist allgemeiner als M_2



Attribute und Werte

- Notationsvariante 2:

Instanzen-basiert (POLLARD UND SAG 1987): $M_1 \succeq M_2$

- M_2 ist spezieller als M_1
- M_2 entsteht aus M_1 durch Constraintverschärfung
- Es gibt weniger Instanzen für M_2 als für M_1

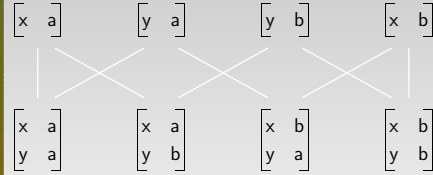
aber:

- M_2 ist Erweiterung von M_1



Attribute und Werte

- Subsumtionshierarchie



Attribute und Werte

- formale Eigenschaften der Subsumtion

- reflexiv: $\forall M_i. M_i \sqsubseteq M_i$
- transitiv: $\forall M_i \forall M_j \forall M_k. M_i \sqsubseteq M_j \wedge M_j \sqsubseteq M_k \rightarrow M_i \sqsubseteq M_k$
- antisymmetrisch: $\forall M_i \forall M_j. M_i \sqsubseteq M_j \wedge M_j \sqsubseteq M_i \rightarrow M_i = M_j$

- Subsumtionsrelation definiert eine Halbordnung
- nicht alle Merkmalstrukturen müssen in einer Subsumtionsbeziehung stehen



Attribute und Werte

- Unifikation I (subsumtions-basiert)

M_1 , M_2 und M_3 seien Merkmalstrukturen. Dann ist M_3 die Unifikation von M_1 und M_2

$$M_3 = M_1 \sqcup M_2$$

wenn

- M_3 von M_1 und M_2 subsumiert wird und
 - M_3 alle anderen Merkmalstrukturen subsumiert, die ebenfalls von M_1 und M_2 subsumiert werden.
- Unifikationsresultat M_3 ist die allgemeinste Merkmalstruktur, die sowohl von M_1 als auch von M_2 subsumiert wird



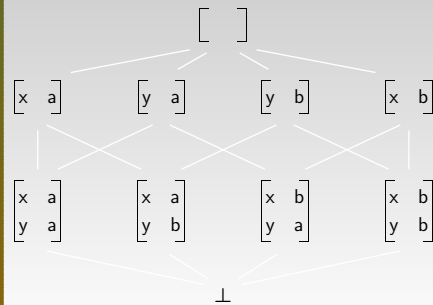
Attribute und Werte

- nicht alle Merkmalstrukturen stehen in einer Subsumtionsrelation \rightarrow Unifikation kann scheitern
- Ergänzen der Subsumtionshierarchie zum Verband
 - bottom (\perp) inkonsistente (überspezifizierte) Merkmalstruktur
 - top (\top) total unterspezifizierte Merkmalstruktur identisch mit einer (unbenannten) Variablen ($[]$)



Attribute und Werte

- Subsumtionsverband



Attribute und Werte

- Unifikation II (aussagenlogisch) (POLLARD UND SAG 1987)

Unifikation zweier Merkmalstrukturen M_1 und M_2 ist die logische Konjunktion aller derjenigen Aussagen, für die die Merkmalstrukturen M_1 und M_2 stehen.

Analogie zur Konjunktion, daher Notationsvariante:

$$M_3 = M_1 \wedge M_2$$

bzw.

$$M_3 = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix}$$



Attribute und Werte

- Unifikation vereinigt zwei Aspekte:

- Verträglichkeitstest
- Informationsanreicherung

- Unifikationsergebnis vereinigt zwei Aspekte

- BOOLE'scher Wert bezüglich des Erfolgs der Unifikation
- Vereinigungsmenge der verträglichen Information aus beiden Merkmalstrukturen



Attribute und Werte

- formale Eigenschaften der Unifikation
 - idempotent: $M \sqcup M = M$
 - kommutativ: $M_i \sqcup M_j = M_j \sqcup M_i$
 - assoziativ: $(M_i \sqcup M_j) \sqcup M_k = M_i \sqcup (M_j \sqcup M_k)$
 - neutrales Element: $\top \sqcup M = M$
 - Nullelement: $\perp \sqcup M = \perp$

- Unifikation und Subsumtion sind wechselseitig auseinander definierbar

$$M_i \sqsubseteq M_j \leftrightarrow M_i \sqcup M_j = M_j$$



Attribute und Werte

- Merkmalsbasierte Lexikoneinträge

Haus:	$\begin{bmatrix} \text{cat} & N \\ \text{case} & \text{nom} \\ \text{num} & \text{sg} \\ \text{gen} & \text{neutr} \end{bmatrix}$	Haus:	$\begin{bmatrix} N & + \\ V & - \\ \text{bar} & 0 \\ \text{case} & \text{nom} \\ \text{num} & \text{sg} \\ \text{gen} & \text{neutr} \end{bmatrix}$
-------	---	-------	---

- Regeln mit komplexen Kategorien

$$\begin{bmatrix} \text{cat} & N \\ \text{bar} & 2 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \text{cat} & D \\ \text{bar} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{cat} & N \\ \text{bar} & 1 \end{bmatrix}$$



Attribute und Werte

- Modellierung von Rektionsforderungen

$$\begin{bmatrix} \text{cat} & N \\ \text{bar} & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \text{cat} & N \\ \text{bar} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{cat} & N \\ \text{bar} & 2 \\ \text{cas} & \text{gen} \end{bmatrix}$$



Attribute und Werte

- Abbildung der Regelstruktur in Merkmalstrukturen

Beispiel: binärverzweigende Regel: $X_0 \rightarrow X_1 X_2$

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{cat} & N \\ \text{bar} & 2 \\ \text{cat} & D \\ \text{bar} & 0 \\ \text{cat} & N \\ \text{bar} & 1 \end{bmatrix}$$



Rekursive Merkmalstrukturen

- Datenabstraktion:
 - Bedingungen sollen nicht für einzelne Merkmale formuliert werden, sondern für Merkmalsbündel
- rekursiv eingebettete Merkmalstrukturen:
 - Werte eines Attributs ist wieder eine Merkmalstruktur

Frauen:

$$\begin{bmatrix} \text{cat} & N \\ \text{bar} & 0 \\ \text{agr} & \begin{bmatrix} \text{num} & \text{pl} \\ \text{gen} & \text{fem} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$



Rekursive Merkmalstrukturen

- Zugriff zu den Werten über Pfade

$$\begin{aligned} \langle \text{cat} \rangle &= N \\ \langle \text{bar} \rangle &= 0 \\ \langle \text{agr num} \rangle &= \text{pl} \\ \langle \text{agr gen} \rangle &= \text{fem} \\ \langle \text{agr} \rangle &= \begin{bmatrix} \text{num} & \text{pl} \\ \text{gen} & \text{fem} \end{bmatrix} \end{aligned}$$



Rekursive Merkmalstrukturen

- Unifikation III (konstruktive Berechnungsvorschrift)

Zwei Merkmalstrukturen M_1 und M_2 unifizieren, wenn für jedes gemeinsame Merkmal der beiden Strukturen gilt, daß

 - bei atomaren Werten die beiden Wertebelegungen identisch sind bzw.
 - bei komplexen Werten die beiden Wertebelegungen unifizieren

Ist die Unifikation erfolgreich, liefert sie als Resultat die Menge aller vollständigen Pfade aus M_1 und M_2 mit ihren zugeordneten Werten. Scheitert die Unifikation ist das Resultat \perp .



Rekursive Merkmalstrukturen

- Repräsentation rekursiver Datenstrukturen

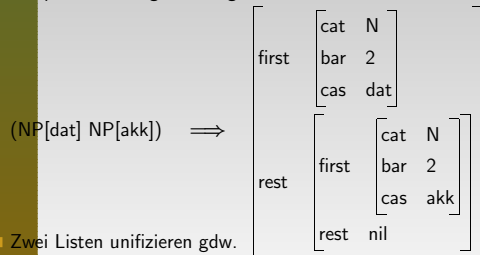
- Listen
- Bäume

$$(A B C) \Rightarrow \begin{bmatrix} \text{first} & A \\ \text{rest} & \begin{bmatrix} \text{first} & B \\ \text{rest} & \begin{bmatrix} \text{first} & C \\ \text{rest} & \text{nil} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$



Rekursive Merkmalstrukturen

- Beispiel: Subkategorisierungsliste

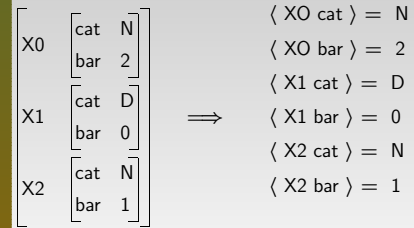


- Zwei Listen unifizieren gdw.
 - sie gleich lang sind und
 - ihre Elemente paarweise unifizieren.



Koreferenz

- Repräsentation von Merkmalstrukturen als Pfadgleichungen



Koreferenz

- Kongruenz durch Identifizierung von Pfadwerten

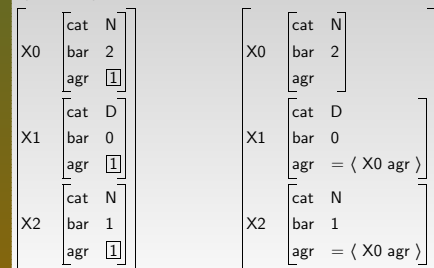
Koreferenz, reentrancy, structure sharing

- Projektion: $\langle X_0 \ \text{agr} \rangle = \langle X_2 \ \text{agr} \rangle$
- Kongruenz: $\langle X_1 \ \text{agr} \rangle = \langle X_2 \ \text{agr} \rangle$



Koreferenz

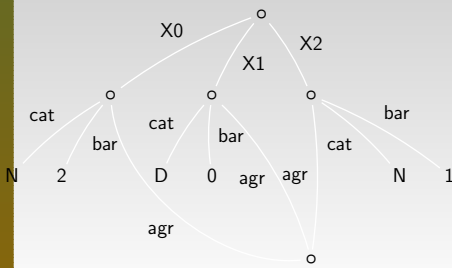
- Darstellung in Merkmalsmatrizen durch Koreferenzindex bzw. Pfadgleichungen



Koreferenz entspricht einer benannten Variablen

Koreferenz

- Merkmalsstrukturen mit Koreferenz entsprechen einem gerichteten azyklischen Graphen



Koreferenz

- Definition durch Analogie (SHIEBER 1986)

Eine Merkmalstruktur ist ein gerichteter azyklischer Graph (DAG) über einer endlichen Menge von Kantennotationen und einer endlichen Menge von atomaren Werten

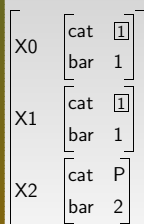
- terminologische Vielfalt

- Merkmalsstrukturen
- Merkmalsgraphen
- Merkmalsmatrizen
- Attribut-Wert-Matrizen (AVM)
- Merkmal-Wert-Strukturen
- funktionale Strukturen (KAY 1984)



Koreferenz

- Beispiel: generalisierte Adjunktionsregel für Präpositionalphrasen



Koreferenz

- Auswirkungen der Koreferenz auf den Informationsgehalt:

- Strukturgleichheit (type identity): $\begin{bmatrix} x & [] \\ y & [] \end{bmatrix}$
- Referenzidentität (token identity): $\begin{bmatrix} x & [] & [] \\ y & [] & \end{bmatrix}$
- Eine Koreferenz ist ein zusätzliches Constraint.
- Identität ist spezieller als Gleichheit: $\begin{bmatrix} x & [] \\ y & [] \end{bmatrix} \sqsubseteq \begin{bmatrix} x & [] & [] \\ y & [] & \end{bmatrix}$



Definition der Unifikation bleibt unverändert

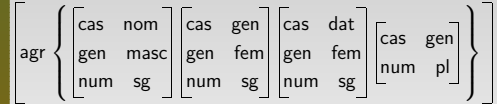
Disjunktive Merkmalstrukturen

- Problem: Merkmalstrukturen sind konjunktive Verknüpfungen von elementaren Informationen
 - Lesartenunterschiede müssen als alternative Merkmalstrukturen beschrieben werden
 - sehr hohe Zahl morphosyntaktischer Lesarten in den flektierenden Sprachen
- Modellierung von alternativen Lesarten durch Disjunktion
 - Disjunktion + funktionale Abbildung
 - "ausschließendes Oder" (EXOR)

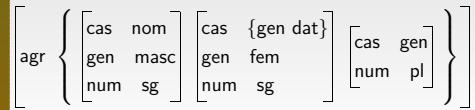


Disjunktive Merkmalstrukturen

- Ziel: Disjunktionen lokal halten
 - globale Disjunktion für *der*

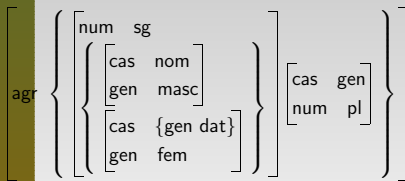


- Disjunktion von atomaren Werten



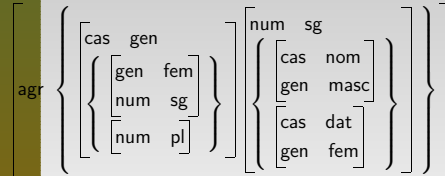
Disjunktive Merkmalstrukturen

- Disjunktion für komplexe Merkmalstrukturen



Disjunktive Merkmalstrukturen

- alternativ:



- effektive Darstellung vor allem der präterminalen Mehrdeutigkeiten
- beseitigt aber nicht die gravierenden Effektivitätsprobleme erstmalig in der Functional Unification Grammar (KAY 1984) verwendet



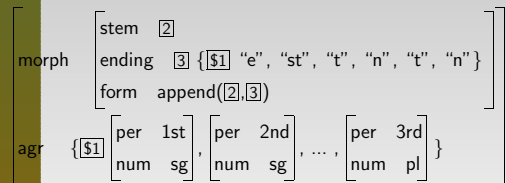
Disjunktive Merkmalstrukturen

- verteilte Disjunktion
 - Einschränkung der Kombinierbarkeit von Disjunkten
- Anwendung zur redundanzfreien Repräsentation von Flexionsparadigmen:
 - Flexionsparadigma ist Disjunktion von Paaren aus Flexionsendung und morphosyntaktischen Merkmalen
 - aber: nicht alle morphosyntaktischen Informationen sind aber endungsabhängig
- Redundanzbeseitigung durch verteilte Disjunktion



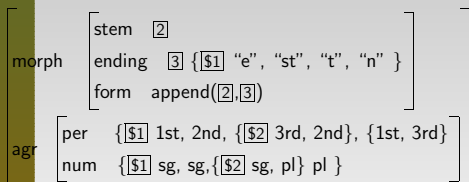
Disjunktive Merkmalstrukturen

- Matrixrepräsentation



Disjunktive Merkmalstrukturen

- Form-basierte Notation



Generalisierung

- Disjunktion ist Zusammenfassung zweier unterschiedlicher zu einer gemeinsamen Merkmalstruktur
 - gemeinsame Bestandteile werden ausgeklammert
 - redundanzarme Repräsentation
 - Denotatsmenge bleibt erhalten
- schwache Generalisierung



Generalisierung

- starke Generalisierung: Beschränkung auf die gemeinsame Information
- starke Generalisierung für disjunktionfreie Merkmalstrukturen:

Die Generalisierung zweier disjunktionfreier Merkmalstrukturen M_1 und M_2 ist die speziellste (disjunktionfreie) Merkmalstruktur M_3 , die sowohl M_1 als auch M_2 subsumiert.

Die Generalisierung zweier disjunktionfreier Merkmalstrukturen M_1 und M_2 ist die Schnittmenge aller Pfade aus M_1 und M_2 und der dazugehörigen Werte.

Notation: $M_3 = M_1 \sqcap M_2$

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 41



Generalisierung

- Generalisierung als duale Operation zur Unifikation
 - Informationsverlust
 - die Denotationsmenge wird ausgeweitet
- formale Eigenschaften der Generalisierung
 - idempotent: $M \sqcap M = M$
 - kommutativ: $M_i \sqcap M_j = M_j \sqcap M_i$
 - assoziativ: $(M_i \sqcap M_j) \sqcap M_k = M_i \sqcap (M_j \sqcap M_k)$
 - neutrales Element: $\perp \sqcap M = M$
 - Nullelement: $\top \sqcap M = \top$

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 42



Generalisierung

- Generalisierung und Subsumtion sind auseinander definierbar

$$M_i \sqsubseteq M_j \leftrightarrow M_i \sqcap M_j = M_i$$

- für Unifikation und Generalisierung gilt das Distributionsgesetz

$$(M_i \sqcap M_j) \sqcup M_k = (M_i \sqcup M_k) \sqcap (M_j \sqcup M_k)$$

$$(M_i \sqcup M_j) \sqcap M_k = (M_i \sqcap M_k) \sqcup (M_j \sqcap M_k)$$

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 43



Generalisierung

- starke Generalisierung für disjunktionhaltige Merkmalstrukturen:
Die Generalisierung zweier disjunktionhaltiger Merkmalstrukturen M_1 und M_2 ist die speziellste disjunktionfreie Merkmalstruktur M_3 , die sowohl M_1 als auch M_2 subsumiert.
 - gegenseitige Definierbarkeit von Subsumtion und Generalisierung gilt nicht mehr
 - Übergang zur Disjunktion erforderlich

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 44



Generalisierung

- Einsatzgebiete für starke Generalisierung
 - Koordinationsanalyse: Ermitteln der gemeinsamen Einordnungsinstanz
 - Effektivierung der Analyse durch Zusammenfassen von Lesarten und gemeinsamer Vorunifikation
 - gemeinsame Repräsentation phonetisch ähnlicher Erkennungshypothesen durch generalisierte Merkmalstrukturen

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 45



Termunifikation

- Spezialfall der Graphunifikation
- Vereinfachung 1: Merkmalstrukturen sind seitwärts geschlossen
 - Mengen
 - feste Anzahl von Attributen (Stelligkeit)
 - nur vereinbarte Attribute zulässig
 - alle vereinbarten Attribute notwendig

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 46



Termunifikation

- Vereinfachung 2: vereinbarte Anordnung der Attribute
 - Listen
 - implizite Attributzuordnung
 - Attributnamen können entfallen
 - Listenunifikation: Listen unterschiedlicher Länge unifizieren nicht
- Vereinfachung 3: Koreferenz nur über benannte Variable
 - Trennung von Koreferenz und Wertedeklaration
 - gleichzeitige Wertezuweisung erfordert externen Mechanismus

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 47



Termunifikation

- Vereinfachung 4: ausgezeichnete (atomare) Wert als Funktor
 - Termunifikation
- rekursive Einbettbarkeit der Terme bleibt erhalten
 - Datenabstraktion (head-Merkmal)
 - komplexe Kategorien (slash-Merkmal)
- Termunifikation + kontextfreies Grundgerüst \rightarrow DCG

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 48



Termunifikation

- Einbettung in Prolog
 - Verwendung der nichtdeterministischen Inferenzmaschine als Parser/Generator
 - Implementation durch Transformation in Prolog-Klauseln
 - Repräsentation der Konstituenten durch Differenzlistentechnik

$S \rightarrow NP VP$	$s(X0,X2) :- np(X0,X1),vp(X1,X2).$
$N \rightarrow Haus$	$n([haus R],R)$



Termunifikation

- Aufruf eines Erkenners:
 - ?- s([hans, kauft, das, haus],[]).
- Strukturaufbau auf einem zusätzlichen Argument



Termunifikation

- schnelle Realisierung von einfachen Prototypsystemen
- Nachteile
 - hohe Stelligkeit für anspruchsvolle Grammatiken
 - unübersichtlich und fehleranfällig
 - Modifikationen am Merkmalsinventar erfordern meist umfangreiche Änderungen in der Gesamtgrammatik und in benachbarten Komponenten (z.B. Lexikon)
 - irrelevante Attributpositionen müssen durch (redundante) anonyme Variable belegt sein



Regeln mit komplexen Kategorien

- Formale Eigenschaften
- Subkategorisierung
- Bewegungsoperationen



Formale Eigenschaften

- "Kontextfreie" Regeln mit komplexen Kategorien
 - context free backbone
- Grammatiken mit komplexen Kategorien sind nicht mehr kontextfrei
 - Pfadlänge ist unbeschränkt
 - kann zum Abzählen verwendet werden (PEANO-Arithmetik)
 - Indizierte Grammatiken

$$\left[\begin{array}{c} \text{cat } N \\ i \ 0 \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{c} \text{cat } N \\ i \ [i \ 0] \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{c} \text{cat } N \\ i \ [i \ [i \ 0]] \end{array} \right] \quad \dots$$


Formale Eigenschaften

- Funktionsauswertungen als Argumentbelegung
 - Konkatenation im Bereich Morphologie und Syntax
- $$\left[\begin{array}{l} \text{stem } [1] \text{ erzähl} \\ \text{ending } [2] \\ \text{form } \text{append}([1],[2]) \end{array} \right]$$
- Anordnungsregularitäten
 - Funktionen sind nicht bidirektional
 - "Verstecken" nichtdeklarativer Komponenten



Formale Eigenschaften

- Komplexe Kategorien erlauben die Repräsentation von Regelstrukturen nach dem \bar{X} -Schema
 - bar-Ebenen
 - Projektion
 - Kongruenz
 - Rektion



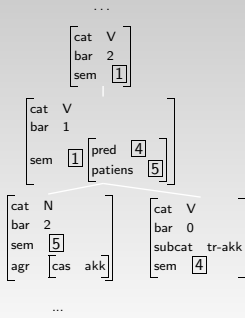
Formale Eigenschaften

- Aufbau beliebiger Strukturbeschreibungen durch geeignete Wahl von Koreferenzen
 - z.B. logische Form

$$\left[\begin{array}{c} \text{cat } 1 \\ \text{bar } 2 \\ \text{sem } [1] \text{ [agens } [2]] \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{c} \text{cat } N \\ \text{bar } 2 \\ \text{sem } [2] \\ \text{agr } [3] \text{ [cas nom]} \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{c} \text{cat } 1 \\ \text{bar } 1 \\ \text{sem } [1] \\ \text{agr } [3] \end{array} \right]$$

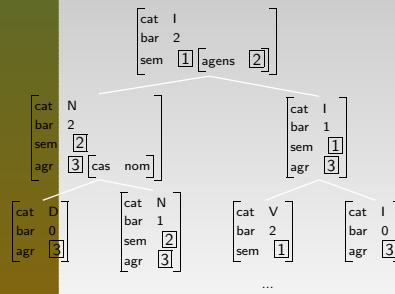
$$\left[\begin{array}{c} \text{cat } V \\ \text{bar } 1 \\ \text{sem } [\text{pred } [1]] \text{ [patiens } [2]] \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{c} \text{cat } N \\ \text{bar } 2 \\ \text{sem } [2] \\ \text{agr } [\text{cas akk}] \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{c} \text{cat } V \\ \text{bar } 0 \\ \text{subcat } \text{tr-akk} \\ \text{sem } [1] \end{array} \right]$$


Formale Eigenschaften



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 57

Formale Eigenschaften



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 58

Formale Eigenschaften

- Erzeugung linksrekursiver Strukturen mit rechtsrekursiven Regeln
- linksrekursive Regeln (DCG-Notation)


```
np(np(Snp, Spp)) --> np(Snp), pp(Spp).
np(np(Sd, Sn)) --> d(Sd), n(Sn).
```
- rechtsrekursive Regeln


```
np(np(Sd, Sn)) --> d(Sd), n(Sn).
np(Spps) --> d(Sd), n(Sn), pps(np(Sd, Sn), Spps).
```

```
pps(Snp, np(Snp, Spp)) --> pp(Spp).
pps(Snp, Spps) --> pp(Spp), pps(np(Snp, Spp), Spps).
```

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 59

Formale Eigenschaften

- Beispiel: *das Haus hinter der Straße mit dem roten Dach*

```
?- np(S, [d, h, hds, mdrd], [ ]).
np(Spps1) --> d(Sd), n(Sn), pps(np(Sd, Sn), Spps1).      S=Spps1
...
?- pps(np(d(d), n(h)), Spps1, [hds, mdrd], Z1).
pps(Snp2, Spps2) --> pp(Spp), pps(np(Snp, Spp), Spps2). Spps1=Spps2
...
?- pps(np(np(d(d), n(h)), pp(hds)), Spps2, [mdrd], Z2)
pps(Snp, np(Snp, Spp)) --> pp(Spp).
```

```
Snp = np(np(d([d]), n([h])), pp([hds])),
Spps2 = np(np(np(d([d]), n([h])), pp([hds])), pp([mdrd]))
```

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 60

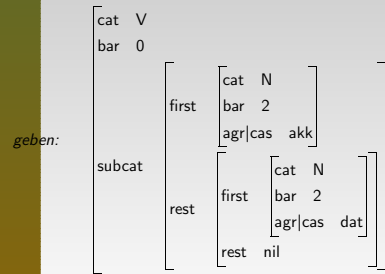
Formale Eigenschaften

- Parsing mit komplexen Kategorien
 - Test von Kategorien auf Gleichheit wird durch Unifizierbarkeit ersetzt
 - aber: Unifikation ist destruktiv
 - Information wird zu Regeln und Lexikoneinträgen hinzugefügt
 - Kopieren vor Unifikation
 - Test auf Wiederverwendbarkeit einer Kante durch Subsumtion
 - Zusammenfassen ähnlicher Kanten?

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 61

Subkategorisierung

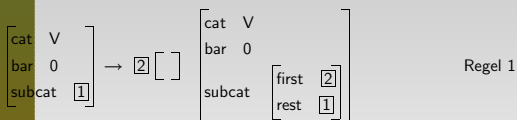
- Modellierung der Valenzforderungen als Liste



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 62

Subkategorisierung

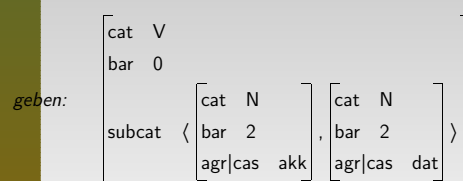
- Abarbeitung der Subcat-Liste durch entsprechende Regeln



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 63

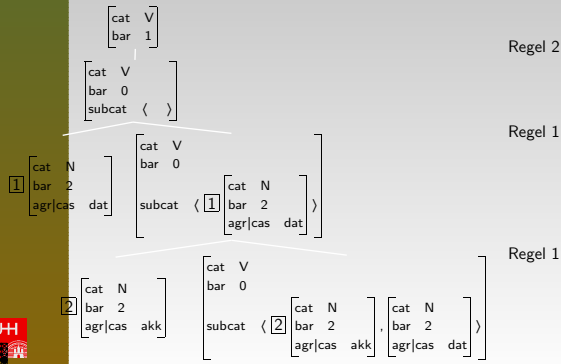
Subkategorisierung

- Listennotation



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 64

Subkategorisierung



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 65

Bewegungsoperationen

- Transformationen/Bewegungen sind unidirektional und prozedural
- Ziel: deklarative Integration in Merkmalstrukturen
- Slash-Operator
 - S/NP Satz ohne Nominalgruppe
 - VP/V Verbalgruppe ohne Verb
 - S/NP/NP
 - ...

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 66

Bewegungsoperationen

- Slash-Operator
 - Ursprung: Kategorialgrammatik (BAR-HILLEL 1963)
 - später in der GPSG wieder aufgegriffen (GAZDAR U.A. 1985)
 - auch anordnungssensitive Variante: S\NP/NP

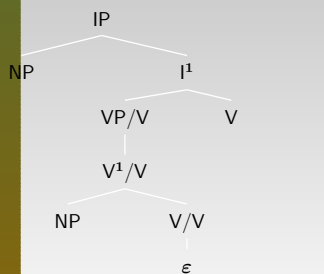
Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 67

Bewegungsoperationen

- Flexionsbewegung des Verbs
 - fehlende Kategorie wird im Baum "nach oben" transportiert
- $IP \rightarrow NP \ I^1$
 $I^1 \rightarrow VP/V \ V$ Slash-Einführung
 $VP/V \rightarrow V^1/V$ Slash-Übertragung
 $V^1/V \rightarrow NP \ V/V$ Slash-Übertragung
 $V/V \rightarrow \epsilon$ Slash-Eliminierung

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 68

Bewegungsoperationen



X-Schema nicht exakt gewahrt (I^0 fehlt)

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 69

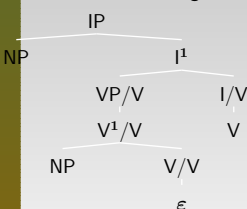
Bewegungsoperationen

- erweiterte Semantik des Slash-Operators:
 - fehlende Kategorie \rightarrow zu bewegenden Kategorie
- $IP \rightarrow NP \ I^1$
 $I/V \rightarrow V$ Slash-Einführung
 $I^1 \rightarrow VP/V \ I/V$ Slash-Übertragung
 $VP/V \rightarrow V^1/V$ Slash-Übertragung
 $V^1/V \rightarrow NP \ V/V$ Slash-Übertragung
 $V/V \rightarrow \epsilon$ Slash-Eliminierung

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 70

Bewegungsoperationen

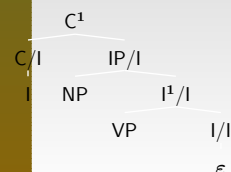
- X-konforme Modellierung



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 71

Bewegungsoperationen

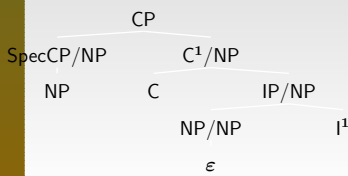
- Verbvoranstellung
- $C/I \rightarrow I$ Slash-Einführung
 $C^1 \rightarrow C/I \ IP/I$ Slash-Übertragung
 $IP/I \rightarrow NP \ I^1/I$ Slash-Übertragung
 $I^1/I \rightarrow VP \ I/I$ Slash-Übertragung
 $I/I \rightarrow \epsilon$ Slash-Eliminierung



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 72

Bewegungsoperationen

- Topikalisierung
 - CP → SpecCP/NP C¹/NP
 - SpecCP/NP → NP
 - C¹/NP → C IP/NP
 - IP/NP → NP/NP I¹
 - NP/NP → ε
- Slash-Einführung
Slash-Übertragung
Slash-Übertragung
Slash-Eliminierung



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 73

Bewegungsoperationen

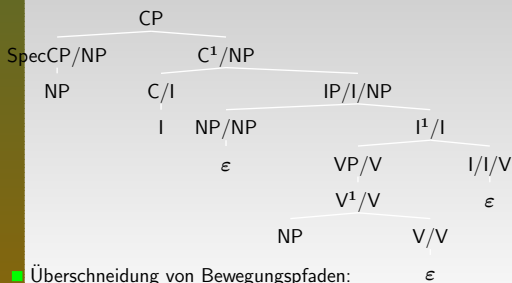
- Übertragung in Merkmalstrukturen: Slash-Merkmal
 - bewegte Konstituenten sind durch Koreferenz mit ihrer Spur verbunden
 - Spurenkonvention gewahrt
 - Ermittlung der semantischen Form ist invariant gegenüber Bewegungsoperationen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 74

Bewegungsoperationen

- Überlagerung der drei Bewegungen



- Überschneidung von Bewegungspfaden:
Listen als Werte des Slash-Merkmals

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 75

Bewegungsoperationen

- Parsing mit leeren Kategorien
 - Slash-Elimination muß nicht mit leeren Kategorien erfolgen
 - IP/NP → NP/NP I¹ Slash-Übertragung
 - NP/NP → ε Slash-Eliminierung
 - zusammenfassen zu
 - IP/NP → I¹
 - aber: Spur geht verloren



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 76

Organisation des Lexikons

- Lexikalisierung des grammatischen Wissens
 - hochgradig komplexe Wörterbucheintragen
 - Probleme bei Erarbeitung und Wartung
 - hochgradige Redundanz
- Ziel: Mehrfachnutzung von Merkmalstrukturen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 77

Organisation des Lexikons

- Templates
 - Klassennamen für wiederverwendbare Teilstrukturen
 - generalisierbare Information wird explizit dargestellt
 - manchmal auch als structure sharing bezeichnet

Verb *verb*: $\begin{bmatrix} \text{cat} & \bar{V} \\ \text{bar} & 0 \end{bmatrix}$

Singular *sing*: $\begin{bmatrix} \text{agr|num} & \text{sg} \end{bmatrix}$

3. Person *3rd*: $\begin{bmatrix} \text{agr|per} & 3 \end{bmatrix}$

Intransitives Verb *intr*: $\begin{bmatrix} \text{subcat} & \text{nil} \end{bmatrix}$



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 78

Organisation des Lexikons

Transitives Verb *trans*: $\begin{bmatrix} \text{subcat} & \begin{bmatrix} \text{first} & \begin{bmatrix} \text{cat} & \text{N} \\ \text{bar} & 2 \end{bmatrix} \\ \text{rest} & \text{nil} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$

TV mit Akkusativ *t-akk*: $\begin{bmatrix} \text{subcat} & \text{first|agr|cas} & \text{akk} \end{bmatrix}$

TV mit Dativ *t-dat*: $\begin{bmatrix} \text{subcat} & \text{first|agr|cas} & \text{dat} \end{bmatrix}$

Bitransitives Verb *bitr*: $\begin{bmatrix} \text{subcat} & \begin{bmatrix} \text{first} & \begin{bmatrix} \text{cat} & \text{N} \\ \text{bar} & 2 \\ \text{agr|cas} & \text{akk} \end{bmatrix} \\ \text{rest} & \begin{bmatrix} \text{first} & \begin{bmatrix} \text{cat} & \text{N} \\ \text{bar} & 2 \\ \text{agr|cas} & \text{dat} \end{bmatrix} \\ & \text{rest} & \text{nil} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 79

Organisation des Lexikons

- Lexikoneintragen als Unifikation von Templates
 - schläft* *verb* ⊔ *intr* ⊔ *sing* ⊔ *3rd* ⊔ $\begin{bmatrix} \text{sem} & \text{schlafen} \end{bmatrix}$
 - betritt* *verb* ⊔ *trans* ⊔ *t-akk* ⊔ *sing* ⊔ *3rd* ⊔ $\begin{bmatrix} \text{sem} & \text{betreten} \end{bmatrix}$
 - gibt* *verb* ⊔ *bitr* ⊔ *sing* ⊔ *3rd* ⊔ $\begin{bmatrix} \text{sem} & \text{geben} \end{bmatrix}$

- Hierarchische Abstraktion: Vererbung

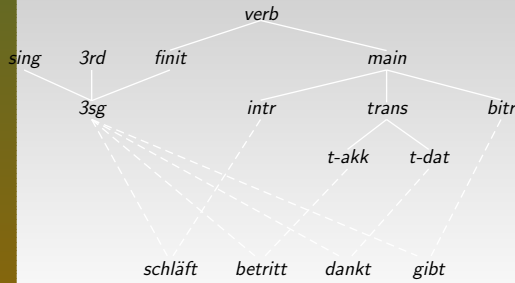
isa(trans, verb)
isa(t-akk, trans)
isa(3sg, sing)
isa(3sg, 3rd)
...



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 80

Organisation des Lexikons

- Mehrfachvererbung ist möglich und typisch



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 81

Organisation des Lexikons

- resultierende Merkmalstruktur ist die Unifikation aller ererbten Teilstrukturen mit den jeweils wortformspezifischen Angaben

schläft intr \sqcup 3sg \sqcup [sem schlafen]
 betritt t-akk \sqcup 3sg \sqcup [sem schlafen]
 gibt bitr \sqcup 3sg \sqcup [sem geben]

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 82

Organisation des Lexikons

- nichtmonotone Vererbung
- Konfliktlösung durch
 - implizite Präferenzregeln (speziell vor allgemein, links vor rechts)
 - speziellen (unsymmetrischen) Unifikationsoperator (\sqcup_o) mit expliziter Präferenzmarkierung
- Unifikation ist nicht mehr kommutativ
 - Reihenfolge der Unifikationen beeinflusst das Ergebnis

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 83

Organisation des Lexikons

- Überschreiben von Standardwerten
 - besonders im morpho-syntaktischen Bereich erwünscht:
 - ein Wort flektiert regulär, falls nichts anderes angegeben ist
 - aber auch: Verbvalenzen als Spezialisierung des intransitiven Falls (HUDSON 1985)

bitr: TRANS \sqcup_o [subcat|rest [first [cat NP] ...] rest nil]]

- aber: Reihenfolge der Komplemente in der Subcat-Liste ist oftmals bereits anderweitig festgelegt

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 84

Grammatikmodelle mit Unifikation

- Klassifikation:
 - Theorieneutrale Werkzeuge: PATR-II, FUG, DCG
 - CFG-basierte Grammatiktheorien: LFG, GPSG
- PATR-II (SHIEBER ET AL. 1983)
 - parse and translate
 - Pfadannotation an kontextfreien Regeln

$$VP_1 \rightarrow VP_2 \ X$$

$$\langle VP_1 \text{ head} \rangle = \langle VP_2 \text{ head} \rangle$$

$$\langle VP_2 \text{ subcat first} \rangle = \langle X \rangle$$

$$\langle VP_2 \text{ subcat rest} \rangle = \langle VP_1 \text{ subcat} \rangle$$

- Templates zur Lexikonorganisation

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 85

Grammatikmodelle mit Unifikation

- FUG (KAY 1984)
 - functional grammar + unification
 - functional unification grammar
 - Verbindung strukturelle und funktionaler Beschreibung
 - ausgewählte Merkmale mit speziellen Interpretationen: cset, pattern

cset { [3] [4] }
 pattern < [3] [4] >
 cat S
 head [1] [subject [2]]
 subj [3] [cat NP] [head [2]]
 pred [4] [cat VP] [head [1]]

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 86

Grammatikmodelle mit Unifikation

- FUG (Fortsetzung)
 - Ziel der Berechnung ist eine finale funktionale Struktur für den Satz
 - spezielle ANY-Variable
 - dürfen in der finalen Struktur nicht ungebunden sein
 - Modellierung der Subkategorisierung durch Variablenbindung
 - Konzept der ANY-Variablen ist nichtmonoton: nicht wohlgeformte Strukturen (mit ungebundenen ANY-Variablen) können durch zusätzliche Informationsanreicherung wohlgeformt werden

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 87

Grammatikmodelle mit Unifikation

- DCG (PEREIRA, WARREN 1980)
 - definite clause grammar
 - Termunifikation
 - feste Stelligkeit
 - keine Attributnamen

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 88

Grammatikmodelle mit Unifikation

- LFG (BRESNAN 1982)
 - lexical functional grammar
 - Notationskonventionen

↑ <i>name</i>	Wert des Merkmals <i>name</i> am Mutterknoten
↓ <i>name</i>	Wert des Merkmals <i>name</i> am aktuellen Tochterknoten
↑ bzw. ↓	die nichtkategoriale Information am betreffenden Knoten

S → NP VP
(↑ subj)=↓ ↑=↓

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 89

Grammatikmodelle mit Unifikation

- LFG (Fortsetzung)
 - endliche Menge universeller grammatischer Funktionen: subj, obj, ...
 - Subkategorisierungsinformation wird über die Prädikat-Argument-Struktur des Verbes vermittelt
- (↑ pred) = tragen((↑ subj) (↑ obj))

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 90

Grammatikmodelle mit Unifikation

- LFG (Fortsetzung)
 - spezielle Wohlgeformtheitbedingung für das finale pred-Merkmal
 - Vollständigkeit: alle grammatischen Funktionen in der semantischen Form besitzen Werte in der f-Struktur
 - Kohärenz: außer den angegebenen grammatischen Funktionen besitzen keine weiteren Funktionen Werte in der f-Struktur
 - stark universalgrammatischer Anspruch

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 91

Grammatikmodelle mit Unifikation

- GPSG (GAZDAR ET AL. 1985)
 - generalized phrase structure grammar
 - Rekursivität der Merkmalstrukturen stark eingeschränkt
 - Regeln im ID/LP-Format
 - Bewegungsoperationen durch slash-Operator

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 92

Grammatikmodelle mit Unifikation

- GPSG (Fortsetzung)
 - Prinzipien zur Einschränkung der Merkmalsbelegungen
 - head feature convention: Projektion der Kopfmerkmale an die Phrase
 - control agreement principle: Subjekt-Verb-Kongruenz, Rektionsforderungen
 - foot feature principle: Bindungsrestriktionen für Bewegungsoperationen und pronominale Referenz

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 93

Grammatikmodelle mit Unifikation

- andere Grammatikmodelle mit Unifikation
 - Kategorialgrammatik (CUG: USZKOREIT 1986, UCG: ZEEVAT ET AL. 1987)
 - Baumadjunktionsgrammatik (UTAG: HARBUSCH 1990)
 - Dependenzgrammatik (DUG: HELLOWIG 1986)

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 94