

The background of the slide features a cartoon illustration of two robots. On the left is a blue robot with a single antenna and a friendly expression, holding a grey video game controller. On the right is a red robot with two antennae and a more aggressive, angry expression, also holding a grey video game controller. They are positioned in front of a large, grey, rectangular television set. The text is overlaid on this background.

Búsqueda amb adversaris

Jocs

Models d'intel·ligència artificial

Jocs

- Fins ara en els nostres problemes de cerca, l'entorn era **determinista i totalment observable**.
 - Solament calia **planificar** una seqüència d'accions per arribar a l'estat objectiu.
- En els jocs hi ha **adversaris**.
 - Cada jugador té un **objectiu** diferent.
 - Els jugadors modifiquen l'estat de l'entorn en benefici propi.
 - La cooperació pot ocórrer, però solament si és beneficiosa per a tots els jugadors.
- Els jocs són un **domini** molt important en la intel·ligència artificial.
 - Són un **domini** molt **comú, complexe** i útil per a la **investigació**.

Jocs

Propietats

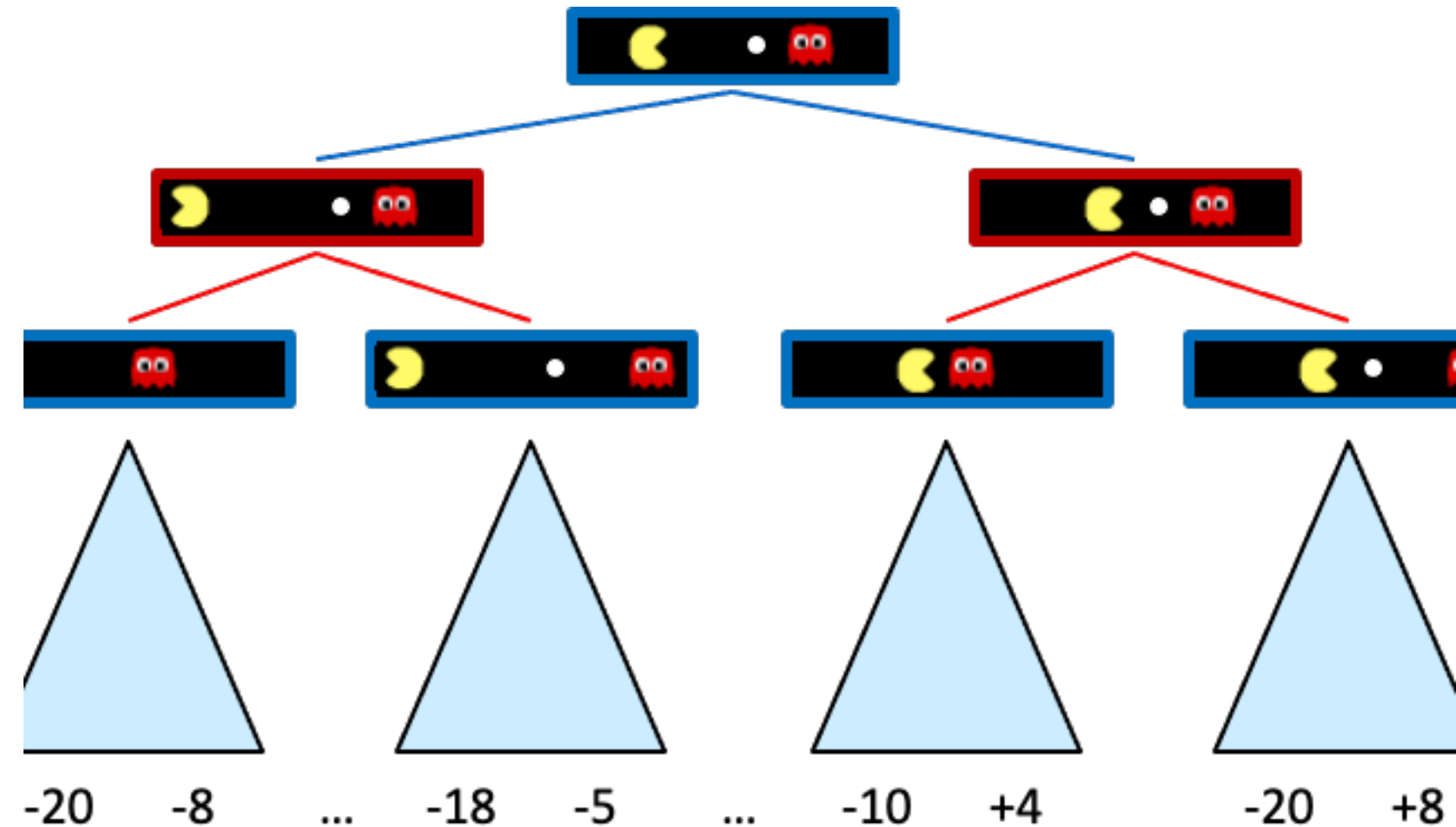
Tindrem en compte les següents propietats:

- **Dos jugadors:** Un pot ser la màquina i l'altre un humà.
- **Finit:** nombre finit d'estats. Si el nombre d'estats és molt gran es poden utilitzar aproximacions.
- **Suma zero:** el guany d'un jugador és la pèrdua de l'altre.
- **Determinista:** no hi ha aleatorietat.
- Informació **perfecta:** els jugadors coneixen l'estat del joc en tot moment. (Escacs, Go, etc.)

Dos jugadors i suma zero

Definició

- Dos jugadors: MAX i MIN .
- Un conjunt de **posicions** P (estats)
- Una posició inicial $p_0 \in P$
- Un conjunt de **posicions terminals** $T \subseteq P$
- Un conjunt d'eixos dirigits E_{Max} i E_{Min} entre les posicions.
 - Representaran els moviments possibles de cada jugador.
- Una **funció d'utilitat** $u : T \rightarrow \mathbb{R}$ que
 - el valor de cada posició terminal per a MAX .

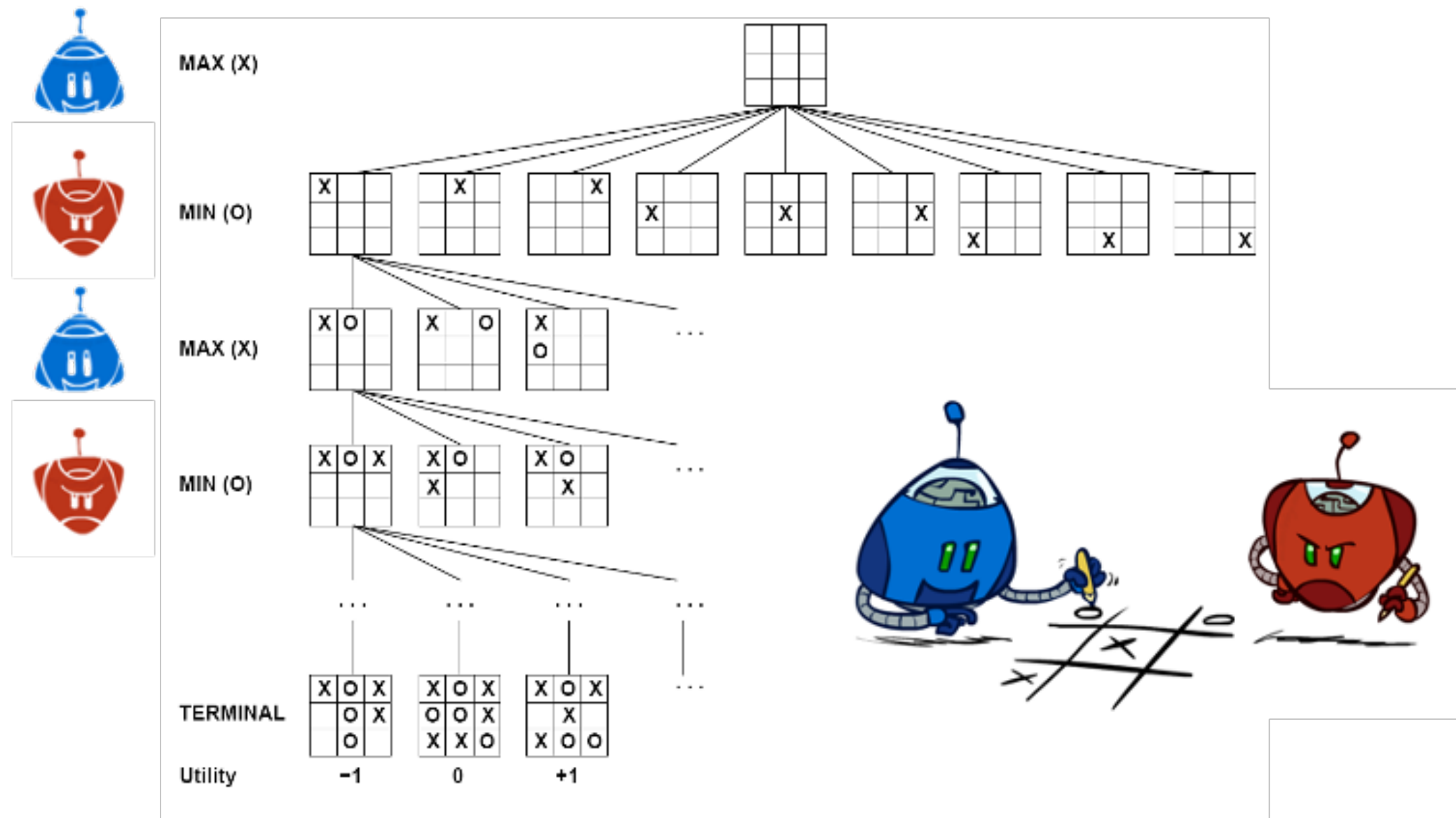


Arbre de joc (I)

Característiques:

- **Arbre de joc: capes** d'estats **alternant** entre els jugadors.
- **Arrel**: Estat **inicial**.
- **Estat del joc: posició i jugador** a moure.
- **Final del joc**: Quan un jugador arriba a una **posició terminal**.
- **Funció d'utilitat**: Junt als terminals substitueix els objectius
 - Cada node **terminal** t s'etiqueta segons la seva **utilitat** $U(t)$.
 - Per a MAX serà $U(t)$, per a MIN $-U(t)$.
 - En la majoria de jocs que veurem, $U(t) \in \{-1, 0, 1\}$.

Arbre de joc (II) - Exemple



Estratègies

- MAX vol **maximitzar** la seva utilitat.
- MIN vol **minimitzar** la utilitat de MAX .
- MAX no decideix sol a quin estat terminal arribarà.
 - Quan MAX mou, MIN decideix a quin estat subseqüent es mourà.
- MAX ha de tindre una **estratègia**:
 - Ha de decidir que fer **per a cada possible moviment** de MIN .
 - No hi ha prou en una seqüència d'accions, **dependrà de les accions** de MIN .

MiniMax

Definicions

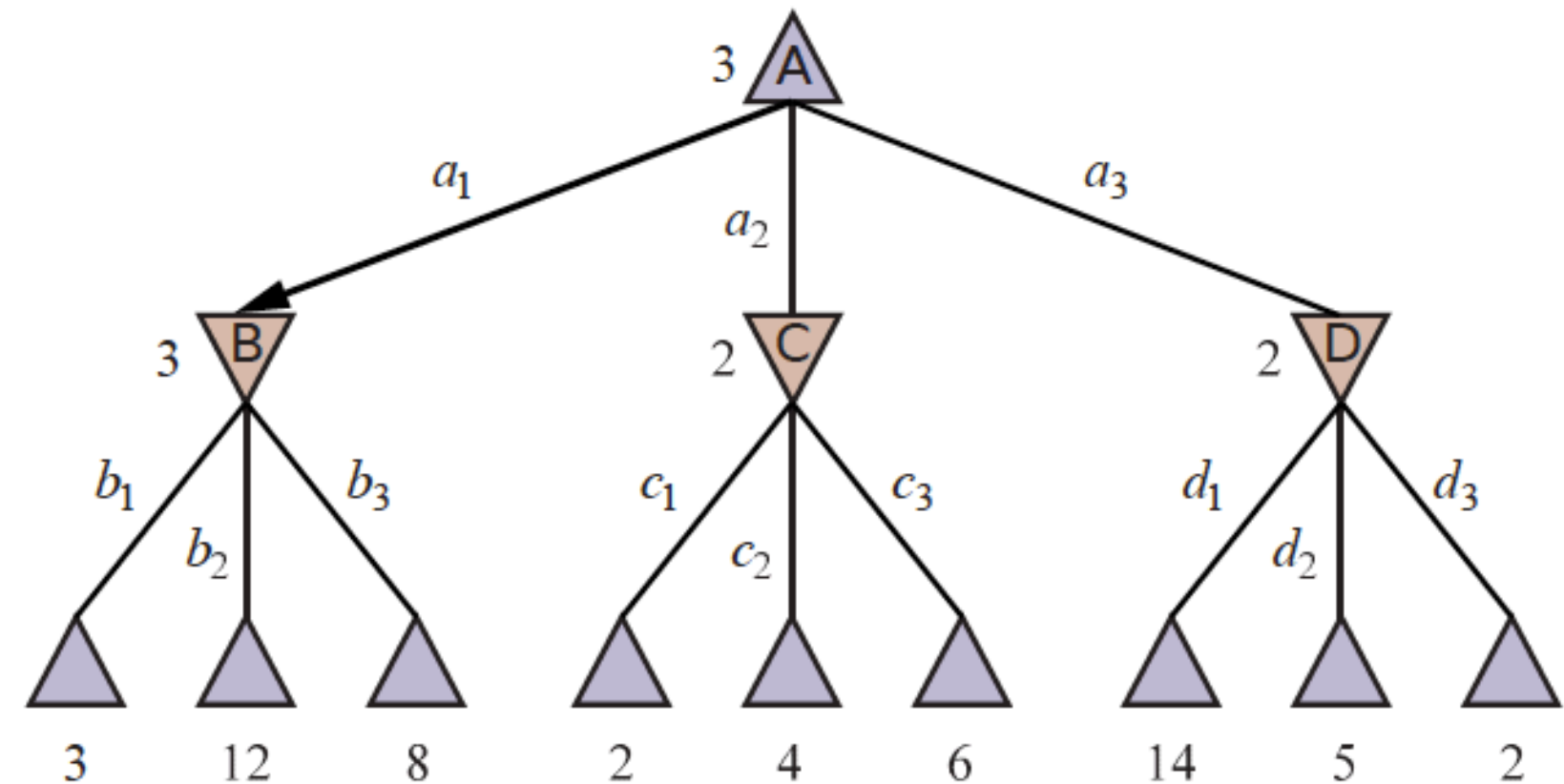
- Estraègia recursiva.
- Assumint que *MIN* juga sempre **el seu millor moviment**,
 - quin moviment s'ha de fer per minimitzar la utilitat de *MIN*?
- Cada node tindrà una **puntuació minimax**.
 - Serà la **utilitat mínima** que **MAX** pot obtenir **si MIN juga òptimament**.

Minimitzant el guany de MIN estem maximitzant el nostre.

MiniMax

Exemple

- En l'exemple de la dreta els nodes \triangle són *MAX* i els ∇ *MIN*.
- Els nodes terminals mostren la **utilitat** per a *MAX*.
- La resta de nodes mostren la seva puntuació **minimax**
- En l'arrel la millor opció per a *MAX* és a_1 , ja que porta al node en millor puntuació minimax
- En el segon nivell la millor opció per a *MIN* és b_1 per dur al node en menys puntuació



MiniMax

Algorisme

- **Entrada:** Un arbre de joc A , un node n , un jugador j .
- **Sortida:** La puntuació minimax del node n .
- **Algorisme:** Algorisme recursiu.
 - Si n és un node terminal, retornar la seva utilitat.
 - Si j és MAX : Retornar el màxim de les puntuacions dels fills.
 - Si j és MIN : Retornar el mínim de les puntuacions dels fills.

MiniMax

Implementació (I)

```
def cerca_minimax(joc, estat):  
    jugador = estat.a_moure  
    return valor_maxim(joc, jugador, estat)  
  
def valor_maxim(joc, jugador, estat):  
    if joc.es_terminal(estat):  
        return joc.utilitat(estat, jugador), None  
    v, moviment = float('-inf'), None  
    for a in joc.accions(estat):  
        v2, _ = valor_minim(joc, jugador, joc.resultat(estat, a))  
        if v2 > v:  
            v, moviment = v2, a  
    return v, moviment
```

MiniMax

Implementació (II)

```
def valor_minim(joc, jugador, estat):  
    if joc.es_terminal(estat):  
        return joc.utilitat(estat, jugador), None  
    v, moviment = float('inf'), None  
    for a in joc.accions(estat):  
        v2, _ = valor_maxim(joc, jugador, joc.resultat(estat, a))  
        if v2 < v:  
            v, moviment = v2, a  
    return v, moviment
```

MiniMax

Problemes

- **Complexitat:** $O(b^m)$
 - sent b el nombre de branques per node i m la profunditat de l'arbre.
- La complexitat pot ser **massiva**.
 - En el joc d'escacs, $b \approx 35$ i $m \approx 100$. $Nodes \approx 10^{54}$
 - En el joc del Go, $b \approx 250$ i $m \approx 150$. $Nodes \approx 10^{360}$
- Això fa que sigui **impossible** explorar tot l'arbre de joc en jocs complexos.
 - Veurem tècniques que poden ajudar-nos.

Poda alfa-beta

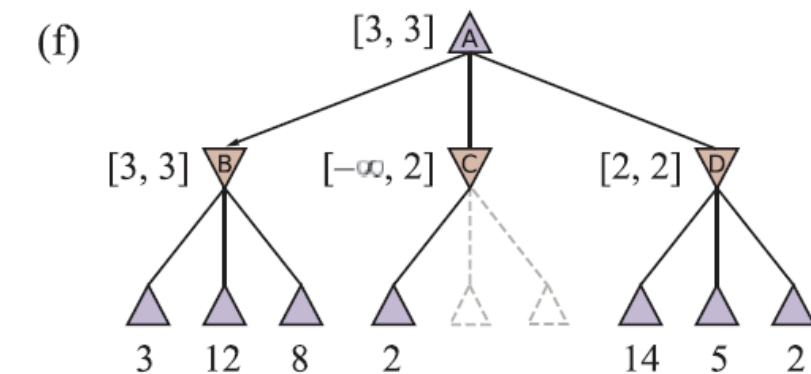
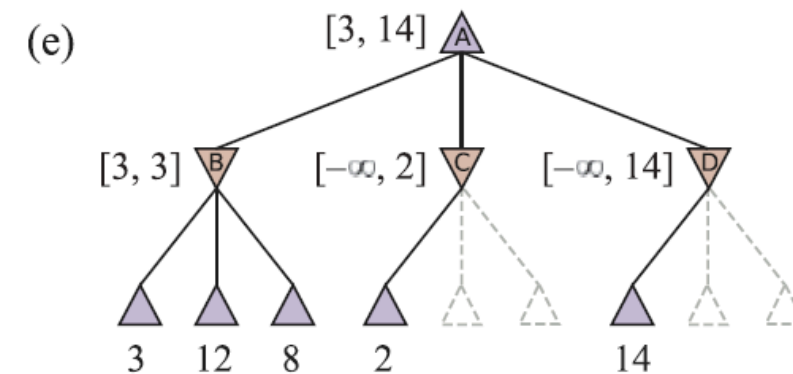
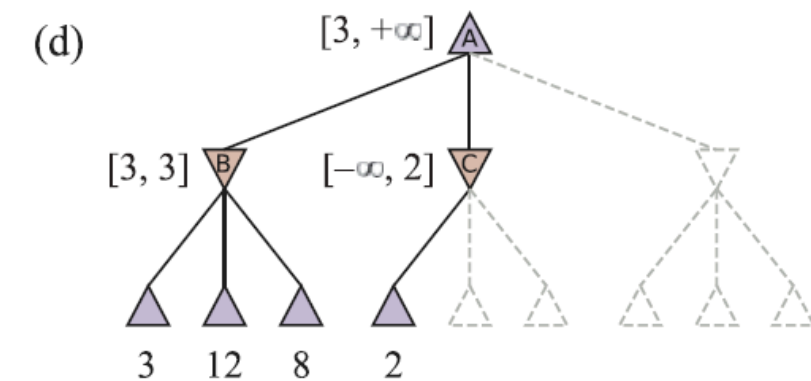
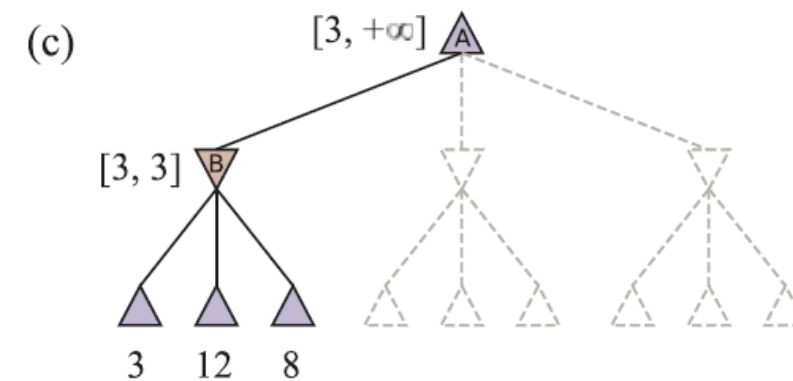
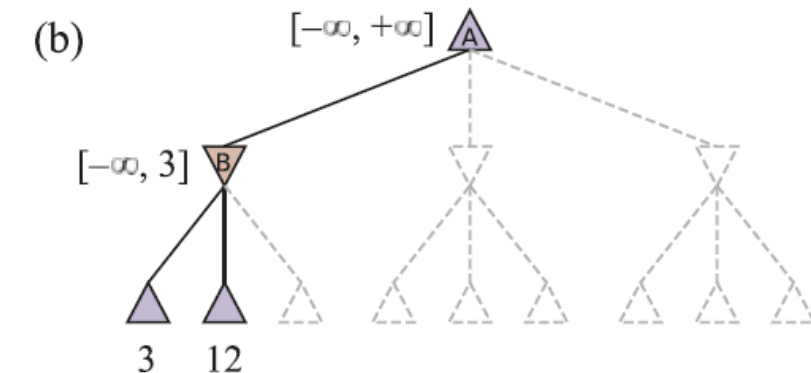
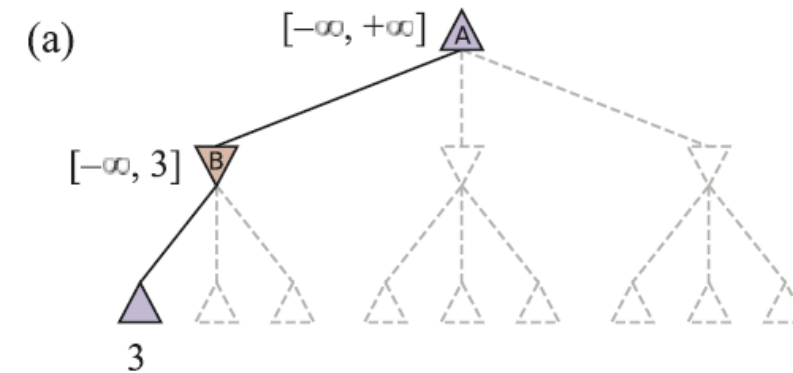
Introducció

- **Poda alfa-beta: tècnica** per reduir el nombre de nodes a explorar en l'arbre de joc.
- **Poda: eliminar** nodes de l'arbre de joc sense explorar-los.
- **Alfa: valor** mínim que *MAX* està **assegurat** de poder obtenir.
- **Beta: valor** màxim que *MIN* està **assegurat** de poder obtenir.
- **Nodes a podar:** Nodes que, independentment del seu valor, no modificaran el nivell superior.

Poda alfa-beta

Exemple (I)

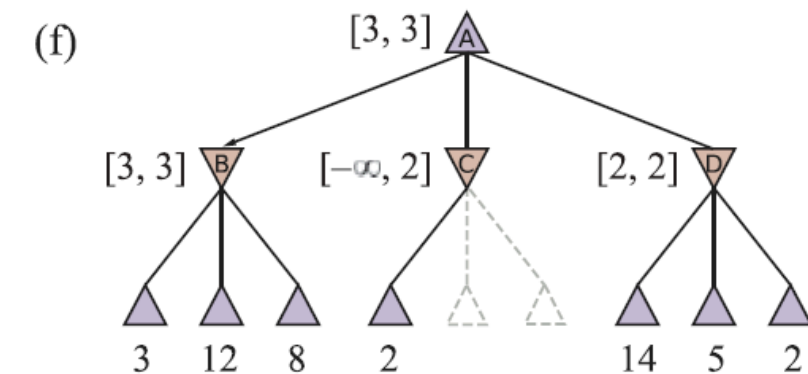
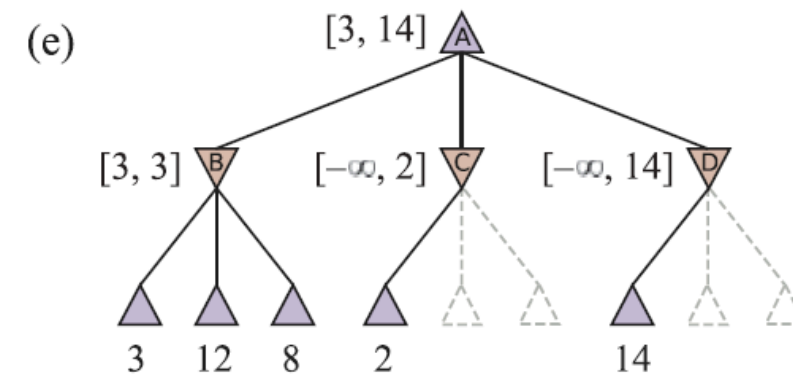
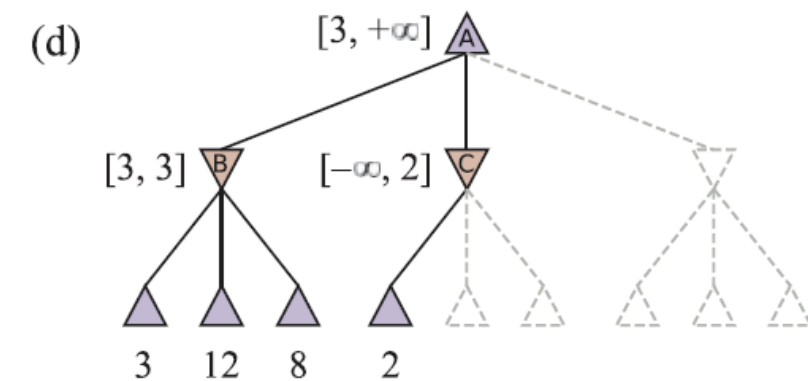
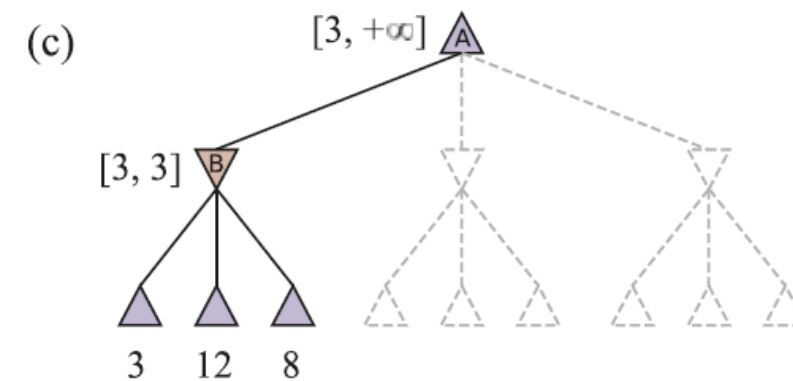
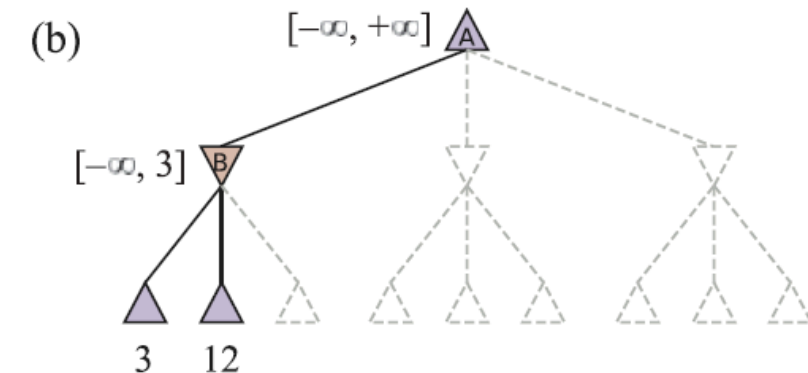
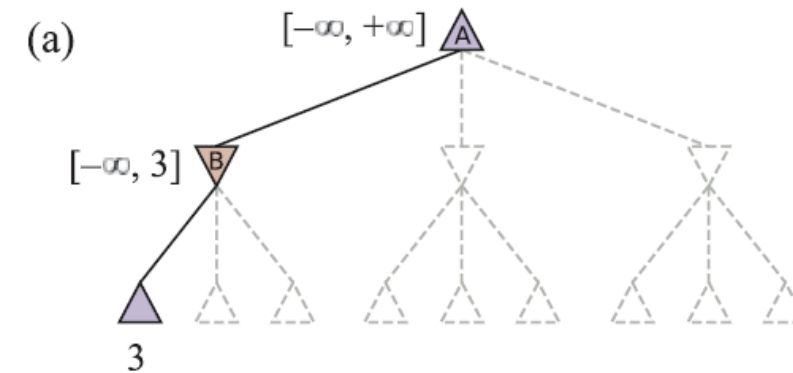
- La primera fulla baix B té valor 3. Per tant B (node MIN) té un valor màxim de 3.
- La segona fulla baix B té valor 12.
 - MIN evitaria aquest moviment, per lo que B encara té un valor màxim de 3.
- La tercera fulla baix B té valor 8. El valor de final de B és 3.
 - Podem deduir llavors que el valor mínim d' A és 3, al tindre un node terminal amb valor 3.



Poda alfa-beta

Exemple (II)

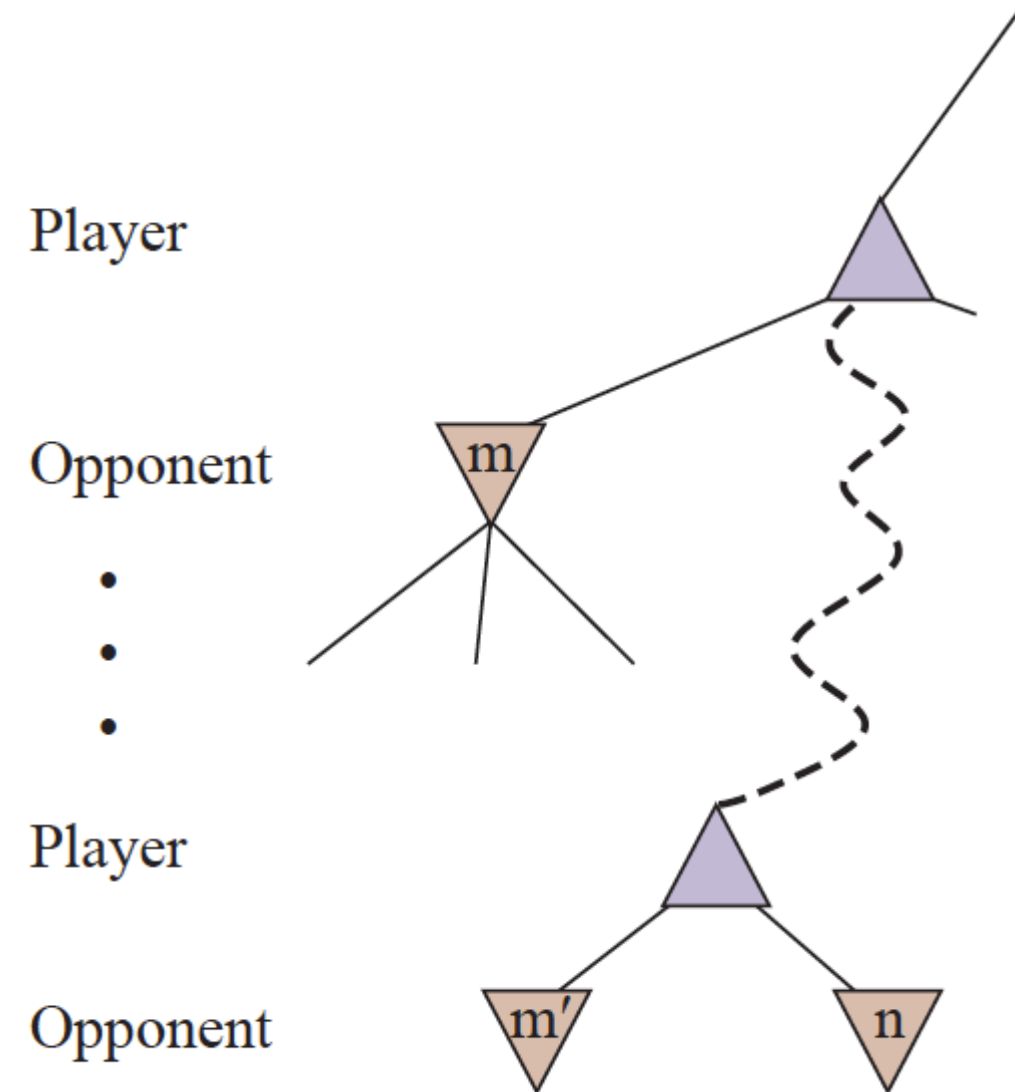
- La primera fulla baix C té valor 2. Per tant C , que es un node MIN , té un valor màxim de 2.
- Sabem que B té un valor de 3, per lo que MAX mai escollirà C .
 - Així sabem que no cal explorar els altres nodes fills de C ,
- Aquesta és la **poda alfa-beta**.
- Al acabar l'exploració sabem els valors de cada node necessari.



Poda alfa-beta

Regles

- La poda alfa-beta **no** afecta al resultat de l'algorisme.
- Es pot aplicar a qualsevol profunditat de l'arbre.
 - Moltes vegades es poden, fins i tot, podar arbres sencers.
- Principi general, per un node n :
 - Si hi ha una opció millor al mateix nivell (m') o superior (m), n no es visitarà.



Poda alfa-beta

Implementació (I)

```
def busqueda_alfa_beta(joc, estat):
    jugador = estat.a_moure
    return valor_maxim_ab(joc, jugador, estat, float('-inf'), float('inf'))

def valor_maxim_ab(joc, jugador, estat, alfa, beta):
    if joc.es_terminal(estat):
        return joc.utilitat(estat, jugador), None
    v, moviment = float('-inf'), None
    for a in joc.accions(estat):
        v2, _ = valor_minim_ab(joc, jugador, joc.resultat(estat, a), alfa, beta)
        if v2 > v:
            v, moviment = v2, a
        if v >= beta:
            return v, moviment
        alfa = max(alfa, v)
    return v, moviment
```

Poda alfa-beta

Implementació (II)

```
def valor_minim_ab(joc, jugador, estat, alfa, beta):  
    if joc.es_terminal(estat):  
        return joc.utilitat(estat, jugador), None  
    v, moviment = float('-inf'), None  
    for a in joc.accions(estat):  
        v2, _ = valor_maxim_ab(  
            joc, jugador, joc.resultat(estat, a), alfa, beta  
        )  
        if v2 < v:  
            v, moviment = v2, a  
        if v <= alfa:  
            return v, moviment  
        beta = min(beta, v)  
    return v, moviment
```

Poda alfa-beta

Millores

- **Ordenació de nodes:** Ordenar els nodes fills correctament permet podar més.
 - Una bona ordenació pot permetre passar d'examinar de $O(b^{3d/4})$ a $O(b^{d/2})$
 - En un joc d'escacs, els moviments que mengen peces són més probables de ser bons.
- Per no explorar estats repetits, es pot utilitzar una **taula de transposició**.
 - Semblant al conjunt de visitats, però amb els valors de cada node.
- Aplicar **heurístiques** per tallar l'avaluació:
 - Aplicar una funció d'avaluació a les posicions no terminals per fer-les terminals

Funcions d'avaluació

Introducció

- En jocs complexos, no es pot explorar tot l'arbre de joc.
- En lloc d'això, es pot utilitzar una **funció d'avaluació** per estimar la utilitat d'un estat.
- La funció d'avaluació **no** ha de ser perfecta.
 - Ha de ser **rápida** de calcular.
 - Ha de ser **consistent** amb la utilitat real.

Funcions d'avaluació

Exemple: Tic-Tac-Toe

- En el joc del tres en ratlla, podem utilitzar la següent funció d'avaluació:

- $$u(s) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \begin{cases} 1 & \text{si } s_{i,j} = \text{MAX} \\ -1 & \text{si } s_{i,j} = \text{MIN} \\ 0 & \text{altrament} \end{cases}$$

- Explicació: Sumem 1 per cada fitxa de *MAX* i restem 1 per cada fitxa de *MIN*.

Funcions d'avaluació

Implementació

```
def avalua_tres_en_ratlla(joc, estat):  
    jugador = estat.a_moure  
    utilitat = 0  
    for i in range(3):  
        for j in range(3):  
            if estat.tauler[i][j] == jugador:  
                utilitat += 1  
            elif estat.tauler[i][j] == joc.jugador_contrari(jugador):  
                utilitat -= 1  
    return utilitat
```