

مقدمه

- عامل های مبتنی بر دانش
- محیط Wumpus
- منطق – مدل ها و استلزام
- منطق گزاره ای (بولین)
- هم ارزی، اعتبار و صدق پذیری
- قوانین استنتاج و اثبات تئوری
- زنجیره استنتاج رو به جلو (forward chaining)
- زنجیره استنتاج رو به عقب (backward chaining)
- رزولوشن

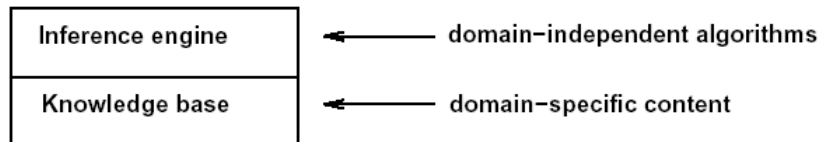
N. Razavi - AI course - 2005

2

فصل هفتم

فصل هفتم
سید ناصر رضوی
E-mail: razavi@Comp.iust.ac.ir
۱۳۸۴

پایگاه دانش



- پایگاه دانش = مجموعه ای از جملات در یک زبان رسمی
- رهیافت توصیفی برای ایجاد یک عامل (یا سیستم های دیگر):
- به عامل آنچه را که نیاز دارد بداند، بگو (TELL)
- سپس عامل می تواند از خود پرسد (ASK) که چه عملی انجام دهد – پاسخ ها باید از KB پیروی کنند.
- می توان عامل ها را در سطح دانش در نظر گرفت:
- یعنی، چه می دانند، بدون توجه به چگونگی پیاده سازی
- یا در سطح پیاده سازی:
- یعنی، ساختارهای داده ای در KB و الگوریتم هایی که بر روی آنها کار می کنند.

N. Razavi - AI course - 2005

3

یک عامل ساده مبتنی بر دانش

```
function KB-AGENT( percept) returns an action
static: KB, a knowledge base
        t, a counter, initially 0, indicating time

TELL( KB, MAKE-PERCEPT-SENTENCE( percept, t))
action ← ASK( KB, MAKE-ACTION-QUERY( t))
TELL( KB, MAKE-ACTION-SENTENCE( action, t))
t ← t + 1
return action
```

- عامل باید قادر باشد:
- حالات و اعمال و ... را بازنمایی کند.
- ادراک جدید دریافت کند.
- بازنمایی داخلی دنیا را بهنگام سازد.
- خواص پنهان دنیا و اعمال مناسب را نتیجه گیری کند.

N. Razavi - AI course - 2005

4

دنیای Wumpus

- معیار کارآیی
 - طلا 10000+، مرگ 1000-
 - هر عمل 1-، شلیک 10-
- محیط
 - خانه های مجاور وامپوس دارای بو هستند
 - خانه های مجاور چاله ها دارای نسیم هستند
 - در خانه حاوی طلا، درخشش وجود دارد
 - شلیک وامپوس را می کشد، اگر عامل رو به وامپوس باشد
 - تنها یک شلیک موثر است
 - اگر در خانه عامل طلا باشد، می تواند آنرا بردارد
 - عامل می تواند طلا را رها کند
- حسگرها
 - نسیم، درخشش، بو، ضربه و جیغ
- محرک ها
 - چرخش به چپ و راست
 - حرکت به جلو
 - برداشتن و رها کردن طلا و شلیک تیر

N. Razavi - AI course - 2005

5

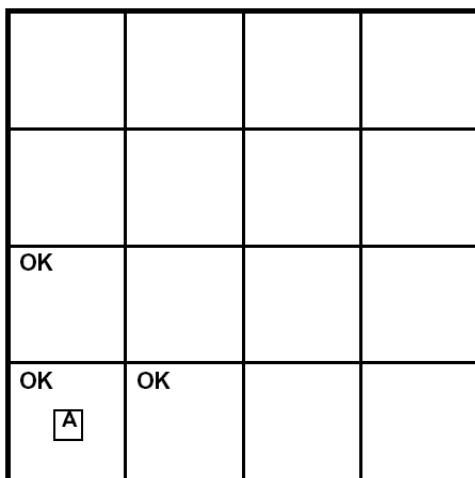
مشخصات محیط وامپوس

- دسترس پذیر؟؟ خیر -- تنها ادراک محلی میسر می باشد
- قطعی؟؟ بله -- نتیجه اعمال کاملاً مشخص است
- اپیزودیک؟؟ خیر
- ایستا؟؟ بله -- وامپوس و چاله ها حرکت نمی کنند
- گسسته؟؟ بله
- تک-عاملی؟؟ بله -- وامپوس اساساً یک ویژگی طبیعی است

N. Razavi - AI course - 2005

6

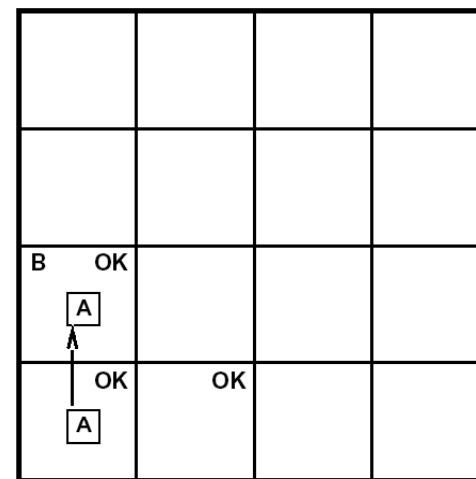
کاوش دنیای وامپوس



N. Razavi - AI course - 2005

7

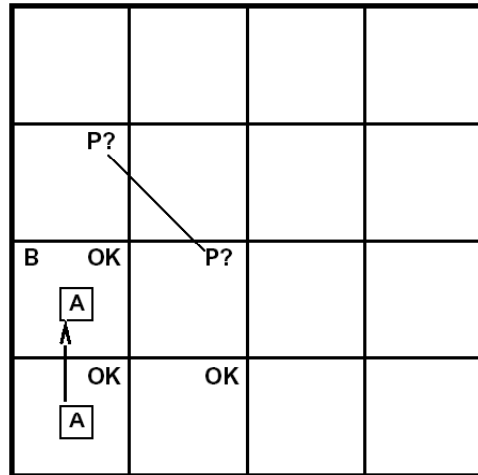
کاوش دنیای وامپوس



N. Razavi - AI course - 2005

8

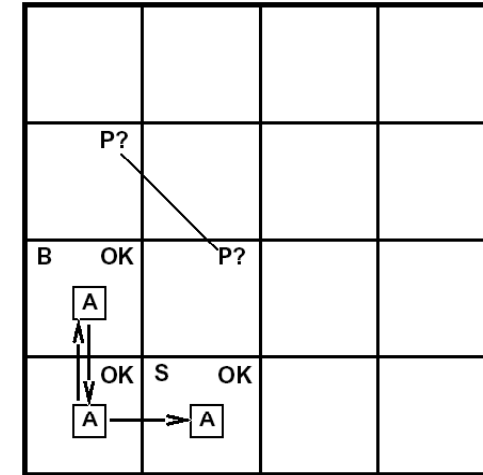
کاوش دنیای وامپوس



N. Razavi - AI course - 2005

9

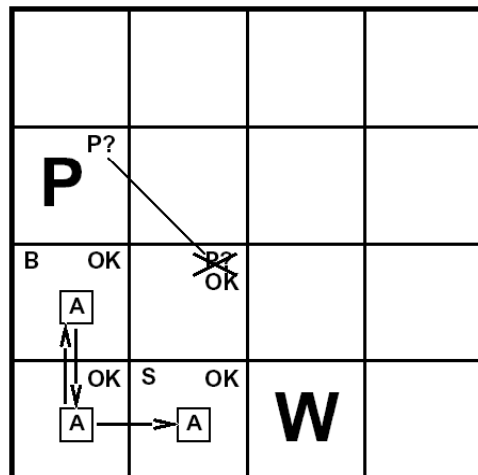
کاوش دنیای وامپوس



N. Razavi - AI course - 2005

10

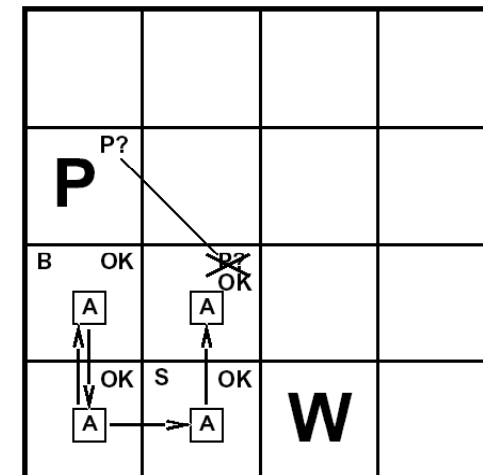
کاوش دنیای وامپوس



N. Razavi - AI course - 2005

11

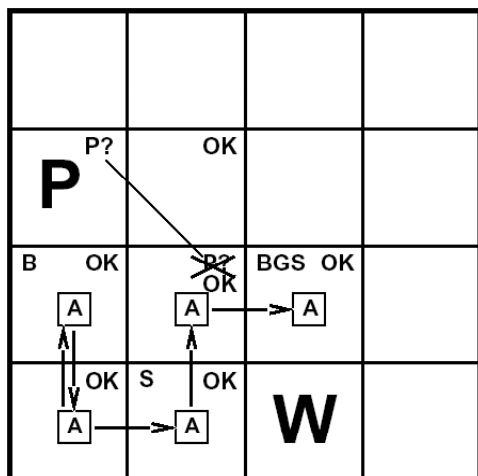
کاوش دنیای وامپوس



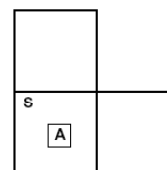
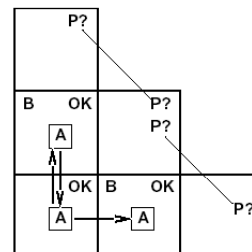
N. Razavi - AI course - 2005

12

کاوش دنیای وامپوس



موقعیت های تصمیم گیری دیگر



- در خانه های $(1, 2)$ و $(2, 1)$ نسیم احساس می شود \leftarrow عمل مطمئنی وجود ندارد
 - با فرض توزیع یکنواخت چاله ها، احتمال چاله در $(2, 2)$ بیشتر
 - احساس بو در $(1, 1)$ \leftarrow قادر به حرکت نیست
 - استفاده از استراتژی **اجبار**:
- ۱) به خانه روبرو شلیک کن
 - ۲) اگر وامپوس آنجا بوده \leftarrow مرده \leftarrow امن
 - ۳) اگر وامپوس آنجا نبوده \leftarrow امن

منطق

- **منطق** یک زبان رسمی برای بازنمایی دانش بطوری که بتوان از آن نتیجه گیری نمود.
- **دستور ساختاری** (syntax): ساختار جملات زبان را تعریف می کند
- **معنا** (semantic): معنای جملات را تعریف می کند
 - یعنی، تعریف **درستی** یک جمله در یک دنیا
- مثال: زبان ریاضی
 - جمله $x + 2 \geq y$
 - جمله نیست $x^2 + y \geq$
 - جمله $x + 2 \geq y$ در دنیایی با $x=7, y=1$ درست و در دنیایی با $x=0$ و $y=6$ نادرست می باشد.

استلزام (entailment)

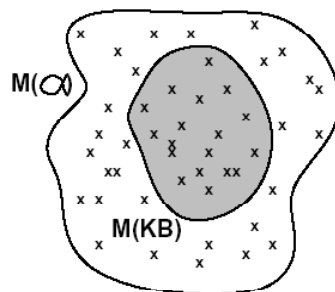
- **استلزام** بدین معناست که چیزی از چیز دیگری پیروی می کند:

$$KB \models \alpha$$
- پایگاه دانش KB مستلزم جمله α است، اگر و فقط اگر
- α در تمام دنیاهایی که در آن KB درست است، درست باشد.
- مثال: $x + y = 4$ مستلزم $x + y = 4$ می باشد.
- استلزام رابطه ایست که بین **ساختار** جملات (syntax) و بر مبنای معنای **جملات** تعریف می شود.

مدل ها

- منطق دانان عموماً بر حسب **مدل ها** فکر می کنند، که بطور رسمی دنیاهای ساخت یافته ای می باشند که درستی را می توان نسبت به آنها ارزیابی کرد.

- می گوئیم m **مدلی** از جمله α می باشد اگر α در m درست باشد
- $M(\alpha)$ مجموعه تمام مدل های α می باشد
- بنابراین $KB \models \alpha$ اگر فقط اگر $M(KB) \subseteq M(\alpha)$

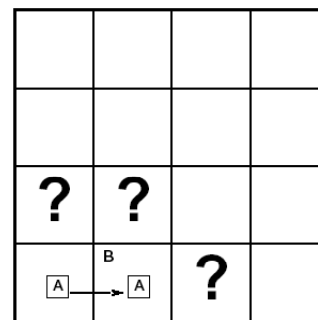


N. Razavi - AI course - 2005

17

استلزام در دنیای وامپوس

- موقعیت پس از $[1, 1]$ ، رفتن به راست، دریافت نسیم در $[2, 1]$



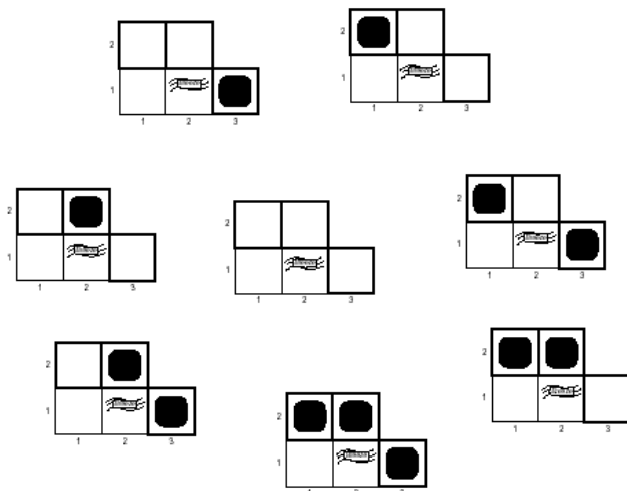
- مدل های ممکن برای ؟ ها را تنها با فرض چاله ها در نظر بگیرید

- سه انتخاب بولین ← هشت مدل مختلف

N. Razavi - AI course - 2005

18

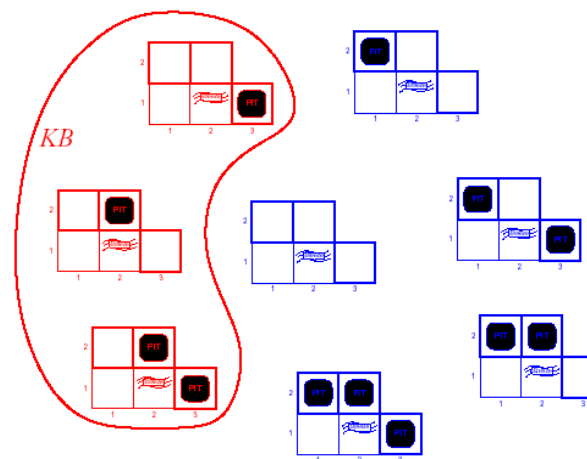
مدل های وامپوس



N. Razavi - AI course - 2005

19

مدل های وامپوس

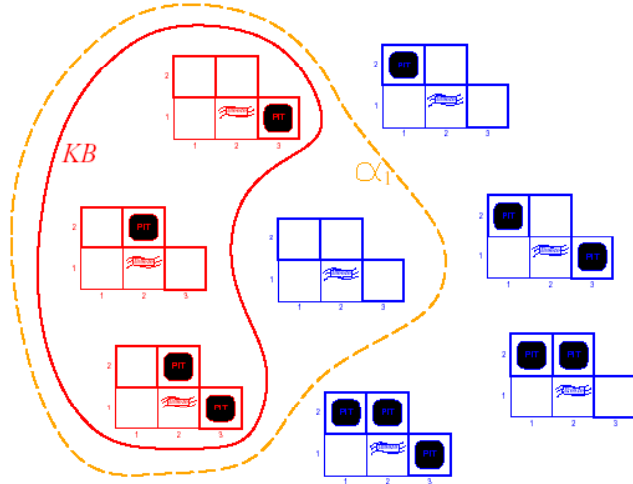


KB = Wumpus-world rules + observations

N. Razavi - AI course - 2005

20

مدل های وامپوس



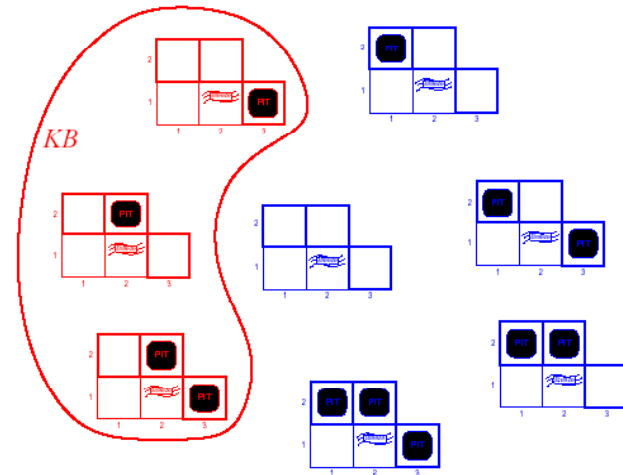
KB = Wumpus-world rules + observations

$\alpha_1 = "[1, 2] \text{ is safe}"$, $KB \models \alpha_1$, proved by model checking

N. Razavi - AI course - 2005

21

مدل های وامپوس

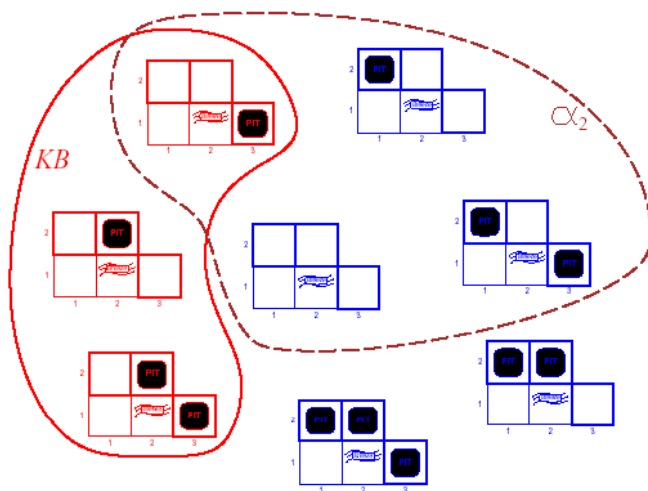


KB = Wumpus-world rules + observations

N. Razavi - AI course - 2005

22

مدلهای وامپوس



KB = Wumpus-world rules + observations

$\alpha_2 = "[2, 2] \text{ is safe}"$, $KB \not\models \alpha_2$

N. Razavi - AI course - 2005

23

استنتاج (Inference)

- $KB \models_i \alpha$ = جمله α بوسیله رویه i از KB قابل اشتقاق می باشد.
- نتایج KB مانند یک انبار کاه می باشد، و α مانند یک سوزن
- استلزام = سوزن در انبار کاه؛ استنتاج = یافتن سوزن
- **صحت (soundness)**: رویه i صحیح است اگر

$$KB \models_i \alpha \Rightarrow KB \models \alpha$$

- **کامل بودن (completeness)**: رویه استنتاج i کامل است اگر

$$KB \models \alpha \Rightarrow KB \models_i \alpha$$

- مثال: در منطق مرتبه اول (First Order Logic) یک رویه استنتاج کامل و صحیح وجود دارد.

N. Razavi - AI course - 2005

24

منطق گزاره ای: معنا

- هر مدل درست بودن/غلط بودن سیمبول های گزاره ای را مشخص می کند
- مثلا $P_{1,2}$ (درست)، $P_{2,2}$ (درست)، $P_{3,1}$ (نادرست)
- قوانین ارزیابی درستی نسبت به یک مدل m

P	Q	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$P \Leftrightarrow Q$
false	false	true	false	false	true	true
false	true	true	false	true	true	false
true	false	false	false	true	false	false
true	true	false	true	true	true	true

N. Razavi - AI course - 2005

26

منطق گزاره ای : ساختار

- منطق گزاره ای ساده ترین نوع منطق است - برای بیان ایده های ساده و مبنایی
- سیمبولهای گزاره ای P_1, P_2 و ... هر کدام یک جمله می باشند
- True و False ثابت های گزاره ای می باشند و هر کدام به تنهایی یک جمله اند
- اگر S جمله باشد، آنگاه $\neg S$ نیز یک جمله است (نقیض)
- اگر S_1 و S_2 جمله باشند، $S_1 \wedge S_2$ نیز یک جمله است (ترکیب عطفی)
- اگر S_1 و S_2 جمله باشند، $S_1 \vee S_2$ نیز یک جمله است (ترکیب فصلی)
- اگر S_1 و S_2 جمله باشند، $S_1 \Rightarrow S_2$ نیز یک جمله است (ترکیب شرطی)
- اگر S_1 و S_2 جمله باشند، $S_1 \Leftrightarrow S_2$ نیز یک جمله است (ترکیب دوشروطی)

N. Razavi - AI course - 2005

25

استفاده از جدول درستی برای استنتاج

$B_{1,1}$	$B_{2,1}$	$P_{1,1}$	$P_{1,2}$	$P_{2,1}$	$P_{2,2}$	$P_{3,1}$	KB	α_1
false	false	false	false	false	false	false	false	true
false	false	false	false	false	false	true	false	true
:	:	:	:	:	:	:	:	:
false	true	false	false	false	false	false	false	true
false	true	false	false	false	false	true	true	true
false	true	false	false	false	true	false	true	true
false	true	false	false	true	false	false	false	true
:	:	:	:	:	:	:	:	:
true	true	true	true	true	true	true	false	false

N. Razavi - AI course - 2005

28

جملات دنیای وامپوس

- اجازه دهید $P_{i,j}$ درست باشد، اگر و فقط اگر در خانه $[i, j]$ چاله باشد.
- اجازه دهید $B_{i,j}$ درست باشد، اگر و فقط اگر در خانه $[i, j]$ نسیم باشد.
- $\neg P_{1,1}$
 $\neg B_{1,1}$
 $B_{2,1}$
- ”چاله ها باعث وزش نسیم در خانه های مجاور می شوند.“
- $B_{1,1} \Leftrightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})$
 $B_{2,1} \Leftrightarrow (P_{1,1} \vee P_{2,2} \vee P_{3,1})$
- ”در یک خانه نسیم می وزد اگر و فقط اگر چاله ای مجاور آن باشد“

N. Razavi - AI course - 2005

27

هم ارزی منطقی

- دو جمله هم ارز منطقی می باشند، اگر و فقط اگر هر دو در مدل‌های یکسانی درست باشند.

$$\alpha \equiv \beta \text{ iff } \alpha \models \beta \text{ and } \beta \models \alpha$$

$(\alpha \wedge \beta) \equiv (\beta \wedge \alpha)$	commutativity of \wedge
$(\alpha \vee \beta) \equiv (\beta \vee \alpha)$	commutativity of \vee
$((\alpha \wedge \beta) \wedge \gamma) \equiv (\alpha \wedge (\beta \wedge \gamma))$	associativity of \wedge
$((\alpha \vee \beta) \vee \gamma) \equiv (\alpha \vee (\beta \vee \gamma))$	associativity of \vee
$\neg(\neg\alpha) \equiv \alpha$	double-negation elimination
$(\alpha \Rightarrow \beta) \equiv (\neg\beta \Rightarrow \neg\alpha)$	contraposition
$(\alpha \Rightarrow \beta) \equiv (\neg\alpha \vee \beta)$	implication elimination
$(\alpha \Leftrightarrow \beta) \equiv ((\alpha \Rightarrow \beta) \wedge (\beta \Rightarrow \alpha))$	biconditional elimination
$\neg(\alpha \wedge \beta) \equiv (\neg\alpha \vee \neg\beta)$	de Morgan
$\neg(\alpha \vee \beta) \equiv (\neg\alpha \wedge \neg\beta)$	de Morgan
$(\alpha \wedge (\beta \vee \gamma)) \equiv ((\alpha \wedge \beta) \vee (\alpha \wedge \gamma))$	distributivity of \wedge over \vee
$(\alpha \vee (\beta \wedge \gamma)) \equiv ((\alpha \vee \beta) \wedge (\alpha \vee \gamma))$	distributivity of \vee over \wedge

30

استنتاج بوسیله شمارش

- شمارش تمام مدل‌ها به روش اول - عمق صحیح و کامل است

```
function TT-ENTAILS?(KB,  $\alpha$ ) returns true or false
  symbols  $\leftarrow$  a list of the proposition symbols in KB and  $\alpha$ 
  return TT-CHECK-ALL(KB,  $\alpha$ , symbols, [])

function TT-CHECK-ALL(KB,  $\alpha$ , symbols, model) returns true or false
  if EMPTY?( symbols) then
    if PL-TRUE(KB, model) then return PL-TRUE( $\alpha$ , model)
    else return true
  else do
    P  $\leftarrow$  FIRST( symbols); rest  $\leftarrow$  REST( symbols)
    return TT-CHECK-ALL(KB,  $\alpha$ , rest, EXTEND(P, true, model)) and
      TT-CHECK-ALL(KB,  $\alpha$ , rest, EXTEND(P, false, model))
```

برای n سمبول $O(2^n)$

N. Razavi - AI course - 2005

29

روش‌های اثبات

- روش‌های اثبات به دو نوع تقسیم می‌شوند:
- اعمال قوانین استنتاج:
 - تولید صحیح جملات جدید از جملات قدیمی
 - اثبات = دنباله‌ای از اعمال قوانین استنتاج
 - می‌توان از قوانین استنتاج به عنوان عملگرها در الگوریتم استاندارد جستجو استفاده کرد.
 - اغلب نیاز به تبدیل جملات به یک شکل نرمال دارند.

- بررسی مدل:

- شمارش جدول درستی (بر حسب n نمایی)
- عقبگرد بهبود یافته (DPLL)
- جستجوی هیوریستیک در فضای مدل (صحیح اما نا کامل)

N. Razavi - AI course - 2005

32

اعتبار و صدق پذیری

- یک جمله معتبر (valid) است اگر در تمام مدل‌ها درست باشد
- مثال: True، $A \vee \neg A$ ، $A \Rightarrow A$ ، $(A \wedge (A \Rightarrow B) \Rightarrow B)$
- ارتباط معتبر بودن با استنتاج:
- یک جمله صدق پذیر (satisfiable) اگر در بعضی از مدل‌ها درست باشد
- مثال: $A \vee B$
- یک جمله صدق ناپذیر است اگر در هیچ مدلی درست نباشد
- مثال: $A \wedge \neg A$
- ارتباط صدق پذیری با استنتاج:

$$KB \models \alpha \text{ iff } (KB \wedge \neg\alpha) \text{ is unsatisfiable}$$

N. Razavi - AI course - 2005

31

استنتاج رو به جلو و رو به عقب

- شکل نرمال Horn (HNF):
KB = ترکیب عطفی عبارت های Horn
= عبارت Horn
- سیمبول گزاره ای
- (سیمبول گزاره ای) \Rightarrow (ترکیب عطفی سیمبول های گزاره ای)

$$P_1 \wedge P_2 \wedge \dots \wedge P_n \Rightarrow Q$$

- مثال :

$$C \wedge (B \Rightarrow A) \wedge (C \wedge D \Rightarrow B)$$

- قانون استنتاج Modes Ponens برای شکل Horn:

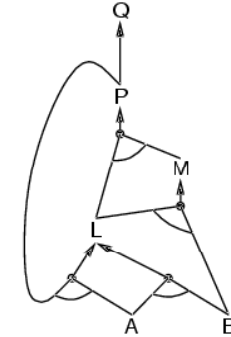
$$\frac{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n, \quad \alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n \Rightarrow \beta}{\beta}$$

- می تواند در هر دو روش **رو به جلو** و **رو به عقب** بکار رود.
- این روشها بسیار طبیعی هستند و در **زمان خطی** (برحسب اندازه KB) اجرا می شوند.

استنتاج رو به جلو

- **ایده :** هر قانونی که بخش شرایط آن در KB ارضاء شده را اعمال کن (fire) و نتیجه قانون را به KB اضافه کن، تا زمانیکه پاسخ پیدا شود و یا استنتاج دیگری ممکن نباشد.

$$\begin{aligned} P &\Rightarrow Q \\ L \wedge M &\Rightarrow P \\ B \wedge L &\Rightarrow M \\ A \wedge P &\Rightarrow L \\ A \wedge B &\Rightarrow L \\ A \\ B \end{aligned}$$



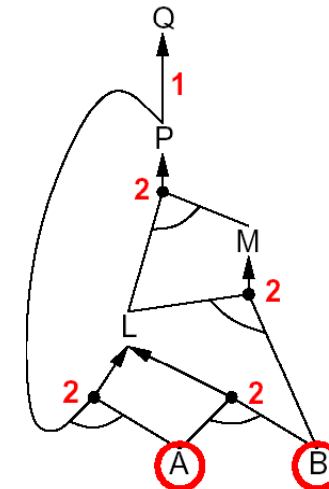
الگوریتم استنتاج رو به جلو

```
function PL-FC-ENTAILS?(KB, q) returns true or false
  local variables: count, a table, indexed by clause, initially the number of premises
                  inferred, a table, indexed by symbol, each entry initially false
                  agenda, a list of symbols, initially the symbols known to be true

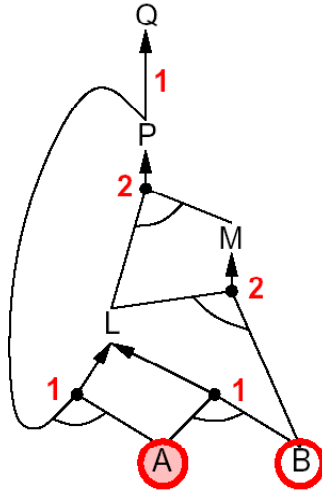
  while agenda is not empty do
    p ← POP(agenda)
    unless inferred[p] do
      inferred[p] ← true
      for each Horn clause c in whose premise p appears do
        decrement count[c]
        if count[c] = 0 then do
          if HEAD[c] = q then return true
          PUSH(HEAD[c], agenda)
  return false
```

- استنتاج رو به جلو برای پایگاه دانش در شکل Horn کامل و صحیح است.

مثال استنتاج رو به جلو



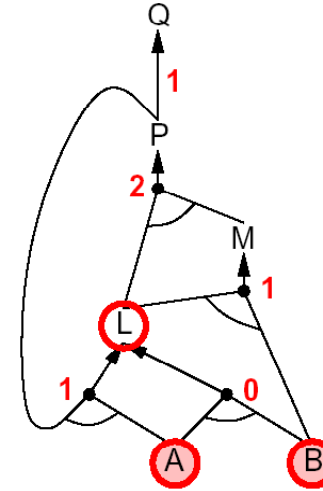
مثال استنتاج رو به جلو



N. Razavi - AI course - 2005

37

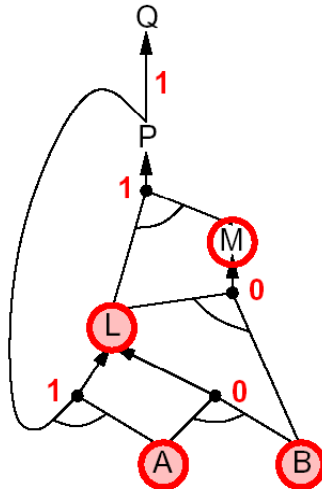
مثال استنتاج رو به جلو



N. Razavi - AI course - 2005

38

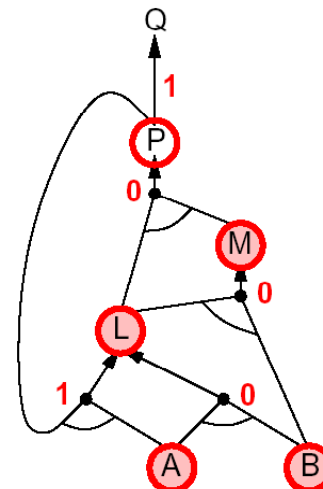
مثال استنتاج رو به جلو



N. Razavi - AI course - 2005

39

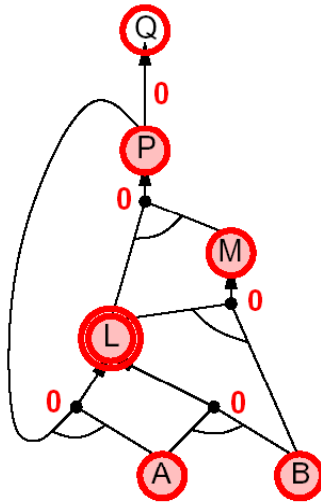
مثال استنتاج رو به جلو



N. Razavi - AI course - 2005

40

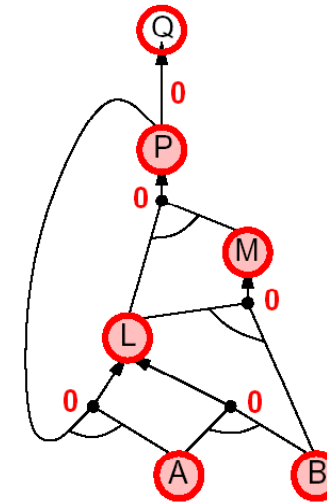
مثال استنتاج رو به جلو



N. Razavi - AI course - 2005

41

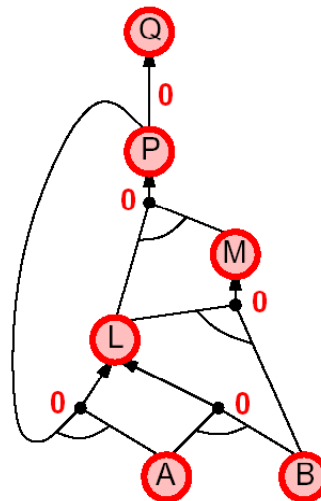
مثال استنتاج رو به جلو



N. Razavi - AI course - 2005

42

مثال استنتاج رو به جلو



N. Razavi - AI course - 2005

43

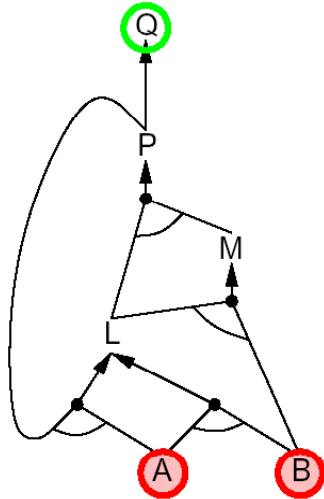
استنتاج رو به عقب

- ایده: برای اثبات q به سمت عقب حرکت کن
- برای اثبات q بوسیله BC ،
 - بررسی کن که آیا q اکنون ثابت شده می باشد، یا
 - بوسیله BC تمام شرایط برخی از قوانین را که نتیجه آنها q است اثبات کن
- اجتناب از حلقه: بررسی قرار داشتن زیرهدف جدید روی پشته هدف
- اجتناب از اعمال تکراری: بررسی اینکه آیا زیرهدف جدید
 - (۱) قبلاً درستی اش اثبات شده، یا
 - (۲) قبلاً شکست خورده است (fail)

N. Razavi - AI course - 2005

44

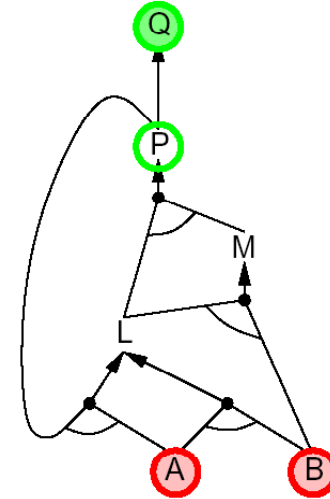
مثال از استنتاج رو به عقب



N. Razavi - AI course - 2005

45

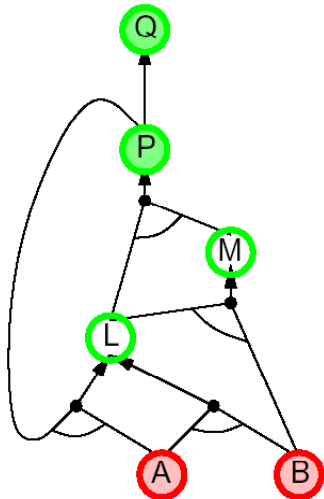
مثال از استنتاج رو به عقب



N. Razavi - AI course - 2005

46

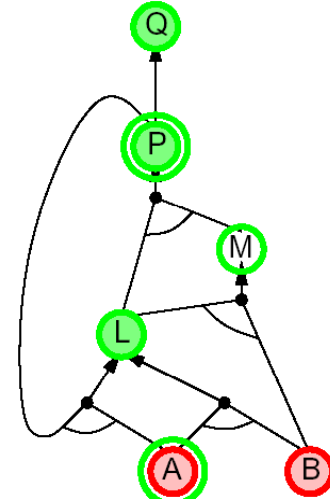
مثال از استنتاج رو به عقب



N. Razavi - AI course - 2005

47

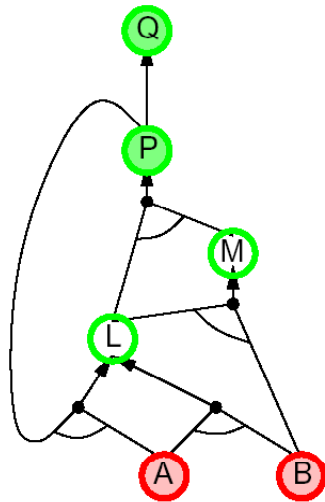
مثال از استنتاج رو به عقب



N. Razavi - AI course - 2005

48

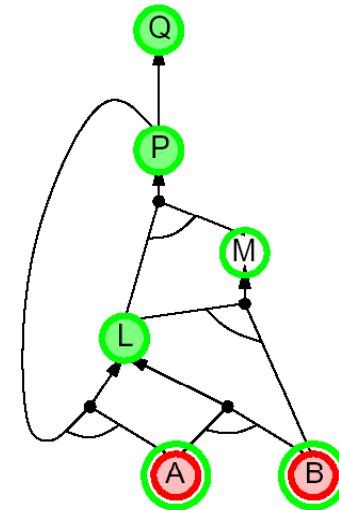
مثال از استنتاج رو به عقب



N. Razavi - AI course - 2005

49

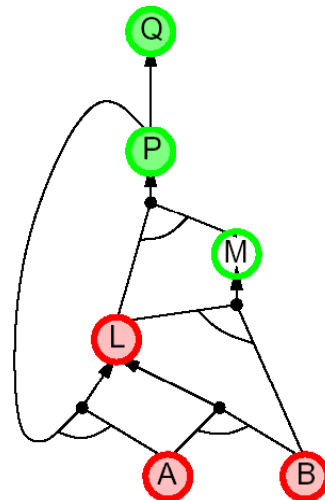
مثال از استنتاج رو به عقب



N. Razavi - AI course - 2005

50

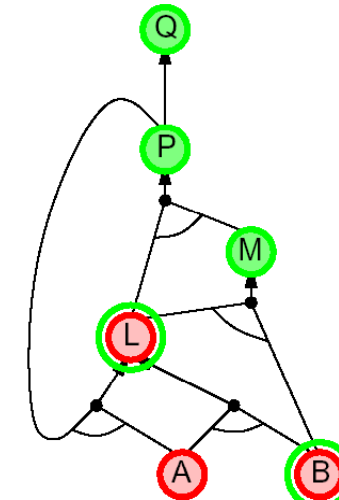
مثال از استنتاج رو به عقب



N. Razavi - AI course - 2005

51

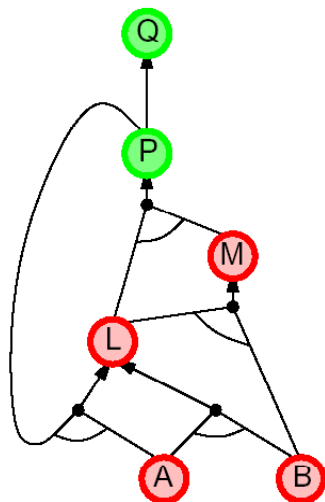
مثال از استنتاج رو به عقب



N. Razavi - AI course - 2005

52

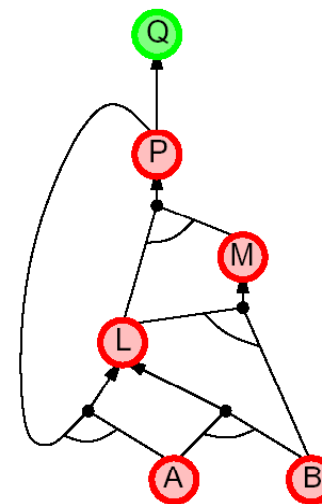
مثال از استنتاج رو به عقب



N. Razavi - AI course - 2005

53

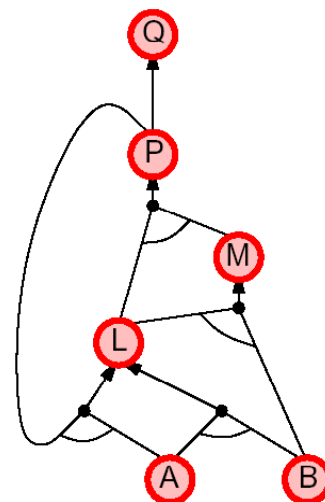
مثال از استنتاج رو به عقب



N. Razavi - AI course - 2005

54

مثال از استنتاج رو به عقب



N. Razavi - AI course - 2005

55

مقایسه دو روش

• FC:

- بر مبنای داده (data driven)
- ممکن است کارهای بسیاری انجام دهد که به هدف مربوط نمی شوند

• BC:

- بر مبنای هدف (goal driven)
- پیچیدگی BC می تواند بسیار بهتر از خطی نسبت به اندازه KB باشد.

N. Razavi - AI course - 2005

56

Resolution

- شکل نرمال عطفی (CNF)

conjunctions of disjunctions of literals

Clauses

- مثال:

$$(A \vee \sim B) \wedge (B \vee \sim C \vee \sim D)$$

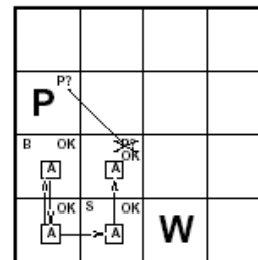
- قانون استنتاج رزولوشن (برای CNF): صحیح و کامل برای منطق گزاره ای

$$\frac{l_1 \vee \dots \vee l_i \vee \dots \vee l_k, \quad m_1 \vee \dots \vee m_j \vee \dots \vee m_n}{l_1 \vee \dots \vee l_{i-1} \vee l_{i+1} \vee \dots \vee l_k \vee m_1 \vee \dots \vee m_{j-1} \vee m_{j+1} \vee \dots \vee m_n}$$

l_i و m_j نقیض یکدیگرند.

Resolution

- مثال:



$$\frac{P_{1,3} \vee P_{2,2}, \quad \neg P_{2,2}}{P_{1,3}}$$

- رزولوشن برای منطق گزاره ای صحیح و کامل می باشد.

Resolution

- صحت قانون استنتاج رزولوشن

$$\neg(l_1 \vee \dots \vee l_{i-1} \vee l_{i+1} \vee \dots \vee l_k) \Rightarrow l_i$$

$$\neg m_j \Rightarrow (m_1 \vee \dots \vee m_{j-1} \vee m_{j+1} \vee \dots \vee m_n)$$

$$\neg(l_1 \vee \dots \vee l_{i-1} \vee l_{i+1} \vee \dots \vee l_k) \Rightarrow (m_1 \vee \dots \vee m_{j-1} \vee m_{j+1} \vee \dots \vee m_n)$$

تبدیل به CNF

$$B_{1,1} \Leftrightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})$$

1. Eliminate \Leftrightarrow , replacing $\alpha \Leftrightarrow \beta$ with $(\alpha \Rightarrow \beta) \wedge (\beta \Rightarrow \alpha)$.

$$(B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})) \wedge ((P_{1,2} \vee P_{2,1}) \Rightarrow B_{1,1})$$

2. Eliminate \Rightarrow , replacing $\alpha \Rightarrow \beta$ with $\neg \alpha \vee \beta$.

$$(\neg B_{1,1} \vee P_{1,2} \vee P_{2,1}) \wedge (\neg(P_{1,2} \vee P_{2,1}) \vee B_{1,1})$$

3. Move \neg inwards using de Morgan's rules and double-negation:

$$(\neg B_{1,1} \vee P_{1,2} \vee P_{2,1}) \wedge ((\neg P_{1,2} \wedge \neg P_{2,1}) \vee B_{1,1})$$

4. Apply distributivity law (\wedge over \vee) and flatten:

$$(\neg B_{1,1} \vee P_{1,2} \vee P_{2,1}) \wedge (\neg P_{1,2} \vee B_{1,1}) \wedge (\neg P_{2,1} \vee B_{1,1})$$

الگوریتم Resolution

- اثبات بوسیله تناقض، یعنی نشان بده $KB \wedge \neg \alpha$ صدق ناپذیر است

```

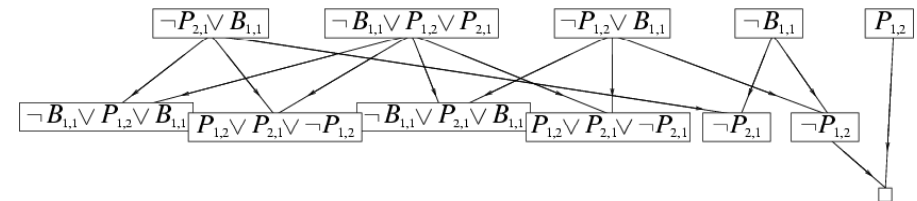
function PL-RESOLUTION( $KB, \alpha$ ) returns true or false
   $clauses \leftarrow$  the set of clauses in the CNF representation of  $KB \wedge \neg \alpha$ 
   $new \leftarrow \{\}$ 
  loop do
    for each  $C_i, C_j$  in  $clauses$  do
       $resolvents \leftarrow$  PL-RESOLVE( $C_i, C_j$ )
      if  $resolvents$  contains the empty clause then return true
       $new \leftarrow new \cup resolvents$ 
    if  $new \subseteq clauses$  then return false
     $clauses \leftarrow clauses \cup new$ 
  
```

N. Razavi - AI course - 2005

61

مثال برای رزولوشن

- $KB = (B_{1,1} \Leftrightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})) \wedge \neg B_{1,1}$
- $\alpha = \neg P_{1,2}$



N. Razavi - AI course - 2005

62

الگوریتم های استنتاج کارآ در منطق گزاره ای

- دو خانواده از الگوریتم های استنتاج کارآ برای منطق گزاره ای
- الگوریتم های کامل جستجوی عقبگرد:
 - الگوریتم DPLL (Davis, Putnam, Logemann, Loveland)
- الگوریتم ناکامل جستجوی محلی
 - الگوریتم WalkSAT

N. Razavi - AI course - 2005

63

الگوریتم DPLL

- تعیین کن که آیا یک جمله ورودی در زبان منطق گزاره ای (در شکل نرمال CNF) صدق پذیر است یا خیر.
- بهبودها نسبت به روش شمارش جدول درستی:
 - ۱- خاتمه زود هنگام
 - یک فراکرد (Clause) درست است اگر هر یک از لیتراها درست باشد.
 - یک جمله نادرست است اگر هر یک از فراکردهای آن نادرست باشد.
 - ۲- هیوریستیک سیمبول محض
 - **سیمبول محض:** سیمبلی که در تمام فراکرد ها با یک علامت ظاهر شود.
 - مثال: در سه فراکرد $(A \vee \neg B)$, $(\neg B \vee \neg C)$, $(C \vee A)$ سیمبولهای A و B سیمبول محض می باشند، اما C یک سیمبول محض نیست.
 - لیترا یک سیمبول محض را درست تلقی کن.
 - ۳- هیوریستیک فراکرد واحد
 - **فراکرد واحد:** تنها شامل یک لیترا می باشد. یا فراکردی که تمام لیتراهای آن غیر از یک لیترا، نادرست می باشند.
 - تنها لیترا موجود در یک فراکرد واحد باید درست باشد.

N. Razavi - AI course - 2005

64

الگوریتم DPLL

function DPLL-SATISFIABLE?(*s*) **returns** *true* or *false*

inputs: *s*, a sentence in propositional logic

clauses ← the set of clauses in the CNF representation of *s*

symbols ← a list of the proposition symbols in *s*

return DPLL(*clauses*, *symbols*, [])

function DPLL(*clauses*, *symbols*, *model*) **returns** *true* or *false*

if every clause in *clauses* is true in *model* **then return** *true*

if some clause in *clauses* is false in *model* **then return** *false*

P, *value* ← FIND-PURE-SYMBOL(*symbols*, *clauses*, *model*)

if *P* is non-null **then return** DPLL(*clauses*, *symbols* − *P*, [*P* = *value* | *model*])

P, *value* ← FIND-UNIT-CLAUSE(*clauses*, *model*)

if *P* is non-null **then return** DPLL(*clauses*, *symbols* − *P*, [*P* = *value* | *model*])

P ← FIRST(*symbols*); *rest* ← REST(*symbols*)

return DPLL(*clauses*, *rest*, [*P* = *true* | *model*]) **or**

DPLL(*clauses*, *rest*, [*P* = *false* | *model*])

الگوریتم WalkSAT

- الگوریتم جستجوی محلی و ناکامل
- تابع ارزیابی: هیوریستیک حداقل درگیری برای کمینه کردن تعداد فراکردهای ارضاء نشده
- تعادل میان میزان حریمانه بودن و تصادفی بودن

الگوریتم WalkSAT

function WALKSAT(*clauses*, *p*, *max-flips*) **returns** a satisfying model or *failure*

inputs: *clauses*, a set of clauses in propositional logic

p, the probability of choosing to do a "random walk" move

max-flips, number of flips allowed before giving up

model ← a random assignment of *true/false* to the symbols in *clauses*

for *i* = 1 **to** *max-flips* **do**

if *model* satisfies *clauses* **then return** *model*

clause ← a randomly selected clause from *clauses* that is false in *model*

with probability *p* **flip** the value in *model* of a randomly selected symbol from *clause*

else flip whichever symbol in *clause* maximizes the number of satisfied clauses

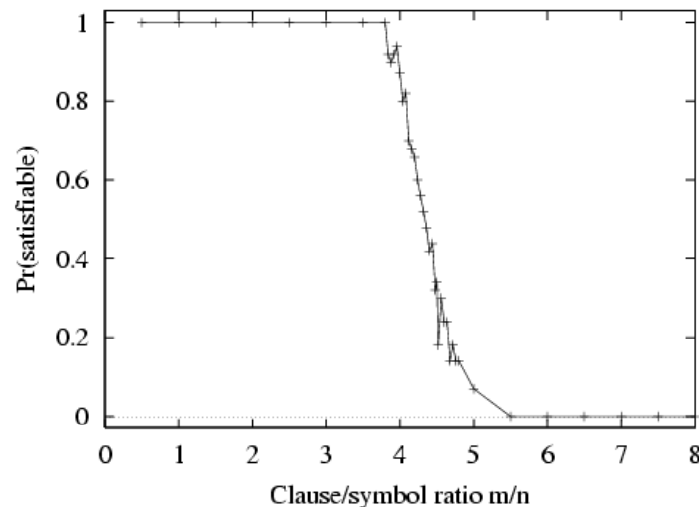
return *failure*

مسائل ارضاء پذیری سخت

- جملات 3-CNF تصادفی را در نظر بگیرید، مثلاً:

$$(\neg D \vee \neg B \vee C) \wedge (B \vee \neg A \vee \neg C) \wedge (\neg C \vee \neg B \vee E) \wedge (E \vee \neg D \vee B) \wedge (B \vee E \vee \neg C)$$
- 5 سیمبول و 5 فراکرد - ۳۲ انتساب و ۱۶ مدل - به طور متوسط دو حدس کافی می باشد (برای یافتن مدل)
- m = تعداد فراکردها
- n = تعداد سیمبول ها
- به نظر می رسد مسائل سخت نزدیک $m/n = 4.3$ باشند (نسبت بحرانی)

مسائل ارضاء پذیری سخت

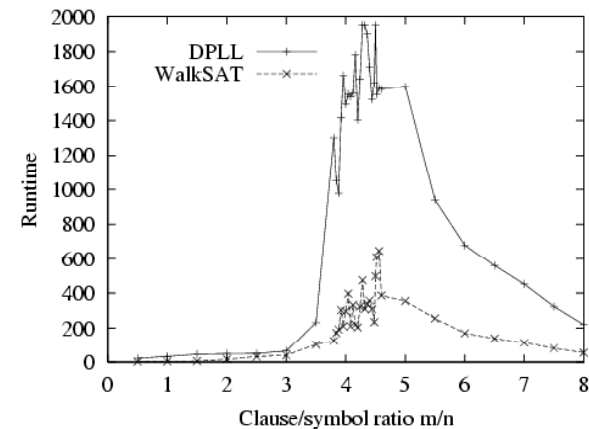


$n = 50$

N. Razavi - AI course - 2005

69

مسائل ارضاء پذیری سخت



زمان اجرا برای 100 جمله 3-CNF ارضاء پذیر، $n = 50$

N. Razavi - AI course - 2005

70

مسائل ارضاء پذیری سخت

- سه نکته واضح در شکل قبل:

- مسائل نزدیک نقطه بحرانی بسیار سخت از دیگر مسائل تصادفی هستند.
- حتی در مسائل سخت، الگوریتم DPLL نسبتاً کارآمد است – چند هزار مرحله به طور میانگین در مقایسه با $10^{15} \approx 2^{50}$ برای شمارش جدول درستی.
- در کل محدوده، الگوریتم WalkSAT بسیار سریعتر از DPLL می باشد.

N. Razavi - AI course - 2005

71

عامل های مبتنی بر استنتاج در دنیای وامپوس

- یک عامل دنیای وامپوس با استفاده از منطق گزاره ای:

$$\begin{aligned} & \neg P_{1,1} \\ & \neg W_{1,1} \\ & B_{x,y} \Leftrightarrow (P_{x,y+1} \vee P_{x,y-1} \vee P_{x+1,y} \vee P_{x-1,y}) \\ & S_{x,y} \Leftrightarrow (W_{x,y+1} \vee W_{x,y-1} \vee W_{x+1,y} \vee W_{x-1,y}) \\ & W_{1,1} \vee W_{1,2} \vee \dots \vee W_{4,4} \\ & \neg W_{1,1} \vee \neg W_{1,2} \\ & \neg W_{1,1} \vee \neg W_{1,3} \\ & \dots \end{aligned}$$

- ۶۴ سیمبول گزاره ای متفاوت
- ۱۵۵ جمله

N. Razavi - AI course - 2005

72

محدودیت های منطق گزاره‌ای

- به طور کلی منطق گزاره ای از قدرت بیان کافی برخوردار نیست:

– برای هر مربع شامل جملات “فیزیکی” آن مربع

– برای هر زمان t و هر مکان $[x, y]$

$$L_{x,y}^t \wedge FacingRight^t \wedge Forward^t \Rightarrow L_{x+1,y}^{t+1}$$

```
function PL-WUMPUS-AGENT(percept) returns an action
  inputs: percept, a list, [stench, breeze, glitter]
  static: KB, initially containing the “physics” of the wumpus world
         x, y, orientation, the agent’s position (init. [1,1]) and orient. (init. right)
         visited, an array indicating which squares have been visited, initially false
         action, the agent’s most recent action, initially null
         plan, an action sequence, initially empty

  update x, y, orientation, visited based on action
  if stench then TELL(KB,  $S_{x,y}$ ) else TELL(KB,  $\neg S_{x,y}$ )
  if breeze then TELL(KB,  $B_{x,y}$ ) else TELL(KB,  $\neg B_{x,y}$ )
  if glitter then action  $\leftarrow$  grab
  else if plan is nonempty then action  $\leftarrow$  POP(plan)
  else if for some fringe square  $[i,j]$ , ASK(KB,  $(\neg P_{i,j} \wedge \neg W_{i,j})$ ) is true or
         for some fringe square  $[i,j]$ , ASK(KB,  $(P_{i,j} \vee W_{i,j})$ ) is false then do
    plan  $\leftarrow$  A*-GRAPH-SEARCH(ROUTE-PB( $[x,y]$ , orientation,  $[i,j]$ , visited))
    action  $\leftarrow$  POP(plan)
  else action  $\leftarrow$  a randomly chosen move
  return action
```

خلاصه

- عامل های منطقی از استنتاج بر روی یک پایگاه دانش برای اشتقاق دانش جدید و تصمیم گیری استفاده می کنند
- مفاهیم مبنایی منطق:
 - ساختار (syntax)
 - معنا (semantics)
 - استلزام (entailments)
 - استنتاج (inference)
 - صحت (soundness)
 - کامل بودن (completeness)
- استنتاج رو به جلو و رو به عقب برای عبارت های Horn دارای زمان خطی هستند و کامل می باشند.
- رزولوشن برای منطق گزاره ای کامل است
- منطق گزاره ای در بازنمایی دانش ضعیف می باشد