Sistemi a regole [di produzione]

Maria Simi
a.a. 2011/2012

Sistemi a regole

- Fin qui: sistemi a regole come caso particolare di inferenza logica
- I sistemi "a regole" sono storicamente uno dei meccanismi di rappresentazione della conoscenza e ragionamento più utilizzati nella costruzione di sistemi esperti
- OPS5, CLIPS sono sistemi a regole "in avanti"

Sistemi a regole di produzione

- Uno dei primi paradigmi di rappresentazione della conoscenza (di sapore "procedurale") in I.A.
- Un modello del processo di risoluzione dei problemi da parte dell'uomo.
  - è naturale esprimere competenze sotto forma di regole del tipo "*se ... allora ...*".
  - i *sistemi esperti* di prima generazione sono quasi tutti sistemi a regole.

Modello di computazione

- Programmazione (o regime di controllo) *guidata da pattern*: quello che viene eseguito al passo successivo è determinato da una attività di *pattern matching*.
- Modello di computazione del tutto generale (stessa potenza della macchina di Turing).

Pattern matching e unificazione

- *Unificazione*: le variabili possono essere in entrambe le espressioni da unificare
  - lo abbiamo visto con i linguaggi logici
- *Pattern matching*
  - si tratta di identificare una sostituzione che rende un *pattern* e un enunciato identici.
  - le variabili sono solo nei pattern, non negli enunciati (componenti dello stato)
  - è un caso particolare di unificazione

Pattern matching

- Se ha successo viene calcolata una "lista di legami per le variabili"
- Esempio:

```
p=(P ?x 0 ?x)
s=(P 3 0 3)
Risultato: {(?x 3)}

p=(P ?x ?y ?x)
s=(P 3 0 4)
Risultato: fail
```

Si può usare lo stesso algoritmo usato per unificazione

Definizione di sistema di produzione
(sistema a regole con concatenazione "in avanti")

Un sistema con 4 componenti:

1. un insieme di *regole di produzione* (o *regole*, o *produzioni*) nella forma:

   condizione ⇒ *azione*

   antecedente ⇒ *conseguente*

   dove:
   - l'*antecedente* è uno schema (o *pattern*) che esprime una condizione che determina l'applicabilità della regola;
   - il *conseguente* determina il passo di risoluzione del problema da effettuare: l'aggiunta di un nuovo fatto allo stato corrente, una modifica dello stato, … una qualunque azione

Definizione (cont.)

2. Una *memoria di lavoro* (WM - Working Memory) che contiene una descrizione dello stato corrente della computazione.

   Nei sistemi "in avanti" la WM contiene all'inizio una descrizione dello stato iniziale.

Definizione (cont.)

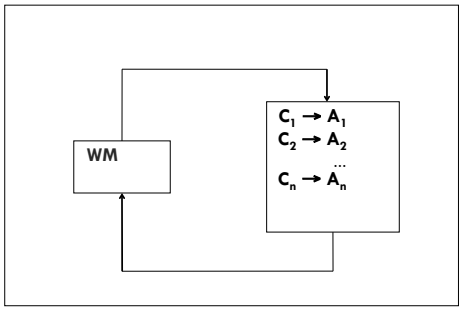
3. Un *interprete* che esegue un ciclo "riconosci-agisci". Ad ogni passo:
   - individua l'insieme delle *regole applicabili* (mediante *pattern matching*); questo è *l'insieme dei conflitti*;
   - ne sceglie una, mediante una *strategia di risoluzione dei conflitti*;
   - Attiva|"fa scattare" la regola (*fire*), cioè esegue la parte azione (tipicamente istanziata).

   Questo cambia il contenuto della WM e il ciclo si ripete fino ad una condizione di terminazione (successo) o finché non ci sono più regole applicabili (fallimento).

Definizione (cont.)

4. Strategia di risoluzione dei conflitti per decidere quale regola applicare tra quelle applicabili:
- "prendi la prima regola applicabile"
- euristiche di utilità generale (le vediamo dopo)
- euristica sofisticata dipendente dal dominio

Schema di funzionamento



Un esempio

- Un semplice sistema di produzioni per ordinare una stringa fatta di "a", "b" e "c".
- *Insieme di regole*:
  1. ba ⇒ab
  2. ca ⇒ ac
  3. cb ⇒ bc
- *Memoria di lavoro*: la stringa in una fase intermedia del processo di ordinamento (all'inizio la stringa da ordinare).
- *Strategia*: la prima regola applicabile

Esempio (cont.)

Ciclo	Memoria di lavoro	Insieme dei conflitti	Regola selezionata
0	cbaca	1, 2, 3	1
1	cabca	2	2
2	acbca	2, 3	2
3	acbac	1, 3	1
4	acabc	2	2
5	aacbc	3	3
6	aabcc	0	ALT

Tanto per fissare le idee …

- Definiamo un linguaggio a regole minimale, *à la CLIPS*
  - I fatti e la memoria di lavoro (WM)
  - Le regole
  - L'interprete (il motore di inferenza)
  - L'agenda
  - Le strategie di risoluzione dei conflitti

I fatti e la memoria di lavoro

Sintassi: (<atom> <atomic-object>*)

Esempi:

(lista-spesa latte pane biscotti)

(altezza 1,80)

(luce accesa)

WM: lista di fatti (senza variabili)

Le regole

(defrule <rule-name>
<condition>* ⇒ <action>*)

- l'antecedente è una lista di condizioni, da considerare in congiunzione tra di loro. Tipicamente hanno la stessa struttura dei fatti ma contengono variabili (sono *pattern* con *variabili*).
- il conseguente è una lista di azioni che possono contenere variabili

Le azioni

- Aggiunta di un fatto alla WM:
  - (assert <fact>)
- Rimozione di un fatto: (retract <fact>)
- Per stampare: (print <string>)
- Per terminare: (return)
- Una qualunque altra azione prevista ...

Esempio: agenzia matrimoniale

(persona *nome sesso*
libero status avvenenza)

- *nome*: nome della persona
- *sesso*: M, F
- *libero*: T, NIL (vero, falso)
- *status*: 1, 2, 3, 4 a seconda di quanti soldi ha
- *avvenenza*: scarsa media buona ottima

Agenzia matrimoniale: una regola

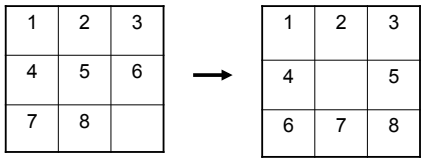
```
(defrule marry-money
   (persona ?nome_a F  T ?status_a ottima)
   (persona ?nome_o M T ?status_o scarsa)
   (< ?status_a 2) (> ?status_o 2)
    ⇒
   (retract (persona ?nome_a F T ?status_a ottima))
   (retract (persona ?nome_o M T ?status_o scarsa))
   (assert (persona ?nome_a F  NIL ?status_a ottima))
   (assert (persona ?nome_o M NIL ?status_o scarsa))
   (print ?nome_a " e " ?nome_o "si sposano, … per soldi")

WM: (persona mary F T 1 ottima)
      (persona john M T 3 scarsa)
```

L'interprete

L'interprete esegue un ciclo:

- Determina regole applicabili (costruisce agenda)
  - Mediante pattern-matching si controlla quali condizioni sono soddisfatte da fatti nella WM
  - Le "attivazioni" vengono aggiunte all'agenda: nome della regola, fatti usati, legami
- Ordina l'agenda in base ad una strategia di risoluzione dei conflitti
- Esegue la prima regola dell'agenda
  - Valuta la lista di azioni nella parte destra, istanziate dalla lista dei legami.
  - Se l'azione è (return) termina.

Il gioco dell'8 a regole



Il gioco dell' 8: rappresentazione immediata

Rappresentazione: (B 1 2 3 4 0 5 6 7 8)

1	2	3
4	0	5
6	7	8

Le regole per ↑:

```
(B ?x1 ?x2 ?x3 0 ?x4 ?x5 ?x6 ?x7 ?x8) ⇒
    (assert (B 0 ?x2 ?x3 ?x1 ?x4 ?x5 ?x6 ?x7 ?x8))
    (retract (B ?x1 ?x2 ?x3 0 ?x4 ?x5 ?x6 ?x7 ?x8))
(B ?x1 ?x2 ?x3 ?x4 0 ?x5 ?x6 ?x7 ?x8) ⇒
    (assert (B ?x1 0 ?x3 ?x4 ?x2 ?x5 ?x6 ?x7 ?x8))
    (retract (B ?x1 ?x2 ?x3 ?x4 0 ?x5 ?x6 ?x7 ?x8))
(B ?x1 ?x2 ?x3 ?x4 ?x5 0 ?x6 ?x7 ?x8) ⇒
    (assert (B ?x1 ?x2 0 ?x4 ?x5 ?x3 ?x6 ?x7 ?x8))
    (retract (B ?x1 ?x2 ?x3 ?x4 ?x5 0 ?x6 ?x7 ?x8))
(B ?x1 ?x2 ?x3 ?x4 ?x5 ?x6 0 ?x7 ?x8) ⇒ (assert (B ?x1 ?x2 ?x3 0 ?x5 ?x6 ?x4 ?x7 ?x8))…
(B ?x1 ?x2 ?x3 ?x4 ?x5 ?x6 ?x7 0 ?x8) ⇒ (assert (B ?x1 ?x2 ?x3 ?x4 0 ?x6 ?x7 ?x5 ?x8))…
(B ?x1 ?x2 ?x3 ?x4 ?x5 ?x6 ?x7 ?x8 0) ⇒ (assert (B ?x1 ?x2 ?x3 ?x4 ?x5 0 ?x7 ?x8 ?x6))…
```

… + 6 regole per ↓ + 6 regole per → + 6 regole per ← = 24

Il gioco dell' 8: un po' meno regole

Rappresentazione: (P *cifra riga colonna)*

Regole per ↑:

(P 0 2 ?y) (P ?c 1 ?y) ⇒
    Assert (P 0 1 ?y), Assert (P ?c 2 ?y),
    Retract (P 0 2 ?y), Retract (P ?c 1 ?y)

(P 0 3 ?y) (P ?c 2 ?y) ⇒
    Assert (P 0 2 ?y), Assert (P ?c 3 ?y),
    Retract (P 0 3 ?y), Retract (P ?c 2 ?y)

Totale: 8 regole

Il gioco dell' 8: ancora meno regole

Rappresentazione: (P *cifra riga colonna)*

Regola per ↑:

(P 0 ?x ?y) (?x≠1) (P ?c (?x -1) ?y) ⇒
    Assert (P 0 (?x -1) ?y), Assert (P ?c ?x ?y),
    Retract (P 0 ?x ?y), Retract (P ?c (?x -1) ?y)

Totale: 4 regole

Il gioco dell'8: considerazioni

- La rappresentazione scelta può fare la differenza nel numero delle regole necessarie
- Più espressivo il linguaggio dei pattern (e delle regole) più compatta è la rappresentazione e più complicato è il pattern-matching.
- Istanza del problema più generale: più espressivo il linguaggio di rappresentazione, più compatta la rappresentazione e più complesso il meccanismo inferenziale.

Strategie di risoluzione dei conflitti

1. *Basate sulle regole*
   - la prima regola applicabile
   - la più specifica o con condizioni più stringenti.
     Es. $c1 \wedge c2 \wedge c3 < c1 \wedge c2$; (P 0 1 2) < (P 0 ?x 2)
   - non di nuovo la stessa sotto le stesse condizioni (*rifrazione*)
   - la più trascurata: usata meno di recente
   - non di nuovo lo stesso effetto
   - la più recentemente attivata (*focus*)
   - la più plausibile (*pattern matching* approssimato)

Strategie di risoluzione dei conflitti

2 *Basate sugli oggetti*: su una graduatoria di importanza degli oggetti che compaiono nei pattern.

Esempio 1 (da Eliza):

"I know everybody laughs at me"

everybody > I

Esempio 2:

(Stanza in-fiamme)(Bambino in-pericolo) ⇒
(Salva-bambino) (Esci)

(Luce accesa) ⇒ (Spengi-luce)(Esci)

Bambino > Luce

Strategie di risoluzione dei conflitti

3. *Basate sull'effetto delle regole*: si applica una funzione di valutazione agli stati risultanti e si sceglie il migliore.

Strategie di risoluzione dei conflitti

4. *Meta-regole*: la strategia di controllo è definita tramite altre regole, che essendo regole che trattano di regole vengono dette *meta-regole*.

Esempio:

Sotto le condizione A e B
le regole che [non] menzionano X
{*del tutto* | *nell'antecedente* | *nel conseguente*}
sono {*del tutto inutili* | *probabilmente utili* |
forse utili | *molto utili*}

Meta-regole in SOAR e PRODIGY.

Complessità del pattern matching

Il problema è quello di fare un pattern-matching molti a molti tra:

- una serie di *r* regole (in OR)
- una serie di *n* antecedenti delle regole (in AND)
- una serie di *w* componenti dello stato (in OR)

(OR . . . (AND . . . (OR . . .)))

sulle regole *sulle precondizioni* *sulle comp. di stato*

Il tutto ripetuto per c cicli:

$r \times n \times w \times c$ operazioni di pattern matching!

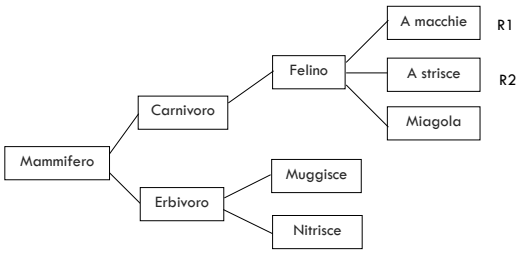
Ottimizzazioni: rete di discriminazione

- *Assunzione* 1: regole diverse possono condividere molte delle precondizioni. Esempio:

  R1: (Mammifero ?x) (Felino ?x) (Carnivoro ?x)
  (A-Macchie ?x) ⇒ (assert (Leopardo ?x))

  R2: (Mammifero ?x) (Felino ?x) (Carnivoro ?x)
  (A-Strisce ?x) ⇒ (assert (Tigre ?x))
- *Idea* : codificare gli antecedenti delle regole sotto forma di *rete di discriminazione*

Esempio di rete di discriminazione



Ottimizzazioni: calcolo incrementale

- *Assunzione 2*: l'applicazione di una regola influenza solo pochi elementi dello stato e quindi l'insieme delle regole applicabili, tipicamente, varia di poco da un ciclo all'altro
- *Idea*: restringersi alle regole la cui applicabilità è influenzata dall'ultima modifica allo stato.

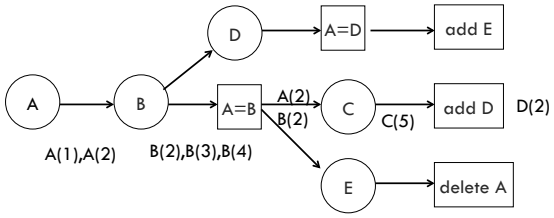
Algoritmo RETE [Forgy 1982]

Esempio: WM = {A(1), A(2), B(2), B(3), B(4), C(5)}

A(x) B(y) D(x) ⇒ add E(x)

A(x) B(x) C(y) ⇒ add D(x)

A(x) B(x) E(z) ⇒ delete A(x)



Vantaggi del paradigma a regole

1. È un modello plausibile del ragionamento umano e comunque …
2. C'è una certa naturalezza nel modellare, sotto forma di regole, il tipo di competenza di natura "euristica" dell'esperto umano
3. Implementazione naturale del paradigma di risoluzione dei problemi come ricerca

Vantaggi del paradigma a regole

4. Separazione della conoscenza (lo stato e le regole) dal controllo (l'interprete o "motore inferenziale" ⇒ possibilità di cambiare una delle due parti indipendentemente
5. Modularità della base di regole: poca interazione tra le regole (solo tramite la WM)
   ⇒ supporto per lo sviluppo incrementale
6. Possibilità di traccia e giustificazione
7. Il modello di computazione è generale, può essere adattato a linguaggi diversi (logici o meno).