ulm university universität ulm

Semantic Web Grundlagen

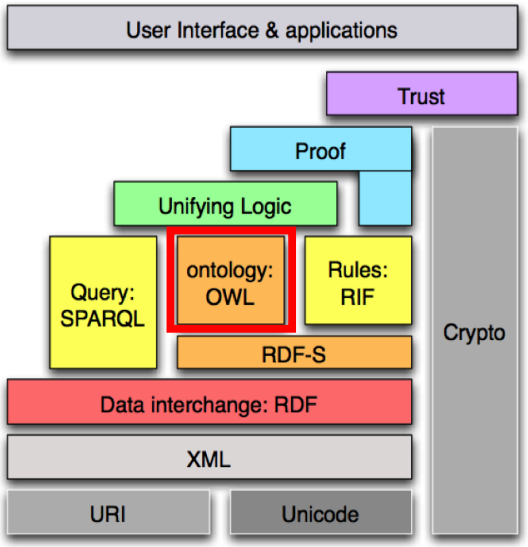
OWL 2 – Syntax und Semantik

Birte Glimm
Institut für Künstliche Intelligenz | 24. Nov 2011

Organisatorisches: Inhalt

Einleitung und XML	17. Okt	SPARQL Syntax	12. Dez
Einführung in RDF	20. Okt	Übung 4	15. Dez
RDF Schema	24. Okt	SPARQL Semantik	19. Dez
fällt aus	27. Okt	SPARQL 1.1	22. Dez
Logik – Grundlagen	31. Okt	Übung 5	9. Jan
Übung 1	3. Nov	SPARQL Entailment	12. Jan
Semantik von RDF(S)	7. Nov	SPARQL Implemetierung	16. Jan
RDF(S) & Datalog Regeln	10. Nov	Abfragen & RIF	19. Jan
OWL Syntax & Intuition	14. Nov	Übung 6	23. Jan
Übung 2	17. Nov	Ontology Editing	26. Jan
OWL & BLs	21. Nov	Ontology Engineering	30. Jan
OWL 2	24. Nov	Linked Data	2. Feb
Tableau	28. Nov	Übung 7	6. Feb
Übung 3	1. Dez	SemWeb Anwendungen	9. Feb
Blocking & Unravelling	5. Dez	Wiederholung	13. Feb
Hypertableau	8. Dez	Übung 8	16. Feb

OWL 2



Agenda

- Rückblick: OWL & Überblick OWL 2
- Die Beschreibungslogik $\mathcal{SROIQ}$
- Inferenz mit $\mathcal{SROIQ}$
- OWL 2 DL
- OWL 2 Profiles
- OWL 2 Full
- Zusammenfassung

Rückblick: Erweiterungen von OWL

OWL für viele Aufgaben noch zu schwach

- OWL als Anfragesprache ungenügend
  $\rightsquigarrow$ Konjunktive Anfragen, SPARQL für OWL
- OWL als Ontologiesprache ungenügend
  $\rightsquigarrow$ Prädikatenlogische Regelerweiterungen, SWRL & RIF
- OWL als Programmiersprache ungenügend
  $\rightsquigarrow$ Logikprogrammierung im Semantic Web

Sollte auch der OWL-Standard selbst erweitert werden?
$\rightsquigarrow$ OWL 2

Entwicklung von OWL 2

OWL 2 als "nächste Version" von OWL

Erweiterungen aufgrund von Praxiserfahrung mit OWL 1.0:

- zusätzliche Ausdrucksstärke durch neue ontologische Axiome
- nicht-logische Erweiterunen (Syntax, Metadaten, ...)
- Überarbeitung der OWL-Varianten (Lite/DL/Full)

Zielstellungen:

- weitestgehende Kompatibilität zum existierenden OWL-Standard
- Erhaltung der Entscheidbarkeit von OWL DL
- Behebung von Problemen im OWL 1.0 Standard

Agenda

- Rückblick: OWL & Überblick OWL 2
- Die Beschreibungslogik $\mathcal{SROIQ}$
- Inferenz mit $\mathcal{SROIQ}$
- OWL 2 DL
- OWL 2 Profiles
- OWL 2 Full
- Zusammenfassung

Von $\mathcal{SHOIN}$ zu $\mathcal{SROIQ}$

OWL DL basiert auf Beschreibungslogik $\mathcal{SHOIN}(D)$:

- Axiome:
  - TBox: Subklassenbeziehungen $C \sqsubseteq D$
  - RBox: Subrollenbeziehungen $R \sqsubseteq S$ ($\mathcal{H}$), Inverse Rollen R^- ($\mathcal{I}$), Transitivität
  - ABox: Fakten zu Klassen $C(a)$, Rollen $R(a,b)$, und Gleichheit $a \approx b$ bzw. $a \not\approx b$
- Klassenkonstruktoren:
  - Konjunktion $C \sqcap D$, Disjunktion $C \sqcup D$, Negation $\neg C$ von Klassen
  - Rollenrestriktionen: universell $\forall R.C$ und existenziell $\exists R.C$
  - Zahlenrestriktionen ($\mathcal{N}$): $\leq n\, R$ und $\geq n\, R$ (n nicht-negative Zahl)
  - Nominale ($\mathcal{O}$): $\{a\}$
- Datentypen (D)

Erweiterung in OWL 2 zu $\mathcal{SROIQ}(D)$

ABox

$\mathcal{SHOIN}$ unterstützt verschiedene ABox-Fakten:

- Klassenzugehörigkeit $C(a)$ (C komplexe Klasse),
- Sonderfall: negierte Klassenzugehörigkeit $\neg C(a)$ (C komplexe Klasse),
- Gleichheit $a \approx b$,
- Ungleichheit $a \not\approx b$
- Rollenbeziehungen $R(a, b)$
- *negierte Rollenbeziehungen?*

$\rightsquigarrow \mathcal{SROIQ}$ erlaubt auch negierte Rollen in der ABox: $\neg R(a, b)$

Zahlenrestriktionen

$\mathcal{SHOIN}$ unterstützt nur einfache Zahlenrestriktionen ($\mathcal{N}$):

$$\text{Person} \sqcap \geq 3\,\text{hatKind}$$

„Klasse aller Personen mit 3 oder mehr Kindern.“ $\rightsquigarrow \mathcal{SROIQ}$

erlaubt auch qualifizierte Zahlenrestriktionen ($\mathcal{Q}$):

$$\text{Person} \sqcap \geq 3\,\text{hatKind}.(\text{Frau} \sqcap \text{Professor})$$

„Klasse aller Personen mit 3 oder mehr Töchtern, die Professoren sind.“

Das Konzept Self

Modellierungsaufgabe: „Jeder Mensch kennt sich selbst.“

- $\mathcal{SHOIN}$:

  $\text{kennt}(\text{tom}, \text{tom})$ $\text{kennt}(\text{tina}, \text{tina})$ $\text{kennt}(\text{udo}, \text{udo})$ ...

  $\rightsquigarrow$ nicht allgemein anwendbar

- $\mathcal{SROIQ}$: spezieller Ausdruck Self

$$\text{Mensch} \sqsubseteq \exists \text{kennt.Self}$$

Rollenaxiome in $\mathcal{SHOIN}$

$\mathcal{SHOIN}$ bietet wenige Rollenaxiome:

- $\text{Trans}(r)$, `owl:TransitiveProperty`: r ist transitiv
  Beispiel: $\text{Trans}(\text{liegtIn})$
- $\text{Sym}(r)$, `owl:SymmetricProperty`: r ist symmetrisch
  Beispiel: $\text{Sym}(\text{verwandtMit})$
  Auch $r \sqsubseteq r^-$
- $\text{Func}(r)$, `owl:FunctionalProperty`: r ist funktional
  Beispiel: $\text{Func}(\text{hatVater})$
  Auch $\top \sqsubseteq \leqslant 1 r$
- $\text{InvFunc}(r)$, `owl:InverseFunctionalProperty`: r ist invers funktional
  Beispiel: $\text{InvFunc}(\text{istVaterVon})$
  Auch $\top \sqsubseteq \leqslant 1 r^-$ oder $\text{Func}(r^-)$

Rollenaxiome in $\mathcal{SROIQ}$

$\mathcal{SROIQ}$ bietet zusätzliche Aussagen über Rollen:

- Ref(r), `owl:ReflexiveProperty`: r ist reflexiv, $(x,x) \in r^{\mathcal{I}}$ für alle Domänenindividuen x
  Beispiel: Ref(kennt)
- Irr(r), `owl:IrreflexiveProperty`: r ist irreflexiv, $(x,x) \notin r^{\mathcal{I}}$ für alle Domänenindividuen x
  Beispiel: Irr(hatKind)
- Asym(r), `owl:AsymmtericProperty`: r ist asymmetrisch, $(x,y) \in r^{\mathcal{I}}$ impliziert $(y,x) \notin r^{\mathcal{I}}$
  Beispiel: Asym(hatKind)
- Dis(r,s), `owl:propertyDisjointWith`, , `owl:AllDisjointProperties`: r und s sind disjunkt, $(x,y) \notin r^{\mathcal{I}} \cap s^{\mathcal{I}}$ für alle x,y
  Beispiel: Dis(hatVater, hatSohn)

Die Universelle Rolle

$\mathcal{SROIQ}$ bietet zusätzliche eine universelle Rolle:

- Universelle Rolle U (`owl:TopObjectProperty`): $(x,y) \in U^{\mathcal{I}}$ für alle x,y

Beispiel

$\top \sqsubseteq \leqslant 7\,000\,000\,000\,U$.Menschen
(nicht empfohlen!)

- $\rightsquigarrow$ U ist vor allem als Gegenstück zu $\top$ sinnvoll, z.B. als Wurzel der Rollenhierarchie in grafischen Editoren
- Gegenstück `owl:BottomObjectProperty` wurde auch eingeführt, hat aber kein Gegenstück in BLs
- Für Datapropertys analog `owl:TopDataProperty` und `owl:BottomDataProperty`

Komplexe Rolleninklusion

„Die Freunde meiner Freunde sind auch meine Freunde.“

$\rightsquigarrow$ Kann in $\mathcal{SHOIN}$ ausgedrückt werden:
hatFreund ist transitiv.

„Die Feinde meiner Freunde sind auch meine Feinde.“

$\rightsquigarrow$ Kann nicht in $\mathcal{SHOIN}$ ausgedrückt werden!

Komplexe Rolleninklusion

- RBox-Ausdrücke der Form $r_1 \circ r_2 \circ \ldots \circ r_n \sqsubseteq s$
- Semantik: $(x_0,x_1) \in r_1^{\mathcal{I}}$, $(x_1,x_2) \in r_2^{\mathcal{I}}$, $\ldots$, $(x_{n-1},x_n) \in r_n^{\mathcal{I}}$, impliziert $(x_0,x_n) \in s^{\mathcal{I}}$

Komplexe Rolleninklusion – Beispiele

Beispiel

hatFreund $\circ$ hatFeind $\sqsubseteq$ hatFeind:
wenn $(x,y) \in$ hatFreund$^{\mathcal{I}}$ und $(y,z) \in$ hatFeind$^{\mathcal{I}}$,
dann gilt auch $(x,z) \in$ hatFeind$^{\mathcal{I}}$

Weitere Beispiele

teilVon $\circ$ gehört $\sqsubseteq$ gehört
hatBruder $\circ$ hatKind $\sqsubseteq$ istOnkelVon

Ausdrucksstärke der Komplexen Rolleninklusion

Wie kompliziert ist die komplexe Rolleninklusion?

Mit RBoxen kann man formale Sprachen kodieren:

Grammatik für Sprache der Wörter `ab`, `aabb`, `aaabbb`, ...:

`L ::= ab`
`L ::= aLb`

wird zu RBox

$$r_a \circ r_b \sqsubseteq \ell$$
$$r_a \circ \ell \circ r_b \sqsubseteq \ell$$

$\rightsquigarrow$

$\exists \ell.\top \neq \bot$ ("$\exists \ell.\top$ notwendig nicht-leer") bedeutet*:
„Es gibt eine Kette aus r_a und r_b, die zur Sprache gehört."
$\rightsquigarrow \exists \ell_1.\exists \ell_2^- \neq \bot$ für zwei kodierte Sprachen ℓ_1 und ℓ_2 bedeutet:
„Es gibt ein Wort, das zu ℓ_1 und zu ℓ_2 gehört."
*) bei entsprechender TBox! Leider gilt: Leerheit der Überschneidung kontextfreier Sprachen ist unentscheidbar. $\rightsquigarrow$ OWL mit Rolleninklusionen ist unentscheidbar

Reguläre RBoxen

Kann man komplexe Rolleninklusion zwecks Entscheidbarkeit einschränken?

- RBoxen sind wie Grammatiken für kontextfreie formale Sprachen
- Überschneidungen von kontextfreien Sprachen problematisch

$\rightsquigarrow$ Einschränkung auf reguläre Sprachen!

Regularitätsbedingung für RIAs

Um die Entscheidbarkeit der typischen Aufgaben des automatischen Schlussfolgerns zu garantieren müssen die Rolleninklusionen einer Wissensbasis regulär sein

- Es muss eine strikte lineare Ordnung $\prec$ über die Rollen geben, so dass jedes RIA eine der folgenden Formen hat mit $s_i \prec r$ für alle $1 \leq i \leq n$:
  - $r \circ r \sqsubseteq r$
  - $r^- \sqsubseteq r$
  - $s_1 \circ s_2 \circ \ldots \circ s_n \sqsubseteq r$
  - $r \circ s_1 \circ s_2 \circ \ldots \circ s_n \sqsubseteq r$
  - $s_1 \circ s_2 \circ \ldots \circ s_n \circ r \sqsubseteq r$

Regularitätsbedingung für RIAs

- Beispiel 1: $r \circ s \sqsubseteq r \quad s \circ s \sqsubseteq s \quad r \circ s \circ r \sqsubseteq t$
  - $\rightsquigarrow$ regulär mit Ordnung: $s \prec r \prec t$
- Beispiel 2: $r \circ t \circ s \sqsubseteq t$
  - $\rightsquigarrow$ nicht regulär, da Form nicht erlaubt
- Beispiel 3: $r \circ s \sqsubseteq s \quad s \circ r \sqsubseteq r$
  - $\rightsquigarrow$ nicht regulär, da keine entsprechende Ordnung existieren kann

Beschränkung einfacher Rollen

- Einfache Rollen in $\mathcal{SHOIN}$ = Rollen ohne transitive Unterrollen
- In $\mathcal{SROIQ}$: Beachtung der Rolleninklusionen nötig!

Beschränkung einfacher Rollen

Einfache Rollen sind alle Rollen ...

- die nicht auf der rechten Seite einer Rolleninklusion vorkommen,
- die Inverse von anderen einfachen Rollen sind,
- die nur auf der rechten Seite von Rolleninklusionen vorkommen, bei denen links ausschließlich einfache Rollen stehen.

(Achtung: induktive Definition)
$\rightsquigarrow$ nicht-einfach sind Rollen, die direkt oder indirekt von sich selbst abhängen (und deren Überrollen)

Warum ist das wichtig?
Ausdrücke $\leq n\, r.C$, $\geq n\, r.C$, $\mathsf{Irr}(r)$, $\mathsf{Dis}(r,s)$, $\exists r.\mathsf{Self}$, $\neg r(a,b)$
nur für einfache Rollen r und s erlaubt!
(Grund: Sicherstellung von Entscheidbarkeit)

Überblick $\mathcal{SROIQ}$ – TBoxen

Klassenausdrücke	
Klassennamen	A, B
Konjunktion	$C \sqcap D$
Disjunktion	$C \sqcup D$
Negation	$\neg C$
Existentielle Rollenrestr.	$\exists r.C$
Universelle Rollenrestr.	$\forall r.C$
Self	$\exists s.\mathsf{Self}$
Größer-als	$\geqslant n\, s.C$
Kleiner-als	$\leqslant n\, s.C$
Nominale	$\{a\}$

TBox (Klassenaxiome)	
Inklusion	$C \sqsubseteq D$
Äquivalenz	$C \equiv D$

Überblick $\mathcal{SROIQ}$ – RBoxen & ABoxen

Rollen	
Rollen	r, s, t
Einfache Rollen	s, t
Universelle Rolle	u

ABox (Fakten)	
Klassenzugehörigkeit	$C(a)$
Rollenbeziehung	$r(a,b)$
Neg. Rollenbeziehung	$\neg s(a,b)$
Gleichheit	$a \approx b$
Ungleichheit	$a \not\approx b$

RBox (Rollenaxiome)	
Inklusion	$r_1 \sqsubseteq r_2$
Komplexe Rolleninklusionen	$r_1 \circ \ldots \circ r_n \sqsubseteq r$
Transitivität	$\mathsf{Trans}(r)$
Symmetrie	$\mathsf{Sym}(r)$
Reflexivität	$\mathsf{Ref}(r)$
Irreflexivität	$\mathsf{Irr}(s)$
Disjunktheit	$\mathsf{Dis}(s,t)$

Agenda

- Rückblick: OWL & Überblick OWL 2
- Die Beschreibungslogik $\mathcal{SROIQ}$
- Inferenz mit $\mathcal{SROIQ}$
- OWL 2 DL
- OWL 2 Profiles
- OWL 2 Full
- Zusammenfassung

Wie kompliziert ist $\mathcal{SROIQ}$?

Rückblick: $\mathcal{SHOIN}$ (OWL DL) ist sehr komplex (NExpTime)
Beobachtung: einige Ausdrucksmittel sind nicht wirklich nötig!

- Trans(r) durch $r \circ r \sqsubseteq r$ ausdrückbar
- Sym(r) durch $r^- \sqsubseteq r$ ausdrückbar
- Asym(r) durch Dis(r, r^-) ausdrückbar
- Irr(s) durch $\top \sqsubseteq \neg\exists S.\text{Self}$ ausdrückbar
- Universelle Rolle durch transitive, reflexive Überrolle aller Rollen ersetzbar (hier nicht vertieft)
- ABox durch Nominale darstellbar, z.B. $r(a, b)$ durch $\{a\} \sqsubseteq \exists r.\{b\}$

Qualifizierte Zahlenrestriktionen kaum problematisch (bekannt und implementiert)

$\rightsquigarrow$ Hauptproblem Rollenaxiome (RBox)

Rolleninklusion, Sprachen, Automaten

Wie geht man mit RBoxen um?

- RBox-Regeln ähneln formalen Grammatiken
- Jede Rolle r definiert eine reguläre Sprache: die Sprache der Rollen-Ketten, aus denen r folgt
- reguläre Sprachen $\equiv$ reguläre Ausdrücke $\equiv$ endliche Automaten

$\rightsquigarrow$ Ansatz: Tableauverfahren werden mit „RBox-Automaten“ erweitert

Entscheibarkeit von $\mathcal{SROIQ}$

Tableauverfahren von $\mathcal{SROIQ}$ zeigt Entscheidbarkeit

- Algorithmus hat gute Anpassungseigenschaften: ungenutze Merkmale belasten die Abarbeitung kaum (“pay as you go”)
- Tableau-Verfahren ungeeignet für enge Komplexitätsabschätzungen
- $\mathcal{SROIQ}$ 2-NExpTime-komplett
  - $\mathcal{RIQ}$ and $\mathcal{SROIQ}$ are Harder than $\mathcal{SHOIQ}$. Yevgeny Kazakov. In Gerhard Brewka and Jérôme Lang, editors, KR 2008. Pages 274-284. AAAI Press. 2008
  - Untere Schranke: Kodierung eines entsprechenden Tiling-Problems
  - Obere Schranke: Exponentielle Übersetzung in das 2-Variablen Fragment der Prädikatenlogik erster Stufe mit Zählquantoren (counting quantifiers, $\mathcal{C}_2$, Erfüllbarkeit Testen NExpTime-komplett)

Agenda

- Rückblick: OWL & Überblick OWL 2
- Die Beschreibungslogik $\mathcal{SROIQ}$
- Inferenz mit $\mathcal{SROIQ}$
- OWL 2 DL
- OWL 2 Profiles
- OWL 2 Full
- Zusammenfassung

OWL 2 DL: Weitere Aspekte

$\mathcal{SROIQ}$ ist "nur" logische Grundlage von OWL 2 DL

Weitere nicht-logische Aspekte:

- Syntax (Erweiterung nötig)
- Datentypdeklaration und Datentypfunktionen, neue Datentypen?
- Metamodellierung: "Punning"
- Kommentarfunktionen und ontologische Metadaten
- Invers-funktionale konkrete Rollen (Datentyp Propertys): Keys?
- Mechanismen zu Ontologieimport?
- ...

$\rightsquigarrow$ diverse kleine Änderungen

Metamodellierung

Metamodellierung

Spezifikation ontologischen Wissens *über* einzelne Elemente der Ontologie (einschließlich Klassen, Rollen, Axiome).

Beispiele:

- "Die Klasse *Person* wurde am 30.1.2008 von *bglimm* angelegt."
- "Für die Klasse *Stadt* wird die Property *Einwohnerzahl* empfohlen."
- "Die Aussage ‚Dresden wurde 1206 gegründet' wurde maschinell ermittelt mit einer Sicherheit von 85%."

(Vergleich auch Reifikation in RDF Schema)

Wortspiele in OWL: Punning

Metamodellierung in ausdrucksstarken Logiken ist gefährlich und teuer!

OWL 2 unterstützt zurzeit einfachste Form von Metamodellierung:

Punning

- Bezeichner für Klassen, Rollen, Individuen müssen nicht disjunkt sein
- Keine *logische* Beziehung zwischen Klasse, Individuum und Rolle gleichen Namens
- Beziehung nur relevant für pragmatische Interpretation

Beispiel:

$$\mathsf{Person}(\mathsf{Birte}) \quad \mathsf{klasseErstelltVon}(\mathsf{Person}, \mathsf{bglimm})$$

Kommentare und Metadaten

Punning unterstützt einfache Metadaten mit (schwacher) semantischer Bedeutung

Wie kann man rein syntaktische Kommentare zu einer Ontologie machen?

- Kommentare in XML-Dateien: `<!-- Kommentar -->`
  $\rightsquigarrow$ kein Bezug auf OWL-Axiome dieser Datei
- nicht-logische Annotationen in OWL:
  `owl:AnnotationProperty`
  $\rightsquigarrow$ fest verknüpft mit (semantischem) ontologischem Element, kein syntaktischer Bezug

OWL 2 soll „echte“ syntaktische Kommentare unterstützen

Syntaktische Fragen

Neue/Erweiterte Syntaxen:

- RDF/XML: Erweiterung mit OWL 2 Elementen
- Funktionale Syntax (functional-style syntax): ersetzt “Abstrakte Syntax” von OWL 1
- OWL/XML: Syntax zur einfachen Verarbeitung in XML Tools
- Turtle: RDF Triple Syntax
- Manchester Syntax: Für Menschen leichter lesbare Syntax

Quo vadis, OWL Lite?

OWL Lite als Fehlschlag:

- Beinahe so komplex wie OWL DL
- Komplizierte Syntax gibt keinen direkten Zugang zu wahrer Ausdrucksstärke
- Verwendung in Ontologien heute praktisch nur „zufällig“, nicht bewusst

Ursprüngliches Ziel:
einfach und effizient implementierbarer Teil von OWL

$\rightsquigarrow$ OWL 2 Profiles

Agenda

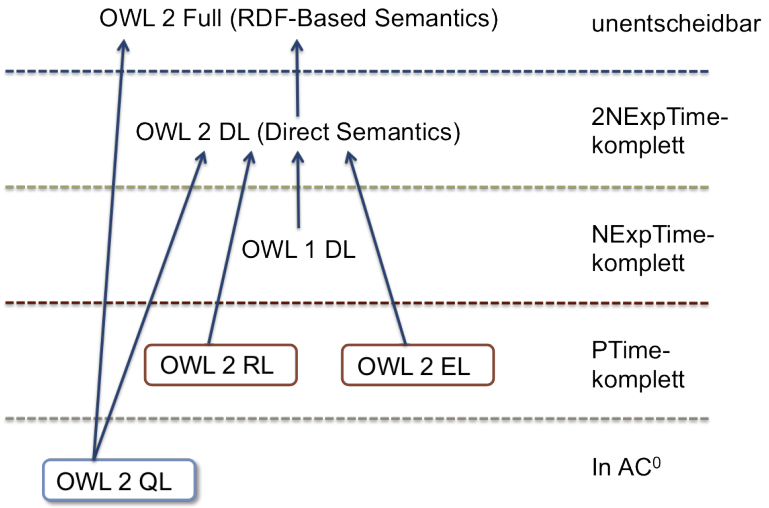
- Rückblick: OWL & Überblick OWL 2
- Die Beschreibungslogik $\mathcal{SROIQ}$
- Inferenz mit $\mathcal{SROIQ}$
- OWL 2 DL
- OWL 2 Profiles
- OWL 2 Full
- Zusammenfassung

OWL 2 Profiles

OWL 2 definiert drei Sprachfragmente in denen automatisches Schlussfolgern für bestimmte Aufgaben polynomiell ist

- OWL EL
  - Berechnung der Klassenhierarchie (alle Unterklassen Beziehungen) in PTIME
- OWL QL
  - Konjunctive Abfragen in $AC_0 \rightsquigarrow$ Reduzierbar zu SQL
- OWL RL
  - Kann als Erweiterung von RDFS genutzt werden oder mit der OWL Direct Semantics
  - Komplexität PTIME

OWL 2 Profiles



OWL 2 EL

- Ein (fast maximales) Fragment von OWL 2 so dass
  - Erfüllbarkeit in PTime geprüft werden kann (PTime-komplett)
  - Datenkomplexität für ABox Anfragen auch PTime-komplett
- Klassenhierarchie (alle Subsumptionsbeziehungen zwischen Klassen) können in einem Lauf berechnet werden “one pass”
- Nutzt Saturierungsverfahren das für die BL $\mathcal{EL}$ entwickelt wurden

  $\Rightarrow$ Kann bis zum Horn (non-disjunktives) Fragment von OWL DL erweitert werden [Kazakov 2009]

OWL 2 EL

- Erlaubt:
  - Subklassen Axiome mit Konjunktion, existentiellen Restriktionen, $\top$, $\bot$, abgeschlossene Klassen mit *einem* Individuum (Nominal)
  - Komplexe Rollenaxiome, Range Restriktionen (unter bestimmten Bedingungen)
- Nicht erlaubt:
  - Negation, Disjunktion, universelle Restriktionen, inverse Rollen

OWL 2 QL

- Ein (fast maximales) Fragment von OWL 2 so dass
  - Datenkomplexität von konjunktiven Anfragen ist in AC^0
- Kann Abfragen umschreiben, so dass kein terminologisches Wissen mehr berücksichtigt werden muss (query rewriting)
  - $\Rightarrow$ Standard RDBMS können zur Datenhaltung und für Abfragen verwendet werden
- Zahlreiche aktuelle Forschungsergebnisse von BLs können angewendet werden
  - $\Rightarrow$ Neue Techniken zur Vermeidung einer exponentiellen Explosion beim query rewriting [Kontchakov et al. 2010, Rosati & Almatelli 2010]
  - $\Rightarrow$ Kann auch auf ausdrucksstärkere Sprachen erweitert werden (-> Datalog, [Perez-Urbina et al. 2009])

OWL 2 QL

- Erlaubt:
  - Einfache Rollenhierarchien, Domain & Range Axiome
  - Subklassen Axiome mit linker Seite: Klassenname oder existentieller Restriktion mit $\top$, rechte Seite: Konjunktion von Klassennamen, existentielle Restriktion, und Negations von Ausdrücken, die auf der linken Seite stehen dürfen
- Unterstützt RDFS bei wohlgeformten Graphen

OWL 2 RL

- Ein (fast maximales) Fragment von OWL 2 so dass
  - Automatisches Schlussfolgern ist PTime-komplett (Konsistenz, Erfüllbarkeit von Klassen, Subsumption, Typen von Individuen prüfen und konjunktive Abfragen)
  - Automatisches Schlussfolgern ist korrekt (sound & complete) wenn der gegebene RDF Graph bestimmte Eigenschaften erfüllt
  - Andernfalls kann automatisches Schlussfolgern unvollständig sein (sound & incomplete)
- Kann direkt auf RDF Triplen arbeiten um Instanzdaten anzureichern (Materialisierung, forward chaining für Fakten)
- Automatisches Schlussfolgern kann mit einem Satz von Regeln implementiert werden (rule engine mit Unterstützung von Gleichheit)

Agenda

Was tun mit OWL Full?

Ziel von OWL 2 DL: viele OWL Full 1.0 Ontologien als DL interpretierbar machen (siehe z.B. Punning)

Was soll aus OWL Full 1.0 werden?

- Erweiterung von OWL Full im Sinne von OWL 2 wird durch verschiedene Anwender unterstützt
- Kann auf beliebige RDF Graphen angewendet werden
- Viele Tools in der Verifikation können auch keine Terminierung garantieren, sind aber trotzdem nützlich
- Erlaubt andere Implementierungstechniken, die evtl. schneller sind, aber keine Terminierungs-Garantien geben können

Wesentliche Unterschiede in den Semantiken

- Annotationen haben keine Semantik in der Direct Semantics, aber in der RDF-Based Semantics
- Import Anweisungen sind nur Parser Anweisungen in der Direct Semantics, aber haben eine Bedeutung als Triple in der RDF-Based Semantics
- In der RDF-Based Semantik sind Klassen Individuen, die auch noch eine Extension haben $\rightsquigarrow$ Semantische Konditionen sind nur auf Klassen anwendbar, die auch wirklich von einem Individuum repräsentiert werden

Wesentliche Unterschiede in den Semantiken

Beispiel

- C(a)
- Frage nach Instanzen der Klasse $C \sqcup D$
- RDF-Based Semantics: $\emptyset$, Direct Semantics: a

$\rightsquigarrow$ Unter der RDF-Based Semantik ist nur garantiert, dass die Vereinigung der Extensionen von C und D als Teilmenge der Domäne existiert; es muss kein Element existieren, dass diese Menge als Extension hat.

$\rightsquigarrow$ In der Direct Semantics repäsentieren Klassen Mengen und keine Domänenelemente

$\rightsquigarrow$ Antwort unter beiden Semantiken nach Erweiterung um $E \equiv C \sqcup D$

Agenda

Zusammenfassung

OWL 2 als erste Weiterentwicklung des OWL-Standards

- Standardisiert am 27.10.2009
- Logische Erweiterung: Beschreibungslogik $\mathcal{SROIQ}$ als Grundlage
- Neue Ausdrucksmittel vor allem komplexe Rollenaxiome, qualifizierte Zahlenrestriktionen
- Nicht-logische Erweiterungen: Punning, Kommentare, Datentypen, u.a.
- Profiles mit polynomiellen Verfahren