Einführung in die Computerlinguistik

Syntax I

WS 2011/2012

Manfred Pinkal

Morphologiesysteme

- Flexionsmorphologie: Lemmatisierung/Stemming
  - *veranstalt+et, Veranstaltung+en*
- Ableitungs-/Derivationsmorphologie
  - *Veranstalt+ung, un+glaubwürdig*
- Komposita-Zerlegung
  - *Fach+veranstaltung, glaub+würdig*

Anforderungen an Morphologiesysteme

- Korrektheit
- Vollständigkeit / Abdeckung (engl. „coverage")
- Effizienz

Korrektheit

- Flexionsmorphologie: Typischerweise unproblematisch, Korrekt, wenn die Flexionsklassen im Lexikon korrekt angegeben sind.
- Kompositazerlegung:
  - Übergenerierung ist ein massives Problem
  - ... wenn sie nicht durch Zusatzmechanismen behoben wird (Blockierungslisten, statistische Gewichtung)
- Derivationsmorphologie:
  - Tendenziell Übergenerierung (Semiproduktivität)
  - Tendenziell semantisch irreführende Identifikation von Stämmen

Übergenerierung: Beispiele aus der Praxis

- Ein klassiches Beispiel aus der maschinellen Übersetzung (Systran, um 1980)
  - Barbarei
  -> nightclub nightclub egg
  - Bar|bar|ei
- Ein Beispiel aus der Rechtschreibkonversion (Corrigo, um 2000)
  - Hufeisenniere
  -> Hufeisennniere
  - Huf|ei|senn|niere

Wortbildungsmorphologie: Ableitung/ Derivationsmorphologie

Derivationsmorphologie ist in verschiedener Hinsicht unsystematisch:

- viele Ableitungspräfixe und -suffixe sind semiproduktiv:
- viele Ableitungen sind semantisch "nicht transparent": Sie haben eine konventionelle, lexikalisierte Bedeutung, die mit der Bedeutung des Stammworts nicht in systematischer Beziehung steht.

Beispiele:

- die *Lesung* bezeichnet den Akt des Vorlesens,
- die *Singung* ist ist unmöglich
- die *Vorlesung* gibt es, bezeichnet aber nicht den Akt des Vorlesens,
- die *Schreibung* nicht den Akt des Schreibens

Abdeckung

- Aktuelle Morphologiesysteme haben eine gute bis sehr gute Abdeckung (s. z.B. Word-Rechtschreibung)
- Abdeckung und Korrektheit allein sind für sich genommen keine guten Bewertungskriterien:
  - Man kann Korrektheit billig auf Kosten der Abdeckung erreichen und umgekehrt.
  - Ziel: Zuverlässigkeit bei gleichzeitig großer Abdeckung

Effizienz

- Grundsätzlich: Morphologische Analyse benötigt lineare Zeit in Abhängigkeit von der Länge der Eingabe.
- Gute Morphologiesysteme liegen im Bereich von < 1 ms pro Wortform (auf normalem PC)
- Durch Vorverarbeitung, Zwischenspeichern von Analysen, Indexierung etc. lässt sich für größere Dokumente die Zeit pro Textwort auf den unteren μs-Bereich drücken.
- Das ist
  - exzellent für Online- und Offline-Rechtschreibkorrektur
  - akzeptabel für begrenzte Datensammlungen (große Textkorpora, Firmen-Intranet etc.)
  - zu langsam fürs Web-Suchmaschinen.

Morphologie und Syntax

- Gegenstand der Morphologie ist die Struktur des Wortes: der Aufbau von Wörtern aus Morphemen, den kleinsten funktionalen oder bedeutungstragenden Einheiten der Sprache.
- Gegenstand der Syntax ist die Struktur des Satzes: der Aufbau von Sätzen aus Wörtern.
- Morphologie beschreibt die grammatischen Eigenschaften von Wörtern, die durch Wortform oder Flexionsmorpheme kodiert werden.
- Syntax beschreibt die Interaktion der grammatischen Eigenschaften unterschiedlicher Wörter im Satz.

Eigenschaften der syntaktischen Struktur [1]

- *Er hat die Übungen gemacht.*
- *Der Student hat die Übungen gemacht.*
- *Der interessierte Student hat die Übungen gemacht.*
- *Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student hat die Übungen gemacht.*
- *Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester hat die Übungen gemacht.*
- *Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester, der im Hauptfach Informatik studiert, hat die Übungen gemacht.*
- *Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester, der im Hauptfach, für das er sich nach langer Überlegung entschieden hat, Informatik studiert, hat die Übungen gemacht.*

Eigenschaften der syntaktischen Struktur [2]

Peter hat der Dozentin das Übungsblatt heute ins Büro gebracht.

Das Übungsblatt hat Peter der Dozentin heute ins Büro gebracht.

Der Dozentin hat Peter heute das Übungsblatt ins Büro gebracht.

Ins Büro hat heute Peter der Dozentin das Übungsblatt gebracht.

Heute hat Peter das Übungsblatt der Dozentin ins Büro gebracht.

?Ins Büro hat das Übungsblatt der Dozentin Peter heute gebracht.

** Ins Büro heute Peter das Übungsblatt hat gebracht der Dozentin.*

** Ins heute Büro der Peter Dozentin das hat Übungsblatt gebracht.*

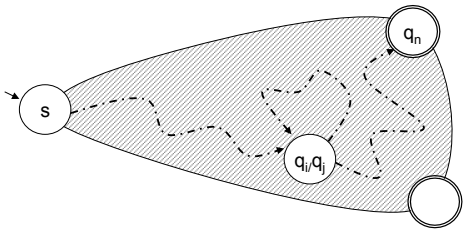
Eigenschaften der syntaktischen Struktur [3]

- Wie finden Sie stattdessen die angehängten Bilder? Das sind Fotos, die im Rahmen des TALK-Projektes entstanden sind, uns gehören, und von BMW schon freigegeben waren. Außerdem vermitteln sie besser den Bezug zur Forschung.

Eigenschaften der syntaktischen Struktur [3]

- Sätze setzen sich aus Satzteilen (Konstituenten) zusammen, die wiederum aus einfachen oder ihrerseits komplexen Satzteilen bestehen können. Sätze können deshalb beliebig lang und beliebig tief geschachtelt sein.
- Die Syntax natürlicher Sprachen erlaubt variable Wortstellung: Wörter und Konstituenten mit der gleichen Funktion können an unterschiedlichen Stellen eines Satzes stehen. Unterschiedliche Sprachen erlauben sehr unterschiedliche Freiheitsgrade.
- Die grammatischen Eigenschaften unterschiedlicher Wörter und Konstituenten im Satz hängen voneinander ab – zum Teil auch in Fällen, in denen die Wörter und Konstituenten im Satz weit auseinander liegen.

Beschränkungen endlicher Automaten



Beschränkungen endlicher Automaten

Endliche Automaten haben eine fundamentale Einschränkung: Ihr „Gedächtnis" ist endlich, durch die Anzahl ihrer Zustände beschränkt. Ein Automat mit k Zuständen kann sich nur an einen beschränkten Kontext „erinnern", nämlich maximal die k voraufgegangenen Symbole. (Anders ausgedrückt: Er kann nur bis k zählen.)

Ein endlicher Automat kann deshalb nur solche Sprachen erkennen, bei denen die Zulässigkeit eines Symbols in einer Zeichenfolge auf der Grundlage eines Vorkontextes von begrenzter Länge entschieden werden kann. Diese Eigenschaft heißt die „Markov-Eigenschaft".

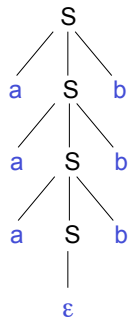
Um Zugehörigkeit zu $a^n b^n$ zu erkennen, müsste sich der Automat beliebig lange Ketten von a's merken können, weil er die Information anschließend beim Abarbeiten von b's braucht.

Kontextfreie Grammatik: Ein neuer Formalismus

- Kontextfreie Gramatiken („KFG", „CFG") beschreiben Sprachen mithilfe von Ersetzungsregeln ("rewrite rules", Produktionen) der Form $A \rightarrow w$
  - Beispiel: $S \rightarrow aSb$, $S \rightarrow \varepsilon$ beschreibt $L = a^n b^n$
- $A \rightarrow u$ ist zu lesen als: Ein Vorkommen von A in einer Symbolfolge/ einem Wort kann durch u ersetzt werden
  - Beispiel: aaSbb wird zu aaaSbbb oder zu aaεbb = aabb
- Eine solche Ersetzung ist ein zulässiger Ableitungsschritt. Wir schreiben: aaSbb $\Rightarrow$ aaaSbbb bzw. aaSbb $\Rightarrow$ aabb.
- Um ein Wort über der Sprache {a, b} abzuleiten, beginnen wir mit S (dem „Startsymbol").
- Wir wenden Ersetzungsregeln an, bis ein Wort w entsteht, das nur noch a's und b's enthält („Terminalsymbole").
  - Beispiel: S $\Rightarrow$ aSb $\Rightarrow$ aaSbb $\Rightarrow$ aaaSbbb $\Rightarrow$ aaabbb
- Wir haben damit gezeigt, dass w durch die Regeln der Grammatik aus S ableitbar ist: w ein Wort der durch die Grammatik beschriebenen (erzeugten) Sprache L.

Kontextfreie Grammatiken

- Die Ableitung
  S ⇒ aSb ⇒ aaSbb ⇒ aaaSbbb ⇒ aaabbb
  kann alternativ durch den Ableitungsbaum rechts dargestellt werden.



- Die Wurzel des Baumes ist das Startsymbol. Die Blätter des Baums ergeben, von links nach rechts gelesen und aneinandergehängt, das abgeleitete Wort.
- Alternative Schreibweise:
  $[_S$ a$[_S$ a$[_S$ a$[_S$ ε] b] b] b]

Kontextfreie Grammatik: Definitionen

G = <V, Σ, P, S>, wobei

- V nicht-leere Menge von Symbolen
- Σ ⊆ V nicht-leere Menge von Terminalsymbolen
- P ⊆ (V- Σ)×V* nicht-leere Menge von Produktionsregeln
- S ∈ V- Σ das Startsymbol

Die Beispielgrammatik für $L= a^n b^n$ in formaler Notation:

- G1 = < {a,b,S}, {a,b}, {<S, aSb>, <S, ε>}, S >

- Für <A, α> ∈ P schreibt man üblicherweise $A \rightarrow \alpha$.

Kontextfreie Grammatik: Definitionen

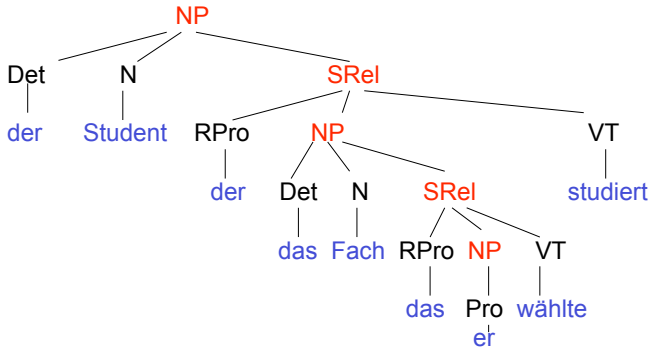
- Wenn A→α Produktion, w = uAv und w' = uαv, so ist w' aus w in einem Schritt ableitbar: w ⇒ w'
- w' ist aus w ableitbar: w ⇒* w' gdw. es eine Folge von Ableitungsschritten gibt, die mit w beginnt und mit w' endet.
- Die durch G erzeugte Sprache L(G) ist die Menge aller Worte über Σ*, die aus S ableitbar sind: L(G) = {w∈ Σ*| S ⇒* w}
- Sprachen, die durch kontextfreie Grammatiken erzeugt werden, heißen kontextfreie Sprachen.

Eigenschaften der syntaktischen Struktur [1]

- *Er hat die Übungen gemacht.*
- *Der Student hat die Übungen gemacht.*
- *Der interessierte Student hat die Übungen gemacht.*
- *Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student hat die Übungen gemacht.*
- *Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester hat die Übungen gemacht.*
- *Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester, der im Hauptfach Informatik studiert, hat die Übungen gemacht.*
- *Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester, der im Hauptfach, für das er sich nach langer Überlegung entschieden hat, Informatik studiert, hat die Übungen gemacht.*

Geschachtelte Strukturen in natürlicher Sprache

[$_{NP}$ *der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester,* [$_{SRel}$ *der* [$_{NP}$ *das Fach,* [$_{SRel}$ *das* [$_{NP}$ *er*] *nach langer Überlegung gewählt hat*]], *eifrig studiert*]]



Eine erste kontextfreie Grammatik für deutsche Sätze

G1 = <V, Σ, P, S> mit

V = {S, SRel, NP, VI, VT, N, Det, RPro} ∪ Σ

Σ = {*schläft, arbeitet, studiert, wählte, Student, Fach, der, das, er*}

P =

S → NP VI	NP → Det N
S → NP VT NP	NP → Det N SRel
SRel → RPro NP VT	NP → Pro
SRel → RPro VI	
VI → *schläft*	N → *Student*
VI → *arbeitet*	N → *Fach*
VT → *studiert*	RPro → *der*
VT → *wählte*	RPro → *das*
Det → *der*	Det → *das*
Pro → *er*	Pro → *sie*

Eine kontextfreie Grammatik für deutsche Sätze

Notationskonventionen:

- Alternative Elemente werden durch „|"zusammengefasst (manchmal auch durch geschweifte Klammern)
- Optionale Elemente werden durch runde Klammern notiert.

Kompaktere Notation der Grammatik:

S → NP VI	S → NP VT NP
SRel → RPro VI	SRel → RPro NP VT
NP → Det N (SRel)	NP → Pro
VI → *schläft* | *arbeitet*	VT → *wählte* | *studiert*
N → *Student* | *Fach*	RPro → *der* | *das*
Det → *der* | *das*	Pro → *er* | *sie*

Kontextfreie Sprachen und reguläre Sprachen

- Kontextfreie Sprachen sind eine echte Obermenge der regulären Sprachen: Jede reguläre Sprache kann von einer CFG erzeugt werden, und es gibt kontextfreie Sprachen, die nicht regulär sind.
- Endliche Automaten verwenden Iteration: Der Automat läuft beliebig oft durch Schleifen und arbeitet dabei Wiederholungen gleicher Symbolfolgen ab.
- Kontextfreie Grammatiken verwenden Rekursion. Produktionsregeln verwenden in der Definition eines Ausdruckstyps den Ausdruckstyp selbst: Nicht-Terminale Symbole tauchen auf der linken und der rechten Seite von Regeln auf. Die Regel S → aSb besagt, dass ein Ausdruck, der mit einem a beginnt, mit einem b endet und dazwischen einen korrekten Ausdruck des Typs S enthält, ebenfalls ein korrekter Ausdruck vom Typ S ist.
- Rekursive Regeln erlauben die tiefe Schachtelung von Strukturen, und sie ermöglichen, dass eine Regel Elemente in Beziehung setzt, die in der Kette beliebig weit voneinander entfernt sind.

Kontextfreie Sprachen und natürliche Sprachen

- Kontextfreie Grammatiken sind ein Standardformalismus zur Beschreibung der Grammatik natürlicher Sprachen.
- Kontextfreie Grammatiken bilden den Standard-Formalismus zur syntaktischen Beschreibung von formalen Sprachen (Logik, Arithmetik, Programmiersprachen).
- Ein alternatives, der CGF ähnliches Format zur Beschreibung kontextfreier Sprachen ist BNF (die „Backus-Naur-Form“).

CFG: Konstituentenstruktur

- Anders als endliche Automaten beschreibt eine CFG nicht nur die zulässigen Ausdrücke einer Sprache, sondern implizit auch deren Struktur.
- Sie ordnet den Sätzen der Sprache Ableitungsbäume zu (auch „Parse-Bäume“ genannt, Parsing = automatische syntaktische Analyse).
- Durch den Ableitungsbaum/ Parse-Baum werden Teilausdrücke (Teilketten) u des analysierten Wortes einer „Kategorie“ zugeordnet: dem nicht-terminalen Symbol A, aus dem u abgeleitet wurde. Wir nennen u eine „Konstituente“ von der Kategorie A, und sagen, dass A die Elemente von u „dominiert“.

Beispiel 1

CFG für einfache arithmetische Gleichungen:

S → Term = Term
Term → (Term Op Term)
Term → – Term

Term → x | y | z
Op → + | – | * | :

Konstituenten der Kategorie „Term“ sind zum Beispiel
x, y, –z, –(x*(y+z))

Beispiel 2

Die obige CFG für ein Fragment des Deutschen.

- *er* ist eine Konstituente der Kategorie Pro
- *er* , *der Student* , *der Student, der Informatik studiert* sind Konstituenten der Kategorie NP
- *der Informatik studiert* - *der arbeitet* sind Konstituenten der Kategorie SRel