

Proceedings

**AI*IA-96 Workshop on
Planning Robot Actions in Complex Environments**

Naples (Italy) - September 28th, 1996

Sponsored by

**Italian Association for Artificial Intelligence
Working Group on Robotics**

C. Ferrari and E. Pagello Eds.

Classificazione delle Strategie di Moto di un Robot

Giovanni Bianco, Riccardo Cassinis

Dipartimento di Elettronica per l'Automazione - Università di Brescia

Sommario

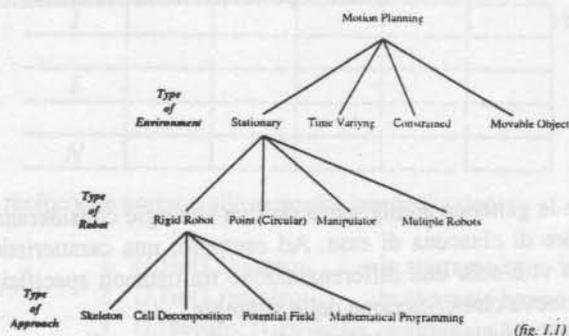
In questo articolo viene presentata una proposta di riclassificazione delle strategie di moto di un robot basata su un criterio di compatibilità. Il risultato della riclassificazione operata con queste modalità è quello di interpretare la strategia come insieme (di caratteristiche di funzionamento).

1. Introduzione

L'elevata complessità computazionale del Generalized Mover's Problem, studiata da Reif [Reif 79], ha portato l'intera comunità dei ricercatori del Motion Planning a vincolare la risoluzione dei problemi a precise ipotesi ambientali, sul robot e di approccio proprio per ridurre la complessità [Hwang, Ahuja 92] [Latombe 91]. Questa serie di vincoli nelle ipotesi di applicabilità delle strategie di moto portano ad una partizione del problema generale: Classical Mover's Problem, Circular (o Point) Robot, Manipulator Motion Planning, Multi Mover's

Problem, Time Varying Environment, Constrained Motion Planning, Movable Object.

Dai raggruppamenti di strategie è naturalmente derivata una sorta di classificazione che appare però criticabile sotto vari punti di vista:



(fig. 1.1)

- mancano caratteristiche fondamentali
- mancano combinazioni tra i fattori classificanti
- vi è ridondanza tra alcuni fattori classificanti

Una riclassificazione delle strategie oltre a tener conto di queste osservazioni deve mantenere un livello di granularità accettabile. Per questo appare conveniente affrontare il problema della classificazione introducendo tre successivi livelli di analisi delle strategie:

1. strutturale compatibilità
2. ipotetica applicabilità
3. effettiva specificità

Nel caso della strutturale compatibilità si intende cogliere la generica somiglianza tra due strategie; con l'ipotetica applicabilità si considerano qualitativamente i vincoli di applicazione di ciascuna strategia; per ultimo, l'applicazione dell'effettiva specificità è a livello della singola strategia e considera gli effettivi valori delle caratteristiche di funzionamento. Il primo livello rappresenta la nuova classificazione, mentre gli altri due sono considerati di granularità troppo fine. Il risultato della riclassificazione operata con queste modalità è quello di interpretare la strategia come insieme (di caratteristiche di funzionamento).

2. I Raggruppamenti Classici

La suddivisione strategica (figura 1.1) è nata ponendo vincoli sulle ipotesi di applicabilità del problema generale del moto per rendere computazionalmente trattabili i problemi reali, e ciò vale per il tipo di ambiente e di robot. La tipologia di approccio invece si riferisce al metodo usato per trovare la soluzione. Un tale raggruppamento di strategie si presta a varie osservazioni. La prima riguarda la mancanza di inclusività nella ripartizione ad albero: un ambiente Movable Object, ad esempio, è sicuramente anche un ambiente in cui vi è la variazione nel tempo (Time Varying). La seconda osservazione è relativa alla mancanza di combinazioni fondamentali: la ramificazione per i Multiple Robot, ad esempio, non dovrebbe essere indipendente dalle tipologie di robot quali Manipulator, Point Robot o Rigid Robot. La terza osservazione riguarda la mancanza di ulteriori caratteristiche fondamentali: la quasi totalità delle strategie, ad esempio, si riferisce ad una ben precisa conformazione degli ostacoli, poliedrici, circolari, qualsiasi.

Al fine di confronto verranno citate come esempio di riclassificazione varie strategie classicamente inserite in specifici raggruppamenti, quali:

- *Point o Circular Robot*: la forma del robot è indipendente dalla sua orientazione, quindi il robot può essere trattato, senza perdita di generalità, come un punto. Significativi sono i lavori di [de Rezende et al. 85] e [Lumelsky 89] per lo Skeleton; di [Jun, Shin 88] e [Quek et al. 85] per Cell Decomposition; di [Thorpe 84] e [Krogh, Thorpe 86] per Potential Field.

in un secondo momento, le medesime strategie verranno riclassificate attraverso il metodo introdotto e analizzato nel presente articolo.

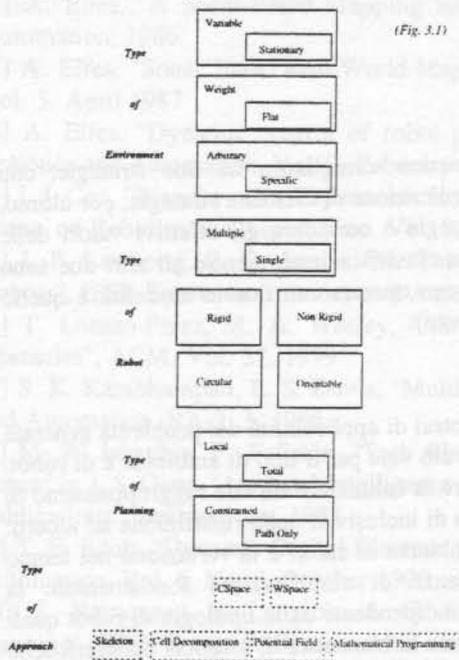
3. Una Nuova Classificazione delle Strategie di Moto

Classificare le strategie di moto di un robot è compito generalmente di granularità molto fine: varie strategie sono gruppi a sé in quanto ipotizzano condizioni di funzionamento estremamente specifiche al fine di trarne vantaggio computazionale o di indagine teorica. Per questo appare conveniente affrontare il problema della classificazione introducendo tre successivi livelli di analisi delle strategie :

1. strutturale compatibilità (o compatibilità)
2. ipotetica applicabilità (o applicabilità)
3. effettiva specificità (o specificità)

Nel caso della strutturale compatibilità si intende cogliere la generica somiglianza tra due strategie considerando caratteristiche esterne, senza analizzare lo specifico valore di ciascuna di esse. Ad esempio, una caratteristica considerata è la tipologia degli ostacoli : a questo livello vi è solo una differenziazione tra ostacoli specifici e arbitrari. Il livello della compatibilità strutturale forma la nuova classificazione delle strategie.

Nel caso dell'ipotetica applicabilità si considerano qualitativamente i vincoli di applicazione di ciascuna strategia; ciascuna strategia è confrontata con le altre al fine di stabilire se con le proprie ipotesi di applicazione può funzionare ed agire anche nelle ipotesi di applicazione delle altre. La valutazione dell'applicabilità discrimina ulteriormente membri di uno stesso gruppo di strategie compatibili, anche se può essere valutata tra strategie non compatibili.



Per ultimo, l'applicazione dell'effettiva specificità è a livello della singola strategia e delle specifiche proprie che ne caratteristiche il funzionamento. Questo livello entra, perciò, nel dettaglio quantitativo dell'effettivo valore legato alle caratteristiche considerate nella compatibilità.

3.1 La strutturale compatibilità

La nozione di strutturale compatibilità è basata su tre macro-caratteristiche : *ambiente, robot, pianificazione*.

Una quarta macro-caratteristica, *approccio*, discrimina le strategie solo internamente tra loro essendo, per così dire, l'algoritmo usato per produrre la soluzione. Questa macro-caratteristica non viene considerata in nessuno dei livelli di confronto. Ciascuna macro-caratteristica è composta, a sua volta, da varie caratteristiche generiche ulteriormente discriminanti le strategie. A sua volta, ciascuna caratteristica può essere rappresentata come insieme e sottoinsieme; il caso specifico è visto come sottoinsieme di quello generale: per una caratteristica l'essere generale significa essere anche specifica, ma non viceversa. Altre volte le caratteristiche non sono l'una la generalizzazione dell'altra.

L'intero raggruppamento di macro-caratteristiche e di caratteristiche è visibile in figura 3.1.

La seguente relazione d'equivalenza definisce la strutturale compatibilità:

due strategie sono strutturalmente compatibili se hanno uguali caratteristiche d'ambiente, di robot e di pianificazione

L'azione di classificazione avviene tracciando delle spezzate che congiungono punti degli insiemi delle caratteristiche di ogni strategia (figura 4.1): se i punti del cammino così individuati appartengono ai medesimi insiemi e sottoinsiemi le due strategie sono "compatibili" e sono, perciò, equivalenti con la definizione data sopra. Due strategie potranno essere formalmente definite compatibili utilizzando il canonico simbolo di equivalenza: *strategia1* - *strategia2*.

3.2. L'ipotetica applicabilità

L'ipotetica applicabilità trae origine dalla necessità di discriminare ulteriormente strategie tra loro compatibili. Infatti, nelle ipotesi di funzionamento di ciascuna strategia possono esservi diversi valori legati ad una stessa caratteristica. La compatibilità determina un primo livello di somiglianza mentre l'applicabilità determina se nelle ipotesi di funzionamento di una strategia, un'altra strategia risulta funzionante. Il concetto di ipotetica applicabilità è colto dalla matrice di applicabilità (a sinistra).

| Applicabile J in I? | I | J | N |
|------------------------|---|---|---|
| I | | | |
| J | | | |
| N | | | |

Nell'incrocio (J,I) vi è un valore booleano che indica se la strategia J è applicabile nelle ipotesi della strategia I.

Tra strategie, le varie combinazioni di applicabilità

reciproche portano alle seguenti interpretazioni:

1. (J,I)=(I,J)=vero: le strategie sono intercambiabili
2. (J,I)=(I,J)=falso: le strategie hanno caratteristiche di funzionamento diverso.
3. (J,I)=vero, (I,J)=falso: la strategia J è una generalizzazione di I in almeno una caratteristica

Si può formalmente utilizzare la simbologia insiemistica per definirne l'applicabilità. In particolare:

- $strategia1 \subset strategia2$: la strategia2 rappresenta una generalizzazione della strategia1
- $strategia1 = strategia2$: le due strategie sono intercambiabili
- $strategia1 \neq strategia2$: le due strategie non sono nè intercambiabili nè l'una la generalizzazione dell'altra.

3.3. L'effettiva specificità

A questo livello non vi è un confronto tra strategie in quanto per ciascuna vengono esaminati gli effettivi valori di funzionamento. La formalizzazione di questo livello avviene considerando le effettive caratteristiche come elementi appartenenti alla strategia vista come insieme di questi. Ad esempio, per un'ipotetica *strategia1*, potremmo avere:

$$strategia1 = \{stationary, flat, polygon, single, rigid, circular, local, path\}$$

Non vi è impedimento nel pensare che ciascun elemento della strategia possa essere esso stesso un insieme, così come anticipato nel paragrafo 3.1.

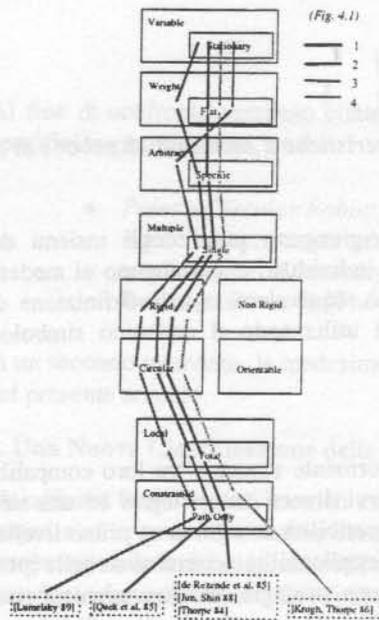
4. Riclassificazione delle strategie classiche

Per valutare l'applicazione dei concetti appena esposti vengono riclassificate le strategie già analizzate in

| Applicabile J in I? | [de Rezende et al. 85] | [Jun, Shin 88] | [Thorpe 84] | Krogh, Thorpe 86] | [Lumelsky 89] | Quek et al. 85] |
|------------------------|------------------------|----------------|-------------|-------------------|---------------|-----------------|
| [de Rezende et al. 85] | - | SI | SI | SI | SI | SI |
| [Jun, Shin 88] | NO | - | SI | SI | SI | SI |
| [Thorpe 84] | NO | SI | - | SI | SI | SI |
| Krogh, Thorpe 86] | NO | NO | NO | - | SI | SI |
| [Lumelsky 89] | NO | NO | NO | SI | - | NO |
| Quek et al. 85] | NO | NO | NO | NO | NO | - |

precedenza. Queste hanno caratteristiche che le differenziano notevolmente, formando 4 gruppi non compatibili (figura 4.1). Nella

matrice di compatibilità delle strategie si nota una casistica interessante: la presenza di strategie inapplicabili



seppur compatibili; ciò poichè si ha come specificità $rectangle \in [de Rezende et al. 85]$ mentre per ogni *strategia* dell'insieme formato da $\{gruppo1-[de Rezende et al. 85]\}$ si ha $polygone \in strategia$; queste ultime strategie funzionano nelle ipotesi della prima, ma non viceversa, poichè banalmente $rectangle \subset polygone$.

5. Conclusioni

Nel presente articolo, a partire da alcune critiche espresse sull'esistente classificazione, si è cercato di approfondire da un punto di vista insiemistico le strategie di moto, introducendo una nuova classificazione basata su un criterio di equivalenza.

Altri approfondimenti saranno necessari per inserire nuove caratteristiche nella valutazione delle strategie quali i gradi di libertà che sovrintende e l'eventuale coordinazione in presenza di più robot. Inoltre, un approfondimento sarà anche necessario per valutare se esista qualche compatibilità tra caratteristiche Non Rigid e Rigid e tra caratteristiche Circular e Orientable. La possibilità di un'interpretazione insiemistica

delle strategie di moto del robot appare, comunque, interessante per fondare le basi di una trattazione simbolica delle stesse.

Inoltre, dal grado di dettaglio dell'effettiva specificità è possibile trovare spunti per la realizzazione teorica e pratica dei sensori virtuali previsti nella teoria della multistrategia [Bianco, Cassinis 96].

6. Bibliografia

- [Bianco, Cassinis 96] BIANCO, G. M. AND CASSINIS, R. 1996 "A multi-strategic approach for robot path-planning". *1st Euromicro Workshop on Advanced Mobile Robots*, Kaiserlautern, 9-11 Ottobre 1996.
- [Hwang, Ahuja 92] HWANG, Y. K. AND AHUJA, N. 1992. "Gross Motion Planning - A Survey". *ACM Computing Surveys*, Vol. 24. No. 3. September 1992.
- [Jun, Shin 88] JUN, S., AND SHIN, K. G. 1988. "A probabilistic approach to collision free robot path planning". In *Proceeding of the IEEE International Conference of Robotics and Automation* (Philadelphia, Apr. 24-29). IEEE, New York, pp. 220-227.
- [Krogh, Thorpe 86] KROGH, B. H. AND THORPE, C. E. 1986. "Integrated path planning and dynamic steering control for autonomous vehicles". In *Proceeding of the IEEE International Conference of Robotics and Automation* (San Francisco, Apr. 7-10). IEEE, New York, pp. 1664-1669.
- [Latombe 91] LATOMBE, J. C. 1991. "Robot motion planning". *Kluwer Academic Publisher*, Boston/Dodrecht/London.
- [Lumelsky 89] LUMELSKY, V. 1989 "On the connection between maze-searching and robot planning algorithms", *Proc. of the 28th IEEE Conf. on Decision and Control*, Vol. 2 December 1989.
- [Maddila 86] MADDILA, S. R. 1986 "Decomposition algorithm for moving a laddere among rectangular obstacles". In *Proceeding of the IEEE International Conference of Robotics and Automation* (San Francisco, Apr. 7-10). IEEE, New York, pp. 1413-1418.
- [Quek et al. 85] QUEK, F. K. H., FRANKLIN, R. F. AND PONT, F. 1985 "A decision system for autonomous robot navigation over rough terrain". In *Proceedings of SPIE Application of Artificial Intelligence* (Boston).
- [Reif 79] REIF, J. H. 1979. "Complexity of the mover's problem and generalizations, extended abstract". In *Proceeding of the IEEE Symposium on Foundation of Computer Science* (San Juan, Puerto Rico, Oct. 29-31). IEEE, New York, pp. 421-427.
- [Thorpe 84] THORPE, C. E. 1984 "Path relaxation: Path planning for mobile robot", In *Proceeding of the AAAI* (Austin, Tex., Aug. 6-10), Morgan Kaufmann Publishers, Inc. Los Altos, Calif., pp. 318-321.