I giochi con avversario

Maria Simi
a.a. 2010/2011

I giochi con avversario

- Regole semplici e formalizzabili
- Deterministici, due giocatori, turni alterni, *zero-sum*, informazione perfetta (ambiente accessibile)
- ambiente multi-agente: la presenza dell'avversario rende l'ambiente *strategico* ⇒ più difficile rispetto ai problemi di ricerca visti fin'ora
- complessità e vincoli di tempo reale: si può solo cercare di fare la mossa migliore nel tempo disponibile
- ⇒ i giochi sono un po' più simili ai problemi reali

Introduzione

1. La soluzione teorica: come si sceglie la mossa migliore in un gioco con uno spazio di ricerca limitato
2. Estensione a giochi più complessi, in cui non è possibile una esplorazione esaustiva
3. Tecniche di ottimizzazione della ricerca
4. Giochi con casualità

Giochi come problemi di ricerca

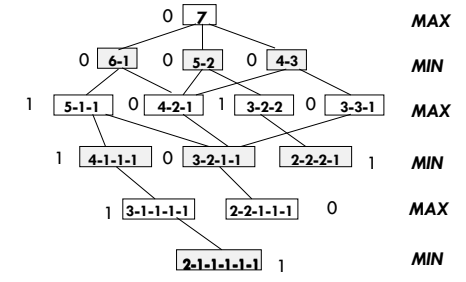
- *Stati*: configurazioni del gioco
- *Stato iniziale*: configurazione iniziale
- *Azioni*(*s*): le mosse legali in *s*
- Risultato(*a, s*): gli stati risultanti
- *Test-terminazione*(*s*): funzione che determina la fine del gioco
- Utilità(*s,* p): funzione *di utilità* (o *pay-off*), valore numerico che valuta gli stati terminali del gioco per p
  Es. 1|-1|0, conteggio punti, …

Il gioco del NIM

- Regole:
  - un certo numero di fiammiferi, *7*, allineati sul tavolo
  - una mossa consiste nel separare una fila in due file aventi un numero diverso di fiammiferi.
  - Perde il giocatore che non può più muovere
- Stati: |||||| | ⇒ 6-1
- Mosse: 6-1 ⟶ 5-1-1
  ⟶ 4-2-1 = 2-4-1

Il gioco del NIM

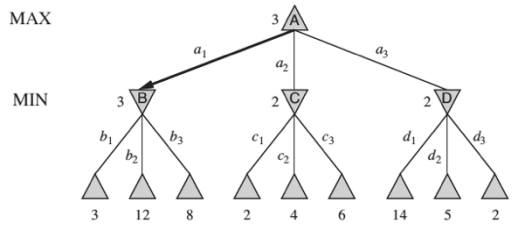
Il computer si chiama MAX, MIN è l'avversario. Quale mossa conviene fare a MAX nello stato iniziale?



Valore Minimax

$$\text{Minimax}(n) = \begin{cases} \text{Utilità}(s, \text{MAX}) & \text{se Test-terminale}(s) \\ \max_{a \in \text{Azioni}(s)} \text{Minimax}(\text{Risultato}(s, a)) & \text{se Giocatore}(s) = \text{MAX} \\ \min_{a \in \text{Azioni}(s)} \text{Minimax}(\text{Risultato}(s, a)) & \text{se Giocatore}(s) = \text{MIN} \end{cases}$$

Esempio



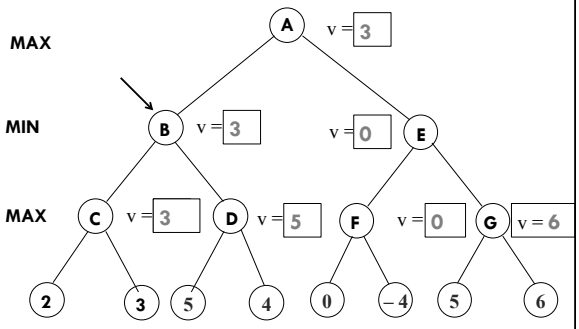
L'algoritmo MIN-MAX

function Decisione-Minimax(*stato*) **returns** un'azione
  return argmax $_{a \in \text{Azioni}(s)}$ ValoreMin(Risultato(*stato*, *a*))

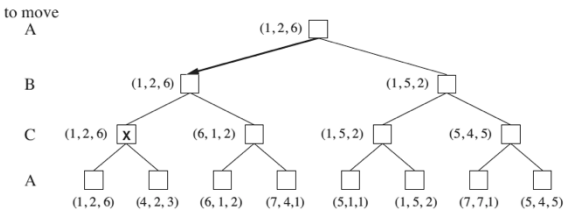
function Valore-Max(*stato*) **returns** un valore di utilità
  if TestTerminazione(*stato*) **then return** Utilità(*stato*)
    v = -∞
    for each *a* in Azioni(*stato*) **do**
      v = Max(*v*, ValoreMin(Risultato(*stato*, *a*))
    return *v*

function Valore-Min(*stato*) **returns** un valore di utilità
  if TestTerminazione(*stato*) **then return** Utilità(*stato*)
    v = +∞
    for each *a* in Azioni(*stato*) **do**
      v = Min(*v*, ValoreMax(Risultato(*stato*, *a*))
    return *v*

Min-max: algoritmo in azione



Giochi multiplayer



(v_a=1, v_b=2, v_c=6) valutazioni per A, B, C

Min-max con decisione imperfetta

- In casi più complessi occorre una funzione di valutazione euristica dello stato *Eval*(*s*).
- *Strategia*: guardare avanti *d* mosse
  - Si espande l'albero di ricerca un certo numero di livelli *d* (compatibile col tempo e lo spazio disponibili)
  - si valutano gli stati ottenuti e si propaga indietro il risultato con la regola del MAX e MIN
- Algoritmo MIN-MAX come prima ma …
  if TestTerminazione(*stato*) **then return** Utilità(*stato*)
  ➔ **if** TestTaglio(*stato, d*) **then return** Eval(*stato*)

Min-Max con euristica

H-Minimax(s, d) =

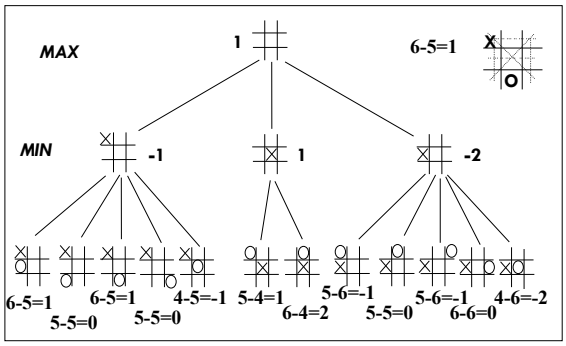
Eval(*s*) se TestTaglio(*s*, *d*)

$\max_{a \in Azioni(s)}$ H-Minimax(Risultato(s, a), d+1) se MAX

$\min_{a \in Azioni(s)}$ H-Minimax(Risultato(s, a), d+1) se MIN

Il filetto

f(n)=X(n) - O(n)
X(n) righe aperte per X
O(n) righe aperte per O

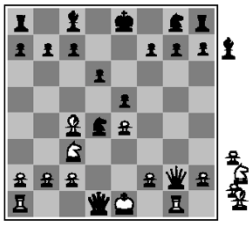


La funzione di valutazione

- La funzione di valutazione *f* è una stima della utilità attesa a partire da una certa posizione nel gioco.
  es. il vantaggio in materiale negli scacchi:
  pedoni 1, cavallo o alfiere 3, torre 5, regina 9 …
- Determinante la qualità della *f*:
  - deve essere consistente con l'utilità se applicata a stati terminali del gioco (indurre lo stesso ordinamento).
  - deve essere efficiente da calcolare;
  - deve riflettere le probabilità effettive di vittoria (maggiore valore ad A piuttosto che a B se da A ci sono più probabilità di vittoria che da B)

Problemi con MIN-MAX: stati non quiescienti

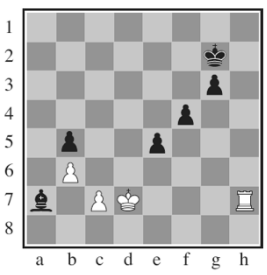
- *Stati non quiescienti*: l'esplorazione fino ad un livello può mostrare una situazione molto vantaggiosa: alla mossa successiva la regina nera viene mangiata.
- *Soluzione*: applicare la valutazione a stati *quiescenti* stati in cui la funzione di valutazione non è soggetta a mutamenti repentini.


(b) White to move

Problemi con MIN-MAX: effetto orizzonte

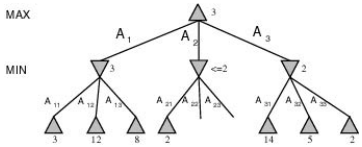
Effetto orizzonte: può succedere che vengano privilegiate mosse diversive che hanno il solo effetto di spingere il problema oltre l'orizzonte

L'alfiere in a7, catturabile in 3 mosse dalla torre, è spacciato. Mettere il re bianco sotto scacco con il pedone in e5 e poi con quello in f4 evita il problema temporaneamente, ma è un sacrificio inutile di pedoni.



Potatura alfa-beta: l'idea

- Tecnica di *potatura* per ridurre l'esplorazione dello spazio di ricerca in algoritmi MIN-MAX.

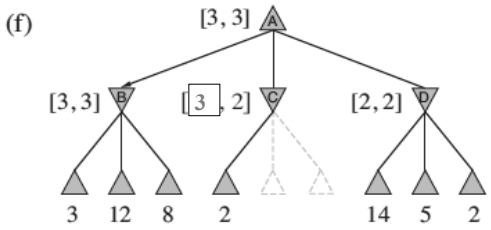


MINMAX(*radice*) = max(min(3, 12, 8), min(2, x, y), min(14, 5, 2))
= max(3, min(2, x, y), 2)
= max(3, z, 2) con $z \leq 2$
= 3

Potatura alfa-beta: implementazione

- Si va avanti in profondità fino al livello desiderato e propagando indietro i valori si decide se si può abbandonare l'esplorazione nel sotto-albero.
  - MaxValue e MinValue vengono invocate con due valori di riferimento: α (inizialmente $-\infty$) e β (inizialmente $+\infty$): rappresentano rispettivamente la migliore alternativa per MAX e per MIN fino a quel momento.
  - I tagli avvengono quando nel propagare indietro:
    $v \geq \beta$ per i nodi MAX (taglio α)
    $v \leq \alpha$ per i nodi MIN (taglio β)

Alfa-beta: funzionamento



L'algoritmo Alfa-Beta: max

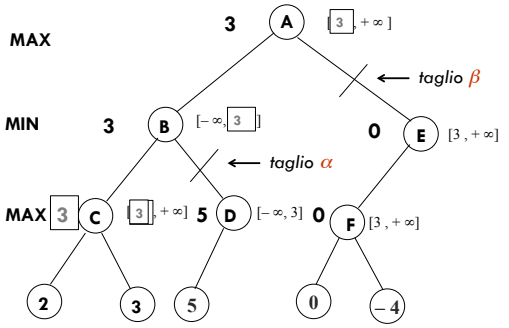
function Alfa-Beta(*stato*) **returns** un'azione
  v = ValoreMax(*stato*, -∞, +∞,)
  return l'azione in Azioni(*stato*, *a*) con valore *v*

function Valore-Max(*stato*, *α*, *β*) **returns** un valore di utilità
  if TestTerminazione(*stato*) **then return** Utilità(*stato*)
  v = -∞
  for each *a* in Azioni(*stato*) **do**
    v = Max(*v*, ValoreMin(Risultato(*stato*, *a*), *α*, *β*))
    if *v* ≥ *β* **then return** *v* ← *taglio α*
    α = Max(*α*, *v*)
  return *v*

L'algoritmo Alfa-Beta: min

function Valore-Min(*stato*, *α*, *β*) **returns** un valore di utilità
  if TestTerminazione(*stato*) **then return** Utilità(*stato*)
  v = +∞
  for each *a* in Azioni(*stato*) **do**
    v = Min(*v*, ValoreMax(Risultato(*stato*, *a*), *α*, *β*))
    if *v* ≤ *α* **then return** *v* ← *taglio β*
    β = Min(*β*, *v*)
  return *v*

Potatura alfa-beta: un esempio



Ordinamento delle mosse

- Potatura ottimale:
  - Per nodi MAX sono generate prima le mosse migliori
  - Per i nodi MIN sono generate prima le mosse peggiori per MAX (migliori per MIN)
- Complessità: $O(b^{m/2})$ anziché $O(b^m)$
- Alfa-Beta può arrivare a profondità doppia rispetto a Min-Max!
- Ma come avvicinarsi all'ordinamento ottimale?

Ordinamento dinamico

1. Usando approfondimento iterativo si possono scoprire ad una iterazione informazioni utili per l'ordinamento, da usare in una successiva iterazione (mosse killer).
2. Tabella delle trasposizioni: per ogni stato incontrato si memorizza la sua valutazione
   - Situazione tipica: $[a_1, b_1, a_2, b_2]$ e $[a_1, b_2, a_2, b_1]$ portano nello stesso stato

Altri miglioramenti

1. Potatura in avanti: esplorare solo alcune mosse
   - Beam search
   - Tagli probabilistici (basati su esperienza)
2. Database di mosse di apertura e chiusura
   - Nelle prime fasi ci sono poche mosse sensate e ben studiate, inutile esplorarle tutte
   - Per le fasi finali il computer può esplorare off-line in maniera esaustiva e ricordarsi le migliori chiusure (già esplorate tutte le chiusure con 5 e 6 pezzi …)

Giochi stocastici

- Sono ad esempio i giochi in cui è previsto un lancio di dadi
- Ancora più reale: la realtà è spesso imprevedibile non solo complessa.
- *Backgammon*: ad ogni turno il giocatore deve tirare due dadi per decidere quali mosse sono lecite.

Backgammon

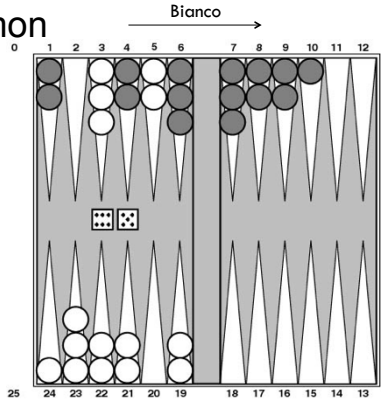
Lancio dadi 6-5, 4 mosse legali per il bianco:

(5-10, 5-11)

(5-11,19-24)

(5-10, 10-16)

(5-11, 11-16)

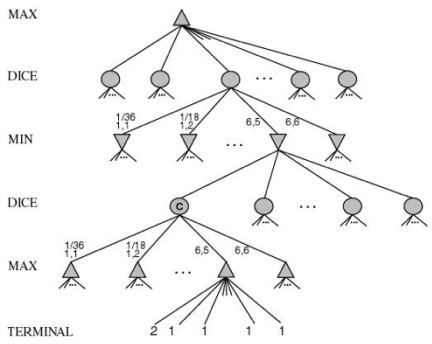


Min-max con nodi di casualità

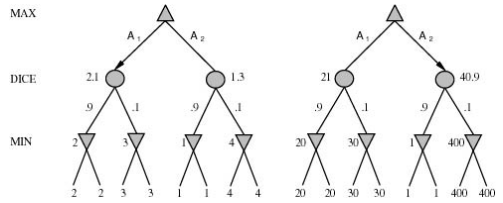
- Non si sa quali saranno le mosse legali dell'avversario: accanto ai nodi di scelta dobbiamo introdurre i nodi *casualità* (chance)
- Nel calcolare il valore dei nodi MAX e MIN adesso dobbiamo tenere conto delle probabilità dell'esperimento casuale
- Si devono calcolare il valore massimo e minimo *attesi*

Min-max con nodi *chance* (esempio)

21 lanci diversi: i lanci doppi con p=1/36, gli altri con p= 1/18



Min-max con nodi *chance* (cont.)

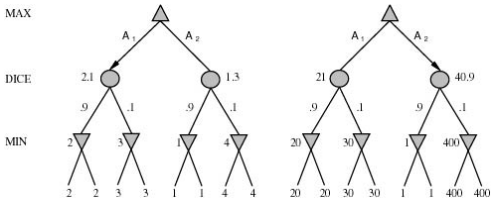


MIN con probabilità 0.9 farà 2 e con probabilità 0.1 farà 3 …
0.9 x 2 + 0.1 x 3 = 2.1
0.9 x 1 + 0.1 x 4 = 1.3
La mossa migliore è la prima.

Expectiminmax: la regola

$$\text{Expectiminmax}(n) = \begin{cases} \text{Eval}(n) \textit{ se } n \textit{ è uno stato sul livello di taglio} \\ \max_{a \in \text{Azioni}(s)} \text{Expectiminmax}(\text{Risultato}(s, a)) \textit{ se } n \textit{ è un nodo MAX} \\ \min_{a \in \text{Azioni}(s)} \text{Expectiminmax}(\text{Risultato}(s, a)) \textit{ se } n \textit{ è un nodo MIN} \\ \sum_{a \in \text{Azioni}(s)} P(r)\ \text{Expectiminmax}(\text{Risultato}(s, a)) \textit{ se } n \textit{ è un nodo casualità} \end{cases}$$

Min-max con nodi *chance*: nota



- Non è sufficiente l'ordinamento relativo dei successori; nel secondo caso la mossa scelta è diversa.
- Is funzione di valutazione deve essere una trasformazione lineare positiva della probabilità di vincere a partire da una certa posizione

Giochi parzialmente osservabili

- Giochi parzialmente osservabili *deterministici*
  - Le mosse sono deterministiche ma non si conscono le risposte dell'avversario
  - Es. Kriegspiel
- Giochi parzialmente osservabili *stocastici*
  - Le carte distrbuite a caso in molti giochi di carte
  - Es. Bridge, whist, peppa, briscola …

Lo stato dell'arte

- Stato dell'arte in
  - Scacchi (DeepBlue, Hydra, Rybka-campione mondiale nel 2008-09)
  - Dama (Chinook gioca in maniera perfetta)
  - Otello (Logistello, campione dal 1997)
  - Backgammon, Go, Bridge, Scarabeo …
- *Gli scacchi stanno all'IA come la Formula 1 sta all'industria automobilista*