Pengantar Intelijensia buatan

Pertemuan 13

FIRST ORDER LOGIC

What's wrong with Prepositional Logic ??

- Untuk menyelesaikan suatu permasalahan kita membutuhkan banyak prepositional logic. Banyak sekali…

Why ??

- Inti permasalahannya adalah bahwa prepositional logic tidak bisa memodelkan relasi.
- Itulah sebabnya kita menggunakan FOL …

FOL (First Order Logic)

- First Order logic adalah salah satu bentuk knowledge representation language

- First order logic memodelkan dunia menjadi banyak **object** yang masing masing memiliki **property** yang berbeda dan relasi **relasi** yang mungkin ada diantaranya yang bisa merupakan fungsi

Object, properties, and relation

- The BIG Bear smash my bike.
- My bike is BROKEN
- The forest ranger saves my life
- The forest ranger shoot the bear ARM

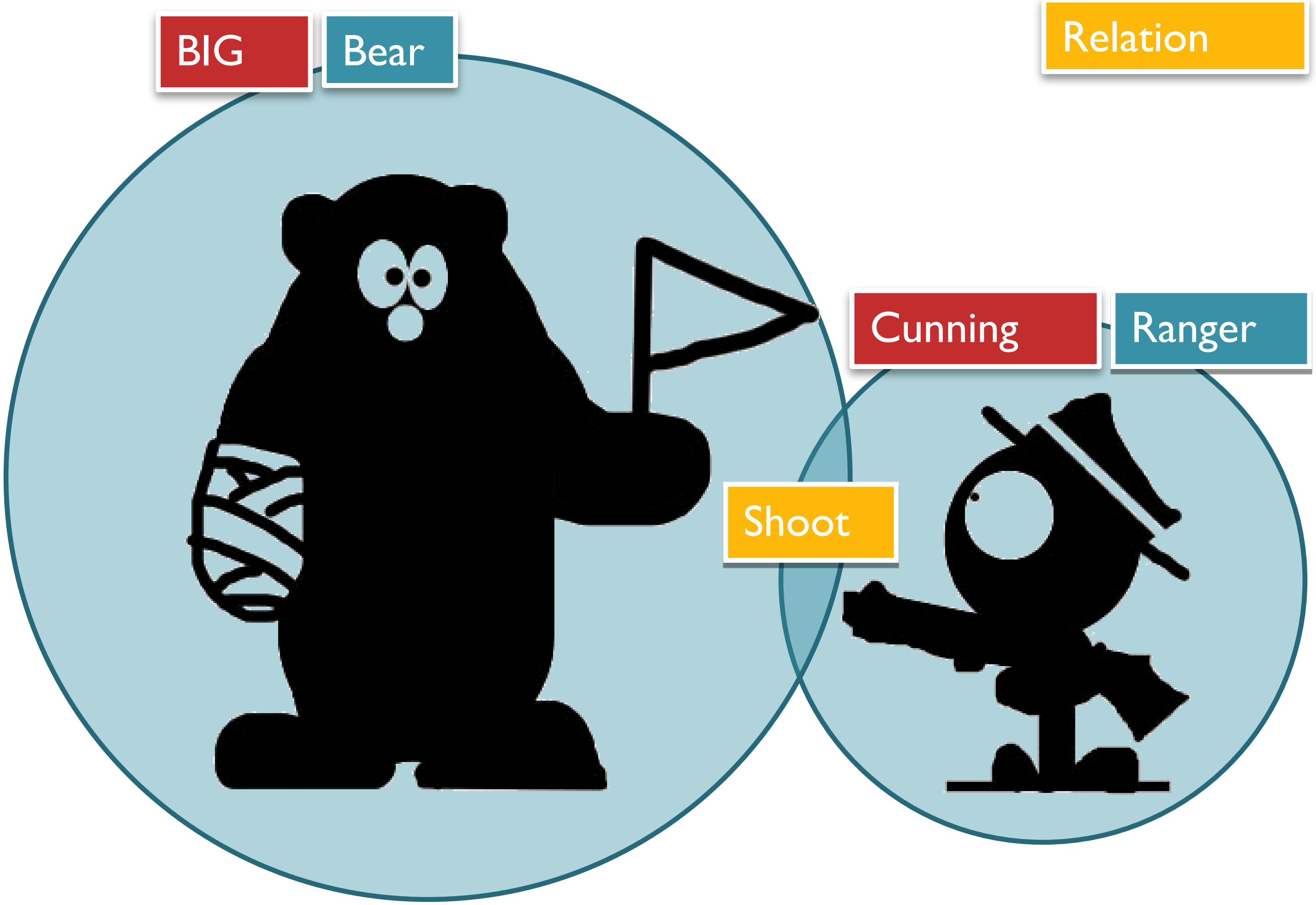
- Object relation PROPERTIES.

FOL model

Object

property

Relation



FOL syntax

Constants	Bear, Ranger, bike,……
Predicates	Brother, >, Big , Cunning,…
Function	Sqrt(), Shoot(),…
Variable	x, y, a, b,….
Connectives	$\wedge, \vee, \neg, \Rightarrow, \Leftrightarrow$
Equality	=
Quantifiers	$\forall, \exists$

Syntax and Semantic

- <Sentence> := <AtomicSentence>
  | <Sentence> <Connective> <Sentence>
  | <Quantifier> <Variable>,... <Sentence>
  | <Sentence>
  | (<Sentence>)
- <Atomic Sentence> := <Predicate>(<Term>,...)
  | <Term> = <Term>
- <Term> := <Function>(<Term>,...)
  | <Constant>
  | <Variable>
- <Connective> := ^ | v | <=> | =>
  <Quantifier> := ∀ | ∃
  <Constant> := Martin | 59302 | Cat | X | ...
  <Variable> := a | x | s | ...
  <Predicate> := Before | Likes | Raining | Fails | ...
  <Function> := Father | Hairof | 304gradefor | ...

Atomic sentences

Atomic sentence = *predicate* ($term_1$,...,$term_n$)
or $term_1$ = $term_2$

Term = *function* ($term_1$,...,$term_n$)
or *constant* or *variable*

- *Atomic sentence* bernilai benar jika relasi yang ditunjukkan oleh simbol predikat sesuai dengan obyek yang ditunjukkan oleh argumen/term-nya.

E.g.,

Brother(KingJohn,RichardTheLionheart)

Married(FatherOf(Richard), MotherOf(KingJohn)))

Complex sentences

- *Complex sentences* dibuat dari gabungan atomic sentences menggunakan connectives

$$\neg S,\ S_1 \wedge S_2,\ S_1 \vee S_2,\ S_1 \Rightarrow S_2,\ S_1 \Leftrightarrow S_2,$$

E.g.

$Sibling(KingJohn,Richard) \Rightarrow Sibling(Richard,KingJohn)$

$Brother(KingJohn,RichardTheLionheart) \Rightarrow$

$Married(FatherOf(Richard), MotherOf(KingJohn)))$

$>(1,2) \vee \leq (1,2)$

$>(1,2) \wedge \neg >(1,2)$

Universal Quantifier

$$\forall < \mathrm{var} >< sentence >$$

Semua mahasiswa maranatha pintar

$$\forall x, Univ(x, maranatha) \rightarrow Smart(x)$$

Pernyataan di atas dikatakan benar jika pernyataan tersebut benar untuk semua kemungkinan x yang ada.,atau dengan kata lain pernyataan diatas ekivalent dengan gabungan semua pernyataan dengan instansiasi x

$$Univ(A, maranatha) \rightarrow Smart(A)$$

$$\wedge Univ(B, maranatha) \rightarrow Smart(B)$$

$$\wedge Univ(C, maranatha) \rightarrow Smart(C)$$

$$\wedge \ldots$$

Common mistakes

Biasanya $\Rightarrow$ adalah penghubung yang umumnya digunakan untuk $\forall$

Kesalahan umum yang perlu dihindari adalah menggunakan $\wedge$ dengan $\forall$:

Contoh :

$$\forall x \;\; Univ(x, maranatha) \wedge Smart(x)$$

Jadi memiliki arti semua orang beruniversitas di maranatha dan semua orang pintar

Existential quantifier

$$\exists < \text{var} >< sentence >$$

Ada mahasiswa maranatha yang pintar

$$\exists x, Univ(x, maranatha) \wedge Smart(x)$$

Pernyataan di atas dikatakan benar jika pernyataan tersebut benar untuk minimal 1 kemungkinan x yang ada

$$Univ(A, maranatha) \rightarrow Smart(A)$$

$$\vee Univ(B, maranatha) \rightarrow Smart(B)$$

$$\vee Univ(C, maranatha) \rightarrow Smart(C)$$

$$\vee \ldots$$

Common mistakes

Biasanya $\wedge$ adalah penghubung yang umumnya digunakan untuk $\exists$

Kesalahan umum yang perlu dihindari adalah menggunakan $\Rightarrow$ dengan $\exists$:

Misalnya:

$$\exists x \quad Univ\ (x, Maranatha) \Rightarrow Smart\ (x)$$

yang benar bahkan jika ada seseorang yang tidak berkuliah di Maranatha

FOL Sentences

- Semua bebek bisa berenang

  $\forall x \; bebek(x) \Rightarrow berenang(x)$

- A baby toy is a toy played by a baby

  $\forall x,y \; Toy(x) \wedge Baby(y) \wedge Play(y,x) \Rightarrow BabyToy(x)$

- Ada Tanaman yang berduri

  $\exists x \; Tanaman(x) \wedge Berduri(x)$

- Penguins are birds that can not fly

  $\forall x \; Penguin(x) \Rightarrow bird(x) \wedge \neg fly(x)$

Exercise (1)

- Kucing adalah mamalia
  - $\forall x.\ Kucing(x) \rightarrow Mamalia(x)$
- SBY adalah pejabat tinggi di suatu negara
  - $\exists x.\ PejabatTinggi(SBY) \wedge Negara(x)$
- Setiap orang mencintai seseorang
  - $\forall x\ \exists y.\ Mencintai(x, y)$
- Seorang cucu adalah anaknya dari anak
  - $\forall x\ \forall y.\ x = Cucu(y) \leftrightarrow \exists z.\ x = Anaknya(z) \wedge z = Anaknya(y)$

Exercise (II)

- Tidak ada seorangpun yang mencintai Udin
  - $\forall x.\ \neg Mencintai(x, Udin)$
  - $\neg \exists x. Mencintai(x, Udin)$
- Semua orang memiliki ayah
  - $\forall x\ \exists y.\ Ayah(y, x)$
- Semua orang memiliki ayah dan ibu
  - $\forall x\ \exists y\ \exists z.\ Ayah(y, x)\ \wedge\ Ibu(z, x)$
- Siapapun yang memiliki ayah pasti memiliki ibu
  - $\forall x\ [[\exists y.\ Ayah(y, x)] \rightarrow [\exists y. Ibu(y, x)]]$

Properties of Quantifier

$\forall x \; \forall y$ is the same as $\forall y \; \forall x$ (why??)

$\exists x \; \exists y$ is the same as $\exists y \; \exists x$ (why??)

$\exists x \; \forall y$ is not the same as $\forall y \; \exists x$

$\exists x \; \forall y \; Loves(x, y)$
"There is a person who loves everyone in the world"

$\forall y \; \exists x \; Loves(x, y)$
"Everyone in the world is loved by at least one person"

Quantifier duality: each can be expressed using the other

$\forall x \; Likes(x, IceCream) \qquad \neg \exists x \; \neg Likes(x, IceCream)$

$\exists x \; Likes(x, Broccoli) \qquad \neg \forall x \; \neg Likes(x, Broccoli)$

Terminological fact

Disjointness : menyatakan satu predikat menegasikan predikat yg lain
e.g. $\forall x$ *Man (x)* $\Rightarrow$ $\neg$*Woman (x)*

Subtypes: specialization
e.g. $\forall x$ *Surgeon (x)* $\Rightarrow$ *Doctor (x)*

Exhaustiveness:
e.g. $\forall x$ *Adult(x)* $\Rightarrow$ *(Man (x)* $\vee$ *Woman (x))*

Symmetry:
e.g. $\forall x, y$ *Sibling (x, y)* $\Rightarrow$ *Sibling (y, x)*

Inverse:
e.g. $\forall x, y$ *ChildOf (x, y)* $\Rightarrow$ *ParentOf (y, x)*

Type Restrictions:
e.g. $\forall x, y$ *MarriedTo (x, y)* $\Rightarrow$ *Person (x)* $\wedge$ *Person (y)*

How to infer fact in KB ??

- Menggunakan
  - Modus ponens,
  - And-elimination,
  - And-introduction,
  - Or-introduction,
  - Resolution.

$$\frac{\alpha \Rightarrow \beta, \alpha}{\beta} \qquad \frac{\alpha \Rightarrow \beta, \neg\beta}{\neg\alpha} \qquad \frac{a_1 \wedge a_2 \wedge a_3 \wedge \ldots\ldots \wedge a_n}{a_i}$$

$$\frac{a_1, a_2, a_3, \ldots\ldots, a_n}{a_1 \wedge a_2 \wedge a_3 \wedge \ldots\ldots \wedge a_n} \qquad \frac{a_i}{a_1 \vee a_2 \vee a_3 \vee \ldots\ldots \vee a_n}$$

$$\frac{\alpha \vee \beta, \neg\beta \vee \gamma}{\alpha \vee \gamma} \qquad \frac{\neg\alpha \Rightarrow \beta, \beta \Rightarrow \gamma}{\neg\alpha \Rightarrow \gamma}$$

- Bagaimana dengan quantifier ?

Additional rules

- SUBST{θ, α} → substitute θ to sentence α
  - ex : subs {(x/Sam, y/Pam), likes(x, y)} → Likes(Sam,Pam)
- Untuk menangani quantifier, kita memerlukan aturan tambahan:

Additional rules (I)

Universal elimination :

$$\frac{\forall v, \alpha}{SUBST\{(v/g), \alpha\}}$$

$$\forall x, likes(x, IceCream)$$

$$\{x/Ben\}$$

$$likes(Ben, IceCream)$$

Additional rule (2)

Existential elimination:

$$\frac{\exists v, \alpha}{SUBST\{(v/k), \alpha\}}$$

$$\exists x, Kill(x, victim)$$

$$\{x / Ben\}$$

$$Kills(Ben, victim)$$

Additional rule (3)

Existential introduction:

$$\frac{\alpha}{\exists v, SUBST\{(g / v), \alpha\}}$$

$$likes(Ben, IceCream)$$

$$\exists x, likes(x, IceCream)$$

An example proof

*The law says that it is a **crime** for an American to sell weapon to **hostile nations**.*

*The Nation nono , an **enemy** of America, **has** some missiles,and all of its missile were **sold** to it by colonel west, who is an American*

Question ??

Who is the criminal ?

Solution ??

West is a criminal …
how do we infer this fact from the KB ??

Example proof(2)

It is a crime for an American to sell weapons to hostile nation

$$\forall x, y, z, American(x) \wedge Weapon(y) \wedge Nation(z) \wedge Hostile(z) \wedge Sells(x, y, z) \Rightarrow Criminal(x)$$

Example proof(3)

- Nono… has some missile

$$\exists x, Missile(x) \wedge Owns(Nono, x)$$

Example proof(4)

All of its missile were sold to it by colonel west

$$\forall x, \mathrm{Missile}(x) \wedge \mathrm{Owns}(\mathrm{Nono}, x) \Rightarrow \mathrm{Sells}(\mathrm{West}, \mathrm{Nono}, x)$$

Example proof(5)

Missile are weapons

$$\forall x, \text{Missile}(x) \Rightarrow \text{Weapon}(x)$$

Example proof(6)

Enemy of America counts as hostile.

$$\forall x, Enemy(x, America) \Rightarrow Hostile(x)$$

Example proof(7)

West is an american .

$$American(West)$$

Nono is a country

$$Country(Nono)$$

Example proof(7)

Nono is an enemy of America:

$$Enemy(Nono, America)$$

America is a country:

$$Country(America)$$

Example proof(8) – The Complete KB and Facts

1 $\forall x, y, z, American(x) \wedge Weapon(y) \wedge Nation(z) \wedge Hostile(z) \wedge Sells(x, y, z) \Rightarrow Criminal(x)$

2 $\forall x, Missile(x) \Rightarrow Weapon(x)$

3 $American(West)$

4 $\exists x, Missile(x) \wedge Owns(Nono, x)$

5 $\forall x, Enemy(x, America) \Rightarrow Hostile(x)$

6 $\forall x, Missile(x) \wedge Owns(Nono, x) \Rightarrow Sells(West, Nono, x)$

7 $Enemy(Nono, America)$

8 $Country(America)$

9 $Country(Nono)$

Inference

1. Existential elimination (rule 4)

$$\exists x, Missile(x) \wedge Owns(Nono, x)$$

$$\downarrow$$

$$Missile(M1) \wedge Owns(Nono, M1)$$

Inference

2. And elimination (slide inference 1)

$$Missile(M1) \wedge Owns(Nono, M1)$$

$$\downarrow$$

$$Owns(Nono, M1)$$

$$Missile(M1)$$

Inference

3. Universal elimination (rule 2)

$$\forall x, Missile(x) \Rightarrow Weapon(x)$$

$$\downarrow$$

$$Missile(M1) \Rightarrow Weapon(M1)$$

Inference

4. Modus Ponens (slide inference 2 dan 3)

$$Missile(M1)$$

$$Missile(M1) \Rightarrow Weapon(M1)$$

$$\Big\downarrow$$

$$Weapon(M1)$$

Inference

5. Universal elimination (rule 6 dan slide inference 2)

$$\forall x, Missile(x) \wedge Owns(Nono, x)$$
$$\Rightarrow Sells(West, Nono, x)$$

$$\downarrow$$

$$Missile(M1) \wedge Owns(Nono, M1)$$
$$\Rightarrow Sells(West, Nono, M1)$$

Inference

- 6. Modus Ponens (slide inference 1 dan 5)

$$\mathrm{Missile}(\mathrm{M1}) \wedge \mathrm{Owns}(\mathrm{Nono}, \mathrm{M1})$$

$$\mathrm{Missile}(\mathrm{M1}) \wedge \mathrm{Owns}(\mathrm{Nono}, \mathrm{M1}) \Rightarrow$$

$$\mathrm{Sells}(\mathrm{West}, \mathrm{Nono}, \mathrm{M1})$$

$$\downarrow$$

$$Sells(West, Nono, M1)$$

Inference

7. Universal elimination (rule 1, inf. slide 4, rule 9, inf. slide 6)

$$\forall x, y, z, \text{American}(x) \wedge \text{weapon}(y) \wedge$$
$$\text{Country}(z) \wedge \text{Hostile}(z) \wedge \text{Sells}(x, y, z)$$
$$\Rightarrow \text{Criminal}(x)$$

$$\Big\downarrow$$

$$\text{American}(\text{West}) \wedge \text{Weapon}(\text{M1}) \wedge$$
$$\text{Country}(\text{Nono}) \wedge \text{Hostile}(\text{Nono}) \wedge \text{Sells}(\text{West}, \text{Nono}, \text{M1})$$
$$\Rightarrow \text{Criminal}(\text{West})$$

Inference

8. Universal elimination (rule 6 dan 9)

$$\forall x, Enemy(x, America) \Rightarrow Hostile(x)$$

$$\Big\downarrow$$

$$Enemy(Nono, America) \Rightarrow Hostile(Nono)$$

Inference

9. Modus Ponens (rule 7 dan inf. slide 8)

$$Enemy(Nono, America)$$

$$Enemy(Nono, America) \Rightarrow Hostile(Nono)$$

$$\downarrow$$

$$Hostile(Nono)$$

Inference

10. And introduction (semua fakta untuk rule premis 1 tersedia)

$American(West)$ $Weapon(M1)$ $Country(nono)$

$Hostile(nono)$ $Sells(West, Nono, M1)$

$$\Downarrow$$

$$American(West) \wedge Weapon(M1) \wedge$$
$$Country(Nono) \wedge Hostile(Nono)$$
$$\wedge\, Sells(West, Nono, M1)$$

Inference

11. Modus Ponens (inf. slide 10 dan consequence rule 1)

$$\forall x, y, z, \text{American}(x) \wedge \text{Weapon}(y) \wedge \text{Country}(z) \wedge \text{Hostile}(z) \wedge \text{Sells}(x, y, z) \Rightarrow \text{Criminal}(x)$$

$$American(West) \wedge Weapon(M1) \wedge Country(Nono) \wedge Hostile(Nono) \wedge Sells(West, Nono, M1)$$

$$\Big\downarrow \ \text{Subs(x \textbackslash\ West)}$$

$$\text{Criminal(West)}$$

Problems FOL ??

- Semakin besar knowledge base maka semakin besar branching factor, dan mengakibatkan inferensi semakin rumit
- Universal elimination sendiri memiliki branching factor yang sangat besar, karena kita bisa mengganti variable dengan semua nilai yang mungkin
- Kita menghabiskan waktu mengabungkan atomic sentence dalam bentuk conjunction, universal elimination dan modus ponens terus menerus

Sistem Pakar Investasi (1)

Knowledge Base:

1. $\neg$jumlah_tabungan(mencukupi) ➔ investasi(menabung)
2. jumlah_tabungan(mencukupi) ^ penghasilan(memadai) ➔ investasi(stok)
3. jumlah_tabungan(mencukupi) ^ $\neg$penghasilan(memadai) ➔ investasi(kombinasi)
4. $\forall$ X saldo_tabungan(X) ^ $\exists$ Y (jumlah_tertanggung(Y) ^ lebih_besar(X, minimal_tabungan(Y))) ➔ jumlah_tabungan(mencukupi)
5. $\forall$ X saldo_tabungan(X) ^ $\exists$ Y (jumlah_tertanggung(Y) ^ $\neg$lebih_besar(X, minimal_tabungan(Y))) ➔ $\neg$jumlah_tabungan(mencukupi)
6. $\forall$ X pendapatan(X, tetap) ^ $\exists$ Y (jumlah_tertanggung(Y) ^ lebih_besar(X, minimal_penghasilan(Y))) ➔ penghasilan(memadai)

Sistem Pakar Investasi (II)

7. $\forall$ X pendapatan(X, tetap) ^ $\exists$ Y (jumlah_tertanggung(Y) ^ ¬lebih_besar(X, minimal_penghasilan(Y))) ➔ ¬penghasilan(memadai)
8. $\forall$X ¬ pendapatan(X, tetap) ➔ ¬ penghasilan(memadai)
9. minimal_tabungan(X) = 5000 * X, dimana X = jumlah tertanggung
10. minimal_penghasilan = 15000 + (4000 * X), dimana X = jumlah tertanggung

<u>Facts</u>:

1. saldo_tabungan(22000)
2. pendapatan(25000, tetap)
3. jumlah_tertanggung(3)

Sistem Pakar Investasi (III) - SOAL

- Terjemahkan setiap aturan dan fakta pada slide sebelumnya menjadi kalimat biasa
- Lakukan **<u>inferensi</u>** untuk mencari jenis investasi sesuai dengan basis pengetahuan di atas:
  a. Unifikasikan fakta nomor 2 dan 3 dengan aturan nomor 7.
  b. Gunakan modus ponens dari a. untuk membentuk fakta baru.
  c. Unifikasikan fakta nomor 1 dan 3 dengan aturan nomor 4.
  d. Gunakan modus ponens dari c. untuk membentuk fakta baru.
  e. Simpulkan jenis investasi apakah yang harus dilakukan ? Aturan nomor 1, 2 atau 3 ?