

Planificació deliberativa. No-lineal

- Definicions
- POP
- Variables universals
- Efectes condicionals
- Disjuncions
- Quantificadors universals
- UCPOP

1

Planificació no-lineal. Definicions

- Ordre parcial: Els plans es representen com una seqüència ordenada parcialment.
- Mínim compromís:
 - només les decisions d'ordre essencials s'emmagatzemaran
 - es permet diferir decisions
- Pla: $\langle A, O, L \rangle$
 - A: accions
 - O: restriccions d'ordre
 - Quines accions s'han de fer abans que altres
 - Exemple: en l'anomalia de Sussman:

$$\begin{array}{ccc} & \searrow & \\ \text{moure}(a, \text{taula}, c) & \Rightarrow & \text{moure}(b, \text{taula}, c) < \text{moure}(a, \text{taula}, b) \\ & \nearrow & \\ \text{moureTaula}(c, a) & \Rightarrow & \text{moureTaula}(c, a) < \text{moure}(a, \text{taula}, b) \end{array}$$
 - L: enllaços causal
 - Exemple: en l'anomalia de Sussman, com moure(a, Taula, b) desfa precondicions de l'acció moure(b, taula, c), cal establir l'enllaç causal o restricció: $\text{moure}(b, \text{taula}, c) \rightarrow \text{moure}(a, \text{taula}, b)$

2

Planificació no-lineal. Definicions

- El conjunt de restriccions d'ordre O ha de ser consistent.
- A mesura que un pla es refina, el planificador ha de realitzar processos de satisfacció de restriccions sobre O.
- El pla final és qualsevol ordre d'A que no violi cap restricció O

3

Planificació no-lineal. Definicions

- Enllaç causal: $A_p \xrightarrow{Q} A_c$
 A_p : acció productora
 A_c : acció consumidora
 Q : efecte de A_p i precondició de A_c
- Els enllaços causal s'usen per detectar quan una acció (anomenada *thread*, conflicte o amenaça) interfereix en decisions anteriors.
- Definició: donats
 - pla: $\langle A, O, L \rangle$
 - $A_p \xrightarrow{Q} A_c$
 - $A_i \notin A$
 - A_i amenaça L si $O \cup \{A_p < A_i < A_c\}$ és consistent i A_i té com a efecte $\neg Q$

4

Planificació no-lineal. Definicions

- Exemple:
 - $Q = \text{damunt}(a, b)$
 - A_p té com efecte Q
 - A_c té com a precondició Q
 - A_i té com a efecte $\neg Q = \neg \text{damunt}(a, b)$
 - Llavors, A_i és una amenaça.
- Solucions:
 - Degradació: afegir la restricció d'ordre $A_i < A_p$
 - Promoció: afegir la restricció d'ordre $A_c < A_i$

5

Planificació no-lineal. Definicions

- Plans nuls
 - Ens proporcionen simplicitat i uniformitat en els algorismes
 - Ens permeten representar d'igual manera problemes resolts que incomplets.
 - Pla nul: $\langle A, O, L \rangle$
 - $A = \{A_0, A_\infty\}$
 - A_0 : precondicions: cap, efectes: estat inicial
 - A_∞ : precondicions: estat final (objectiu), efectes: cap
 - $O = \{A_0, A_\infty\}$
 - $L = \{\}$

6

Planificació no-lineal.

POP

funció planificador (estat_inicial, objectius, bc, pla) retorna pla
 inici
 $p := \text{pla_inicial}(\text{estat_inicial}, \text{objectius});$ $p = \langle A_0, A_\infty, \{A_0 < A_\infty, \{\}\rangle$
 retorna pop(p, agenda, bc);
 fplanificador

7

Planificació no-lineal.

POP

funció POP (<A,O,L>, agenda, bc) retorna pla
 inici
 si agenda = { }
 llavors retorna <A,O,L>;
 sinó $g := \text{seleccionar_objectiu}(\text{agenda});$ $g = Q \text{ t.q. } (Q, a_{need}) \in \text{agenda}$
 $a_{add} := \text{seleccionar_acció}(bc, g);$ $a_{add} \in A \text{ ó } A \text{ ó } a_{add} \in bc$
 si $a_{add} = \{\}$ llavors fail;
 sinó $\langle A', O', L' \rangle := \text{inicialitzar_acció}(a_{add}, \langle A, O, L \rangle);$
 $\text{agenda}' := \text{agenda} - g;$
 $\text{actualitzar_objectius}(a_{add}, A, \text{agenda}, \text{agenda}')$
 $\text{resoldre_conflictes}(\langle A', O', L' \rangle);$
 $\text{pop}(\langle A', O', L' \rangle, \text{agenda}', bc);$
 fsi;
 fpop;

8

Planificació no-lineal.

POP

funció inicialitzar_acció (a_{add} , <A,O,L>) retorna pla
 inici
 $L' := L \cup \{a_{add} \xrightarrow{Q} a_{need}\};$
 $O' := O \cup \{a_{add} < a_\infty\};$
 si $a_{add} \notin A$ llavors $A' := A \cup \{a_{add}\};$
 $O' := O' \cup \{a_0 < a_{add} < a_\infty\};$
 sinó $A' := A;$
 fsi;
 retorna(<A',O',L'>);
 finicialitzar_acció;

9

Planificació no-lineal.

POP

acció actualitzar_objectius (A, agenda, agenda') és
 inici
 si $a_{add} \in A$
 llavors per a cada $p \in \text{precondicions}(a_{add})$ fer
 $\text{agenda}' := \text{agenda}' \cup \{\langle p, a_{add} \rangle\};$
 fper;
 fsi;
 fi actualitzar_objectius;

10

Planificació no-lineal.

POP

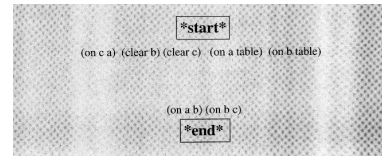
acció resoldre_conflictes(<A',O',L'>);
 inici
 per a cada $a_i \in A$ fer
 si $(\exists e \in \text{efectes}(a_i) \text{ que anul·la alguna } Q, \{a_p \xrightarrow{Q} a_c\} \in L)$ i
 $((\{a_i < a_p < a_c\} \notin O) \text{ ó } (\{a_p < a_c < a_i\} \notin O))$
 llavors $r := \text{escollir_promoció_o_degradació}(a_i, a_p, a_c);$
 si $r = \{\}$ llavors fail;
 sinó $O' := O' \cup r;$
 fsi;
 fsi;
 fresoldre_conflictes;

11

Planificació no-lineal.

POP. Exemple

- agenda = { <(on b c), A_∞ >, <(on ab), A_∞ > }

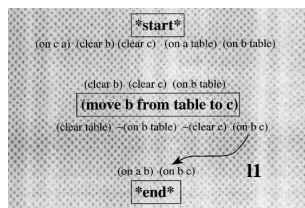


12

Planificació no-lineal.

POP. Exemple

- S'afegeix un enllaç causal (l_1) per donar suport a un dels objectius
- agenda= { <(clear b), A_1 >, <(clear c), A_1 >, <(on b table), A_1 >, <(on ab), A_{end} > }

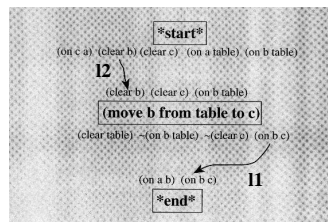


13

Planificació no-lineal.

POP. Exemple

- S'afegeix un enllaç causal (l_2) per donar suport a un dels objectius
- agenda= { <(clear c), A_1 >, <(on b table), A_1 >, <(on ab), A_{end} > }

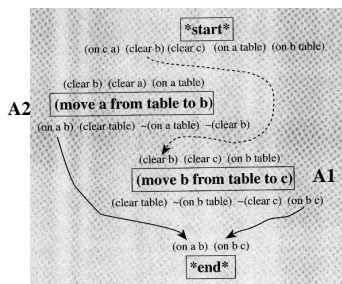


14

Planificació no-lineal.

POP. Exemple

- L'acció A2 amenaça l'enllaç l_2 ja que pot ordenar-se entre A_0 (*start*) i A_1 .
 $A_0 < A_2 < A_1$

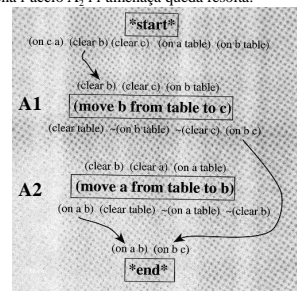


15

Planificació no-lineal.

POP. Exemple

- Es promociona l'acció A_1 i l'amenaça queda resolta.
 $A_1 < A_2$

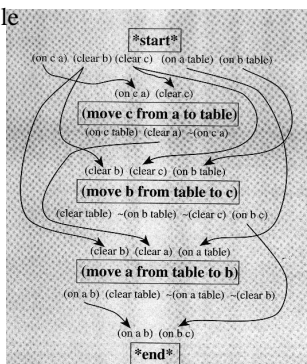


16

Planificació no-lineal.

POP. Exemple

- Solució final



Planificació no-lineal.

POP. Questions

- Eficiència: $O(cb^n)$
n: nombre de passos
b: nombre de possibilitats
c: constant
 - b en Pop < b en regressió
Justificació:
 - POP no fa backtracking en els objectius
 - Sempre agafa el següent objectiu en l'agenda
 - Regressió: si fa backtracking ja que escull no determinísticament l'objectiu a resoldre.
- ⇒ POP és més eficient

18

Planificació no-lineal.

Variables universals

- Per què quan tractàvem d'assolir (on b c) hem escollit (move b from table to c) ?
Teníem altres alternatives:
(move b from a to c)
I si disposéssim de més blocs, totes les combinacions possibles.
(move b from d to c)
(move b from e to c)
....
- És important on està b?
– No, pertant no és bo fer compromisos massa aviat
- Cal retardar la decisió sobre la procedència de b

19

Planificació no-lineal.

Variables universals

- Podem pensar en classes d'accions com:
move ?b from ?x to ?y
on ?b és el bloc a moure, ?x és l'origen i ?y el destí.
⇒ Operadors
- En el problema, podem instanciar ?b=b i ?y=c, deixant ?x indeterminat fins que sigui convenient.

20

Planificació no-lineal.

Variables universals

- Deixant indeterminacions sobre les variables, quin tipus de restriccions s'han de tenir en compte?
– Coassignacions: ?x = ?y
– No-coassignacions: ?x ≠ ?y
– ?y ≠ taula (→ efectes condicionals)

```
(define (operator move)
  (lambda (x y)
    (precondition (and
      (on ?b ?x) (clear ?b) (clear ?y)
      (← ?b ?y) (← ?b ?y) (← ?x ?y) (← ?y ?b)
      (and (on ?b ?y) (not (on ?b ?x))
        (clear ?x) (clear ?y)))))
    effect
```

21

Planificació no-lineal.

Variables universals

- Modificacions a l'algorisme:
 - pla: <A,O,L,B>
B: conjunt d'assignacions (*bindings*)
 - Incloure la funció MGU(Q,R,B)
MGU: unificador més general
Donat B, troba l'unificació més general entre Q i R.
- Exemples:
MGU((on ?x B), (on A B), {}) = {(?x A)}
MGU((on ?x B), (on A B), {?x C}) = {}
- Modificar la selecció de l'acció de manera que els efectes de l'acció escollida (a_{adj}) unifiquin amb g.
És a dir, si $efectes(a_{adj}) = E$, llavors $MGU(G,E,B) \neq \{\}$

22

Planificació no-lineal.

Variables universals

- Només s'afegiran a l'agenda les precondicions instanciades, afegint les coassignacions i nocoassignacions a B.
- Revisió de l'algorisme de comprovació de conflictes per tenir en compte l'unificació de variables.
- Abans d'acabar el pla s'haurà de comprovar que totes les variables tinguin una unificació a B.

23

Planificació no-lineal.

Efectes condicionals

- Hi ha elements que ens causen problemes esporàdics, que fa que, a més a més necessitem operadors especials per tractar-los.
És el cas de la taula: DIBUIX 9
- Tenir dos operadors redueix l'eficiència: el planificador s'ha de comprometre des d'un principi a moure un bloc sobre la taula o sobre un altre bloc, quan això no tenir importància pel problema.
(→viola el principi de mínim compromís)
- Una forma d'aconseguir-ho és mitjançant la definició d'efectes condicionals.

24

Planificació no-lineal.

Efectes condicionals

- Efectes condicionals: when a
Només quan es compleixi a en el món abans d'executar l'acció, hi haurà l'efecte c després d'executar-se

```
(define (operator move)
  (parameters (b ?x ?y)
    precondition (and (on ?b ?x) (clear ?b) (clear ?y)
      (≠ ?b ?x) (≠ ?b ?y) (≠ ?x ?y))
    effect (and (on ?b ?y) (not (on ?b ?x)) (clear ?x)
      (when (≠ ?y ?table) (not (clear ?y))))))
```

25

Planificació no-lineal.

Efectes condicionals

- Manipulació dels efectes condicionals: modificacions a l'algorisme
 - Selecció de l'acció per assolir l'objectiu g:
Si el conseqüent del condicional satisfà g,
Llavors l'objectiu a afegir a l'agenda és l'antecedent del condicional.
 - Confrontació: si un conflicte és causat per un efecte condicional, aleshores es pot provar l'alternativa d'incloure a l'agenda un objectiu nou que negui els antecedents del condicional
 - Introducció d'objectius negats
 - Cal revisar la suposició del món tancat

26

Planificació no-lineal.

Disjuncions

- Contribueixen a l'explosió combinatoria del problema
- Són útils perquè la planificació pot resultar més simple.

27

Planificació no-lineal.

Disjuncions

- Modificacions a l'algorisme:
 - Selecció d'objectius:
Si la llista de les precondicions és disjuntiva,
Llavors seleccionar *no-determinísticament* una precondició com a objectiu
- Observar que:
efectes amb condicionals ≠ condicions amb disjuncions

28

Planificació no-lineal.

Quantificació universal

- Permet descriure les accions d'una manera més senzilla:
 - en precondicions:
 - no es pot moure un bloc a no ser que **tots** els altres no estiguin sobre d'ell
 - elimina un directori només si **tots** els fitxers d'aquests han estat esborrats
 - en efectes:
 - elimina **tots** els fitxers d'un directori
 - moure una caixa causa que **tots** els objectes que conté també siguin moguts

29

Planificació no-lineal.

Quantificació universal

```
(define (operator move)
  (parameters (b ?l ?m)
    precondition (and (briefcase ?b) (at ?b ?l) (≠ ?m ?l))
    effect (and (at ?b ?m)
      (not (at ?b ?l))
      (forall ((object ?x))
        (when (in ?x ?b)
          (and (at ?x ?m) (not (at ?x ?l)))))))
```

30

Planificació no-lineal.

Quantificació universal

- Calen les següents suposicions:
 - El món a modelar té un conjunt finit i estàtic d'objectes
 - Cada objecte té un tipus
 - Existeix una sentència declarativa per a cada objecte indicant el seu tipus
- Base universal:
Si l'objectiu es satisfà en cadascuna de les constants, s'assumirà que s'assoleix de manera universal.
- Reemplaçar variables per constants:
 $\forall x Q(x) \rightarrow Q(o_i)$
 on o_i és cada objecte del tipus t en el món.
- Exemple:
 objectiu: (per_a_tot ((llibre ?x)) (dintre ?x B))
 domini del tipus llibre: (màrmara prenilubi la_metamorfosi)
 \rightarrow (i (dintre màrmara B) (dintre prenilubi B) (dintre la_metamorfosi B))

31

Planificació no-lineal.

Quantificació universal

- Combinar quantificadors universals i existencials
 - $\forall x \exists y$ Es basa en la skolemització del càlcul de predicats
 Exemple:
 objectiu: (per_a_tot ((maleta ?x)) (existeix ((llibre ?y)) (dintre ?y ?x)))
 domini del tipus maleta: (B1 B2)
 \rightarrow (i (llibre ?y1) (dintre ?y1 B1) (llibre ?y2) (dintre ?y2 B2))
 - $\exists x \forall y$ Seguint el tractament del quantificador universal
 Exemple:
 objectiu: (existeix ((maleta ?x) (per_a_tot ((llibre ?y)) (dintre ?y ?b)))
 domini del tipus llibre: (màrmara prenilubi la_metamorfosi)
 \rightarrow (i (maleta ?x)
 » (dintre màrmara ?x) (dintre prenilubi ?x)
 » (dintre la_metamorfosi ?x))

32

Planificació no-lineal.

Quantificació universal

- Modificacions a l'algorisme
 - Quantificadors universals a les precondicions: es calcula la base universal de la precondició i es posa a l'agenda
 - Quantificadors universals als efectes: la base universal es calcula de manera incremental per donar suport als enllaços causals que es requereixin
 - Cal revisar el concepte de conflicte
- Exemple:
 acció: chmod*
 efecte: tots els fitxers ?f protegits
 chmod* entre en conflicte amb l'acció (escribible foo.tex)
 ja que $MGU \rightarrow (?f \text{ foo.tex})$

33

Planificació no-lineal.

Quantificació universal

- Conflicte: A_i amenaça a $A_j \xrightarrow{Q} A_k$ si:
 - $A_p < A_i < A_k$ és consistent amb O ,
 - A_i té com a efecte R ,
 - $MGU(Q, \neg R, B) \neq \perp$,
 - $\forall (u, v) \in MGU(Q, \neg R, B)$,
 $u \in \{\text{variables quantificades universalment en els efectes}\}$
 ó
 $v \in \{\text{variables quantificades universalment en els efectes}\}$

34

Planificació no-lineal.

UCPOP

funció planificador (estat_inicial, objectius, bc, pla) retorna pla
 inici
 $p := \text{pla_inicial}(\text{estat_inicial}, \text{objectius}); \quad p = \langle A, O, L, B \rangle$
 $A = \{A_0, A_{\infty}\}$
 $O = \{A_0 < A_{\infty}\}$
 $L = \{\}$
 $B = \{\}$
 $\text{agenda} := \text{agenda_inicial}(\text{objectius}); \quad \text{agenda} = ((g_1, A_{\infty}) \dots (g_n, A_{\infty}))$
 retorna ucpop(p, agenda, bc);
 fplanificador

35

Planificació no-lineal.

UCPOP

funció UCPop (<A,O,L,B>, agenda, bc) retorna pla
 inici
 si agenda = {}
 llavors retorna <A,O,L,B>;
 sinó reducció_d_objectius(<A,O,L,B>, agenda, g);
 $a := \text{seleccionar_acció}(bc, g); \quad a \in A \text{ ó } a \in bc$
 si a = {} llavors fail;
 $\text{sinó } \langle A', O', L', B' \rangle := \text{inicialitzar_acció}(\langle A, O, L, B \rangle, a, g);$
 actualitzar_objectius(<A', O', L', B'>, agenda, a, g);
 protecció_d_enllaços_causals(<A', O', L', B'>, a, agenda);
 si consistent(B')
 llavors ucpop(<A', O', L', B'>, agenda, bc);
 sinó fail;
 fsi;
 fsi;
 fucpop;

36

Planificació no-lineal.

UCPOP

```

acció reducció_d_objectius(<A,O,L,B>,agenda,g) és
inici
  g:=seleccionar_objectiu(agenda);      g=Q t.q. (Q,ai) ∈ agenda
  agenda:=agenda-g;
  opció(g):
    quantificador universal: agenda:= agenda ∪ {base_universal(Q)};
                          reducció_d_objectius(<A,O,L,B>,agenda,g);
    conjunció:            agenda:= agenda ∪ {gi};
                          reducció_d_objectius(<A,O,L,B>,agenda,g);
    disjunció: agenda:= agenda ∪ {seleccionar_un_objectiu(g)};
                          reducció_d_objectius(<A,O,L,B>,agenda,g);
    literal: si existeix l ∈ L t.q. l=a → ai llavors fail;    fsi;
  fopció;
facció;

```

37

Planificació no-lineal.

UCPOP

```

funció inicialitzar_acció (<A,O,L,B>,a,g) retorna <A',O',L',B'>

inici
  O' := O ∪ { a < ai };
  L' := L ∪ { a → ai };      (* g = (Q,Ai) *)
  B' := B ∪ { (u,v) | (u,v) ∈ MGU(Q,R,B) i u,v no són variables quantificades
    universalment }
  R: efecte de a
  retorna(<A',O',L',B'>);
finalitzar_acció;

```

38

Planificació no-lineal.

UCPOP

```

acció actualitzar_objectius(<A',O',L',B'>,agenda,a,g)

inici
  si a ∉ A
  llavors A=A ∪ {a};
          agenda := agenda ∪ { <preconds(a) \ MGU((Q,R,B),a)> }
          O' := O ∪ { Ao < a < Ao };
          B' := B ∪ {nocoassignacions a}
  Si l'efecte és condicional, afegir l'antecedent a l'agenda amb MGU((Q,R,B),a);
  fsi;
facció;

```

39

Planificació no-lineal.

UCPOP

```

acció protecció_d'enllaços_causals(<A',O',L',B'>,a,agenda) és

inici
  per a cada l ∈ L fer
    per a cada Ai fer
      si amenaca(l,Ai) llavors escollir_solució(O,l,Ai,agenda); fsi;
    fper;
  fper;
facció

```

40

Planificació no-lineal.

UCPOP

- Solucions possibles:
 - promoció
 - degradació
 - confrontació:
- Si A_i té un efecte condicional amb
 A: antecedent
 P: conseqüent
 llavors agenda := agenda ∪ {¬A \ MGU((¬P, R, {}),A_i)>}

41

Planificació no-lineal.

UCPOP. Exemple 1.

- Problema: Transport de caixes amb continguts.
- Nou operador: treure un objecte d'una caixa:

```

(define (operator take-out)
  :parameters (7x 7b)
  :precondition (in 7x 7b)
  :effect (not (in 7x 7b)))

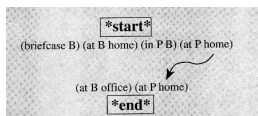
```

42

Planificació no-lineal.

UCPOP. Exemple 1.

- Condicions inicials: tenim un talonari dins d'una maleta que està a casa.
- Objectiu: Tenir el talonari a casa i la maleta a l'oficina. (conjunció d'objectius)
- Suposem que es selecciona l'objectiu (at P home).
- Les accions possibles són:
 - Crear una nova instanciació de l'operador moure
 - Crear un enllaç entre des de l'estat inicial ←

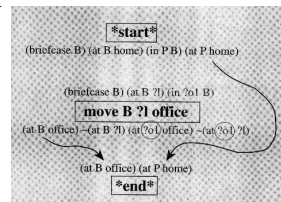


43

Planificació no-lineal.

UCPOP. Exemple 1.

- Ara només queda a l'agenda l'objectiu (at B office).
- Accions possibles:
 - Moure la maleta ←
 - Moure una segona maleta que contingui B.
- Aquesta acció no és possible perquè en el nostre univers no disposem d'una segona maleta.

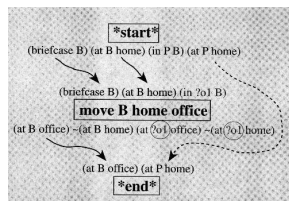


44

Planificació no-lineal.

UCPOP. Exemple 1.

- La condició (i (briefcase B) (at B ?l) s'ha reduït en reducció_d'objectius i s'enllacen els nous objectius a l'estat inicial on ja estan satisfets.
- Al fer-ho, unifiquem variables (?l home)
- Com que l'efecte de l'acció és $\neg(\text{at } ?o1 \text{ ?l})$, l'acció està amenaçant a l'enllaç causal ($A_0^p \rightarrow A_{\infty}$) entre (at P home) de l'estat inicial i (at P home) de l'estat final

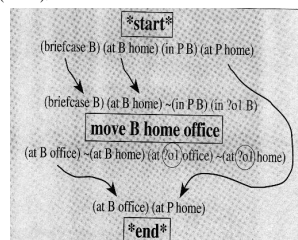


45

Planificació no-lineal.

UCPOP. Exemple 1.

- Cal seleccionar un mètode de resolució de conflictes:
 - Promoció: (move B home office) no es pot aplicar abans de A_0
 - Degradació: (move B home office) no es pot aplicar després de A_{∞}
 - Confrontació: com $\neg(\text{at } ?o1 \text{ home})$, (at ?o1 office) és un efecte condicional, amb la condició (in ?o1 B), podem incloure a l'agenda un nou objectiu $\neg(\text{in P B})$.

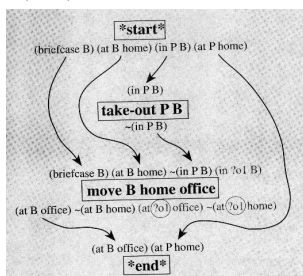


46

Planificació no-lineal.

UCPOP. Exemple 1.

- Finalment $\neg(\text{in P B})$ s'assoleix fàcilment.

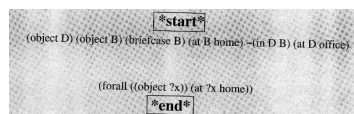


47

Planificació no-lineal.

UCPOP. Exemple 2.

Problema: volem tenir tots els objectes a casa



48

Planificació no-lineal.

UCPOP. Exemple 2.

- Afegim un nou operador per posar un objecte dins una caixa.

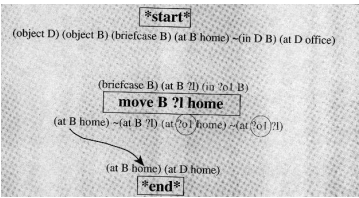
```
(define (operator put-in)
  (parameters
    (x ?b ?l)
    (and (x ?a ?b) (at ?x ?l) (briefcase ?b))
    (in ?x ?b))
  (effect
    (in ?x ?b)))
```

49

Planificació no-lineal.

UCPOP. Exemple 2.

- El primer lloc, UCPPOP tradueix l'objectiu quantificat universalment en una conjunció d'objectius corresponents a la base universal.
- Suposem que s'escull com a primer objectiu a satisfer (at B home).

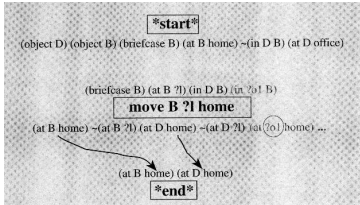


50

Planificació no-lineal.

UCPOP. Exemple 2.

- A continuació es passa a estudiar (at D home).
- Entre les accions que el satisfan, està la mateixa que ja existeix en el pla si s'agafa l'efecte condicional.
 - S'Expandeix l'efecte per instanciar-lo amb D, afegint les precondicions en l'antecedent.



51

Planificació no-lineal.

UCPOP. Exemple 2.

- Solució final .

