

Logik und modelltheoretische Semantik

Semesterüberblick und Einführung zur Logik

Robert Zangenfeind

Centrum für Informations- und Sprachverarbeitung, LMU München

16.4.2024

Termine

- Vorlesung: Di, 14 c.t., L 155 und Zoom
- Tafelübung: Do, 16 c.t., L 155 und Zoom
- Tutorium: Kawei Lei
Mail: k.lei@campus.lmu.de
Umfrage zum Tutoriumstermin
- Moodle-Aufgaben
- für den Kurs relevanter Vorlesungszeitraum: 16.4.–18.7.24
- Abschlussklausur in der letzten Vorlesungswoche
- Kursseite:

<http://www.cis.uni-muenchen.de/~robert/SoSe2024/index.html>

Semesterplan

- Einführendes / Grundbegriffe
- Aussagenlogik (AL)
- Prädikatenlogik (PL)
- Montague-Grammatik
- Distributionelle Semantik
- Grundlegende Frage: Was ist Bedeutung?
- Formale Darstellung von Bedeutung im
Bedeutung-Text-Modell (BTM) und bei Abstract Meaning
Representation (AMR)

Natural Language Processing (NLP): Relevante Bereiche

- Sprache, Linguistik
- Welt, Weltwissen und Darstellung dieses Wissens
- “Konzepte” und Konzeptualisierung des Wissens und der Welt
- Kommunikation, Diskurs
- Logik
- Semantik

Anwendungsgebiete der Logik und der formalen Semantik

- Frage-Antwort-Systeme
- Maschinelle Übersetzung
- Sentiment analysis: Meinungen klassifizieren
- Semantic role labeling: Argumente (Aktanten) von Prädikaten semantisch klassifizieren
- Word sense disambiguation: Bedeutung ambiger Wörtern je nach Kontext identifizieren
- Informationsextraktion: Relevante semantische Informationen aus Texten erschließen

Kurzer Blick auf die Ursprünge der Logik

Aristoteles

Eine Deduktion ist ein Argument, in welchem sich, wenn etwas gesetzt wurde, etwas anderes als das Gesetzte mit Notwendigkeit durch das Gesetzte ergibt.

Logik – Sprache (1)

- vgl. folgende Argumente (Prämissen und Schlussfolgerungen):
 - (1) (a) Heute habe ich gegessen, was ich letzte Woche gekauft habe.
(b) Letzte Woche habe ich einen kleinen Fisch gekauft.
(c) Also habe ich heute einen kleinen Fisch gegessen.
 - (2) (a) Jedes Teil des Spielzeugs ist aus Silber.
(b) Also ist das Spielzeug aus Silber.
 - (3) (a) There is a fire in my kitchen.
(b) My kitchen is in my house.
(c) Hence, there is a fire in my house.

Logik – Sprache (2)

- (1') (a) Heute habe ich gegessen, was ich letzte Woche gekauft habe.
(b) Letzte Woche habe ich frischen Fisch gekauft.
(c) Also habe ich heute frischen Fisch gegessen.
- (2') (a) Jedes Teil des Spielzeugs ist sehr klein.
(b) Also ist das Spielzeug sehr klein.
- (3') (a) There is a pain in my foot.
(b) My foot is in my shoe.
(c) Hence, there is a pain in my shoe.

-> Ähnlichkeiten in der grammatikalischen Form von Sätzen
verschleiern logische Unterschiede

Logik – Sprache (3)

- (4) (a) Hans hat eine sehr große Ameise gesehen.
(b) Karla hat einen kleinen Hund gesehen.

- (5) (a) Alle, die ich kenne, sind größer als Karl.
(b) Alle haben ein Smart-Phone!

Grundlagen der formalen Semantik

- Ziel: automatische Analyse der Bedeutung natürlichsprachlicher Ausdrücke mit formalen Mitteln (Logik, Mathematik)
- für Sprachverstehen: **Satzsemantik**
 - Satz als kleinste Verständigungseinheit
 - Bedeutung von natürlichsprachlichen Sätzen
- Zwei zentrale **Anforderungen an eine formale Semantik**:
 - **Repräsentation von Bedeutung** natürlichsprachlicher Ausdrücke
 - **“Berechnung” von Bedeutung** komplexer Sätze

Semantische Relationen zwischen Sätzen (1)

- Wie kann festgestellt werden, ob zwei Sätze die gleiche (gegenteilige usw.) Bedeutung aufweisen?
- Verschiedene Typen von semantischen Relationen (u.a.):
- **Synonymie (Paraphrase)**: z.B. Satz B als Passiv von Satz A
(6) Der Hund jagt die Katze. – Die Katze wird vom Hund gejagt. (B ist in allen Situationen wahr, in denen A wahr ist u. umgekehrt)
- **Inkompatibilität**: Satz A ist semantisch nicht vereinbar mit Satz B
 - **konträr**: A und B können nicht gleichzeitig wahr sein (aber beide können falsch sein)
(7) Hans ist in München. – Hans ist in Hamburg.
 - **kontradiktorisch**: B ist falsch, wenn A wahr ist; und B ist wahr, wenn A falsch ist:
(8) Hans ist in München. – Hans ist nicht in München.

Semantische Relationen zwischen Sätzen (2)

- **Entailment**: Satz B folgt semantisch aus Satz A: z.B. bei Hyponymen (**Inklusion**)
(9) Karla isst einen Apfel. \rightarrow Karla isst Obst.
- **Präsupposition**: Satz A präsupponiert Satz B, d.h. setzt ihn implizit voraus
(10) Der gegenwärtige König von Frankreich ist kahlköpfig.
(setzt voraus: Frankreich hat gegenwärtig einen König)

Worum geht es in der Logik?

- (i) Deduktive Gültigkeit von Argumenten (Aristoteles)
- bzw. (bei Frege): Gesetze des Wahrseins, wie z.B.:
- “Wenn die Sätze A_1, \dots, A_n wahr sind, muss auch der Satz A wahr sein”
- (ii) Gesetze des Wahrseins ergeben sich aus der Bedeutung der logischen Ausdrücke der Sprache, in der diese Sätze formuliert sind
- \Rightarrow Bedeutung der logischen Ausdrücke muss völlig klar sein
- Das gilt nicht für natürliche Sprachen!
- \Rightarrow Untersuchung von bestimmten künstlichen Sprachen (mit klaren logischen Ausdrücken)
- aber: aus Sätzen der logischen Sprache kann man etwas über Eigenschaften von natürlichsprachigen Sätzen lernen

Aussagesätze? (1)

(11) Hat das Spiel schon angefangen?

-> Frage: grundsätzlich ist hier der Ausdruck 'wahr' nicht anwendbar

(12) Zeigen Sie mir bitte, wo das Postamt ist.

-> Bitte/Aufforderung

(13) Schon wieder Manchester!

-> Ausruf: sinnlos zu fragen, ob wahr

(14) Letzte Saison war Leicester City englischer Meister.

-> Aussage: wahr oder falsch

wichtig ist aber, wann Aussage gemacht wird

Aussagesätze? (2)

(15) Karl Valentin wurde in dieser Stadt geboren.

-> nur in München wahr

(16) Ich habe in München studiert.

-> nur bestimmte Personen

- Schwierigkeit: indexikalische Ausdrücke, z.B.: *heute, morgen, letztes Jahr, hier, dort, links von mir, ich, mein Vater, du* etc.
- eindeutiger Bezug erst durch Äußerungskontext (Zeitpunkt, Ort, Person)
- => Wahrheitswert hängt vom Äußerungskontext ab
- => Problem

Zwei Lösungsvorschläge/Auffassungen

- (i) nicht Sätze sind wahr oder falsch, sondern **Aussagen** (Propositionen), die mithilfe von Äußerungen dieser Sätze gemacht werden
(17) Heute ist Dienstag.
- -> verschiedene Aussagen; je nach Äußerungskontext: manchmal wahr, manchmal falsch
- jeweilige Aussage ist immer entweder wahr oder falsch
- (ii) Unterscheidung **Satztypes – Satztoken** (Vorkommnisse dieser Sätze)
(18a) Newton war Physiker. (18b) Newton war Physiker.
- -> zwei Token
- nicht Satztypes sind wahr/falsch, sondern Satztoken
- Beckermann: beide Lösungen sind wenig hilfreich in der Logik

Unterscheidungen bei Sätzen

- Satztypes
- Satztoken
- Äußerungen (Handlung, bei der ein Satzvorkommnis hervorgebracht wird)
- Aussage (Proposition), die durch die Äußerung ausgedrückt wird
- z.B. Hans: "Ich bin krank." – Karla: "Ich bin krank."
- 1 Type – 2 Token
- 2 verschiedene Aussagen/Propositionen
- für Logik sind nur Satztypes interessant

Beschränkungen in der Logik

- Aussagesätze
- ohne indexikalische Ausdrücke: unabhängig vom Äußerungskontext
- Problem ist lösbar, da Umformungen möglich sind, z.B. "Karla ist krank."
- Logik beschäftigt sich i.W. mit Aussagesätzen, deren Wahrheit unabhängig von den Äußerungsumständen ist

Deduktive Gültigkeit

- Ein Argument ist genau dann deduktiv gültig, wenn in ihm die Konklusion **logisch** aus den Prämissen folgt.
- Beispiele:
 - (19)
 - (a) Alle Menschen sind sterblich. (Prämisse 1)
 - (b) Sokrates ist ein Mensch. (Prämisse 2)
 - (c) Also: Sokrates ist sterblich. (Konklusion)
 - (20)
 - (a) Gerda ist die Freundin von Fritz oder die Freundin von Paul.
 - (b) Gerda ist nicht die Freundin von Fritz.
 - (c) Also: Gerda ist die Freundin von Paul.

vgl. dagegen nicht-deduktive (induktive) Gültigkeit

- Ein Argument ist genau dann nicht-deduktiv gültig, wenn es **rational** ist, die Konklusion dieses Arguments für wahr zu halten, wenn alle seine Prämissen wahr sind, obwohl die Konklusion **nicht logisch** aus den Prämissen folgt, z.B.:
- (21) (a) Bisher haben alle Favoriten ihre Spiele gewonnen.
(b) Hans ist Favorit im nächsten Spiel
(c) Also: Hans wird sein Spiel gewinnen.
- im Weiteren: **deduktive** Gültigkeit (Gegenstand der Logik im engeren Sinne)

Synthetische und analytische sowie logisch determinierte Aussagesätze

(22) Hans ist blond.

-> abhängig von Beschaffenheit der Realität -> **synthetischer** Aussagesatz

(23) Alle Junggesellen sind unverheiratet.

-> unabhängig von Beschaffenheit der Realität; nur abhängig von verwendeten Ausdrücken -> **analytischer** Aussagesatz

(24) Hans ist blond oder Hans ist nicht blond.

-> unabhängig von Beschaffenheit der Realität und verwendeten Ausdrücken -> **logisch determinierter** Aussagesatz

- **logische Form** dieses Satzes: $a \text{ ist } F \text{ oder } a \text{ ist nicht } F$.
 - > bestimmt durch die logischen Ausdrücke 'oder', 'nicht'

Schwierigkeiten mit der logischen Form

(25) Hans und Paul sind Fußballfans.

(26) Fritz und Inge sind Geschwister.

- -> logische Form: a und b sind F ?
- Also: a ist F ?
- *Fritz ist ein Geschwister.
- d.h. grammatische Struktur der beiden Sätze ist gleich, die logische Form aber nicht!
- bei (25): beide haben eine bestimmte Eigenschaft
- bei (26): beide stehen in einer bestimmten Relation zueinander
- -> zwei verschiedene 'sind' (bzw. 'und'?)

Kollektive vs. distributive Lesart

Ambiguität natürlicher Sprache bei Plural-NPs und bei numerischen Ausdrücken führt zu Problem bei der Übersetzung in die logische Repräsentation:

(27) Die zwei Mädchen essen einen Apfel.

- **kollektive Lesart:** 'Beide essen gemeinsam einen Apfel'
 - Tätigkeit ('einen Apfel essen') bezieht sich auf die Menge/Gruppe von Entitäten in der NP des Satzsubjekts
 - also: die 'Zwei-Mädchen-Gruppe' isst einen Apfel
- **distributive Lesart:** 'Jede für sich isst einen Apfel'
 - Tätigkeit ('einen Apfel essen') bezieht sich jeweils auf die einzelnen Entitäten in der NP
 - also: Mädchen A isst einen Apfel und Mädchen B isst einen Apfel

Literatur

- J.J. Katz: Semantic Theory. New York 1972.
- A. Beckermann: Einführung in die Logik. Berlin 2003.
- F.v. Kutschera, A. Breitkopf: Einführung in die moderne Logik. Freiburg, München 2000.