

Les Jeux

Plan

■ Introduction

- Qu'est-ce qu'un jeu ?
- Pourquoi les jeux et quels jeux ?
- Aperçu historique
- Informatisation
- Complexité

■ Le minimax

- Création d'un arbre ET / OU
- Fonction d'évaluation
- Version simplifiée du minimax
- Complexité du minimax

■ Le minimax α / β

- Principes de base
- Performances et améliorations algorithmiques
- Limites

■ Bilan

- Quid des échecs ?
- L'avenir



Introduction sur les Jeux

41



Qu'est-ce qu'un jeu ?

■ Ingrédients de base

- des acteurs (les joueurs)
- des règles
- des rétributions (gains et pertes)

■ Plus en détail

- Présence d'un adversaire (au moins)
- Un joueur choisit un coup pour débiter le jeu
- En résulte une situation qui induit le choix suivant : qui joue quoi, etc....
- Les choix successifs sont (ou ne sont pas) connus des autres joueurs
- Des règles précisent :
 - l'ensemble des coups légaux
 - quand une partie est terminée
 - qui alors a gagné

42

Intérêt des jeux

■ Domaine d'excellence de l'IA

- Un vaste espace de recherche
- Une définition concise (en général)
- Pas de solution algorithmique déterministe
- Ne nécessitent pas trop de connaissances
- Une formalisation souvent possible
- Des méthodes transposables à d'autres domaines

■ Du point de vue « grand-public »

- Aisément compréhensibles
- Divertissants
- Association entre « bien jouer » et « être intelligent »
- Possibilité de mesurer les performances
- Possibilité d'affronter les joueurs humains

43

Quels jeux ?

■ Les jeux non considérés

- Jeux sans stratégie, de mémoire (Scrabble)
- Jeux trop simplistes : existence d'un algorithme optimal (jeu de Nim, Tic-tac-toe)

■ Les jeux considérés

- Jeux d'échiquier ou de plateau :
 - Dames, backgammon, othello, échecs, go
 - Déterminisme, et information complète
- Jeux de cartes .
 - poker, bridge, tarot
 - Avec hasard, et information incomplète
- Autres : wargames, jeux de rôles,...

44

Aperçu historique

- 1729 : le « Turc » (von Kempelen)
- 1846 : « la machine analytique » (Ch. Babbage)
- 1890 : automate (Torres y Quevedo)
- 1945 : minimax (Morgenstern et von Neumann)
- 1957 : le programme NSS
- 1958 : prédiction de Simon
- 1958-62 : élagage α - β (Mc Carthy)
- 1963 : Samuel (dames)
- 1968 : Waterman (poker)
- 1970 : Wasserman (bridge)
- 1992 : Tesauro (backgammon)
- 1994 : Chinook (dames) bat M. Tinsley
- 1997 : Deep Blue (échecs) bat Kasparov

45

Informatisation

■ Jeux à deux joueurs

- Idéalisation d'un monde à deux agents en guerre
- Chaque joueur joue à son tour, en temps limité
 - L'un doit gagner, l'autre doit perdre
 - Chacun connaît ce qui s'est passé
 - Pas de hasard
 - Incertitude sur ce que va faire l'adversaire

■ Éléments d'un jeu informatisé

- Un générateur de mouvements
- Une fonction d'évaluation statique
- Une stratégie de contrôle

■ Approche algorithmique

Stratégie de type « générer et tester » :

- Développement d'un arbre de recherche
- Evaluation des situations résultantes

47

Complexité

Taille de l'espace de recherche

- **Tic-Tac-Toe**
Au plus 3^9 pour un damier entièrement occupé
- **Dames**
Cinq cent millions de millions de millions (ou 5×10^{20}) parties possibles
- **Échecs :**
 - Facteur de branchement ≈ 35
 - Sur 10 coups : $7 \cdot 10^{30}$ feuilles
En moyenne, 50 coups, donc 36^{100} feuilles
 - Nombre de positions possibles $\approx 10^{128}$!
- **Go**
 - Facteur de branchement 250 en moyenne
 - Nombre de parties possibles $\approx 10^{172}$!!!!

48

Le minimax

49

Minimax

Création d'un arbre ET / OU

- MAX : premier joueur
MIN : deuxième joueur
Ensuite MAX, puis MIN, etc ...
- **Pourquoi ce nom :**
Le joueur *maximise* ses chances de gagner sous l'hypothèse que l'adversaire va jouer parfaitement pour les *minimiser*
- **Développement d'un arbre de recherche :**
Vu de MAX :
 - Un nœud MAX est un nœud OU : il s'agit de trouver *au moins* un bon coup
 - Un nœud MIN est un nœud ET: un coup est bon s'il l'est *quelle que soit* la riposte de MIN

50

Minimax

▪ Fonction d'évaluation d'une position

Une fonction d'évaluation f doit :

- être en accord avec la fonction de gain sur les positions terminales
- être rapidement calculable
- refléter les chances réelles de gagner dans la position évaluée

▪ Conventions

Soit $f(P)$ valeur d'une position P :

- $f(P)$ croît : P devient plus favorable à MAX
- $f(P)$ décroît : P devient plus favorable à MIN
- $f(P)$ atteint sa valeur maximale : ce cas correspond à une victoire de MAX
- On peut éventuellement centrer l'évaluation :
 $f(P) = 0 \rightarrow$ situation équilibrée

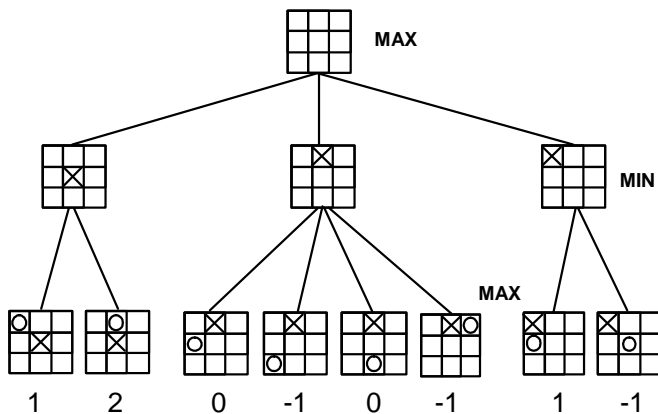
51

Minimax

Exemple de fonction d'évaluation

Avec le Tic-Tac-Toe :

$E(\text{position}) = \text{nb de lignes disponibles pour MAX}$
 $- \text{nb de lignes disponibles pour MIN}$



52

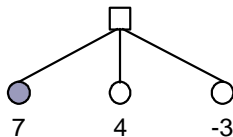
Minimax

Hypothèse fondamentale : l'adversaire utilise la même fonction d'évaluation

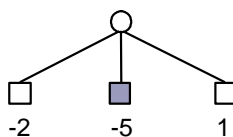
Symboles : ? position où MAX joue

O position où MIN joue

Nœud MAX : maximiser la fonction



Nœud MIN : minimiser la fonction



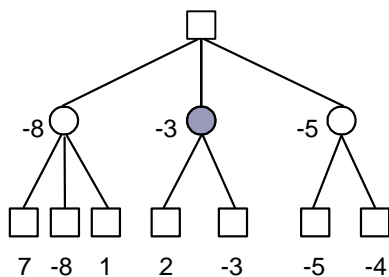
Mais : probable imprécision de f (échanges,...), donc génération des coups suivants

53

Minimax

Version simplifiée du minimax

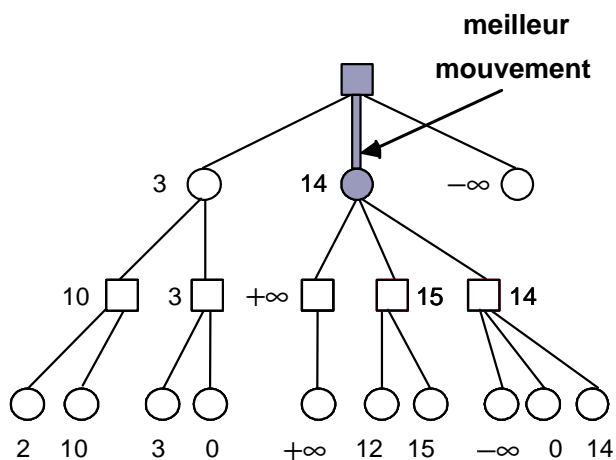
- 1) Développer l'arbre de recherche (ici à profondeur limitée)
- 2) Evaluer les feuilles de cet arbre
- 3) Remonter les valeurs comme suit :
 - pour un nœud MAX : la plus haute valeur
 - pour un nœud MIN : la plus petite valeur



54

Minimax

Autre exemple



55

Minimax

Quelle fonction d'évaluation ?

Le cas des échecs :

- La fonction la plus simple (Tübing) :
 Σ (valeurs des pièces blanches) -
 Σ (valeurs des pièces noires)
- Une fonction plus élaborée :
 $f(P) = \alpha B + \beta R + \phi M + \delta C + \varepsilon P + \dots$
avec par exemple :
B : balance
R : protection du roi
M : mobilité,...

Un point très important :

- Attention à la complexité de la fonction !!!
- Compromis entre profondeur et complexité

56

Minimax

■ Complexité du minimax

- Complétude : oui si l'arbre de jeu est fini
- Optimal : oui si l'adversaire est aussi optimal
- Complexité : k^N positions évaluées, où k est le facteur de branchement et N la profondeur d'exploration

■ Que faire ?

- améliorer les évaluations
- améliorer la génération des coups plausibles en ne développant que ce qui est intéressant

☞ Minimax α / β

57

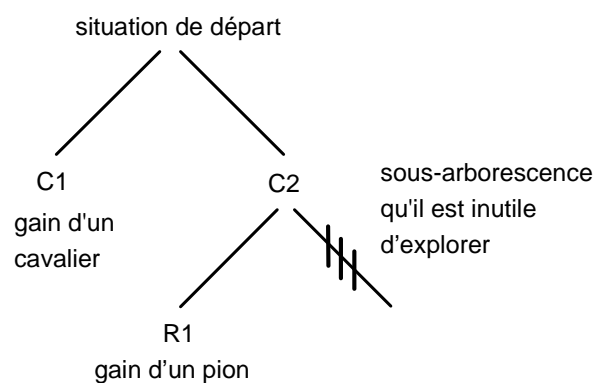
Le minimax α / β

58

Minimax α / β

Idées

- Imbriquer développement de l'arbre et évaluation
- Abandonner toute solution à coup sûr inférieures aux solutions déjà connues



gain d'un pion < gain d'un cavalier donc C2 < C1

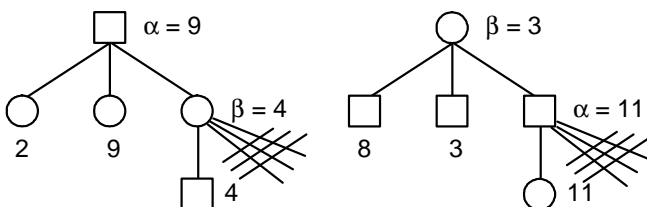
59

Minimax α / β

Principe de base

Proposé par J. Mac Carthy en 1961 :

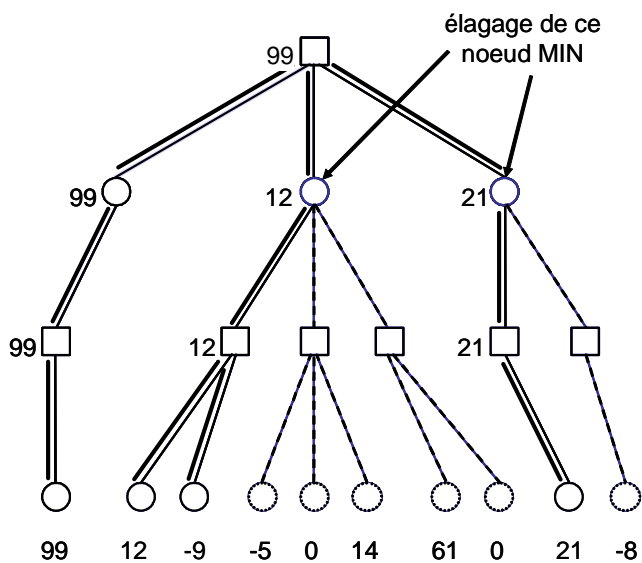
- Chaque MAX possède une valeur α qui témoigne du meilleur successeur déjà trouvé
- Chaque MIN possède une valeur β qui témoigne du plus mauvais successeur déjà trouvé
- Pour un nœud MIN : élagage quand son β devient plus petit que l' α d'un ancêtre MAX
- Pour un nœud MAX : élagage quand son α devient plus grand que le β d'un ancêtre MIN



60

Minimax α / β

Un exemple



62

Minimax α / β

Performances du minimax α / β

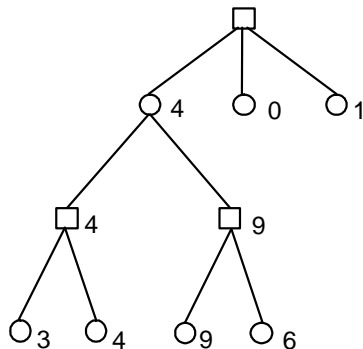
- A même niveau de profondeur N , résultat identique à celui du minimax seul
- L'efficacité dépend de l'ordre d'expansion des nœuds
- Si l'ordre d'expansion est parfait, $2 \times k^{N/2} - 1$ positions évaluées. Donc aux échecs ($k=35$) :
 - à une profondeur constante 6, on passe à l'examen de $1,9 \times 10^9$ positions à celui de 8.6×10^4 positions
 - à temps constant, on *double* la profondeur de recherche

63

Minimax α / β

Améliorations algorithmiques

- **Attente du repos (quiescence) :**
Exploration à profondeur variable pour rechercher des positions stables



- **Recherche secondaire :**
Vérification d'un coup déjà choisi
- **Coups connus :**
Bibliothèques d'ouvertures, fins de partie

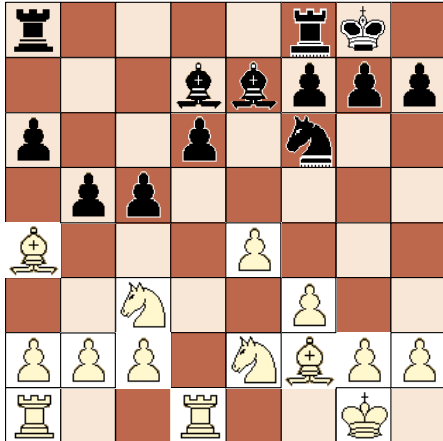
64

Minimax α / β

Limites : effet horizon

Propension à repousser tout événement fâcheux au-delà de la profondeur d'exploration

☞ même si l'événement est inévitable !

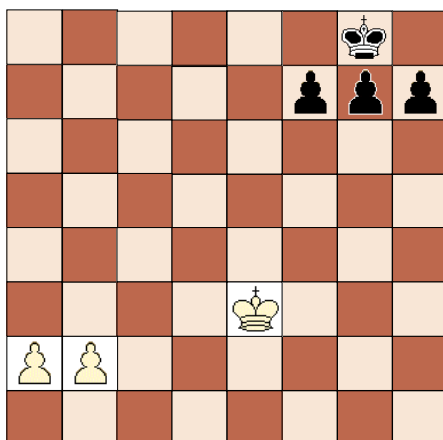


65

Minimax α / β

Pas de stratégie

Le programme connaît simplement les règles de déplacement des pièces !



Hypothèse du bon coup

L'adversaire choisit toujours le meilleur coup → interdit de spéculer sur une faute

66

Bilan actuel

Où en est-on aux échecs ?

- 1970 : 1^{er} programme à gagner le championnat ACM d'échecs informatiques
- 1982 : "Belle" premier ordinateur spécialisé dans le jeu d'échecs
- 1985 : "Hitech" classé parmi les 800 meilleurs joueurs du monde
- 1997 : "Deep Blue" bat G. Kasparov
 - ☞ recherche sur 14 niveaux
 - ☞ plus d'1 milliard de combinaisons par coup
 - ☞ plus de 200 millions de positions par seconde
- 2003 : match nul entre "Deep Junior" et G. Kasparov

67

Bilan actuel

Homme vs Machine

- Utilisation de connaissances
- Capacités à mémoriser, à élaborer des concepts, à reconnaître et reconstituer des formes, à oublier
- Capacité stratégiques, planificatrices
- Intuition (?)
- ☞ Résistance encore possible

L'avenir ...

A plus ou moins long terme, supériorité inéluctable de la machine sur l'être humain pour la plupart des jeux de réflexion (Go mis à part ?)

68