Intelligence Artificielle (IA)

Les jeux, recherche avec horizon (IV)

A la recherche de la performance

Akka Zemmari

LaBRI, Université de Bordeaux

2023 - 2024

Négamax

Une réécriture simple de MiniMax

Idée

Au lieu d'alterner deux fonctions Max/Min, on se restreint à une seule fonction en utilisant l'opposé du résultat à chaque niveau.

Négamax

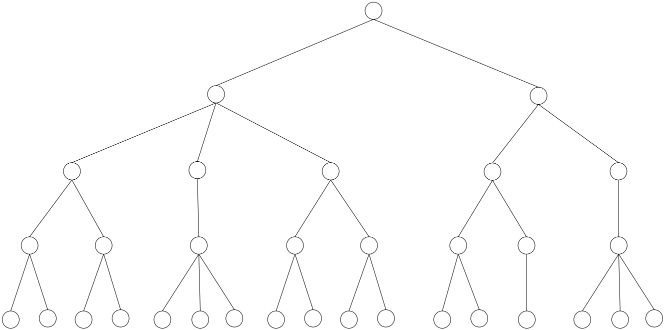
```
Fonction NegaMax(etat)                              ▷ Évaluation niveau AMI
    etat : Plateau de jeu courant
    Meilleur : Évaluation du meilleur coup (localement)

    Si EstFeuille(etat) Alors                       ▷ Fin de partie ou horizon atteint
        Retourner evalue(etat)                      ▷ Évaluation heuristique
    Fin Si
    Meilleur ← −∞
    Pour Tout successeur s de etat Faire
        val ← −NegaMax(s)
        Si val ≥ Meilleur Alors
            Meilleur ← val
        Fin Si
    Fin Pour
    Retourner Meilleur
Fin Fonction
```

Négamax appliqué à $\alpha\beta$

Fonction $Neg\alpha\beta(etat, \alpha, \beta)$ ▷ Évaluation niveau AMI

    Si $EstFeuille(etat)$ **Alors** ▷ Fin de partie ou horizon atteint
        Retourner $evalue(etat)$ ▷ Évaluation heuristique
    Fin Si
    Pour Tout successeur s de $etat$ **Faire**
        $val \leftarrow -Neg\alpha\beta(s, -\beta, -\alpha)$
        Si $val > \alpha$ **Alors**
            $\alpha \leftarrow val$
            Si $\alpha > \beta$ **Alors**
                Retourner α ▷ Coupe
            Fin Si
        Fin Si
    Fin Pour
    Retourner α
Fin Fonction

Exemple d'arbre de jeu avec Néga$\alpha\beta$



Quelles sont les performances de $\alpha\beta$?

Questions

- Combien de noeuds $\alpha\beta$ explore-t-il ?
- Quelle est la différence de performance avec MiniMax ?
- Avec le même temps donné quelle est la différence de profondeur entre les deux méthodes ?

Quelles sont les performances de $\alpha\beta$?

Questions

- Combien de noeuds $\alpha\beta$ explore-t-il ?
- Quelle est la différence de performance avec MiniMax ?
- Avec le même temps donné quelle est la différence de profondeur entre les deux méthodes ?

Definition

On appelle arbre de jeu **uniforme de largeur** l, un arbre de jeu où tous les noeuds non terminaux ont exactement l fils.

Quelles sont les performances de $\alpha\beta$?

Questions

- Combien de noeuds $\alpha\beta$ explore-t-il ?
- Quelle est la différence de performance avec MiniMax ?
- Avec le même temps donné quelle est la différence de profondeur entre les deux méthodes ?

Definition

On appelle arbre de jeu **uniforme de largeur** l, un arbre de jeu où tous les noeuds non terminaux ont exactement l fils.

MiniMax explore donc exactement l^p noeuds, où p est la profondeur de recherche.

Quelles sont les performances de $\alpha\beta$?

Questions

- Combien de noeuds $\alpha\beta$ explore-t-il ?
- Quelle est la différence de performance avec MiniMax ?
- Avec le même temps donné quelle est la différence de profondeur entre les deux méthodes ?

Definition

On appelle arbre de jeu **uniforme de largeur** l, un arbre de jeu où tous les noeuds non terminaux ont exactement l fils.

MiniMax explore donc exactement l^p noeuds, où p est la profondeur de recherche.
Combien de noeuds $\alpha\beta$ explore-t-il ?

Types de noeuds visités lors de l'exploration

Tous les noeuds élagués lors de la recherche *Neg*$\alpha\beta$ le sont dès que $\alpha \geq \beta$. L'appel récursif *Neg*$\alpha\beta$ se ferait sur la fenêtre $[\alpha, \beta]$ avec $\alpha \leq \beta$.

Types de noeuds visités lors de l'exploration

Tous les noeuds élagués lors de la recherche *Neg*$\alpha\beta$ le sont dès que $\alpha \geq \beta$. L'appel récursif *Neg*$\alpha\beta$ se ferait sur la fenêtre $[\alpha, \beta]$ avec $\alpha \leq \beta$.

Trois types de noeuds jamais élagués

À chaque niveau de l'arbre, $\alpha\beta$ est appelé avec une certaine fenêtre d'appel $[\alpha, \beta]$. Trois types de noeuds ne *peuvent donc* jamais être élagués.

1. la fenêtre d'appel est $[-\infty, +\infty]$
2. la fenêtre d'appel est $[-\infty, b]$ avec $b \neq +\infty$
3. la fenêtre d'appel est $[a, +\infty]$ avec $a \neq -\infty$

Types de noeuds visités lors de l'exploration

Tous les noeuds élagués lors de la recherche *Neg*$\alpha\beta$ le sont dès que $\alpha \geq \beta$. L'appel récursif *Neg*$\alpha\beta$ se ferait sur la fenêtre $[\alpha, \beta]$ avec $\alpha \leq \beta$.

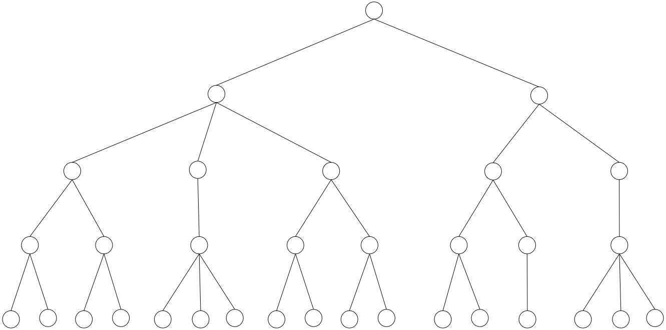
Trois types de noeuds jamais élagués

À chaque niveau de l'arbre, $\alpha\beta$ est appelé avec une certaine fenêtre d'appel $[\alpha, \beta]$. Trois types de noeuds ne *peuvent donc* jamais être élagués.

1. la fenêtre d'appel est $[-\infty, +\infty]$
2. la fenêtre d'appel est $[-\infty, b]$ avec $b \neq +\infty$
3. la fenêtre d'appel est $[a, +\infty]$ avec $a \neq -\infty$

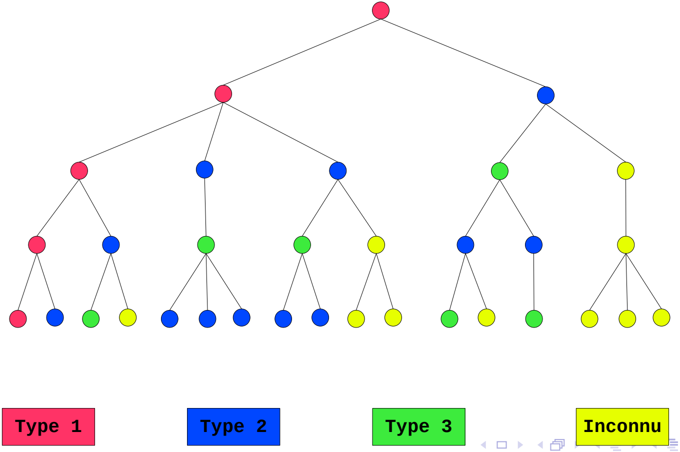
Note 1 : c'est en supposant que ∞ n'est pas une valeur heuristique.
Note 2 : les fils d'un noeud non élagué peuvent bien entendu l'être.

Types de noeuds : exemple



Type 1 Type 2 Type 3 Inconnu

Types de noeuds : exemple



Types de noeuds visités par $\alpha\beta$

Visite de l'arbre critique

L'algorithme $\alpha\beta$ utilisé avec la fenêtre $[-\infty, +\infty]$ regarde au moins *l'arbre critique*, c'est-à-dire l'ensemble des noeuds de types 1, 2 et 3,

Types de noeuds visités par $\alpha\beta$

Visite de l'arbre critique

L'algorithme $\alpha\beta$ utilisé avec la fenêtre $[-\infty, +\infty]$ regarde au moins *l'arbre critique*, c'est-à-dire l'ensemble des noeuds de types 1, 2 et 3, et uniquement celui-ci dans le cas où l'arbre est parfaitement ordonné.

Types de noeuds visités par $\alpha\beta$

Visite de l'arbre critique

L'algorithme $\alpha\beta$ utilisé avec la fenêtre $[-\infty, +\infty]$ regarde au moins *l'arbre critique*, c'est-à-dire l'ensemble des noeuds de types 1, 2 et 3, et uniquement celui-ci dans le cas où l'arbre est parfaitement ordonné.

Si l'arbre n'est pas parfaitement ordonné, on visitera plus de noeuds, jusqu'à l'arbre complet (l^p noeuds).

Types de noeuds visités par $\alpha\beta$

Visite de l'arbre critique

L'algorithme $\alpha\beta$ utilisé avec la fenêtre $[-\infty, +\infty]$ regarde au moins *l'arbre critique*, c'est-à-dire l'ensemble des noeuds de types 1, 2 et 3, et uniquement celui-ci dans le cas où l'arbre est parfaitement ordonné.

Si l'arbre n'est pas parfaitement ordonné, on visitera plus de noeuds, jusqu'à l'arbre complet (l^p noeuds).
Quelle est la borne inférieur ?

Types de noeuds visités par $\alpha\beta$

Visite de l'arbre critique

L'algorithme $\alpha\beta$ utilisé avec la fenêtre $[-\infty, +\infty]$ regarde au moins *l'arbre critique*, c'est-à-dire l'ensemble des noeuds de types 1, 2 et 3, et uniquement celui-ci dans le cas où l'arbre est parfaitement ordonné.

Si l'arbre n'est pas parfaitement ordonné, on visitera plus de noeuds, jusqu'à l'arbre complet (l^p noeuds).
Quelle est la borne inférieur ? Elle est de $l^{p/2}$.

(Voir le tableau).

Résultats des performances

Encadrement des performances de $\alpha\beta$

Le nombre de feuilles évaluées par $\alpha\beta$ est compris entre $l^{p/2}$ et l^p pour un arbre de largeur l et de profondeur p

Résultats des performances

Encadrement des performances de $\alpha\beta$

Le nombre de feuilles évaluées par $\alpha\beta$ est compris entre $l^{p/2}$ et l^p pour un arbre de largeur l et de profondeur p

Nombre de noeuds visités

$\alpha\beta$ visite au minimum un nombre de noeuds de l'ordre de $l^{p/2}$

Résultats des performances

Encadrement des performances de $\alpha\beta$

Le nombre de feuilles évaluées par $\alpha\beta$ est compris entre $l^{p/2}$ et l^p pour un arbre de largeur l et de profondeur p

Nombre de noeuds visités

$\alpha\beta$ visite au minimum un nombre de noeuds de l'ordre de $l^{p/2}$

Comparaison MiniMax / $\alpha\beta$

Au pire, $\alpha\beta$ explore tous les noeuds de l'arbre.

Résultats des performances

Encadrement des performances de $\alpha\beta$

Le nombre de feuilles évaluées par $\alpha\beta$ est compris entre $l^{p/2}$ et l^p pour un arbre de largeur l et de profondeur p

Nombre de noeuds visités

$\alpha\beta$ visite au minimum un nombre de noeuds de l'ordre de $l^{p/2}$

Comparaison MiniMax / $\alpha\beta$

Au pire, $\alpha\beta$ explore tous les noeuds de l'arbre. Au mieux, $\alpha\beta$ peut voir à un horizon deux fois plus lointain que MiniMax dans le même temps.

Résultats des performances

Encadrement des performances de $\alpha\beta$

Le nombre de feuilles évaluées par $\alpha\beta$ est compris entre $l^{p/2}$ et l^p pour un arbre de largeur l et de profondeur p

Nombre de noeuds visités

$\alpha\beta$ visite au minimum un nombre de noeuds de l'ordre de $l^{p/2}$

Comparaison MiniMax / $\alpha\beta$

Au pire, $\alpha\beta$ explore tous les noeuds de l'arbre. Au mieux, $\alpha\beta$ peut voir à un horizon deux fois plus lointain que MiniMax dans le même temps.

L'ordre de développement des fils d'un noeud est primordial pour obtenir de bonnes performances !