

Semantik in CCG

Kilian Evang, Christian Wurm

Düsseldorf, 8.12.2022

Einleitung

Bisher

- ▶ Wörter und Konstituenten haben rein syntaktische Kategorien
- ▶ Semantik ignoriert

Heute

- ▶ Wörter und Konstituenten haben syntaktische Kategorien *und semantische Kategorien* (Lambda-Terme)
- ▶ Prinzip der Typentransparenz
- ▶ Semantische Operationen folgen syntaktischen
- ▶ Erlaubt uns, die Bedeutung von Sätzen zu errechnen

Beispiel: Ableitung mit Semantik

$$\begin{array}{c}
 \text{Mary} \qquad \qquad \qquad \text{kicks} \qquad \qquad \qquad \text{John} \\
 \hline
 \text{NP} : \textit{mary} \quad (\text{S} \setminus \text{NP}) / \text{NP} : \lambda x. \lambda y. \textit{kicks}(y, x) \quad \text{NP} : \textit{john} \\
 \hline
 \qquad \qquad \qquad \text{S} \setminus \text{NP} : \lambda y. \textit{kicks}(y, \textit{john}) \qquad \qquad \qquad >^0 \\
 \hline
 \qquad \qquad \qquad \text{S} : \textit{kicks}(\textit{mary}, \textit{john}) \qquad \qquad \qquad <^0
 \end{array}$$

Applikation mit Semantik

$$X/Y : f \quad Y : a \Rightarrow X : f(a) \quad (>)$$

$$Y : a \quad X \setminus Y : f \Rightarrow X : f(a) \quad (<)$$

Komposition mit Semantik

$$X/Y : f \quad Y/Z : g \Rightarrow X/Z : \lambda x.f(g(x)) \quad (> \mathbf{B})$$

$$X/Y : f \quad Y \setminus Z : g \Rightarrow X \setminus Z : \lambda x.f(g(x)) \quad (> \mathbf{B}_\times)$$

$$Y \setminus Z : g \quad X \setminus Y : f \Rightarrow X \setminus Z : \lambda x.f(g(x)) \quad (< \mathbf{B})$$

$$Y/Z : g \quad X \setminus Y : f \Rightarrow X/Z : \lambda x.f(g(x)) \quad (< \mathbf{B}_\times)$$

(Plus generalisierte Versionen mit zusätzlichen Argumenten.)

Typenhebung mit Semantik

$$X : a \Rightarrow T / (T \setminus X) : \lambda f.f(a) \quad (> \mathbf{T})$$

$$X : a \Rightarrow T \setminus (T / X) : \lambda f.f(a) \quad (< \mathbf{T})$$

Substitution mit Semantik

$$(X/Y)/Z : f \quad Y/Z : g \Rightarrow X/Z : \lambda x.f(x)(g(x)) \quad (> \mathbf{S})$$

$$(X/Y)\backslash Z : f \quad Y\backslash Z : g \Rightarrow X\backslash Z : \lambda x.f(x)(g(x)) \quad (> \mathbf{S}_\times)$$

$$Y\backslash Z : g \quad (X\backslash Y)\backslash Z : f \Rightarrow X\backslash Z : \lambda x.f(x)(g(x)) \quad (< \mathbf{S})$$

$$Y/Z : g \quad (X\backslash Y)/Z : f \Rightarrow X/Z : \lambda x.f(x)(g(x)) \quad (< \mathbf{S}_\times)$$

(Plus generalisierte Versionen mit zusätzlichen Argumenten.)

Koordination mit Semantik

$$X : f \quad \text{CONJ} \quad X : g \Rightarrow X : \lambda x.f(x) \wedge g(x) \quad (< \Phi >)$$

Beispiel: Koordination von Argumenten

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc}
 \text{Mary} & \text{and} & \text{John} & \text{sing} \\
 \hline
 \text{NP} & \text{CONJ} & \text{NP} & \text{S} \setminus \text{NP} \\
 \text{mary} & & \text{john} & \lambda x.\text{sing}(x) \\
 \hline
 \text{S} / (\text{S} \setminus \text{NP}) & & \text{S} / (\text{S} \setminus \text{NP}) & \\
 \lambda f.f(\text{mary}) & & \lambda f.f(\text{john}) & \\
 \hline
 \text{S} / (\text{S} \setminus \text{NP}) & & & < \Phi > \\
 \lambda h.h(\text{mary}) \wedge h(\text{john}) & & & \\
 \hline
 \text{S} & & & >^0 \\
 \text{sing}(\text{mary}) \wedge \text{sing}(\text{john}) & & &
 \end{array}
 \end{array}$$

Beispiel: Negation

I	do	not	mind	
NP	$(S[dcl] \setminus NP) / (S[b] \setminus NP)$	$(S \setminus NP) \setminus (S \setminus NP)$	$S[b] \setminus NP$	
<i>i</i>	$\lambda a.a$	$\lambda f.\lambda a.\neg f(a)$	$\lambda x.mind(x)$	
	$(S[dcl] \setminus NP) / (S[b] \setminus NP)$			
	$\lambda f.\lambda a.\neg f(a)$			$<^1_x$
	$S[dcl] \setminus NP$			$>^0$
	$\lambda a.\neg mind(a)$			
	$S[dcl]$			$<^0$
	$\neg mind(i)$			

Skopus (von Quantoren)

(1) Every boy admires some saxophonist

Zwei Lesarten:

(2) $\forall y.boy(y) \rightarrow \exists x.saxophonist(x) \wedge admires(x, y)$

(3) $\exists x.saxophonist(x) \wedge \forall y.boy(y) \rightarrow admires(x, y)$

Lexikoneinträge von Quantoren

every := $(T / (T \setminus NP)) / N : \lambda p. \lambda q. \forall x. p(x) \rightarrow q(x)$

every := $(T \setminus (T / NP)) / N : \lambda p. \lambda q. \dots \forall x. p(x) \rightarrow q(x) \dots$

some := $(T / (T \setminus NP)) / N : \lambda p. \lambda q. \exists x. p(x) \wedge q(x)$

some := $(T \setminus (T / NP)) / N : \lambda p. \lambda q. \dots \exists x. p(x) \wedge q(x) \dots$

T kann z.B. S oder $S \setminus NP$ sein. Jedes Argument erfordert eine zusätzliche λ -Abstraktion, dafür stehen die Punkte \dots

Ableitung mit Oberflächenskopus

Every	boy	admires	some	saxophonist
$(S/(S \setminus NP))/N$	N	$(S \setminus NP)/NP$	$(IV \setminus (IV / NP))/N$	N
$\lambda p. \lambda q. \forall y. p(y) \rightarrow q(y)$	$\lambda x. boy(x)$	$\lambda x. \lambda y. admires(x, y)$	$\lambda p. \lambda q. \lambda y. \exists x. p(x) \wedge q(x)(y)$	$\lambda x. saxophonist(x)$
$S/(S \setminus NP)$			$IV \setminus (IV / NP)$	
$\lambda q. \forall y. boy(y) \rightarrow q(y)$			$\lambda q. \lambda y. \exists x. saxophonist(x) \wedge q(x)(y)$	
		$S \setminus NP$		
		$\lambda y. \exists x. saxophonist(x) \wedge admires(x, y)$		
S				
$\forall y. boy(y) \rightarrow \exists x. saxophonist(x) \wedge admires(x, y)$				

Problem

- ▶ Quantorenskopos = Derivationeller Skopos
 - ▶ Funktioniert in unserem Beispiel, aber:
- (4) Every boy admires, and every girl detests, some saxophonist
- ▶ Lesart mit Oberflächenskopos ist möglich, aber wir können sie nicht herleiten
 - ▶ Lösung in Steedman (2000): Existenzquantor nicht verwenden, stattdessen Skolemisierungsoperation

Lexikoneinträge von Quantoren (revidiert)

every := $(S / (S \setminus NP)) / N : \lambda p. \lambda q. \forall x. p(x) \rightarrow q(x)$

every := $(IV \setminus (IV / NP)) / N : \lambda p. \lambda q. \forall x. p(x) \rightarrow q(x)$

some := $(S / (S \setminus NP)) / N : \lambda p. \lambda q. q(\text{arb}(p))$

some := $(IV \setminus (IV / NP)) / N : \lambda p. \lambda q. q(\text{arb}(p))$

Die Operation der *Skolemisierung* ersetzt $\text{arb}(p)$ durch einen Skolem-Term, dessen Wert von allen universell quantifizierten Variablen im Skopus abhängt.

Ableitung mit Oberflächenskopus

$$\begin{array}{c}
 \frac{\text{Every boy admires and every girl detests}}{S / NP} \quad \frac{\text{some saxophonist}}{S \setminus (S / NP)} \\
 \lambda x. (\forall y. \text{boy}(y) \rightarrow \text{admires}(x, y)) \wedge (\forall z. \text{girl}(z) \rightarrow \text{detests}(x, z)) \quad \lambda q. q(\text{arb}(\text{sax})) \\
 \hline
 S \\
 (\forall y. \text{boy}(y) \rightarrow \text{admires}(\text{arb}(\text{sax}))y) \wedge (\forall z. \text{girl}(z) \rightarrow \text{detests}(\text{arb}(\text{sax}))z) \\
 \hline
 S \\
 (\forall y. \text{boy}(y) \rightarrow \text{admires}(sk_{\text{sax}_1}(y))(y)) \wedge (\forall z. \text{girl}(z) \rightarrow \text{detests}(sk_{\text{sax}_2}(z))(z))
 \end{array}$$

Ableitung mit inversem Skopus

Every boy admires and every girl detests	some saxophonist
S / NP	S \ (S / NP)
$\lambda x. (\forall y. \text{boy}(y) \rightarrow \text{admires}(x, y)) \wedge (\forall z. \text{girl}(z) \rightarrow \text{detests}(x, z))$	$\lambda q. q(\text{arb}(\text{sax}))$
	<hr style="border-top: 1px dotted black;"/> S \ (S / NP)
	$\lambda q. q(\text{sk}_{\text{sax}})$
S	
$(\forall y. \text{boy}(y) \rightarrow \text{admires}(\text{sk}_{\text{sax}}, y)) \wedge (\forall z. \text{girl}(z) \rightarrow \text{detests}(\text{sk}_{\text{sax}}, z))$	

Discourse Representation Theory

- ▶ Bedeutungsrepräsentationssprache
- ▶ In den 1980ern von Hans Kamp entwickelt (Kamp, 1981; Kamp and Reyle, 1993)
- ▶ Viele Erweiterungen
- ▶ Viele Varianten von DRT können in Prädikatenlogik übersetzt werden (wichtig für automatisches Beweisen)
- ▶ Vorteile von DRT gegenüber Prädikatenlogik:
 - ▶ Repräsentiert nicht nur *content*, sondern auch *context*: bereits in DRT übersetzte Teildiskurse helfen dabei, folgende anaphorische Ausdrücke zu interpretieren
 - ▶ Leichter lesbar
 - ▶ Leicht erweiterbar (z.B. Diskursstruktur, Präsuppositionen und Implikaturen...)

Beispiel

A farmer owns a donkey.

Beispiel 1

A farmer owns a donkey.

x y
farmer(x)
donkey(y)
owns(x, y)

Beispiel 1

A farmer owns a donkey. He beats it.

x y
farmer(x)
donkey(y)
owns(x, y)

Beispiel 1

A farmer owns a donkey. He beats it.

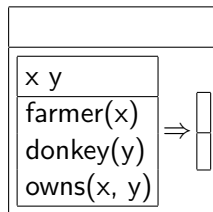
x	y
farmer(x)	
donkey(y)	
owns(x, y)	
beat(x, y)	

Beispiel 2

Every farmer who owns a donkey

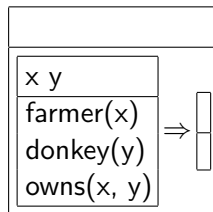
Beispiel 2

Every farmer who owns a donkey



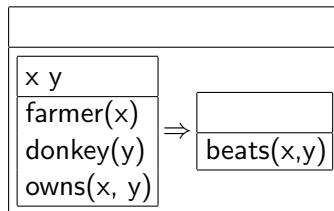
Beispiel 2

Every farmer who owns a donkey beats it.



Beispiel 2

Every farmer who owns a donkey beats it.



CCG und DRT

- ▶ Bos (2009) entwickelt ein CCG-Lexikon, mit dem DRSen (Discourse Representation Structures) kompositionell abgeleitet werden können
- ▶ Grundlage für die Groningen Meaning Bank (Basile et al., 2012; Bos et al., 2017) und die Parallel Meaning Bank (Abzianidze et al., 2017) – Thema der nächsten Sitzung
- ▶ Im Folgenden einige Beispiel für die Einträge dieses Lexikons: Wörter, syntaktische Kategorien, semantische Typen und λ -DRSen

Die Kategorie N

squirrel := N : $e \rightarrow t$: $\lambda x.$

squirrel(x)

red := N / N : $(e \rightarrow t) \rightarrow (e \rightarrow t)$: $\lambda p.\lambda x.$

red(x)

 ; $(p@x)$

Die Kategorie NP

$$\text{someone} := \text{NP} : (e \rightarrow t) \rightarrow t : \lambda p. \boxed{\begin{array}{c} x \\ \text{person}(x) \end{array}}; p(x)$$

$$\text{some} := \text{NP} / \text{N} : (e \rightarrow t) \rightarrow ((e \rightarrow t) \rightarrow t) : \lambda p. \lambda q. \boxed{\begin{array}{c} x \\ \end{array}}; (p(x); q(x))$$

$$\text{every} := \text{NP} / \text{N} : (e \rightarrow t) \rightarrow ((e \rightarrow t) \rightarrow t) : \lambda p. \lambda q. \boxed{\begin{array}{c} \\ x \\ \end{array}}; p(x) \Rightarrow q(x)$$

$$\text{the} := \text{NP} / \text{N} : (e \rightarrow t) \rightarrow ((e \rightarrow t) \rightarrow t) : \lambda p. \lambda q. \boxed{\begin{array}{c} x \\ \end{array}}; (p(x) * q(x))$$

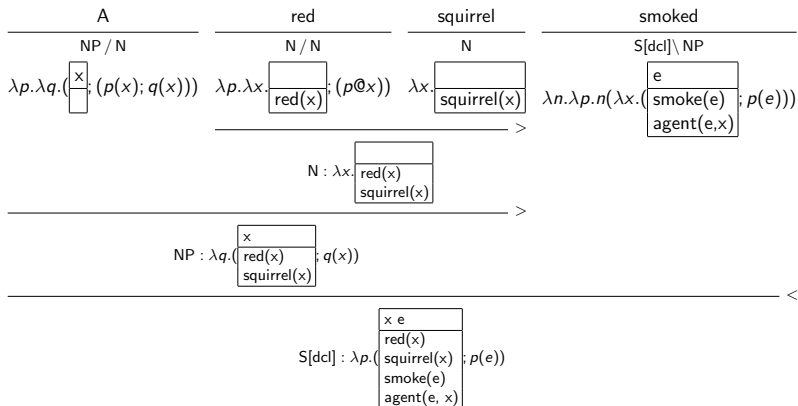
Die Kategorie S

smoked := S[dcl] \ NP : ((e → t) → t) → ((e → t) → t) : λn.λp.n(λx.(

e
smoke(e)
agent(e,x)

; (p(e))))

Beispiel



Zusammenfassung

Kategorialgrammatiken sind superspannend!

Literatur I

Abzianidze, L., Bjerva, J., Evang, K., Haagsma, H., van Noord, R., Ludmann, P., Nguyen, D.-D., and Bos, J. (2017). The Parallel Meaning Bank: Towards a multilingual corpus of translations annotated with compositional meaning representations. In *Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Volume 2, Short Papers*, pages 242–247, Valencia, Spain. Association for Computational Linguistics.

Literatur II

- Basile, V., Bos, J., Evang, K., and Venhuizen, N. (2012). Developing a large semantically annotated corpus. In *Proceedings of the Eighth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'12)*, pages 3196–3200, Istanbul, Turkey. European Language Resources Association (ELRA).
- Bos, J. (2009). Towards a large-scale formal semantic lexicon for text processing. In *Proceedings of GSCL 2009*.
- Bos, J., Basile, V., Evang, K., Venhuizen, N., and Bjerva, J. (2017). The Groningen Meaning Bank. In *The Handbook of Linguistic Annotation*. Springer, Berlin.

Literatur III

Kamp, H. (1981). A theory of truth and semantic representation. In Groenendijk, J. A., Jansen, T. M., and Stokhof, M. J., editors, *Formal Methods in the Study of Language*, pages 277–322. Mathematical Centre Amsterdam, Amsterdam.

Kamp, H. and Reyle, U. (1993). *From Discourse to Logic: An Introduction to Modeltheoretic Semantics of Natural Language, Formal Logic and DRT*. Kluwer, Dordrecht.

Steedman, M. (2000). *The Syntactic Process*. The MIT Press.