

Logika Proporsional

5.1 Tujuan Instruksional

- Mahasiswa mengerti nilai kepentingan representasi pengetahuan dalam agen cerdas
- Mahasiswa mengerti penggunaan logika formal sebagai sebuah bentuk bahasa untuk merepresentasikan pengetahuan
- Mahasiswa dapat mengaplikasikan konsep-konsep logika: syntax, semantics, validity, satisfiability, interpretation and models, entailment
- Mahasiswa dapat memakai konsep di atas dalam logika proporsional
- Mahasiswa dapat memakai berbagai mekanisme inferensi dalam logika proporsional

Pada akhir sesi ini, mahasiswa harus dapat melakukan:

- Merepresentasikan bahasa alamiah sebagai pernyataan logika
- Menggunakan aturan inferensi untuk mendeduksi kalimat baru dalam logika

5.2 Representasi Pengetahuan dan Penalaran

Agen cerdas harus memiliki kapasitas untuk:

- **Perceiving**, yaitu menerima informasi dari lingkungan.
- **Knowledge Representation**, yaitu merepresentasikan pengertian yang dimilikinya terhadap lingkungan.
- **Reasoning**, yaitu melakukan penalaran terhadap implikasi dari yang diketahui dan pilihan yang tersedia.
- **Acting**, yaitu memilih yang “ingin” dilakukan dan melakukannya.

Representasi pengetahuan dan proses inferensi adalah hal utama dalam seluruh bidang dalam kecerdasan buatan. Komponen utama dalam agen berbasis pengetahuan adalah basis pengetahuannya. Basis pengetahuan adalah sebuah himpunan kalimat. Setiap kalimat diekspresikan dalam sebuah bahasa yang disebut dengan bahasa untuk merepresentasikan pengetahuan (knowledge representation language). Kalimat merepresentasikan beberapa konfirmasi dari dunia nyata. Harus ada mekanisme untuk menyusun kalimat baru dari keadaan lama. Proses ini disebut dengan penalaran. Aturan dalam inferensi harus memperhatikan persyaratan utama, yaitu bahwa kalimat baru harus secara logis dapat diturunkan dari kalimat sebelumnya.

Logika adalah alat utama untuk merepresentasikan dan bernalar tentang pengetahuan. Secara khusus, diperlukan adanya kemampuan untuk bernalar secara logis formal. Keuntungan menggunakan bahasa yang logis formal dalam kecerdasan buatan, adalah bahwa bahasa merepresentasikan hal yang terbatas dan secara tepat. Dengan demikian akan dapat ditulis program secara deklaratif, yaitu menggambarkan apa yang benar dan tidak dalam pemecahan masalah. Hal ini juga akan mengijinkan terjadinya penalaran otomatis yang diperlukan dalam penalaran umum.

Mengenai logika, juga dapat disampaikan beberapa keterbatasan. Sebagian besar penalaran yang dilakukan oleh manusia tergantung pada pengetahuan yang tidak pasti. Logika tidak dapat

merepresentasikan ketidakpastian seperti ini. Lebih spesifik lagi, penalaran dengan bahasa alamiah memerlukan penalaran untuk keadaan yang tersembunyi, yaitu: niat dari orang yang mengucapkan. Ketika orang menyebutkan bahwa, "Satu dari ban di mobil ini kempes", maka kita tahu bahwa ada 3 ban lagi yang tersisa (kalau memang mobil berban 4). Manusia akan dapat mengatasi berbagai jenis pengucapan / emosi / lafal, namun logis formal mengalami kesulitan dalam hal-hal yang ambigu seperti ini.

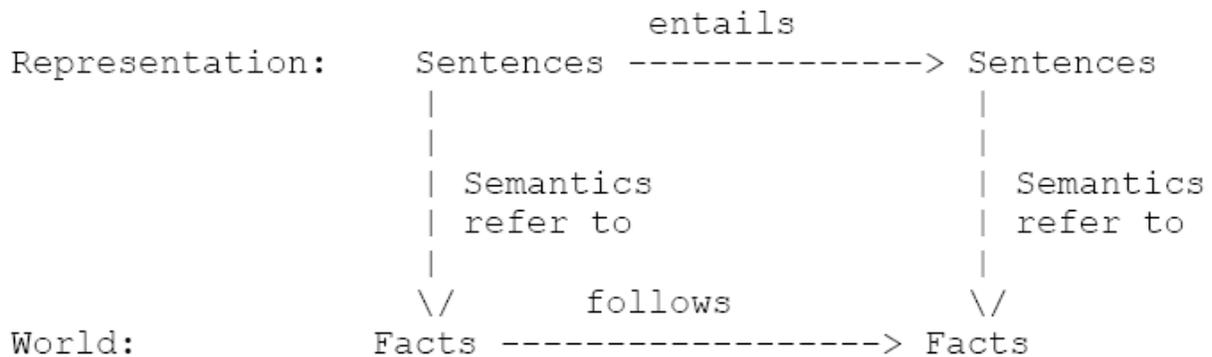
Sebuah logika terdiri atas dua bagian, yaitu: bahasa dan cara penalaran. Bahasa logika, memiliki dua aspek, yaitu: sintaks dan semantik. Dengan demikian, untuk menspesifikasikan logika secara khusus, diperlukan tiga hal sebagai berikut:

Sintaks: simbol atomik dari bahasa logika, dan aturan konstruksi bahasa yang baku, atau merupakan ekspresi non-atomik (struktur simbol) dari sebuah logika. Sintaks akan menspesifikasikan simbol-simbol dalam sebuah bahasa, dan bagaimana simbol dikombinasikan untuk membentuk kalimat. Dari sini terlihat bahwa fakta dalam dunia akan direpresentasikan melalui kalimat di dalam logika.

Semantik: arti dari simbol atomik dalam logika, dan aturan untuk mendeterminasikan arti dari ekspresi non-atomik di dalam logika. Semantik menspesifikasikan fakta-fakta dalam dunia yang direferensikan melalui sebuah kalimat. Dengan demikian, juga memberikan cara tentang bagaimana sebuah kebenaran didasari dengan artinya di dunia nyata. Sebuah **fakta** adalah klaim terhadap dunia, dan bisa bernilai salah atau benar.

Metode Penalaran Sintaksis: aturan untuk mendeterminasikan himpunan bagian dalam ekspresi logikal, disebut juga dengan teorema. Penalaran akan memberikan metode untuk menghasilkan kalimat baru (yang bernilai benar), dengan diturunkan dari kalimat yang sudah ada sebelumnya.

Fakta adalah klaim tentang kenyataan di dunia yang bisa bernilai benar atau salah. Representasi adalah sebuah ekspresi (kalimat) dalam bahasa tertentu yang dapat dikodekan ke dalam program komputer dan memiliki arti khusus untuk objek dan relasi dalam dunia nyata. Harus dipastikan bahwa representasi konsisten dengan kenyataan, sehingga gambar berikut ini berlaku:



Ada beberapa sistem logika yang memiliki sintaks dan semantik yang berbeda-beda, di bawah ini adalah beberapa contoh:

- Logika proporsional: semua obyek yang digambarkan dalam logika adalah pasti atau unik.
Contoh:
"Andi adalah seorang mahasiswa"
Mahasiswa(Andi). Dalam hal ini Andi mengacu kepada individu yang unik.

- Logika predikat orde pertama: obyek yang digambarkan bisa unik ataupun variabel yang mengacu pada obyek tertentu.

Contoh:

“Semua mahasiswa miskin”

$\forall s$ (mahasiswa(s) \rightarrow miskin(s))

Dalam hal ini “s” dapat merepresentasikan banyak mahasiswa yang unik.

- Temporal
Merepresentasikan kebenaran dalam jangka waktu tertentu.
- Modal
Merepresentasikan ketidakpastian.
- Logika orde tinggi
Mengijinkan variabel untuk merepresentasikan banyak relasi antar obyek.
- Non-monotonic
Merepresentasikan nilai default.

Logika proporsional adalah salah satu sistem logika yang sederhana dan dapat digunakan untuk keadaan dunia yang tidak kompleks, serta hanya bisa merepresentasikan satu kepastian nilai kebenaran.

5.3 Logika Proporsional

Dalam logika proporsional, pengguna dapat mendefinisikan sebuah himpunan simbol proporsional, seperti P, Q, X, Z, dsb, dengan arti yang spesifik terhadap simbol-simbol tersebut. Contoh:

- P, berarti “Hari ini panas”
- Q, berarti “Hari ini lembab”
- R, berarti “Hari hujan”, dst.

Sebuah kalimat (sentence, kadang-kadang disebut juga formula atau well-formed formula atau wff), didefinisikan sebagai:

1. Sebuah simbol.
2. Jika S adalah sebuah kalimat, maka $\neg S$ adalah sebuah kalimat. Dimana “ \neg ”, berarti “not” dalam operator logika.
3. Jika S dan T adalah kalimat, maka $(S \vee T)$, $(S \wedge T)$, $(S \Rightarrow T)$, and $(S \Leftrightarrow T)$ adalah kalimat pula. Dimana keempat relasi di atas adalah operator “or”, “and”, “implies”, dan “if and only if”.
4. Jumlah pengaplikasian nomor 1 – 3 yang terbatas (sesuai dengan lingkungan dalam dunia).

Contoh kalimat dalam logika proporsional:

- o $(P \wedge Q) \Rightarrow R$ (berarti "Jika hari panas dan lembab, maka akan turun hujan")
- o $Q \Rightarrow P$ (berarti "Jika hari lembab, maka hari panas")
- o Q (berarti "Hari lembab")

Diberikan nilai kebenaran untuk semua simbol di dalam kalimat, maka kalimat akan dapat “dievaluasi” untuk menentukan apakah keseluruhan bernilai benar atau salah. Hal ini dinamakan dengan **interpretasi**.

Sebuah **model** untuk interpretasi adalah struktur matematika formal sesuai dengan kenyataan di dunia, yang akan menentukan nilai kebenaran (true or false) dari simbol dalam kalimat.

Kalimat **valid** adalah (disebut juga **tautologi**), adalah sebuah kalimat yang akan selalu bernilai benar dalam kondisi interpretasi apapun. Dengan demikian, tanpa peduli keadaan dunia yang sesungguhnya, selalu bernilai benar. Contoh: “Hari hujan or hari tidak hujan”.

Kalimat yang **inkonsisten** (disebut juga dengan **kontradiksi** atau **unsatisfiable**) adalah kalimat yang bernilai salah dalam semua kondisi. Dengan demikian keadaan dunia selalu tidak sesuai dengan yang dinyatakan. Sebagai contoh: “Hari hujan and tidak hujan”.

Kalimat P **entails** kalimat Q, dituliskan $P \models Q$, berarti jika P adalah benar, maka Q juga bernilai benar. Dengan kalata lain, semua model P adalah juga model bagi Q.

Contoh **entailment**: $p \wedge (p \Rightarrow q) \models q$. Jika keseluruhan kalimat bernilai benar, maka $p \Rightarrow q$ juga harus bernilai benar, yang mengindikasikan bahwa q harus selalu bernilai benar.

Untuk membuktikan bahwa entailment berlaku untuk dua buah kalimat, perlu dilakukan pembuktian secara **equivalence**. Dua kalimat disebut equivalence, jika kedua memiliki model yang sama persis, atau dengan kata lain nilai kebenaran yang sama. Contoh untuk membuktikan bahwa

$p \Rightarrow q \equiv \neg p \vee q$, maka diperlukan pembuktian dua arah, yaitu:
 $p \Rightarrow q \models \neg p \vee q$, dan $\neg p \vee q \models p \Rightarrow q$. Untuk pembuktian yang pertama, akan dapat berlaku untuk semua kondisi $\neg p$, kemudian untuk pembuktian kedua, berlaku juga untuk p .

Entailment memerlukan justifikasi untuk semua kalimat yang menyusunnya, yaitu bahwa

$p_1 \wedge \dots \wedge p_n \models q$, dimana q adalah konklusi model dari p_1, \dots, p_n .

5.4 Penalaran Logika Proporsional

Jika diketahui $KB = \{s_1, \dots, s_m\}$, adalah himpunan semua kalimat dalam basis pengetahuan, dimana setiap si adalah sebuah kalimat dalam logika proporsional. Diketahui pula $\{x_1, \dots, x_n\}$ adalah himpunan semua simbol atau variabel, yang terdapat di dalam semua m kalimat pada basis pengetahuan. Katakan ingin diketahui sebuah goal (atau query, konklusi atau theorem) sebuah kalimat G dari KB.

5.4.1 Model Checking

Karena komputer tidak mengetahui interpretasi dari kalimat-kalimat di dalam dunia nyata, maka tidak dapat diketahui pula apakah nilai kebenaran dari simbol-simbol proposional yang ada. Sebagai gantinya, diperlukan adanya kombinasi semua kombinasi kemungkinan nilai kebenaran simbol, sehingga menghasilkan sebuah tabel yang berisi daftar semua kasus yang berbeda, contohnya:

X1	X2	...	XN	S1	S2	...	SM	S1 ^ S2 ^ ... ^ SM	G	(S1 ^ ... ^ SM) => G
F	F	...	F							
F	F	...	T							
...										
T	T	...	T							

- Terdapat 2^N baris di dalam tabel.
- Setiap baris korespondensi dengan sebuah kelas equivalence dari kenyataan, di bawah sebuah interpretasi, memiliki nilai kebenaran untuk setiap N simbol dalam baris tersebut.
- Model dari basis pengetahuan adalah baris yang kolom ketiga dst, bernilai benar, yaitu pada saat semua kalimat di dalam basis pengetahuan bernilai benar.
- Sebuah kalimat R, disebut **valid** jika dan hanya jika, bernilai benar dalam semua kemungkinan interpretasi, yaitu jika semua kolom untuk kalimat R bernilai benar.
- Karena tidak diketahui semantik dari setiap simbol benar atau salah, untuk menentukan apakah kalimat G merupakan hasil **entailment** dengan KB, maka **semua** model di dalam KB harus ditelusuri. Yaitu jika KB bernilai benar, maka G juga benar. Dengan kata lain, jika kolom ketiga sampai akhir memiliki nilai benar, maka baris yang sama pada kolom kedua sampai terakhir juga akan memiliki nilai benar. Tapi ini adalah sebuah equivalensi, yang valid juga, yaitu: jika kolom terakhir dari tabel memiliki nilai benar, maka **KB entails G**, atau konklusi terhadap G adalah hasil interpretasi semua premis di dalam KB.
- Metode dengan pembuatan tabel kebenaran untuk logika proposional dapat dikatakan **complete**, karena setiap kombinasi untuk 2^N baris simbol akan dapat selalu dibuat. Namun hasilnya adalah eksponensial dalam N. Secara umum, tentu akan memerlukan waktu yang eksponensial pula (NP-complete), untuk menelusuri semua kombinasi simbol logika proposional. Dengan demikian metode pembuatan tabel kebenaran tidak lengkap untuk logika tingkat pertama (First Order Logic = satu simbol satu arti).

Contoh:

Dengan menggunakan kalimat “cuaca” sebelumnya, anggaplah terdapat sebuah KB = $((P \wedge Q) \Rightarrow R) \wedge (Q \Rightarrow P) \wedge Q$.

Sesuai dengan fakta yang diketahui tentang cuaca:

1. Jika hari panas dan lembab maka akan hujan.
2. Jika hari lembab maka panas.
3. Hari lembab.

Coba sekarang masukkan query: “Apakah hari akan hujan?”. Yaitu query untuk kalimat R yang entailed dari KB. Dengan menggunakan metode tabel kebenaran akan diperoleh:

P	Q	R	$(P \wedge Q) \Rightarrow R$	$Q \Rightarrow P$	KB	R	$KB \Rightarrow R$
T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	F	F	T	F	F	T
T	F	T	T	T	F	T	T
T	F	F	T	T	F	F	T
F	T	T	T	F	F	T	T
F	T	F	T	F	F	F	T
F	F	T	T	T	F	T	T
F	F	F	T	T	F	F	T

Dalam kasus ini hanya terdapat satu KB, dimana berlaku bahwa ketika semua P, Q, dan R bernilai benar, maka R akan di-entailed dari KB. Dari kolom terakhir terlihat pula bahwa semua nilai kebenaran KB bernilai benar, atau dengan kata lain $KB \Rightarrow R$ adalah valid.

Adakah cara yang lebih cepat dibandingkan dengan pembuatan tabel kebenaran? Dalam hal ini dapat digunakan prosedur pembuktian (**proof procedure / inference procedure / rules of inference**), yang akan menurunkan kalimat baru dengan premis bernilai benar. Ambil contoh sebagai berikut:

P	Q	P	$P \Rightarrow Q$	$P \wedge (P \Rightarrow Q)$	Q	$(P \wedge (P \Rightarrow Q)) \Rightarrow Q$
F	F	F	T	F	F	T
F	T	F	T	F	T	T
T	F	T	F	F	F	T
T	T	T	T	T	T	T

Jika P dan $P \Rightarrow Q$, bernilai benar (lihat kolom terakhir), maka dapat disimpulkan bahwa Q benar juga. Nilai kebenaran Q dapat diturunkan dari dua premis sebelumnya, atau dapat dituliskan $KB \vdash Q$. Kondisi seperti ini disebut dengan **modus ponens**.

Cara kerja seperti ini disebut dengan Prosedur Deduksi Alamiah (**Natural Deduction Procedure**), yaitu secara bertahap menghasilkan kalimat baru, yang dideduksi / diturunkan dari kalimat sebelumnya dengan memperhatikan **proof procedure** yang berlaku. Perlu diperhatikan pula bahwa kalimat baru yang dihasilkan tidak akan membuat kalimat sebelumnya menjadi tidak berlaku (hukum kebalikan tidak berlaku).