Yapay Zeka

Ders 7

Doç. Dr. Mehmet Dinçer Erbaş
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Oyunlar

- Çok ajanlı sistemler => ilk hafta bahsetmiştik
  - Karşı tarafın aksiyonları belirsizlik yaratıyor.
- Bu bölümde yarışmacı çevreleri inceleyeceğiz.
  - Mücadeleci arama problemlerini inceleyeceğiz (İng: Adversarial search)
    - Bu problemler oyun olarak adlandırılır.
- YZ'de incelenen oyunlar genellikle kazan/kaybet (ing: zero-sum games) tarzı, tam bilgiye ulaşabilileceğimiz oyunlardır.
  - Örneğin: Satranç
  - Deterministik, tam gözlemlenebilir,
- Bu konu YZ konusunda uzun zamandır incelenmektedir.
- Oyunlar genellikle erişilebilir çevrelerdir: Çevre hakkında bütün bilgilere ulaşabiliriz.
- Arama: Oyun oynama mümkün oyun pozisyonları arasında arama işlemidir.
- Tahmin edilemeyen rakip: Karşıda bir rakip olması sistemde belirsizliğe neden olur.

Oyunlar

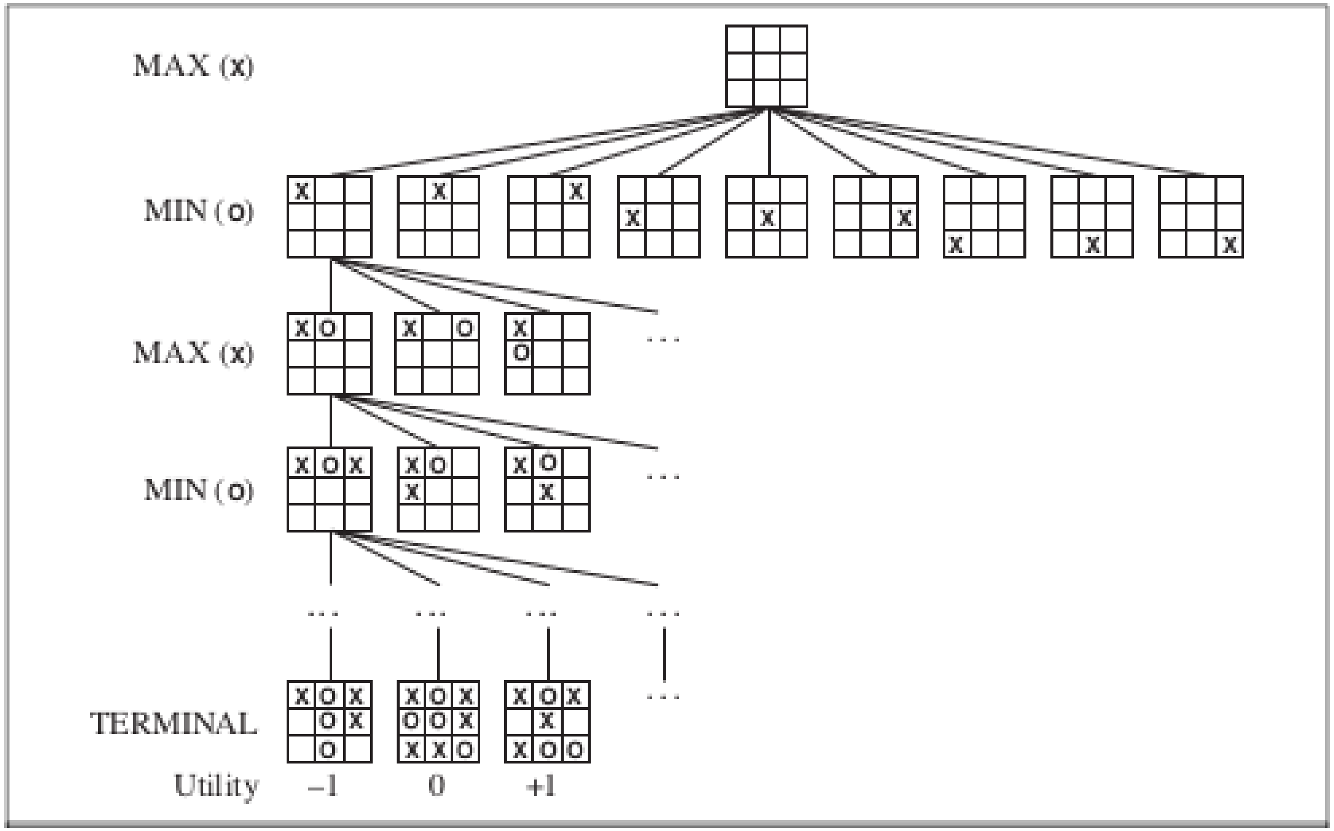
- Bir sonraki hamleyi belirlemek
  - Karmaşıklık
    - Oyunlar genellikle oldukça büyük bir arama uzayına sahiptir.
      - Örnek: Satranç => b = 35, m = 100, düğüm sayısı 35^{100} veya 10^{154} düğüm oluşturmak gerekecek.
    - Direk optimal çözüme ulaşmak mümkün değil.
    - Öyleyse bir şekilde mümkün olduğunca optimale yakın çözüme ulaşmaya çalışmalıyız.
    - Zaman kısıtlı olduğunda doğru bir karar vermek için kullanılabilecek yöntemleri öğreneceğiz.
      - Örneğin budama (ing: prunning) arama ağacının belli parçalarını görmezden gelebilmemize olanak verecek.
      - Örneğin buluşsal değerlendirme fonksiyonları bir durumun yaklaşık yararını tam bir arama yapmadan hesaplamamıza olanak verecek.

Oyunlar

- Öncelikle iki oyuncu içeren oyunları inceleyeceğiz.
  - Oyunculardan birini MAX diğerini MIN olarak isimlendireceğiz
  - Önce MAX, sonra MIN, sonra tekrar MAX,... şeklinde oynuyorlar
  - Bir oyun resmi olarak şu şekilde tanımlayabiliriz:
    - S_0: Başlangıç durumu, oyunun ilk olarak nasıl başladığı
    - OYUNCU(s): belli bir durumda oynama hakkı olan oyuncu
    - AKSİYON(s): belli bir durumda yapılabilecek aksiyonlar
    - SONUC(s,a): Geçiş modeli, bir aksiyonun sonucunu belirler.
    - BİTİŞ-TESTİ(s): Oyun sonlandığında bu test doğru döner.
    - YARAR(s,p): Yarar fonksiyonu oyunun sonlanması durumunda sonuca bir sayısal değer tanımlar.
      - Örneğin satrançta, +1, 0 veya ½.
      - Sıfır-toplam oyunlar, her oyun oynanmasında toplam karşılığın sabit olduğu oyunlardır.

Oyunlar

- Başlangıç durumu, Aksiyonlar fonksiyonu ve sonuç fonksiyonu bir oyun ağacı tanımlar.
  - Düğümler oyun durumlarını, kenarlar ise hamleleri temsil eder.

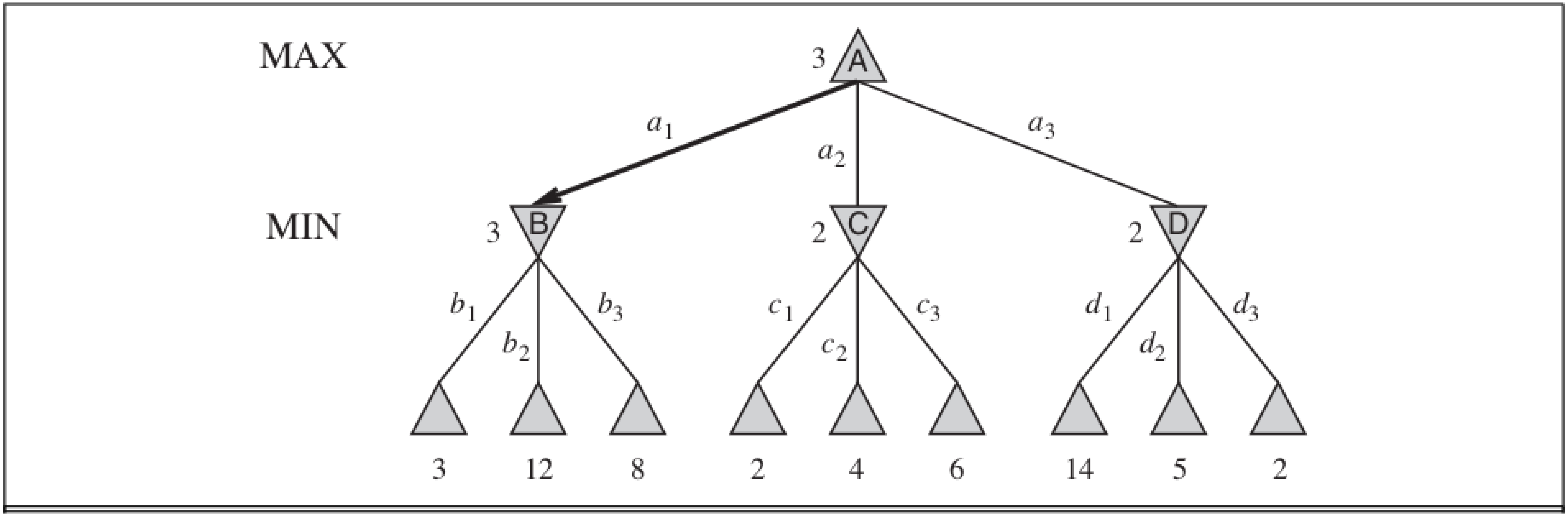


Oyunlar

- Oyunlarda optimal karar verme
  - Normal arama problemlerinde hedef durumuna giden aksiyonlar listesine ulaşmaya çalışırız.
  - Çekişmeli arama (İng: adversarial search) problemlerinde ise karşı tarafına hamleleri hesaplanmalıdır.
    - Bu amaçla MAX oyuncusu koşullu bir strateji geliştirmelidir.
  - Örnek bir basit oyun için oluşturulan arama ağacı bir sonraki slaytta gösterilmektedir.

Oyunlar

- Oyunlarda optimal karar verme



Oyunlar

- Oyunlarda optimal karar verme
  - MAX oyuncusu MIN oyuncusunun optimal şekilde oynayacağını kabul ederek hareket eder.
  - Bu durumda bir düğüme ait minimax değeri şu şekilde hesaplanır:
- MINIMAX(s) = YARAR(s) Eğer BİTİŞ_TESTİ(s) ise

$$\begin{cases} \max_{a \in \text{Aksiyonlar}(s)} \text{MINIMAX}(\text{SONUC}(s,a)) & \text{Eğer OYUNCU}(s) = \text{MAX ise} \\ \min_{a \in \text{Aksiyonlar}(s)} \text{MINIMAX}(\text{SONUC}(s,a)) & \text{Eğer OYUNCU}(s) = \text{MIN ise} \end{cases}$$

  - Bu yöntemi kullanarak kök düğümde minimax karara ulaşabiliriz.
    - Bu karar bizi en yüksek minimax değere sahip duruma götürecektir.

Oyunlar

```
fonksiyon MINIMAX-KARAR(durum) dönüş bir aksiyon
   return argmax a ∈ AKSIYONLAR(s) MIN-DEĞER(SONUC(durum,a))
```

```
function MAX-DEĞER(durum) dönüş bir yarar değeri
   if BİTİŞ-TESTİ(durum) then return YARAR(durum)
   v <= ∞
   for each a in AKSİYONLAR(durum) do
      v <= MAX(v, MIN-DEĞER(SONUC(s,a)))
   return v
```

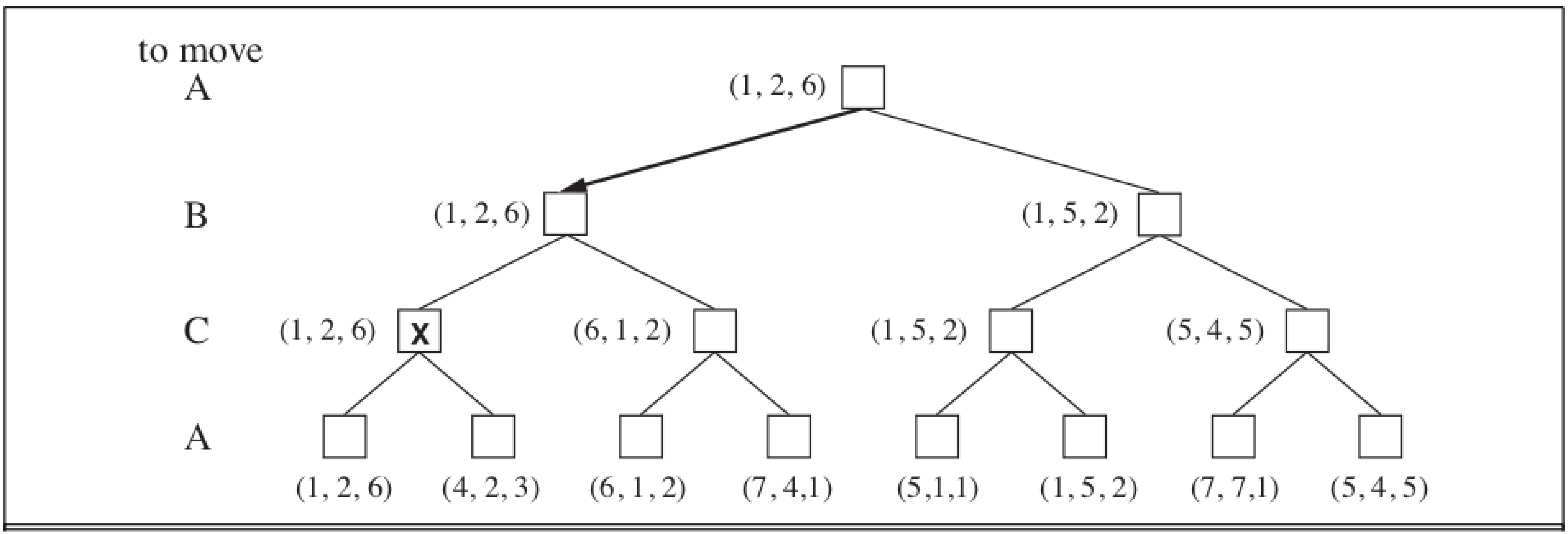
```
function MIN-DEĞER(durum) dönüş bir yarar değeri
   if BİTİŞ-TESTİ(durum) then return YARAR(durum)
   v <= ∞
   for each a in AKSİYONLAR(durum) do
      v <= MIN(v, MAX-DEĞER(SONUC(s,a)))
   return v
```

Oyunlar

- Minimax algoritması
  - Minimax algoritması bulunduğu durumdan minimax kararını hesaplar.
  - Bunu yaparken yinelemeli olarak ardıl durumlardan yukarı doğru hesaplar.
    - Önce yapraklara iner, ordan tekrar yukarı çıkar.
  - Minimax algoritması oyun ağacında derinlik-öncelikli keşif yapar.
    - Eğer ağacın maksimum derinliği m ve her düğümde b aksiyon mümkün ise, algoritmanın zaman karmaşıklığı $O(b^m)$.
    - Yer karmaşıklığı
      - her aksiyonu birden üreten yöntem için O(bm)
      - Her aksiyonu birer birer üreten algoritma için O(m)
    - Gerçek oyunlar için zaman karmaşıklığı oldukça yüksektir.

Oyunlar

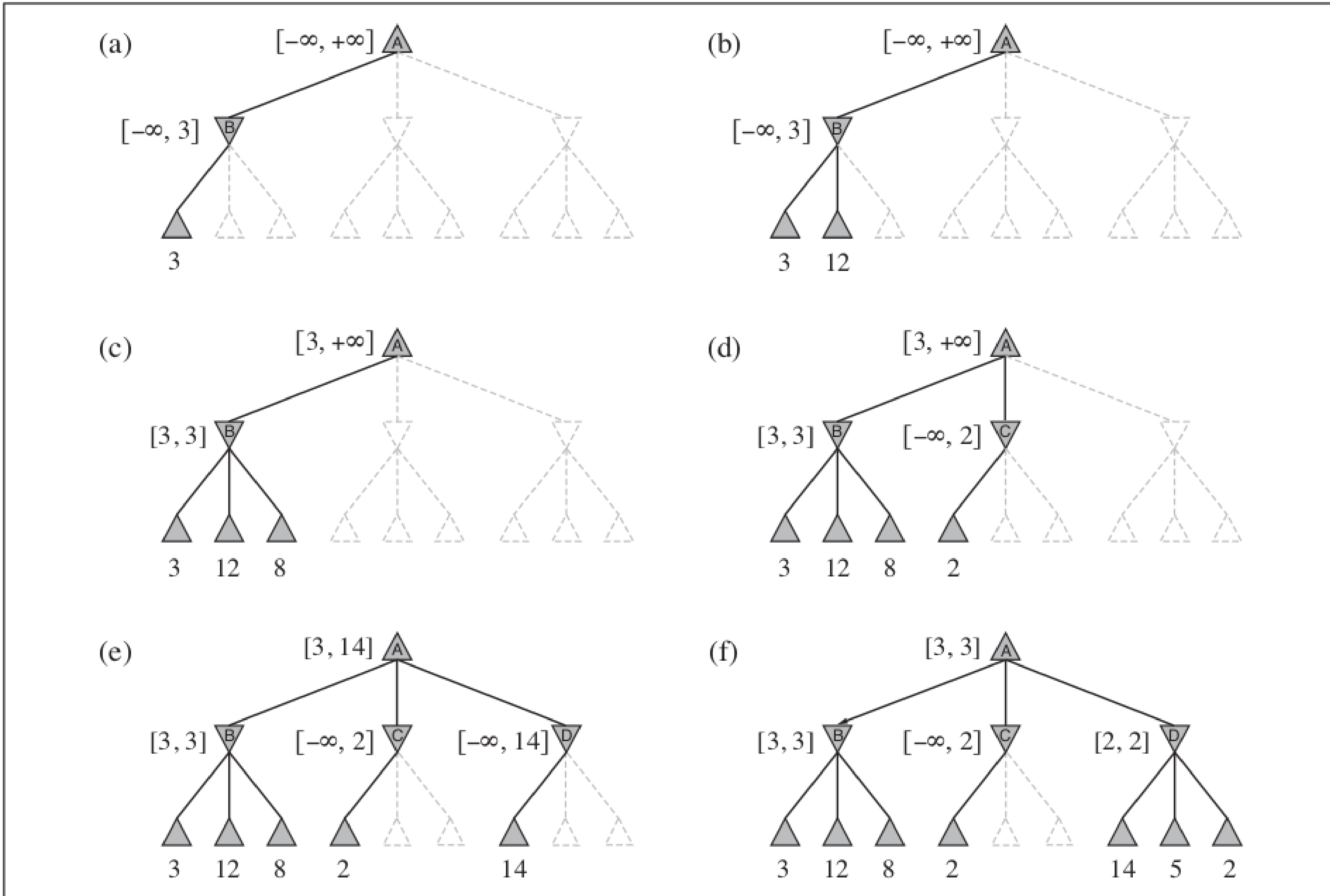
- Çok-oyunculu oyunlarda optimal kararlar
  - Birçok popular oyun ikiden fazla oyuncu içerir.
  - Minimax algoritması çok-oyunculu oyunlar için uyarlanabilir.



Oyunlar

- Alpha-Beta budama
  - Minimax algoritmasının sorunu ağacın derinliği arttıkça oyuna ait oluşan durumların üstel olarak artabilir.
  - Üstel durumu tamamen ortadan kaldıramasak da üstel durumu yarıya indirebiliriz.
  - Doğru minimax kararına ulaşmak için her düğüme bakmak zorunda değiliz.
    - Bunun için budama yöntemini kullanacağız.
  - Bu amaçla alpha-beta budama algoritmasını inceleyeceğiz.
  - Önce gördüğümüz örneği düşünürsek
  - MINIMAX (kök) = max(min(3, 12, 8), min(2, x, y), min(14, 5, 2)
    - = max(3, min(2, x, y), 2)
    - = max(3, z, 2) eğer z = min(2, x, y) ≤ 2
    - = 3.

Oyunlar

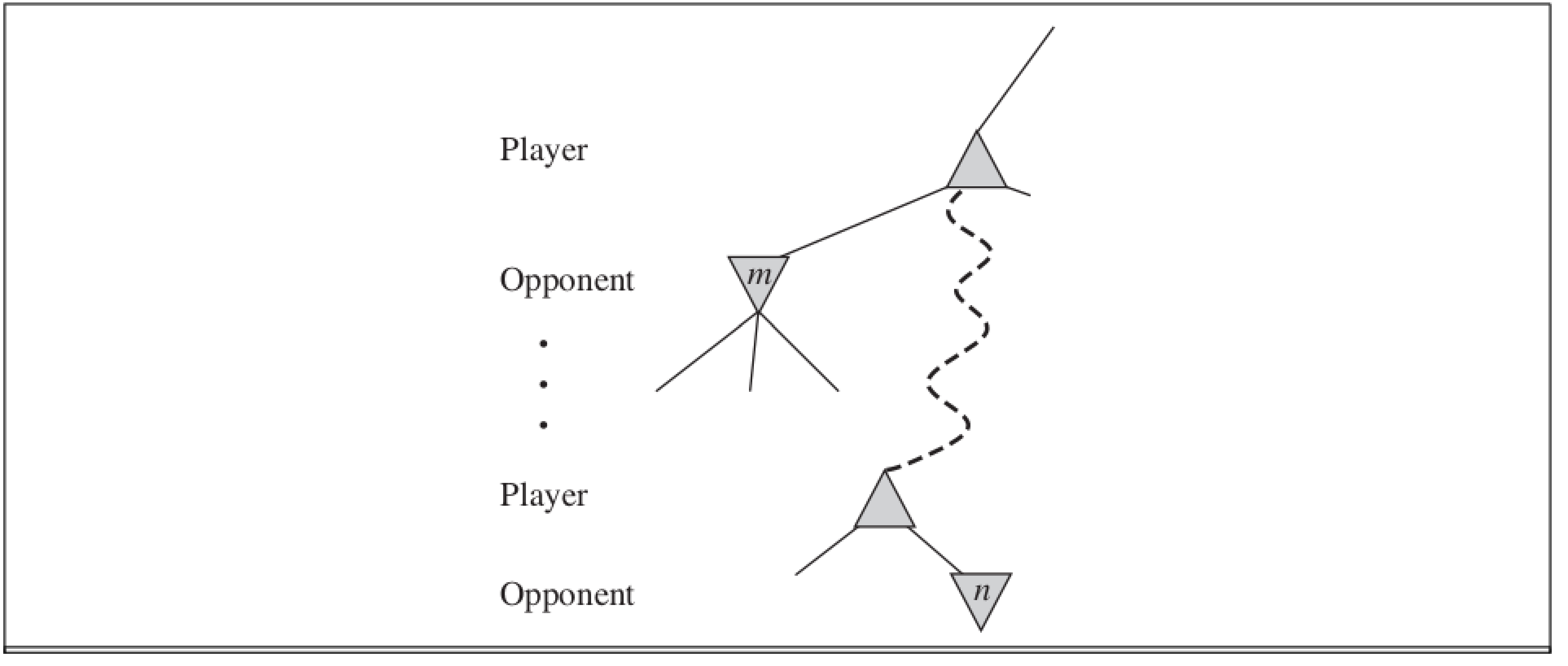

(a)
[−∞, +∞]
A
[−∞, 3]
B
3
(b)
[−∞, +∞]
A
[−∞, 3]
B
3 12
(c)
[3, +∞]
A
[3, 3]
B
3 12 8
(d)
[3, +∞]
A
[3, 3]
B
[−∞, 2]
C
3 12 8 2
(e)
[3, 14]
A
[3, 3]
B
[−∞, 2]
C
[−∞, 14]
D
3 12 8 2 14
(f)
[3, 3]
A
[3, 3]
B
[−∞, 2]
C
[2, 2]
D
3 12 8 2 14 5 2

Oyunlar

- Alpha-beta budama
  - Genel çalışma mantığı şudur.
    - Ağacın herhangi bir noktasında bir n düğümü düşünelim
    - Eğer bir oyuncu n düğümünün üst düğümünde veya ağacın daha yüksek bir noktasında daha iyi bir seçim olan m düğümü var ise
      - n düğümüne oyun sırasında asla ulaşılmayacaktır.
    - Öyleyse, n düğümünün bu durumunu yeterli miktarda inceledikten sonra (alt düğümlerinin bazılarını inceledikten sonra) bu düğümü budayabiliriz.
    - Minimax algoritması hatırlayacağınız üzere derinlik-öncelikli olarak çalışmakta
      - Öyleyse belli bir yol üzerinde düğümleri incelemeliyiz.
    - Alpha-beta budama ismini bir yol üzerinde yukarı hareket eden değerlerin üzerinde sınır belirleyen iki parametreden alır.
      - α = MAX için incelediğimiz yol üzerinde herhangi bir seçim noktasına kadar bulunan en iyi (yüksek) değer.
      - β = MIN için incelediğimiz yol üzerinde herhangi bir seçim noktasına kadar bulunan en iyi (düşük) değer.

Oyunlar

- Alpha-beta budama
  - Arama yaparken α ve β değerleri yenilenirken bunlara bağlı olarak diğer bazı parçalarda budanır.



Oyunlar

```
function ALPHA-BETA-ARAMA (state) dönüş bir aksiyon
   v ← M AX-DEĞER (durum, −∞, +∞)
   return aksiyon in AKSİYONLAR(durum) v değeri ile

function MAX-DEĞER(durum, α, β) dönüş bir yarar değeri
   if BİTİŞ-TESTİ (durum) then return YARAR(durum)
   v ← −∞
   for each a in AKSİYONLAR(durum) do
      v ← M AX (v , MIN-DEĞER (SONUÇ(s,a), α, β))
      if v ≥ β then return v
      α ← M AX (α, v )
   return v

function MIN-DEĞER (durum, α, β) returns bir yarar değeri
   if BİTİŞ-TESTİ (durum) then return YARAR(durum)
   v ← +∞
   for each a in AKSİYONLAR(durum) do
      v ← MIN (v , MAX-DEĞER (SONUÇ(s,a) , α, β))
      if v ≤ α then return v
      β ← MIN (β, v )
   return v
```

Oyunlar

- Alpha-beta budama
  - Alpha-beta algoritmasının etkinliği fazlasıyla alt düğümlerinin hangi sırayla incelendiğine bağlıdır.
    - Örneğimize tekrar bakalım.
  - Bu sebeple en iyi olarak seçilecek düğümleri önce incelemek yararlı olacaktır.
  - Bu durum kısmen mümkün ise:
    - $O(b^m)$ yerine $O(b^{m/2})$ düğümün oluşturulması yeterli olacaktır.
    - Böylece dallanma faktörü b yerine $\sqrt{b}$ olacaktır.
      - Yani satranç özelinde düşünürsek 35 yerine 6.
    - Bu sayede alpha-beta budama minimax algoritmasının aynı sürede incelediğinin iki katı uzaklığa kadar gidebilecektir.
    - Düğümler rastgele seçilse $O(b^{3m/4})$ yaklaşık olarak oluşturulacaktır.
  - Farklı hamle dizileri ile aynı durumlar oluşabilir.
  - Değerlendirmeyi hızlandırmak için bu farklı durumları bir tabloda saklayabiliriz.

Oyunlar

- Mükemmel olmayan gerçek-zamanlı kararlar
  - Minimax ve alpha-beta budama algoritmaları karar verebilmek için bitiş durumuna kadar ilerlemeliler.
    - Bu derinlik genellikle oldukça fazla olabilir.
  - Bunun yerine başka bir yöntem geliştirilebilir.
    - Bitiş durumuna gitmeden bir kesme noktası seçmek
    - Bu seçme noktasında oluşan düğümleri bir değerlendirme fonksiyonuna göndermek
    - Böylece bu düğümlere bitiş noktası gibi davranmaktır.
  - Böylece daha önceki yarar testi yerine kesme testi uygulayacağız
- H-MINIMAX(s,d) =

$$\begin{cases} \text{DEĞER}(s) & \text{Eğer KESME\_TESTİ}(s,d) \text{ ise} \\ \max_{a \in \text{Aksiyonlar}(s)} \text{H-MINIMAX}(\text{SONUC}(s,a),d+1) & \text{Eğer OYUNCU}(s) = \text{MAX ise} \\ \min_{a \in \text{Aksiyonlar}(s)} \text{H-MINIMAX}(\text{SONUC}(s,a), d+1) & \text{Eğer OYUNCU}(s) = \text{MIN ise} \end{cases}$$

Oyunlar

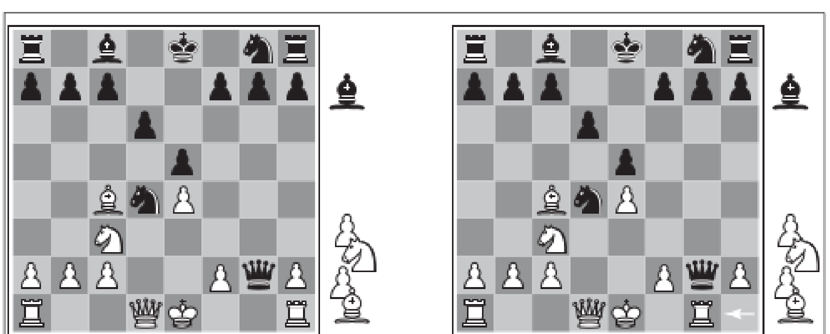
- Değerlendirme fonksiyonları (İng: Evaluation functions)
  - Değerlendirme fonksiyonu oyunun belli bir pozisyonunun tahmini yararını döner.
    - Bu yönüyle, hedefe ulaşmanın maliyetini tahmin eden buluşsal fonksiyonlara benzer.
  - Birçok değerlendirme fonksiyonu durumun belli özelliklerini hesaplar.
    - Satranç açısından düşünürsek taşların sayısı önemli bir ölçü
  - Eski tecrübelere dayanarak belli durumların kazanma ile bitme ihtimalini hesaplayabiliriz.
    - Örneğin iki piyon tek piyona karşı kalma durumlarında 72% ile kazanma, 8% ile beraberlik, 20% ile kaybetme ile sonlansın.
    - Beklenen değer şu şekilde hesaplanabilir:
      - $(0.72 \times (+1)) + (0.20 \times 0) + (0.08 \times ½) = 0.76$.
  - Bu tür bir yaklaşım oldukça fazla tecrübe gerektirecektir.
  - Bu sebeple genelde değerlendirme fonksiyonları her farklı özelliğe belli bir değer verebilir.

Oyunlar

- Değerlendirme fonksiyonları
  - Satranç özelinde düşünürsek
    - Her piyon 1, at veya fil 3, kale 5, vezir 9 puan.
    - Ayrıca “iyi piyon dağılımı” ve “şah güvenli durumda” 1 puan.
    - Bu şekilde herhangi bir pozisyona değer biçebiliriz.
  - Bu tür değerlendirme fonksiyonlarına ağırlıklı doğrusal fonksiyon (İng: Weighted linear function) denir.
    - DEĞER(s) = $w_1 f_1(s) + w_2 f_2(s) + \ldots + w_n f_n(s) = \sum w_i f_i(s)$
    - f_i değerleri duruma ait özellik, w_i değerleri ise her bir özelliğin ağırlığını belirler.
  - Doğrusal olarak hesaplama yaptığımızda özelliklerin birbirlerinden bağımsız olduğunu farzediyoruz.
    - Halbuki özellikler birbirini etkileyebilir.
    - Örneğin, oyun sonunda filin etkisi daha fazla olacaktır.
  - Bu sebeple bu tür durumlarda doğrusal olmayan kombinasyonlar kullanılır.

Oyunlar

- Aramayı kesme
  - Diğer bir adım da alpha-beta aramayı değiştirerek, uygun olduğunda aramayı keserek DEĞER fonksiyonunu çağırmaktır.
    - **if** KESME-TESTİ(durum, derinlik) **then return** DEĞER(durum)
  - Sorulması gereken soru: derinlik değerini nasıl belirleyeceğiz?
  - İlk yapılabilecek sabit bir derinlik seçmek
    - Bu derinlik belli bir d derinliğinden fazla seçilir.
    - Ancak bu yöntemin sakıncalı yönleri vardır. Bazen belli bir noktada durmak yerine arama biraz daha devam etmelidir.



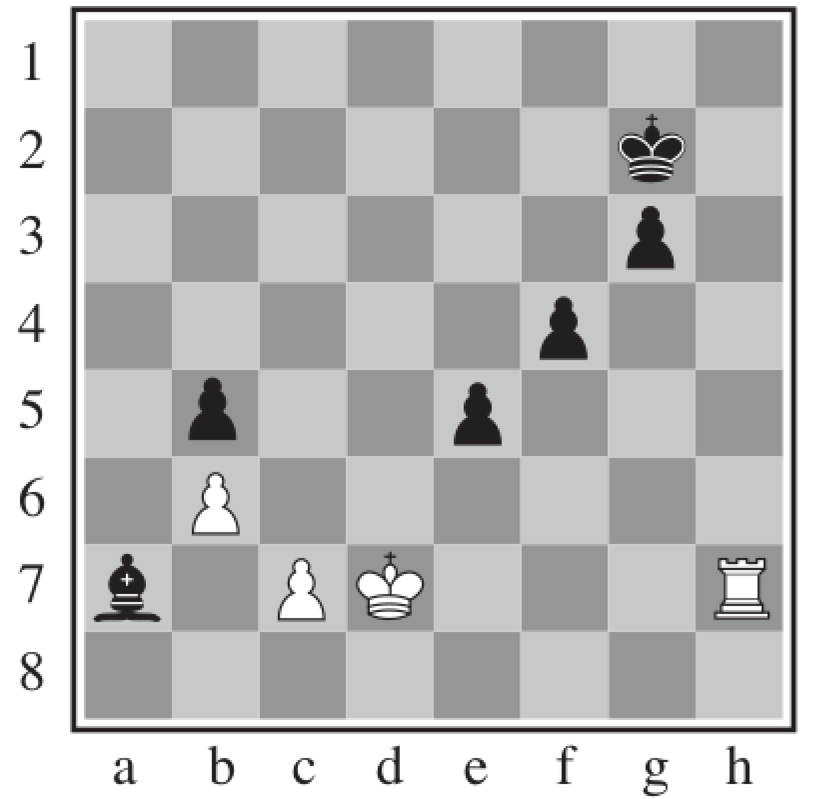
(a) White to move (b) White to move

Oyunlar

- Kesme testi
  - Tabii ki daha zekice bir taktik ile kesme noktası belirlenmelidir.
  - Öncelikle değerlendirme fonksiyonu durağan (İng: quiescent) durumlara uygulanmalıdır.
    - Bu durumlar yakın gelecekte hızlı değişimlere uğramayacaktır.
    - Durağan olmayan durumlar bir miktar daha açılabilir.
    - Bu tip aramaya durağanlık araması adı verilir.
  - Diğer düşünülmesi gereken bir konu da ufuk etkisi (İng: horizon effect)
    - Ufuk çizgisi yakınsa buraya kadar yapılan geciktirici hamleler ile yanlış bir değerlendirme yapma ihtimali mevcut.
    - Örneği inceleyelim.

Oyunlar

- Kesme testi



Oyunlar

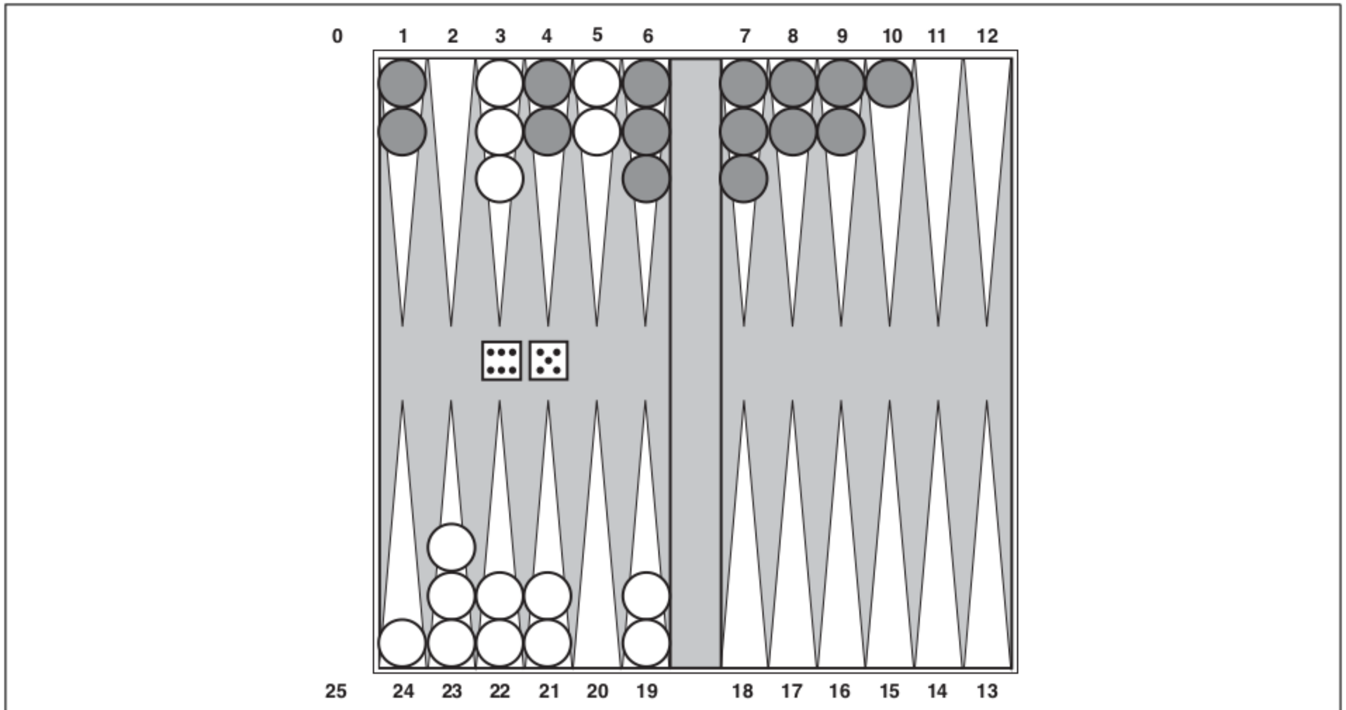
- Kesme testi
  - Ufuk etkisi
    - Ufuk etkisinden kurtulmayı sağlamak için kullanılan yöntemlerden biri tekil genişletme (İng: Singular extension).
      - Diğer hamlelerden bariz olarak iyi bir hamle keşfedilirse bu hamle hatırlanıyor.
      - Arama derinlik limitine ulaştığında, az önce hatırlanan hamle yapılabiliyorsa, arama bir süre daha devam ettiriliyor.
      - Ağaç bir miktar derinleşir ancak bu çok sık olmadığı için ağacın büyüklüğünü fazla büyütmez.
  - İleri budama (İng: Forward prunning)
    - Bir diğer hızlandırma metodu ileri budamadır.
      - Belli bir düğümde oluşan düğümler incelenmeden direk budanır.
      - Ancak gerekli düğümleri budama ihtimaliniz var.
      - ProbCut algoritması önceki tecrübelere dayanarak olasılıksal olarak belli düğümlerde ileri budama yapmayı dener.

Oyunlar

- Arama vs Tablodan bakma
  - Belli durumları ve bu durumlarda yapılacak en doğru hamleleri bir tabloda saklayarak karar vermeyi hızlandırabiliriz.
    - Örneğin, satranç için farklı açılış ve oyun sonları kaydedilebilir.
  - Bu durumlar oluştuğunda, arama ağacı oluşturmak yerine tek yapılması gereken ilgili hamleleri tablodan okumaktır.
  - Satranç için oyun açılışı ve oyun sonlarını tablodan okuyan algoritmalar geliştirilmiştir.

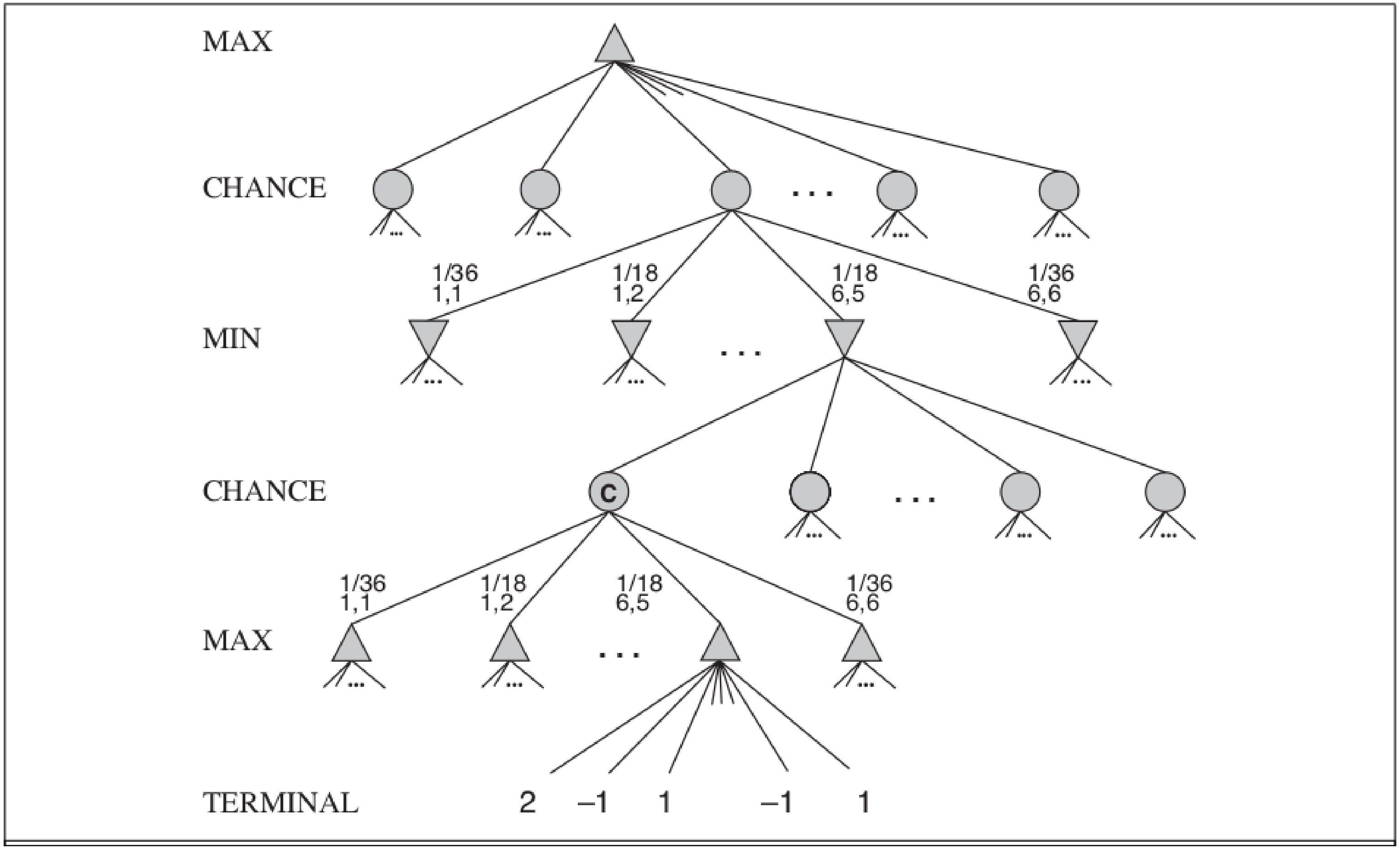
Oyunlar

- Stokastik oyunlar
  - Bu tür oyunlar rastgele belirlenen bir tahmin edilemeyen eleman içerir.
    - Örneğin zar atılması
    - Tavla, bu oyunlara örnektir.



Oyunlar

- Stokastik oyunlar
  - Tavla için oluşturulan oyun ağacı şans düğümleri içerir.



Oyunlar

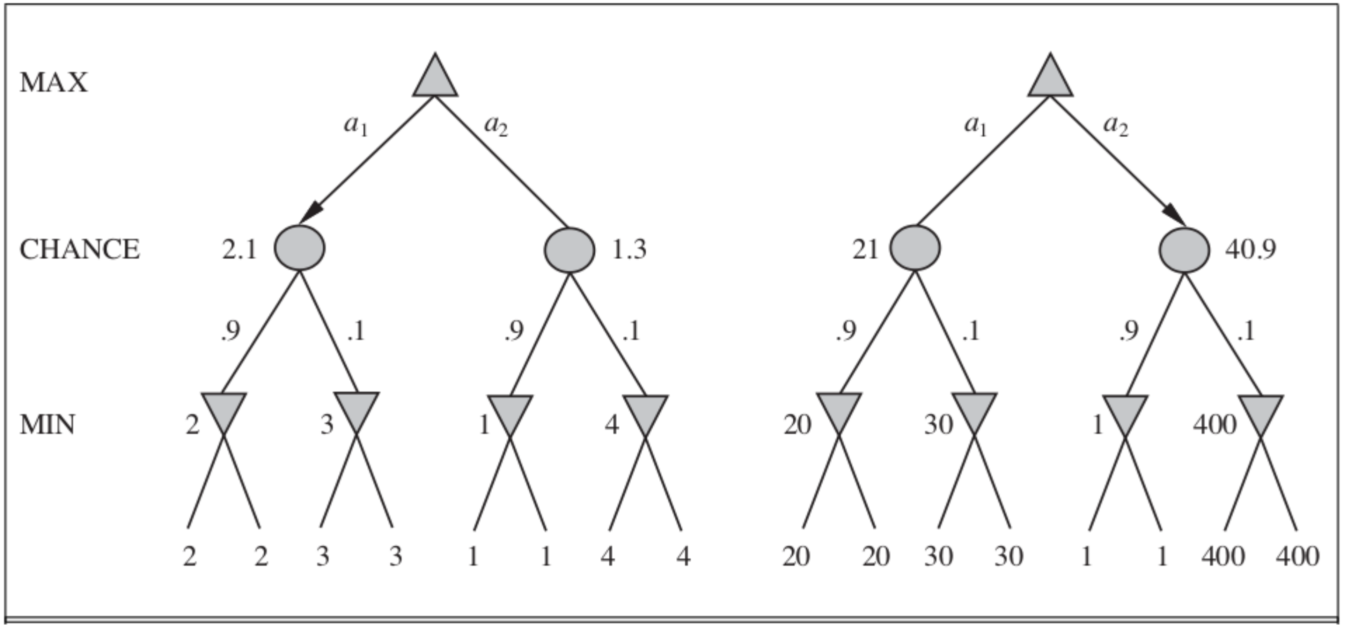
- Stokastik oyunlar
  - Minimax değeri hesabımızın yerini, şans düğümlerini de hesaba katacağımız beklenen-minimax hesabı alır.
- BEKLENEN-MINIMAX(s) =

$$
\begin{cases}
\text{YARAR}(s) & \text{Eğer BİTİŞ\_TESTİ}(s)\text{ ise} \\
\max_a \text{BEKLENEN-MINIMAX}(\text{SONUC}(s,a)) & \text{Eğer OYUNCU}(s) = \text{MAX ise} \\
\min_a \text{-BEKLENEN-MINIMAX}(\text{SONUC}(s,a)) & \text{Eğer OYUNCU}(s) = \text{MIN ise} \\
\sum P(r)\, BEKLENEN - MINIMAX(SONUC(s,a)) & \text{Eğer OYUNCU}(s) = \text{ŞANS ise}
\end{cases}
$$

-
  - Formülde r olası zar, SONUC(s,r) ise s durumunda r zarının atılmasını temsil etmektedir.

Oyunlar

- Stokastik oyunlar
  - Şans oyunları için değerlendirme fonksiyonları
    - Minimax'da olduğu gibi Beklenen-minimax için de arama bir noktada kesilmelidir.
    - Ancak belirlenen yarar değerleri belli bir pozisyondan galip gelme ihtimalinin pozitif doğrusal transformasyonu ile belirlenmelidir.



Oyunlar

- Stokastik oyunlar
  - Zaman karmaşıklığı
    - Farklı zarları da hesaba kattığımız için gereken zaman $O(b^m n^m)$
    - Tavla için düşünürsek, n = 21, b yaklaşık olarak 20 (ancak çift attığımızda 4000’e kadar çıkabilir).
      - Sadece üç hamle sonrasına gidebiliriz gibi görünüyor.
    - Budama, olası ihtimaller üzerinde çalışıyor, ancak zar atımını hesaplamadan bu ihtimaller ortaya çıkmıyor.
      - Bu sebeple olasılık sayısı hızlı artıyor.
    - Çözüm olarak değerlendirme fonksiyonunun vereceği değere sınır koyabiliriz.
      - Bir miktar budama yapmamız mümkün olabilir.
    - Bir diğer alternatif Monte Carlo simulasyonu kullanmak.
      - Bulunan durumdan algoritma farklı rastgele zarlarla binlerce oyun oynayarak en yüksek yararı veren hamle kombinasyonlarını seçebilir.