CƠ SỞ LOGIC ĐẶC TẢ CỦA OWL

ALC

- Là dạng đơn giản nhất của DL
  - Các khái niệm sử dụng ∩ ∪ ¬ ∃ ∀
  - Chỉ có các vai trò đơn (vd, đảo)
- Ví dụ: Person all of whose children are either Doctors or have a child who is a Doctor:

$$\text{Person} \cap \forall\text{hasChild}.(\text{Doctor} \cup \exists\text{hasChild}.\text{Doctor})$$

Cú pháp ALC

Extracts from slides of Bruijn and Franconi

A |	(khái niệm đơn)
$\top$ |	(khái niệm vũ trụ)
$\bot$ |	(khái niệm đáy)
$C \sqcap D$ |	(phép giao)
$C \sqcup D$ |	(phép hợp)
$\neg C$ |	(phủ định)
$\forall R.C$ |	(giới hạn giá trị)
$\exists R.C$ |	(lượng từ tồn tại)

Các đánh giá đơn trong ALC

$a \in C$
$\langle a, b \rangle \in R$

Các tiên đề trong ALC

$C \sqsubseteq D$
$C \equiv D$

Mở rộng

- S – vai trò mở rộng (transitive roles) (R_+)
- H – phân cấp vai trò (role hierarchy), vd hasDaughter ⊆ hasChild)
- O – lớp định danh/đơn (nominals/singleton classes), vd ∃hasChild.{mary}
- I - vai trò đảo, vd isChildOf ≡ hasChild^-
- N – giới hạn số lượng (number restrictions), vd ≤1hasChild
- Q – giới hạn số lượng thỏa 1 tính chất nào đó (qualified number restrictions), ≥1hasChild.Male
- S + role hierarchy (H) + nominals (O) + inverse (I) + NR (N)
  = SHOIN

Cơ sở tri thức

- TBox là tập các luật (câu), vd:
  - $\{Doctor \subseteq Person,$ $HappyParent \equiv Person \cap \forall hasChild.(Doctor \cup \exists hasChild.Doctor)\}$
  - $\{Doctor \rightarrow Person,$ $HappyParent \leftrightarrow Person \wedge [hasChild](Doctor \vee \langle hasChild \rangle Doctor)\}$
- ABox là tập các sự kiện
  - {John:HappyParent, John hasChild Mary}
  - $\{John \rightarrow HappyParent,$ $John \rightarrow \langle hasChild \rangle Mary\}$
- 1 CSTT (Knowledge Base - KB) là TBox + Abox

Cơ sở tri thức

Phát biểu thuật ngữ $\Sigma = \langle \text{TBox}, \text{Abox} \rangle$

Terminological Axioms: $C \sqsubseteq D$, $C \doteq D$

- $\text{Student} \doteq \text{Person} \sqcap \exists \text{NAME.String} \sqcap \exists \text{ADDRESS.String} \sqcap \exists \text{ENROLLED.Course}$
- $\text{Student} \sqsubseteq \exists \text{ENROLLED.Course}$
- $\exists \text{TEACHES.Course} \sqsubseteq \neg \text{Undergrad} \sqcup \text{Professor}$

Phát biểu thành viên: $C(a), R(a, b)$

- $\text{Student}(\text{john})$
- $\text{ENROLLED}(\text{john}, \text{cs415})$
- $(\text{Student} \sqcup \text{Professor})(\text{paul})$

Bài tập

Xây dựng Tbox cho các phát biểu sau:

- Mammals are animals.
- Cats are mammals that are carnivores.
- Elephants are mammals that are herbivores.
- Carnivores eat meat.
- A vertebrate is any animal that has, amongst other things, a backbone.

Bài tập

Xây dựng Tbox cho các phát biểu sau:

- Every fish is an animal that lives in water;
- Something that eats meat is a carnivore;
- A bird is a vertebrate that has wings and legs and lays eggs;
- Every reptile is a vertebrate that lays eggs.

Bài tập

Dịch các Tbox sau:

Person $\sqcap$ $\forall$hasChild.Male everybody whose children are all male

$\exists$interested_in.Computer_Science $\sqcap$ $\neg\exists$interested_in.Philosophy
the class of objects interested in computer science but not interested in philosophy

Living_being $\sqcap$ $\neg$Human_being
all living beings that are not human beings

Student $\sqcap$ $\neg\exists$interested_in.Mathematics
all students not interested in mathematics

Student $\sqcap$ $\forall$drinks.tea all students who only drink tea

Person $\sqcap$ $\forall$hasChild.Male $\sqcap$ $\exists$hasChild.$\top$
everybody who has a child and whose children are all male

Ngữ nghĩa ALC

Phép dịch $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$, trong đó

Δ^I là miền
.I là hàm dịch cho phép gắn:

- Mọi khái niệm A với tập con A^I của Δ^I $(A^{\mathcal{I}} \subseteq \Delta^{\mathcal{I}})$
- Mọi vai trò r với quan hệ nhị phân r^I trên Δ^I $(r^{\mathcal{I}} \subseteq \Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}})$

A	$A^{\mathcal{I}} \subseteq \Delta^{\mathcal{I}}$	Khái niệm đơn
R	$R^{\mathcal{I}} \subseteq \Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}}$	Vai trò đơn
$\top$	$\Delta^{\mathcal{I}}$	Đỉnh
$\perp$	$\emptyset$	Đáy
$\neg C$	$\Delta^{\mathcal{I}} \setminus C^{\mathcal{I}}$	Phần bù
$C \sqcap D$	$C^{\mathcal{I}} \cap D^{\mathcal{I}}$	Phần giao
$C \sqcup D$	$C^{\mathcal{I}} \cup D^{\mathcal{I}}$	Phần hợp
$\forall R.C$	$\{x \mid \forall y. R^{\mathcal{I}}(x,y) \rightarrow C^{\mathcal{I}}(y)\}$	Lượng tử với mọi
$\exists R.C$	$\{x \mid \exists y. R^{\mathcal{I}}(x,y) \wedge C^{\mathcal{I}}(y)\}$	Lượng tử tồn tại

Các khái niệm tương đương

- Với mọi phép dịch I, các khái niệm C, D và vai trò r, ta có
  - $(\neg\neg C)^{\mathcal{I}} = C^{\mathcal{I}}$;
  - $(\forall r.C)^{\mathcal{I}} = (\neg\exists r.\neg C)^{\mathcal{I}}$;
  - $(\neg(C \sqcap D))^{\mathcal{I}} = (\neg C \sqcup \neg D)^{\mathcal{I}}$;
  - $(\neg(C \sqcup D))^{\mathcal{I}} = (\neg C \sqcap \neg D)^{\mathcal{I}}$;
  - $(\neg\exists r.C)^{\mathcal{I}} = (\forall r.\neg C)^{\mathcal{I}}$;
  - $(\neg\forall r.C)^{\mathcal{I}} = (\exists r.\neg C)^{\mathcal{I}}$;
  - $(C \sqcap \neg C)^{\mathcal{I}} = \perp^{\mathcal{I}} = \emptyset$;
  - $(C \sqcup \neg C)^{\mathcal{I}} = \top^{\mathcal{I}} = \Delta^{\mathcal{I}}$.

Ví dụ

Cho $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$, trong đó

- $\Delta^{\mathcal{I}} = \{a, b, c, d, e, f\}$;
- Person$^{\mathcal{I}} = \{a, b, c, d, f\}$; Female$^{\mathcal{I}} = \{a, b, c, e\}$;
- hasChild$^{\mathcal{I}} = \{(a, b), (b, c), (d, e), (f, f)\}$.

Tính

- (Person $\sqcap$ Female)$^{\mathcal{I}}$,
- (Person $\sqcap$ $\exists$hasChild.Person)$^{\mathcal{I}}$,
- (Person $\sqcap$ $\exists$hasChild.(Person $\sqcap$ Female)$^{\mathcal{I}}$,
- (Person $\sqcap$ $\exists$hasChild.Person $\sqcap$ Female)$^{\mathcal{I}}$,
- (Person $\sqcap$ $\exists$hasChild.$\top$)$^{\mathcal{I}}$,
- (Person $\sqcap$ $\exists$hasChild.$\exists$hasChild.$\top$)$^{\mathcal{I}}$.

Ngữ nghĩa ALC

Phép dịch I thỏa mãn

Định nghĩa khái niệm	$C \equiv D$	iff	$C^{\mathcal{I}} = D^{\mathcal{I}}$
Phát biểu	$C \sqsubseteq D$	iff	$C^{\mathcal{I}} \subseteq D^{\mathcal{I}}$
TBox	$\mathcal{T}$	iff	I thỏa mọi phát biểu trong T I là một mô hình của T
Đánh giá khái niệm	$a : C$	iff	$a^{\mathcal{I}} \in C^{\mathcal{I}}$
Đánh giá vai trò	$\langle a, b\rangle : R$	iff	$\langle a^{\mathcal{I}}, b^{\mathcal{I}}\rangle \in R^{\mathcal{I}}$
ABox	$\mathcal{A}$	iff	I thỏa mọi đánh giá trong A I là một mô hình của A

Phép dịch I=(Δ^{I},$\cdot^{I}$) là một mô hình của CSTT ∑ nếu mọi phát biểu của ∑ đều thỏa bởi I
CSTT ∑ được nói là "có thể đáp ứng được" nếu nó có mô hình tương ứng

Suy luận với ALC

Extracts from slides of Franconi

$\Sigma \models \varphi$ if every model of Σ is a model of φ

Example:

TBox:
$\exists\mathtt{TEACHES.Course} \sqsubseteq \mathtt{Professor}$

ABox:
$\mathtt{TEACHES(john, cs415), Course(cs415)},$

$\Sigma \models \mathtt{Professor(john)}$

Các kiểu suy luận

- Thỏa mãn khái niệm

$\Sigma \not\models C \equiv \bot$ $\qquad \mathtt{Student} \sqcap \neg\mathtt{Person}$

Kiểm tra C có thỏa ∑ không, nghĩa là có một mô hình I của ∑ sao cho $C^{I} \neq \varnothing$

- Tập con

$\Sigma \models C \sqsubseteq D$ $\qquad \mathtt{Student} \sqsubseteq \mathtt{Person}$

Kiểm tra C có là tập con của D thỏa ∑ không, nghĩa là $C^{I} \subseteq D^{I}$ với mọi mô hình I của ∑

- Tính thỏa

$\Sigma \not\models$ $\qquad \mathtt{Student} \doteq \neg\mathtt{Person}$

Kiểm tra ∑ có thỏa không, nghĩa là nó có một mô hình nào đó không

- Kiểm tra giá trị

$\Sigma \models C(a)$ $\qquad \mathtt{Professor(john)}$

Ví dụ về thỏa khái niệm

parent ≡ person ⊓ ∃has_child.person
woman ≡ person ⊓ female
mother ≡ person ⊓ ∃has_child.person ⊓ female

- Cho biết ¬woman ∩ mother có đúng không?
  - ¬woman ⊓ mother ≡
  - ¬(female ⊓ person) ⊓ female ⊓ parent ≡
  - (¬female ⊔ ¬ person) ⊓ female ⊓ parent ≡
  - (¬female ⊔ ¬ person) ⊓ female ⊓ parent ≡
  - ¬person ⊓ female ⊓ parent ≡
  - ¬person ⊓ female ⊓ person ⊓ ∃has_child.person ≡
  - ¬person ⊓ female ⊓ person ⊓ ∃has_child.person
  - ↯
- Không có mother nào không phải là women

Thuật toán Tableaux

- Thuật toán Tableaux dùng để đánh giá sự thỏa mãn
- Nghĩa là, cố gắng xây dựng một mô hình cây cho các khái niệm đã cho C
- Quá trình xử lý
  - Ngắt cú pháp của C ở dạng kết nối $\{C_1, C_2,\ldots\}$
  - Chỉ làm việc với các khái niệm ở dạng chuẩn phủ định
    - Sử dụng luật Morgan, vd, $\neg\exists R.C \equiv \forall R.\neg C$
  - Tách các khái niệm sử dụng luật tableau
  - Dừng khi có xung đột , vd $\{C_1, \neg C_1,\ldots\}$, hoặc khi không còn luật nào có thể áp dụng được
  - Phát hiện các chu trình để đảm bảo thuật toán kết thúc
- C là bền vững nếu không có xung đột khi áp dụng thuật toán tableau

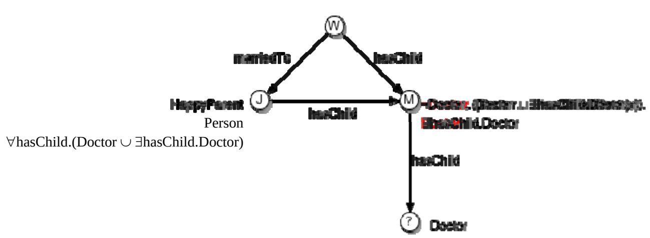
Thuật toán Tableaux

- Thuật toán Tableaux hoạt động bằng cách cố gắng xây dựng 1 ví dụ (mô hình) thỏa mãn CSTT:
  - Xuất phát từ các tri thức ban đầu (ABox axioms)
  - Sinh ra các câu mới dựa trên các khái niệm và TBox
    - Tạo các biểu thức phức bằng cách sử dụng các luật mở rộng tableaux
    - Suy diễn các ràng buộc trong mô hình

Suy diễn với Tableaux (1)

- Vd, CSTT:

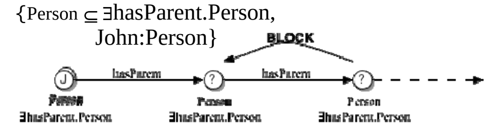
  {HappyParent ≡ Person ∩ ∀hasChild.(Doctor ∪ ∃hasChild.Doctor),
  John:HappyParent, John hasChild Mary, Mary:¬Doctor
  Wendy hasChild Mary, Wendy marriedTo John}



Suy diễn với Tableaux (2)

- Luật Tableau tương ứng với các hàm thiết lập trong logic (∩, ∃, etc)
  - E.g., John:(Person ∩ Doctor) → John:Person and John:Doctor
- Dừng khi không còn luật nào có thể áp dụng hoặc khi xung đột xảy ra
  - Xung đột là mâu thuẫn hiển nhiên, vd, A(x), ¬A(x)
- Một số luật là không tất định (nondeterministic) (vd, ∪, ≤)
  - Trên thực tế, điều đó nghĩa là tìm kiếm (search)
- Cần kiểm tra chu trình (ngăn chặn) để đảm bảo tính kết thúc
  - Vd, KB:

    {Person ⊆ ∃hasParent.Person,
    John:Person}



Bài tập

Xét CSTT K = (T,A) với

- TBox T :
  - Clownfish ∪ Surgeonfish ⊆ Fish (1)
  - Clownfish ∩ Surgeonfish ≡ ⊥ (2)
- ABox A:
  - nemo : Clownfish ∩ ∃has_colour.Orange (3)
  - dory : Surgeonfish ∩ ∀likes.Clownfish (4)
  - (nemo, dory) : has_friend (5)
- Xây dựng một mô hình cây cho các khái niệm đã cho
- Trả lời các câu hỏi sau:
  - Dori có 1 người bạn màu cam không?
  - Nemo có 1 người bạn chỉ thích Clownfish không?

Luật Tableaux cho ALC

$x \bullet \{C_1 \sqcap C_2, \ldots\}$	$\rightarrow_\sqcap$	$x \bullet \{C_1 \sqcap C_2, C_1, C_2, \ldots\}$
$x \bullet \{C_1 \sqcup C_2, \ldots\}$	$\rightarrow_\sqcup$	$x \bullet \{C_1 \sqcup C_2, C, \ldots\}$ for $C \in \{C_1, C_2\}$
$x \bullet \{\exists R.C, \ldots\}$	$\rightarrow_\exists$	$x \bullet \{\exists R.C, \ldots\}$ R $y \bullet \{C\}$
$x \bullet \{\forall R.C, \ldots\}$ R $y \bullet \{\ldots\}$	$\rightarrow_\forall$	$x \bullet \{\forall R.C, \ldots\}$ R $y \bullet \{C, \ldots\}$

Ví dụ về suy luận Tableau

parent ≡ person ⊓ ∃has_child.person
woman ≡ person ⊓ female
mother ≡ person ⊓ ∃has_child.person ⊓ female

Suy luận Tableau cho khái niệm C ≡ ¬woman ∩ mother

$\mathcal{A}_0$ = {a: (¬female⊔¬person) ⊓ female ⊓ person ⊓ ...} (*conjunction rule*)

$\mathcal{A}_1$ = {a:¬female⊔¬person, a:female, a:person, ...} (*disjunction rule*)

$\mathcal{A}_2$ = {a:¬female⊔¬person, a:female, a:person, ..., a:¬female}

↯ (clash between a:female and a:¬female detected)

$\mathcal{A}_1$ = {a:¬female⊔¬person, a:female, a:person, ...} (*disjunction rule*)

$\mathcal{A}_3$ = {a:¬female⊔¬person, a:female, a:person, ..., a:¬person}

↯ (clash between a:person and a:¬person detected)

Bài tập

Khái niệm (∀hasChild.Male) ⊓ (∃hasChild.¬Male) có thỏa không

Xây dựng phép dịch thỏa khái niệm trên

(1)			x: (∀hasChild.Male) ⊓ (∃hasChild.¬Male)
(2)	**từ**	(1)	x: ∀hasChild.Male
(3)	**từ**	(1)	x: ∃hasChild.¬Male
(4)	**từ**	(3)	(x, y): hasChild **và** y: ¬Male,
(5)	**từ**	(2) & (4)	y: Male
(6)	**từ**	(4) & (5)	**Mâu thuẫn** y: Male **và** y: ¬Male

⇒ Khái niệm trên không thỏa

Bài tập

Khái niệm $\boxed{(\forall \text{hasChild.Male}) \sqcap (\exists \text{hasChild.Male})}$ có thỏa không

Xây dựng phép dịch thỏa khái niệm trên

(1)			x: $(\forall \text{hasChild.Male}) \sqcap (\exists \text{hasChild.Male})$
(2)	**từ**	(1)	x: $\forall \text{hasChild.Male}$
(3)	**từ**	(1)	x: $\exists \text{hasChild.Male}$
(4)	**từ**	(3)	(x, y): hasChild **và** y: Male,

$\Rightarrow$ Khái niệm trên thỏa và thỏa mô hình $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$

$\Delta^{\mathcal{I}} = \{x, y\}$, $\quad \text{Male}^{\mathcal{I}} = \{y\}$, $\quad \text{hasChild}^{\mathcal{I}} = \{(x, y)\}$

Khi đó $x \in ((\forall \text{hasChild.Male}) \sqcap (\exists \text{hasChild.Male}))^{\mathcal{I}}$

Bài tập

Khái niệm $\boxed{\forall R.(\neg C \sqcup D) \sqcap \exists R.(C \sqcap D)}$ có thỏa không

Xây dựng phép dịch thỏa khái niệm trên

(1)			x: $\forall R.(\neg C \sqcup D) \sqcap \exists R.(C \sqcap D)$
(2)	**từ**	(1)	x: $\forall R.(\neg C \sqcup D)$
(3)	**từ**	(1)	x: $\exists R.(C \sqcap D)$
(4)	**từ**	(3)	(x, y): R **và** y: $C \sqcap D$,
(5)	**từ**	(4)	y: C
(6)	**từ**	(4)	y: D
(7)	**từ**	(2)	y: $\neg C \sqcup D$

(8.1)	**từ**	(7)	y: $\neg C$
(8.2)	**từ**	(7)	y: D

(8.1) mâu thuẫn, (8.2) không mẫu thuẫn $\Rightarrow$ mô hình thỏa k/n

Mở rộng ALC cho SHOIN

Extracts from slides of Bruijn

Concept descriptions in $\mathcal{SHOIN}$:

$$
\begin{array}{lll}
C, D \longrightarrow & \{o_1, \ldots, o_n\} \mid & \text{(enumeration)} \\
& \exists R.\{o\} \mid & \text{(hasValue)} \\
& \geqslant nR \mid & \text{(minimal cardinality)} \\
& \leqslant nR \mid & \text{(maximal cardinality)}
\end{array}
$$

Axioms in $\mathcal{SHOIN}$:

$$
\begin{array}{ll}
Q \sqsubseteq R & \text{(role hierarchy)} \\
R \equiv Q^- & \text{(inverse roles)} \\
R^+ \sqsubseteq R & \text{(transitive roles)}
\end{array}
$$

Sự tương ứng giữa SHOIN và FOL

$$
\begin{array}{l|l}
\{o_1, \ldots, o_n\} & x = o_1 \vee \ldots \vee x = o_n \\
\exists R.\{o\} & R(x, o) \\
\geqslant nR & \exists y_1, \ldots, y_n : \bigwedge R(X, y_i) \wedge \bigwedge y_i \neq y_j \\
\leqslant nR & \forall y_1, \ldots, y_{n+1} : \bigwedge R(X, y_i) \rightarrow \bigvee y_i = y_j
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{l|l}
Q \sqsubseteq R & \forall x, y : Q(x, y) \rightarrow R(x, y) \\
R \equiv Q^- & \forall x, y : R(x, y) \leftrightarrow Q(y, x) \\
R^+ \sqsubseteq R & \forall x, y, z : R(x, y) \wedge R(y, z) \rightarrow R(x, z)
\end{array}
$$

Ví dụ

In DL syntax:

$firstYearCourse \sqsubseteq \forall isTaughtBy.Professor$

$mathCourse \sqsubseteq \exists isTaughtBy.\{949352\}$

$academicStaffMember \sqsubseteq \exists teaches.undergraduateCourse$

$course \sqsubseteq \geq 1 isTaughtBy$

$department \sqsubseteq \geq 10 hasMember \sqcap \leq 30 hasMember$

FOL equivalent:

$\forall x.firstYearCourse(x) \rightarrow (\forall y.isTaughtBy(x, y) \rightarrow Professor(y))$

$\forall x.mathCourse(x) \rightarrow isTaughtBy(x, 949352)$

$\forall x.department(x) \rightarrow$
$(\exists y_1, ..., y_{10}.hasMember(x, y_1) \wedge ... \wedge hasMember(x, y_{10}) \wedge y_1 \neq y_2 \wedge ... \wedge y_1 \neq y_{10} \wedge ... \wedge y_9 \neq y_{10}) \wedge (\forall y_1, ..., y_{31}.hasMember(x, y_1) \wedge ... \wedge hasMember(x, y_{31}) \rightarrow y_1 = y_2 \vee ... \vee y_1 = y_{31} \vee ... \vee y_{30} = y_{31})$

Further reading

- OWL Abstract Syntax and Semantics: http://www.w3.org/TR/owl-semantics/
- Description Logic Handbook, edited by F. Baader, D. Calvanese, D.L. McGuinness, D. Nardi, P.F. Patel-Schneider, Cambridge University Press.
- Online course on Description Logics of Enrico Franconi: http://www.inf.unibz.it/~franconi/dl/course/

Further reading

- Jos de Bruijn: Using Ontologies. Enabling Knowledge Sharing and Reuse on the Semantic Web. DERI Technical Report DERI-2003-10-29, 2003. http://www.deri.org/publications/techpapers/documents/DERI-TR-2003-10-29.pdf
- OWL Guide: http://www.w3.org/TR/owl-guide/
- OWL Reference: http://www.w3.org/TR/owl-ref/
- OWL Abstract syntax and Semantics: http://www.w3.org/TR/owl-semantics/