

Was heisst DOMÄNENMODELLIERUNG?

- Wichtige Anwendungen der Sprachverarbeitung: Systeme, die Texte aus einem bestimmten Anwendungsbereich (inhaltsbezogen) verarbeiten oder Dialoge darüber führen.
- "Arbeitsteilung" — keine prinzipielle Unterscheidung; Grenzen fließend:
 - Linguistische Wissensquellen enthalten das "allgemeine" Wissen zur **Wortverwendung**, i.d.R. keine oder nur geringe enzyklopädische Anteile.
 - Anwendungsbezogene Wissensbasen enthalten spezielles (Fach-) Wissen über die Terminologie eines Anwendungsbereichs (explizite Definitionen, "materielle" Eigenschaften, etc.)

Domänenmodellierung: Formale Repräsentation des Wissens über ein bestimmtes (im Prinzip abgegrenztes) Anwendungsgebiet, einen Weltausschnitt, und Aufbau einer Wissensbasis unter gegebenen Zwecken.

ABER: Wie steht es mit dem Alltagswissen ("Common Sense")?

Domänenmodellierung

- Bereitstellung der formalen, insbes. logischen Mittel zur Wissensrepräsentation.
- Anwendung dieser Mittel zur Darstellung der formalen Struktur und der — allgemeinen, d.h. i.d.R. nicht auf bestimmte Individuen bezogenen — Sachverhalte einer Domäne.
- Anwendung der formalsprachlichen Mittel zur Darstellung konkreter Anwendungssituationen (Individuen, Instanzen)

Zum Aufbau einer Wissensbasis ("knowledge engineering") gehören:

- die Bestimmung der Domäne
- die Bestimmung der Konzepte
- die Repräsentation der Objekte und Relationen innerhalb der Domäne.

Für den Wissenserwerb ("knowledge acquisition") ist normalerweise die Kooperation mit Fachexperten notwendig.

Formale Ontologie

Formale Ontologien bestehen aus (formalen) Definitionen ("Beschreibungen") der Begriffe und Beziehungen innerhalb einer Domäne:

- Die Begriffe oder **Konzepte** (auch: Klassen, Kategorien) resultieren aus Prädikation und Abstraktion; Darstellung durch Prädikate.
- Beziehungen zwischen Konzepten ergeben sich aus Prädikatorenregeln und werden in einer Ober-/Unterbegriffs-Hierarchie dargestellt.
- Konzepten werden Eigenschaften bzw. Merkmale zu- oder abgesprochen; Darstellung durch zweistellige Relationen (i.a. mehrstellige).
- Weitere (inhaltliche) Beziehungen zwischen Konzepten werden durch Regeln (auch: "Axiome") festgelegt.

Eine formale Ontologie (für eine Domäne) legt fest, wie und über welche Objekte, Substanzen, Aggregate, Veränderungen, Ereignisse, Aktionen, Zeit- und Ortsangaben, etc. "gesprochen" werden kann.

"Computational Logics"

Bei der Wahl der logischen Sprache für die formalen Ontologien / Wissensbasen sind zu unterscheiden die Definitionen für

- die *formale Sprache*
Syntax und Semantik || Ausdruckskraft
- das *Schlussfolgerungsproblem* (Inferenzproblem)
Entscheidbarkeit || Komplexität
- die *Problemlösungs-Prozedur*
Korrektheit und Vollständigkeit || (asymptotische) Komplexität

Die ideale "Computational Logic"

- hat hinreichende Ausdruckskraft
- mit entscheidbaren Inferenzproblemen
- mit korrekten und vollständigen Inferenzprozeduren
- mit effizienten Inferenzprozeduren — möglicherweise sub-optimal

Die Wahl der konkreten logik-sprachlichen Mittel ist stets ein Kompromiss zwischen Ausdruckskraft und Traktabilität.

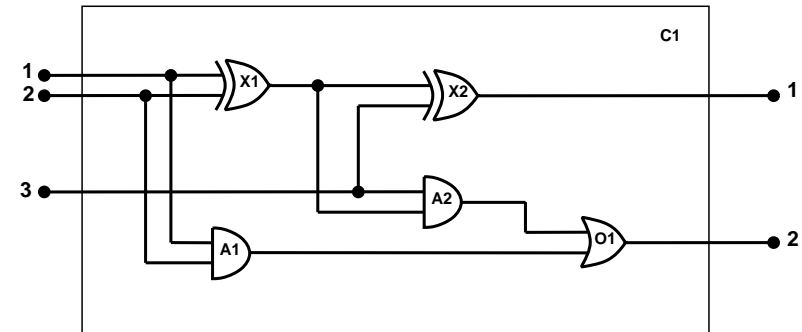
Anforderungen an Wissensbasen:

Die Darstellung soll eindeutig und korrekt, klar und deutlich sein, konzise und effizient.

Aus dem konkreten Anwendungsbezug soll sich ergeben, welcher Grad an Detaillierung und welche Beziehungen relevant sind.

Gibt es eine Entwurfsmethodik??

Beispiel domäne: Elektronische Schaltkreise (Russell/Norvig)



Schritte bei der Modellierung

1. Wovon soll die Rede sein? Welche Aufgaben sollen mit dem Domänenmodell bearbeitet werden?
2. Festlegung des Vokabulars der Domäne: Prädikate, Funktionen, Relationen und Konstanten \Rightarrow Terminologisches Gerüst der formalen Ontologie.
3. Formulierung allgemeiner Regeln, die in der Domäne gelten. Ggf. Revision der gewählten Domänen-Terminologie, um die Regeln klar und konzise ausdrücken zu können und um die Regelmenge möglichst klein und übersichtlich zu halten. Die Regeln entsprechen (inhaltlichen) Axiomen, mit denen die Inferenzprozedur Aussagen über die Domäne ableiten kann.
4. Erstellung einer aktuellen Situationsbeschreibung durch Bildung von Instanzen.
5. Formulierung von Anfragen an die Inferenzprozedur.

Fragen bei der Modellierung

zu den zu formulierenden Aussagen und Regeln:

- Was sind die Geltungs- bzw. Wahrheitsbedingungen?
- Welche Tatsachen erfüllen eine bestimmte Aussage?
- Allgemeinheit?
- Verallgemeinerungsfähigkeit?
- Beziehungen untereinander, spez. Ober- und Unterklassen?

1. Wovon soll die Rede sein?

Digitale Schaltkreise bestehen aus Verbindungen und Gattern. Signale fließen entlang der Verbindungen zu den Eingabepunkten (Eingabe-Terminals) der Gatter. Jedes Gatter erzeugt ein Signal an seinem Ausgabepunkt (Ausgabe-Terminal), das in eine andere Verbindung fließt.

Es gibt vier Arten von Gattern: *AND*, *OR*, *XOR* mit zwei Eingabe-Terminals und *NOT* mit einem. Alle Gatter haben genau ein Ausgabe-Terminal. Aus diesen zusammengesetzte Schaltkreise haben Ein- und Ausgabe-Terminals.

Ziel: Analyse von Schaltkreisentwürfen: *Erfüllen sie ihre Spezifikation?*

Es müssen dargestellt werden: *Schaltkreise*, ihre *Terminals* und die *Signale* an diesen. Zur Bestimmung dieser Signale benötigen wir Darstellungen einzelner *Gatter* und *Gatter-Arten*. Diese Objekte reichen aus zur Darstellung der Konnektivität der Terminals. Weitere Objekte müssen unter dem geg. Ziel nicht repräsentiert werden — wohl aber bei anderen Zielen, z.B. Fehlerdiagnose.

2. Festlegung des Vokabulars der Domäne

- Eindeutige Unterscheidung der Gatter: Benennung durch Konstanten X_1, X_2, \dots
- Typen der Gatter: Typprüfungs-Funktion $Type(X_1) = XOR$ oder -Prädikat $Type(X_1, XOR)$
- Terminals: Konstanten (ungünstig); besser: Funktionen $Out(1, X_1)$, etc.
- Konnektivität: Prädikat *Connected*, z.B. $Connected(Out(1, X_1), In(1, X_2))$
- Signale: Funktion $Signal(Terminal)$, zweiwertig: 1, 0

3. Formulierung allgemeiner Regeln

In unserer Domäne genügen sieben Regeln:

1. Sind zwei Terminals verbunden, dann haben sie dasselbe Signal

$$\bigwedge_{t_1, t_2} .Connected(t_1, t_2) \rightarrow Signal(t_1) = Signal(t_2).$$

2. Ein Signal an einem Terminal ist entweder ein oder aus:

$$\bigwedge_t .Signal(t) = 1 \vee Signal(t) = 0. \\ 1 \neq 0$$

3. *OR*-Gatter: Ausgabe-Signal ist ein gdw. eines seiner Eingabe-Signale ein ist:

$$\bigwedge_g .Type(g) = OR \rightarrow (Signal(Out(1, g)) = 1 \leftrightarrow \\ \bigvee_n .Signal(In(n, g)) = 1.).$$

4. *AND*-Gatter: Ausgabe-Signal ist aus gdw. eines seiner Eingabe-Signale aus ist:

$$\bigwedge_g .Type(g) = AND \rightarrow (Signal(Out(1, g)) = 0 \leftrightarrow \\ \bigvee_n .Signal(In(n, g)) = 0.).$$

5. *XOR*-Gatter: Ausgabe-Signal ist ein gdw. seine Eingabe-Signale unterschiedlich sind:

$$\bigwedge_g .Type(g) = XOR \rightarrow (Signal(Out(1, g)) = 1 \leftrightarrow \\ Signal(In(1, g)) \neq Signal(In(2, g))).$$

6. *NOT*-Gatter: Ausgabe-Signal ist komplementär zum Eingabe-Signal:

$$\bigwedge_g .Type(g) = NOT \rightarrow Signal(Out(1, g)) \neq Signal(In(1, g)).$$

4. Instanziierung

Beispiel: s. Abbildung

$Type(X_1) = XOR$	$Type(X_2) = XOR$
$Type(A_1) = AND$	$Type(A_2) = AND$
$Type(O_1) = OR$	
$Connected(Out(1, X_1), In(1, X_2))$	$Connected(In(1, C_1), In(1, X_1))$
$Connected(Out(1, X_1), In(2, A_2))$	$Connected(In(1, C_1), In(1, A_1))$
$Connected(Out(1, A_2), In(1, O_1))$	$Connected(In(2, C_1), In(2, X_1))$
$Connected(Out(1, A_1), In(2, O_2))$	$Connected(In(2, C_1), In(2, A_1))$
$Connected(Out(1, X_2), Out(1, C_1))$	$Connected(In(3, C_1), In(2, X_2))$
$Connected(Out(1, O_1), Out(2, C_1))$	$Connected(In(3, C_1), In(1, A_2))$

5. Anfragen an die Inferenzprozedur

- Welche Kombination von Eingaben bewirkt, dass die erste Ausgabe von C_1 (Summenbit) aus und die zweite Ausgabe von C_1 (Übertragsbit) ein ist?

Antwort:

$$(i_1 = 1 \wedge i_2 = 1 \wedge i_3 = 0) \vee$$

$$(i_1 = 1 \wedge i_2 = 0 \wedge i_3 = 1) \vee$$

$$(i_1 = 0 \wedge i_2 = 1 \wedge i_3 = 1)$$

- Was sind die möglichen Wertemengen für alle Terminale des Addier-Schaltkreises?

$$\forall_{i_1, i_2, i_3, o_1, o_2} . Signal(In(1, C_1)) = i_1 \wedge Signal(In(2, C_1)) = i_2 \wedge Signal(In(3, C_1)) = i_3 \wedge Signal(Out(1, C_1)) = o_1 \wedge Signal(Out(2, C_1)) = o_2.$$

Antwort:

Vollständige Ein-/Ausgabetablelle für den Schaltkreis — Verwendung zur Überprüfung, ob er alle Eingaben korrekt addiert: **Schaltkreisverifikation**.

Verallgemeinerungen von formalen Domänen-Ontologien

Spezielle formale Domänen-Ontologien machen oft vereinfachende Annahmen. Im

Beispiel:

- Zeit wird nicht dargestellt;
- Signale sind fest und die Propagierung von Signalen wird nicht dargestellt;
- Die Struktur der Schaltkreise bleibt konstant.

Verallgemeinerungen:

- Betrachte Signale zur bestimmten Zeitpunkten, berücksichtige Verbindungslängen und Verzögerungen bei der Propagierung in Verbindungen und Schaltungselementen
⇒ Simulation zeitlicher Eigenschaften von Schaltkreisen
- Berücksichtige spontane Veränderungen der Struktur von Schaltkreisen oder der Eigenschaften von Gattern
⇒ Fehlerdiagnose, Zuverlässigkeitsuntersuchungen

- Übergang von der topologischen Verbindungsstruktur zu realistischer geometrischer Darstellung des Layout
⇒ elektromagnetische Effekte.

Allgemeine formale Ontologien

Kann durch Verallgemeinerungen spezieller formaler Domänenontologien eine Konvergenz zu allgemeinen formalen Ontologien erreicht werden??

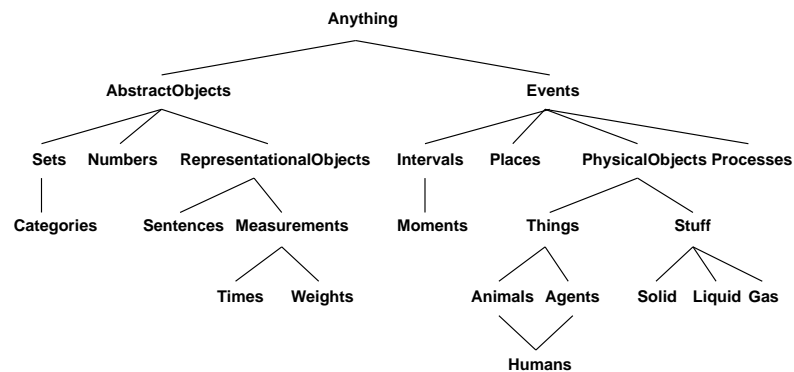
Jede allgemeine Ontologie sollte — zusammen mit domänenspezifischen Axiomen — in speziellen Domänen anwendbar sein; in nichttrivialen Anwendungen ist oft eine **Vereinigung** verschiedener Domänenmodelle notwendig (gleichzeitige Nutzung zur Problemlösung).

Komponenten allgemeiner formaler Ontologien

- Konzepte (auch: Kategorien, Klassen, Typen)
- Maßangaben
- Zusammengesetzte Objekte, Teil-Ganzes-Beziehungen (mereologische Hierarchien)
- Zeit, Raum, Veränderung
- Ereignisse und Prozesse

- Physische Objekte
- Substanzen
- Abstrakte Objekte
- Überzeugungen (“Beliefs”), “mentale” Objekte

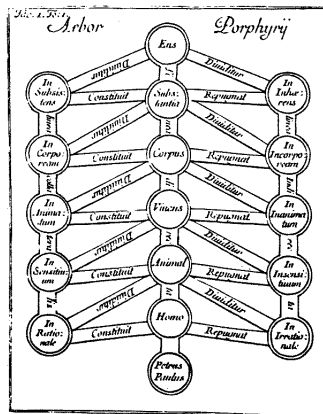
Eine “Top Level”-Ontologie



Konzepte und Rollen

- Was soll als Konzept, was als Eigenschaft (Rolle) dargestellt werden?
- Disjunktheit von Konzepten; Partitionen (disjunkte ausschöpfende Zerlegungen)
- Taxonomische Hierarchie (Ober-/ Unterkonzeptbeziehungen); Gattungen und Arten (“differentia specifica”: artbildende Differenzen); Rollenhierarchie
- Vererbung von Eigenschaften
- Reifikation von Konzepten: Prädikate werden zu Objekten der Sprache, um Aussagen über das Konzept selbst, nicht seine Instanzen (Extension) zu machen.
- Analytische und synthetische Definitionen
- Typikalität von Instanzen und “natürliche Arten” — Prototypen vs. Klassen
- Problematik der Standardannahmen (“Defaults”)

Porphyrischer Baum



Darstellung der a. p. bei E. Porphyrius, Institutiones philosophicae I, 1730, Falttafel am Schluß des Bandes.

Maßangaben

- Quantifizierbare Eigenschaften: Länge, Masse, ...
- Maßeinheiten
- Konkurrierende Einheitensysteme; Konvertierung
- Verallgemeinerung quantitativer Skalen auf qualitative Beziehungen: Halbordnung; Monotonie.
Beispiele: Schwierigkeitsgrade, ästhetische Urteile, ...

Zusammengesetzte Objekte

- Mereologie: Theorie von Teil und Ganzem (Lesniewski 1916)
- PartOf-Relation: transitiv, reflexiv
- Mereologische Hierarchien: Aus Teilen (Konstituenten) wird ein Ganzes (vom gleichen logischen Typ) gebildet
- **Zusammengesetzte Objekte** werden i.d.R. durch ihre Struktur charakterisiert, d.h., ihre Teile und die Beziehungen zwischen diesen (räumliche, zeitliche — Ereignis-Skripten —, ...)
- Übertragung von Eigenschaften der Teile zusammengesetzter Objekte auf das Ganze (im Unterschied zu Konzepthierarchien), z.B. Masse
- Unterscheidung distributiver und kollektiver Gesamtheiten (Mengen vs. Ganzheiten); **“Bündel”** (bunch) als Komposita mit definierten Bestandteilen, aber ohne eigene Struktur, z.B. Salz

Ereignisse

- In “Anwendungswelten” sind die räumliche Dimension — mittelbar oder unmittelbar durch die Objekte gegeben — und die zeitliche Dimension darzustellen.
- Ereignisse (“Events”) sind Weltausschnitte mit zeitlicher und räumlicher Ausdehnung.
- Ereignisse können aus Teilereignissen (“Subevents”) bestehen, z.B. die Schlacht an der Alten Veste (1632) als Teil des Dreißigjährigen Kriegs und dieser als Teil des 17. Jahrhunderts.
- Intervall: Ereignis, das als Teilereignisse alle Ereignisse umfasst, die in einer bestimmten Zeitspanne stattfinden.
- Wie andere Objektarten können Ereignisse nach Konzepten klassifiziert werden, z.B. der Dreißigjährige Krieg als Krieg mit zeitlicher (Subevent) und räumlicher (PartOf) Ausdehnung.

Darstellung von Veränderungen mittels Ereignissen

Zu beachten:

- Repräsentation kontinuierlicher Vorgänge (z.B. Wachstum);
- Simultanes Agieren mehrerer Agenten oder spontane Veränderungen in Anwendungssituationen;
- Aktionen mit unterschiedlicher Dauer oder mit Effekten, die von Dauern abhängen.

Der in der KI entwickelte *Situationskalkül* (McCarthy, vgl. Russell/ Norvig, Kap. 7) eignet sich besonders in Anwendungswelten, in denen ein einzelner Agent diskrete Aktionen ausführt. Die o.g. Phänomene können damit nicht erfasst werden:

Erweiterung zu einem **Ereignis-Kalkül** \Rightarrow kontinuierliche "Version".

Prozesse

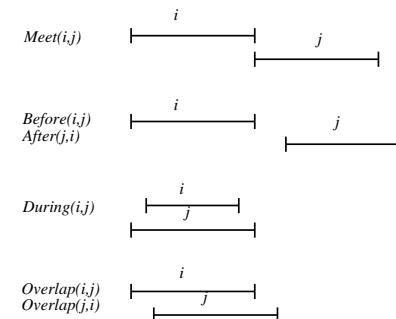
- Ereignisse bisher: **diskrete** Ereignisse mit definierter Struktur, z.B. mit definiertem Anfang, Mitte und Ende.
- Ereignisse, deren jedes Intervall von derselben Kategorie (Konzept) ist — z.B. ein beliebiges Zeitintervall in einem Flug —, werden **Prozesse** ("liquid events") genannt: kontinuierlicher Charakter.
- Mit Prozessen können kontinuierliche Veränderungen beschrieben werden, aber auch statische Verhältnisse: **Zustände**, z.B.: Jemand hält sich eine bestimmte Zeitspanne an einem Ort auf.
- Auch eine diskontinuierliche Folge von Zeitspannen kann ein Intervall bilden, z.B., um den Sachverhalt zu beschreiben, dass ein Geschäft sonntags ("jeden Sonntag") geschlossen ist.
- Synchronisation: Verknüpfung parallel laufender Prozesse.

Orte

- Modellierung als raum-zeitliche Weltausschnitte — wie Intervalle
- Spezialfall: bezüglich des Raums konstant, aber zeitliche Ausdehnung
- Prädikat In zur Bezeichnung der speziellen Teilereignis-Beziehung, die zwischen Orten gilt, z.B. $In(NewYork, USA)$
- Die **Location**-Funktion bildet ein Objekt auf den kleinsten Ort ab, der es enthält:
 $\bigwedge_{x,l} .Location(x) = l \leftrightarrow At(x, l) \wedge \bigwedge_{l_2} .At(x, l_2) \rightarrow In(l, l_2)..$
(Minimisierung)

Zeitintervalle

- Ereignisse finden innerhalb bestimmter Zeiträume statt
- Zeitrelationen: Beziehung zwischen Ereignisintervallen (nacheinander, überlappend,...)
- Allenscher Kalkül der Zeitintervalle



Objekte zum Zweiten: Darstellung als Ereignisse

- Objekte mit veränderlicher Ausdehnung in Raum und Zeit sind als Ereignisse darstellbar. Beispiel Polen: Ortsangabe, aber je nach Zeitpunkt unterschiedliche Ausdehnung).
- Zeitliche und räumliche Teilereignisse. Z.B. Polen im 19.Jh., Zentralpolen.
- Objekte, die sich über verschiedene Situationen hin verändern, werden als “**Fluents**” bezeichnet.

“Mentale” Ereignisse und Objekte

- Die Wissensbasis eines Agenten enthält Sachverhalte (Überzeugungen, Annahmen, “Beliefs”) und Tatsachen (wahre Sachverhalte); aus diesen werden weitere Sachverhalte deduziert.
- Bisher wurde kein Wissen **über** Sachverhalte und Schlußfolgerungen repräsentiert.
- Zur Planung in Multiagentenszenarien ist es oft notwendig, dass ein Agent Annahmen über die “Beliefs” anderer Agenten macht und daraus Schlüsse zieht.
- Weiterhin ist auch für den Agenten selbst die Einführung einer Meta-Ebene sinnvoll, also von Aussagen *über* seine eigene Kompetenz (“Beliefs” und Inferenz) \Rightarrow epistemische **Modallogik**.
- *Propositionale Einstellungen* (“propositional attitudes”): Relationen zur Darstellung von Beziehungen zwischen Agenten und Propositionen (“know”, “want”) \Rightarrow ermöglichen Inferenzen über Annahmen anderer Agenten.

Substanzen und Objekte, extrinsische und intrinsische Eigenschaften

- Diskrete Objekte (primitive und zusammengesetzte) sind unteilbar oder diskret teilbar.
- **Substanzen** sind kontinuierlich teilbar; die Teile gehören zum selben Konzept, z.B. Wasser (... Granularitätsproblem)

Wie können Substanzen repräsentiert werden?

Ansatz: Unterscheidung von

- **intrinsischen Eigenschaften** (Substanzeigenschaften), z.B. Dichte, Siedepunkt, Farbe, Geschmack, etc. — bleiben bei Teilung erhalten;
- **extrinsischen Eigenschaften**, z.B. Gewicht, Form, Funktion, etc. — bleiben bei Teilung nicht erhalten.

- *Referentielle Transparenz* (“referential transparency”): Ersetzbarkeit eines Ausdrucks durch einen äquivalenten Ausdruck (gilt allgemein in der Quantorenlogik erster Stufe).
Im Gegensatz dazu sind modale Kontexte *referentiell opak*, d.h. die Ersetzbarkeit ist nicht gegeben.
Dies gilt für alle Arten *indexikalischer* Ausdrücke.