

Κεφάλαιο 5

Αλγόριθμοι Αναζήτησης σε Παίγνια Δύο Αντιπάλων

Τεχνητή Νοημοσύνη - Β' Έκδοση

Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν. Βασιλειάδης, Φ. Κόκκορας, Η. Σακελλαρίου



Αλγόριθμοι Αναζήτησης σε Παίγνια Δύο Αντιπάλων

Εισαγωγικά (1/3)

- ❖ Τα προβλήματα όπου η εξέλιξη των καταστάσεων εξαρτάται από δύο διαφορετικά σύνολα τελεστών μετάβασης που εφαρμόζονται εναλλάξ αναφέρονται και ως ανταγωνιστικά παίγνια ή παίγνια δύο αντιπάλων (*adversary* ή *two-person games*)
- ❖ Ο όρος "παίγνιο" αφορά την περιγραφή του τρόπου με τον οποίο παίζεται το παιχνίδι και περιλαμβάνει:
 - ❑ τα αντικείμενα που υπάρχουν (για παράδειγμα, τα πούλια, το ταμπλώ, κτλ.) καθώς και
 - ❑ το σύνολο των κανόνων που το διέπουν.
- ❖ Αντίθετα, με τον όρο "παιχνίδι" χαρακτηρίζεται μία συγκεκριμένη παρτίδα του παιχνιδιού.

Αλγόριθμοι Αναζήτησης σε Παίγνια Δύο Αντιπάλων

Εισαγωγικά (2/3)

- ❖ Το πρόβλημα ορίζεται ως εξής:
 - ❑ Μια κατάσταση παριστάνει τη διάταξη των πιονιών σε κάποια χρονική στιγμή.
 - ❑ Ο χώρος καταστάσεων αποτελείται από όλες αυτές τις πιθανές επιτρεπτές καταστάσεις.
 - ❑ Οι τελεστές μετάβασης είναι οι επιτρεπτές κινήσεις (κανόνες του παιχνιδιού).
 - ❑ Οι τελικές καταστάσεις έχουν γνωστά χαρακτηριστικά (π.χ. ματ στο σκάκι).
- ❖ Έστω ότι κάποιος είναι η σειρά του να κάνει μία κίνηση.
 - ❑ Αν θέλει να κερδίσει, θα επιδιώξει να κάνει την καλύτερη κίνηση για αυτόν, η οποία αντίστοιχα θα είναι και η χειρότερη για τον αντίπαλο.
 - ❑ Ο τρόπος που σκέφτεται είναι ο εξής: "Αν κάνω αυτή την κίνηση, τότε ο αντίπαλος θα κάνει εκείνη, αν όμως κάνω την άλλη κίνηση, τότε θα κάνει αυτήν, ..." κ.ο.κ.
 - ❑ Ο συλλογισμός αυτός αντιστοιχεί στη δημιουργία ενός δένδρου (δένδρο του παιχνιδιού game).

Αλγόριθμοι Αναζήτησης σε Παίγνια Δύο Αντιπάλων

Εισαγωγικά (3/3)

- ❖ Το χαρακτηριστικό του είναι ότι οι κινήσεις δύο διαδοχικών επιπέδων ανήκουν σε διαφορετικό παίκτη, γιατί οι παίκτες παίζουν εναλλάξ.
- ❖ Έστω ότι ένας από τους δύο αντιπάλους είναι ο υπολογιστής.
 - ❑ Το πρόγραμμα αναζήτησης πρέπει να εξετάσει όλες τις πιθανές κινήσεις που παράγονται από μία (αρχική) κατάσταση.
 - ❑ Ένα τέτοιο πρόγραμμα μπορεί να προβλέψει την έκβαση του παιχνιδιού μετά από 10 κινήσεις (ο άνθρωπος σταματά συνήθως μετά την πρόβλεψη 2 ή 3 κινήσεων).
- ❖ Παραδόξως, οι διαφορές αυτές δεν κάνουν κάποιο πρόγραμμα κυρίαρχο οποιουδήποτε παιχνιδιού έναντι του ανθρώπου.
- ❖ Η ανωτερότητα των ανθρώπων έγκειται στους εξής παράγοντες:
 - ❑ Οι άνθρωποι επιλέγουν με κάποιον ευριστικό τρόπο τις εναλλακτικές κινήσεις.
 - ❑ Οι άνθρωποι διαθέτουν κάποια διαίσθηση για την κατάληξη του παιχνιδιού.
 - ❑ Με την εμπειρία που αποκτούν, μπορούν να σκέφτονται πολλές φορές εντελώς μηχανικά, ιδίως στα πρώτα και τελευταία στάδια του παιχνιδιού.

Ο Αλγόριθμος Minimax (1/3)

- ❖ Δεδομένης μίας κατάστασης του παιχνιδιού, ο αλγόριθμος αναζήτησης μεγίστου-ελαχίστου (*Minimax*) καλείται να αποφασίσει ποια θα είναι η επόμενη κίνησή του έναντι του αντιπάλου.
- ❖ Η εξαντλητική αναζήτηση των δένδρων αναζήτησης είναι ανέφικτη.
- ❖ Το ζητούμενο είναι:
 - ❑ Να χτιστεί το δένδρο μέχρι κάποιο βάθος
 - ❑ Να βρεθεί η καλύτερη κίνηση από την παρούσα κατάσταση.
- ❖ Το μέτρο της υπεροχής του ενός ή του άλλου αντιπάλου δίνεται από μία **συνάρτηση αξιολόγησης** (evaluation function) και η οποία εφαρμόζεται στα φύλλα του δένδρου του παιχνιδιού.
- ❖ Ο ένας παίκτης (πρόγραμμα) ονομάζεται max και ο άλλος (άλλο πρόγραμμα ή άνθρωπος) ονομάζεται min.

Αλγόριθμος Minimax

Ψευδογλώσσα

1. Εφάρμοσε τη συνάρτηση αξιολόγησης σε όλους τους κόμβους-φύλλα του δένδρου.
 2. Έως ότου η ρίζα του δένδρου αποκτήσει τιμή, επανέλαβε:
 3. Αρχίζοντας από τα φύλλα του δένδρου και προχωρώντας προς τη ρίζα, μετέφερε τις τιμές προς τους ενδιάμεσους κόμβους του δένδρου ως εξής:
 - i. Η τιμή κάθε κόμβου Max είναι η μέγιστη (maximum) των τιμών των κόμβων-παιδιών του.
 - ii. Η τιμή κάθε κόμβου Min είναι η ελάχιστη (minimum) των τιμών των κόμβων-παιδιών του.
 4. Καλύτερη κίνηση είναι η κίνηση που οδηγεί στον κόμβο που έδωσε την πιο συμφέρουσα στη ρίζα τιμή (μέγιστη για το Max, ελάχιστη για το Min).
- ❖ Ο αλγόριθμος εγγυάται την πιο συμφέρουσα εξέλιξη μετά από κάποιες κινήσεις, έστω και αν ο αντίπαλος διαλέγει τις καλύτερες για αυτόν κινήσεις.

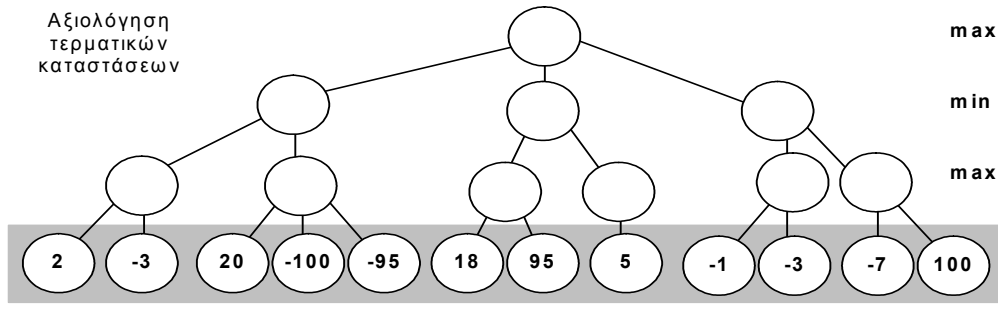


Ο Αλγόριθμος Minimax (2/3)

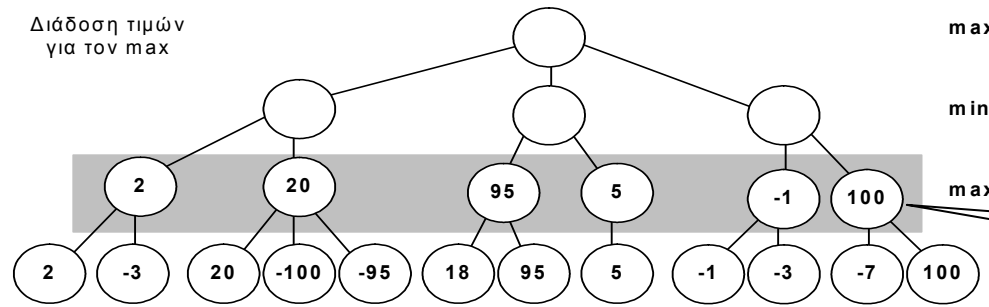
- ❖ Κατά σύμβαση, ο παίκτης που βρίσκεται στη ρίζα θεωρείται πως είναι ο Max.
- ❖ Οι καταστάσεις-φύλλα ονομάζονται τερματικές καταστάσεις, όμως δεν είναι απαραίτητα τελικές καταστάσεις.
- ❖ Οι τιμές των τερματικών καταστάσεων υπολογίζονται από τη συνάρτηση αξιολόγησης ενώ οι άλλες προκύπτουν από τη διάδοση αυτών.

Ο Αλγόριθμος Minimax (3/3)

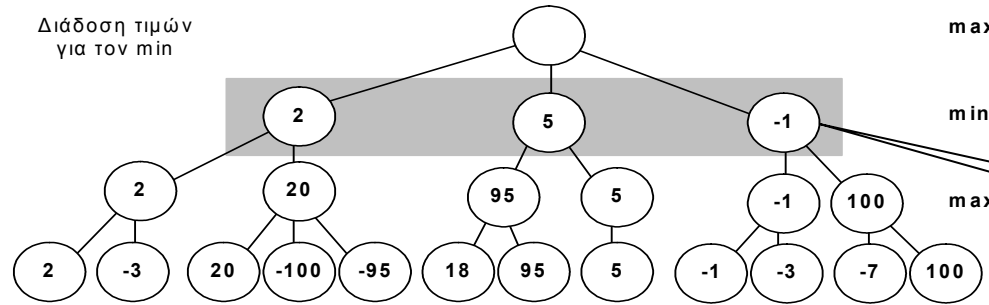
Αξιολόγηση
τερματικών
καταστάσεων



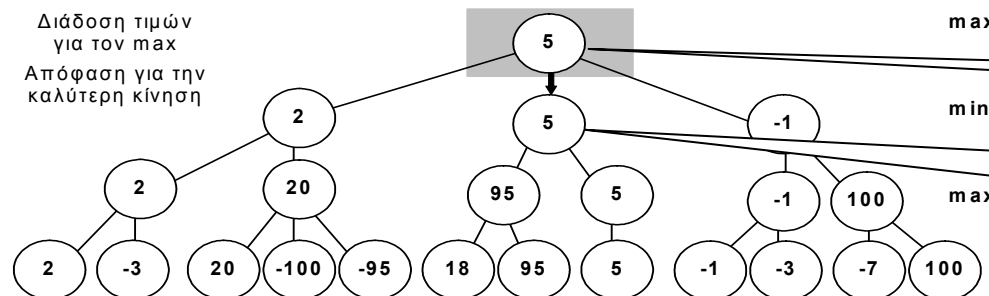
Διάδοση τιμών
για τον max



Διάδοση τιμών
για τον min

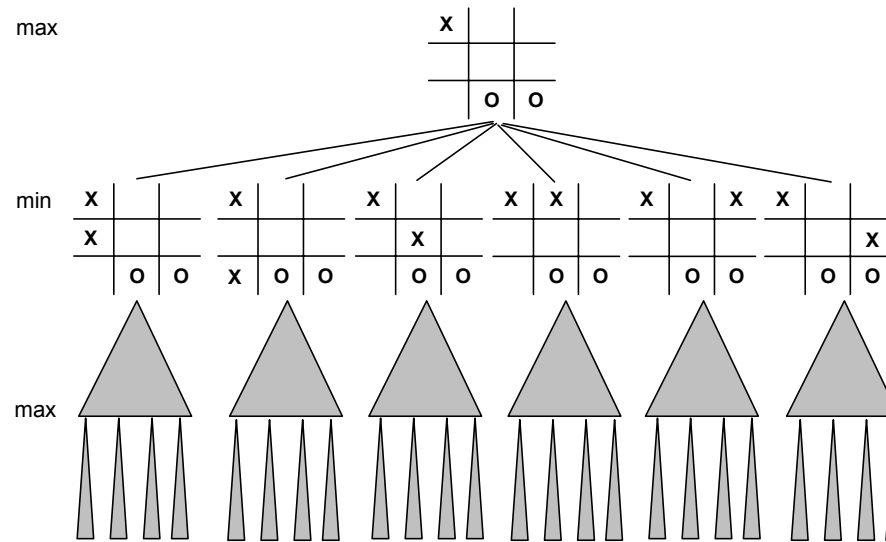


Διάδοση τιμών
για τον max
Απόφαση για την
καλύτερη κίνηση



Ο Αλγόριθμος Minimax στην Τρίλιζα (1/2)

- ❖ Η τρίλιζα έχει μικρό χώρο αναζήτησης ($9!$ καταστάσεις).

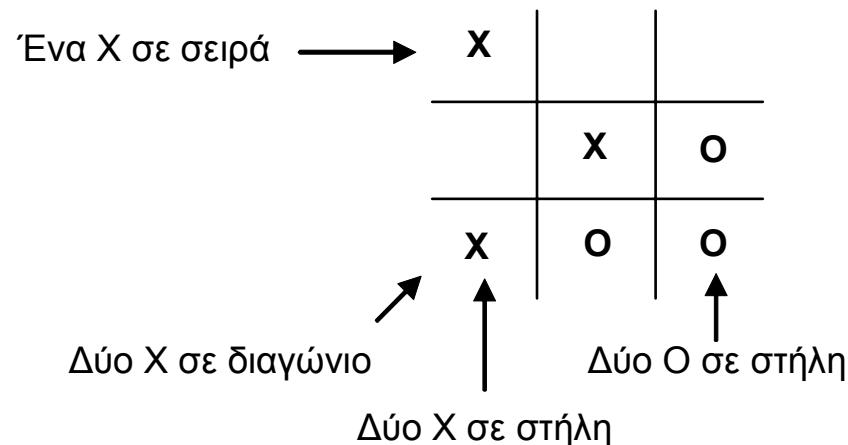


Ο Αλγόριθμος Minimax στην Τρίλιζα (2/2)

❖ Μία συνάρτηση αξιολόγησης στην τρίλιζα θα μπορούσε να είναι η:

$$3 \cdot X_2 + X_1 - (3 \cdot O_2 + O_1)$$

- ❑ X_2 ο αριθμός γραμμών, στηλών ή διαγωνίων με δύο X και χωρίς κανένα O.
- ❑ X_1 ο αριθμός γραμμών, στηλών ή διαγωνίων με ένα X και χωρίς κανένα O.
- ❑ O_2 ο αριθμός γραμμών, στηλών ή διαγωνίων με δύο O και χωρίς κανένα X.
- ❑ O_1 ο αριθμός γραμμών, στηλών ή διαγωνίων με ένα O και χωρίς κανένα X.



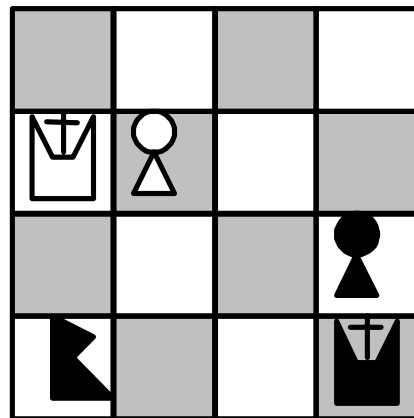
$$3 \cdot X_2 + X_1 - (3 \cdot O_2 + O_1) = 3 \cdot 2 + 1 - (3 \cdot 1 + 0) = 4$$

Εφαρμογή αλγορίθμου Minimax στο σκάκι

- ❖ Το κύριο μέλημα των προγραμμάτων σκάκι είναι να αναζητήσουν το δένδρο του παιχνιδιού σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάθος.

Μία συνάρτηση αξιολόγησης στο σκάκι

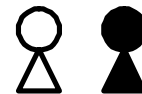
- ❑ *Υπεροχή κομματιών*: π.χ. Βασιλιάς=10, Άλογο=5, Πιόνι=1 κλπ. Η αξία όλων των κομματιών κάθε χρώματος προστίθεται.
- ❑ *Υπεροχή θέσης*: Κάθε κομμάτι που βρίσκεται στα 4 κεντρικά τετράγωνα παίρνει επιπλέον 2 πόντους.
- ❑ *Απειλές*: Για κάθε απειλή που προβάλλει ένας παίκτης παίρνει 3 επιπλέον πόντους, εκτός αν απειλεί το βασιλιά του άλλου παίκτη, τότε παίρνει 20 πόντους.



Βασιλιάς

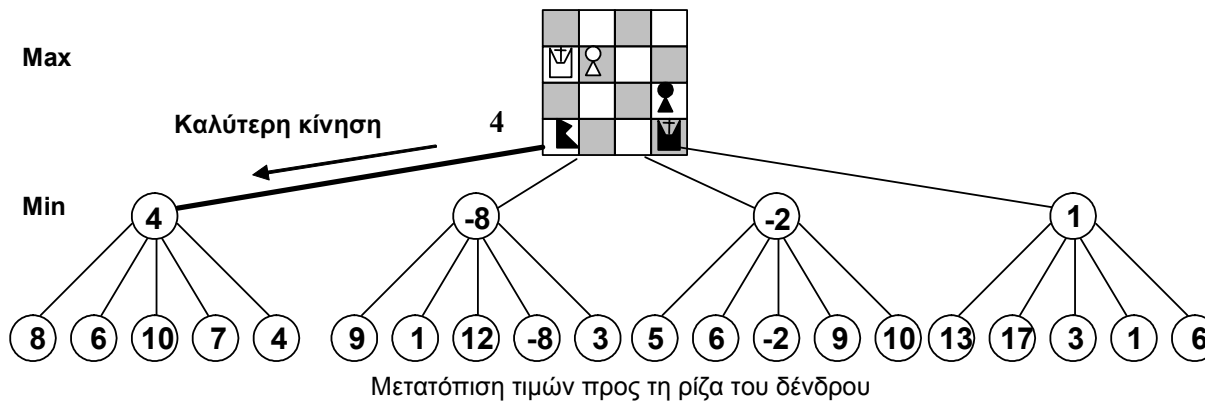
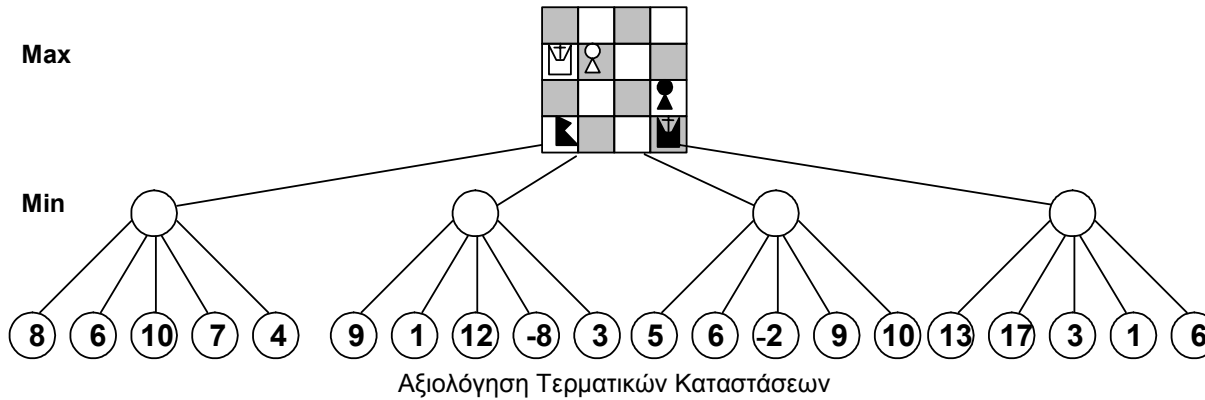
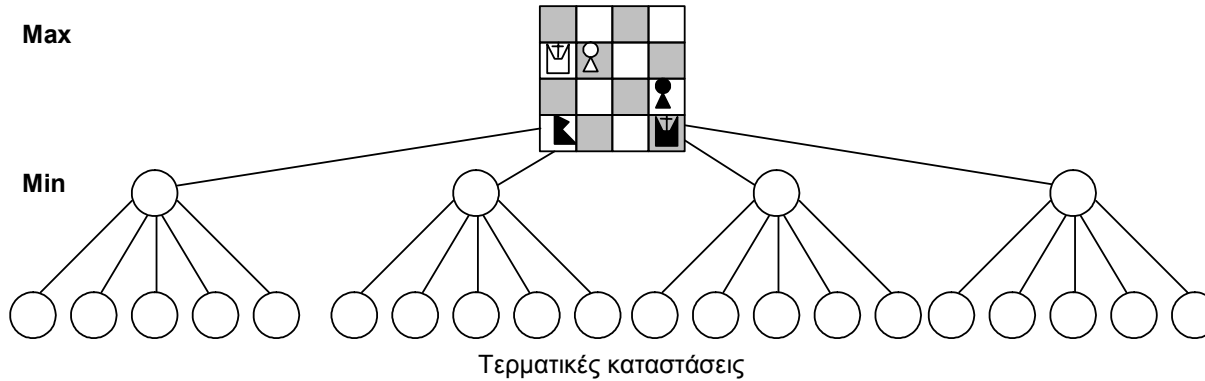


Άλογο



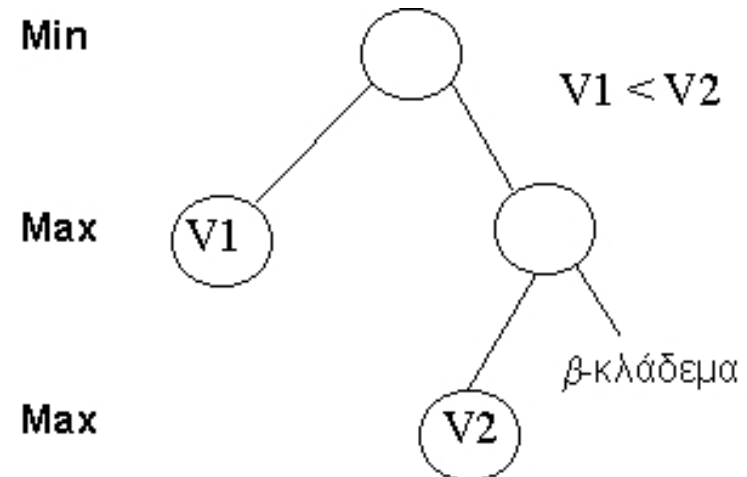
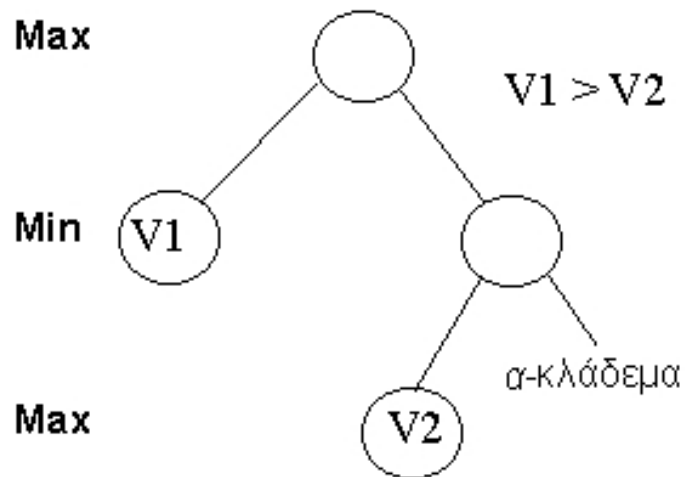
Πιόνι

Ο Αλγόριθμος Minimax στο Σκάκι



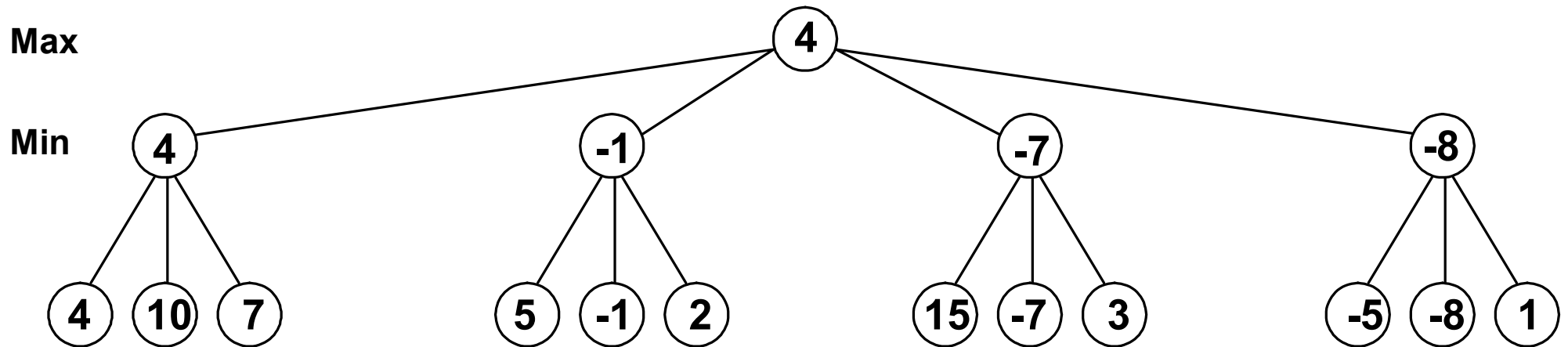
Ο Αλγόριθμος Alpha-Beta

- ❖ Ο Άλφα-Βήτα (*Alpha-Beta* - *AB*) αποφεύγει την αξιολόγηση καταστάσεων.
- ❖ Ο AB είναι όμοιος με τον Minimax, αλλά με κλάδεμα υποδένδρων.

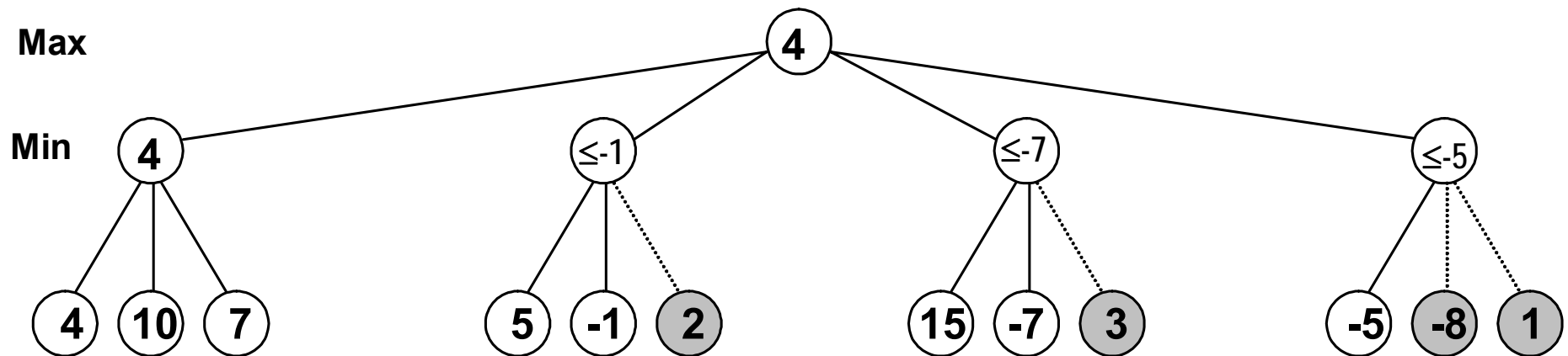


Σύγκριση του ΑΒ με τον Minimax (1/2)

Παράδειγμα Minimax



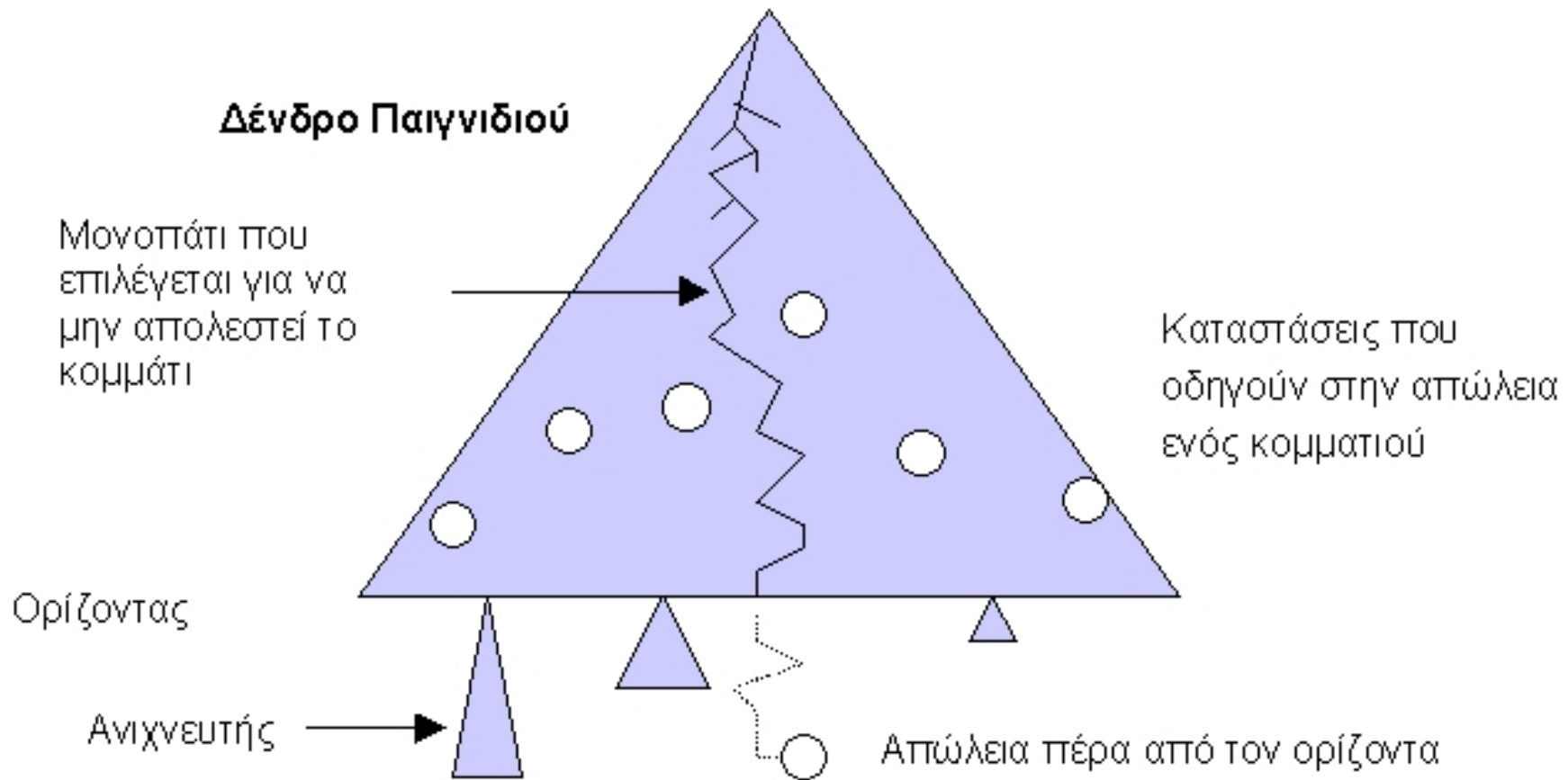
Παράδειγμα Alpha-Beta



Σύγκριση του AB με τον Minimax (2/2)

- ❖ Ο AB εξετάζει περίπου \sqrt{N} τερματικούς κόμβους, όπου N είναι οι τερματικοί κόμβοι που εξετάζει ο αλγόριθμος Minimax.
- ❖ Η απόδοσή του βελτιώνεται με διάφορες μεθόδους, όπως:
 - ❑ Ευριστικό κλάδεμα του δένδρου παιχνιδιού.
 - ❑ Δυναμική αντί στατικής συνάρτησης αξιολόγησης.
 - ❑ Αποθήκευση τιμών των τερματικών καταστάσεων (transposition tables).
 - ❑ Προκαθορισμένες κινήσεις (χωρίς αναζήτηση) σε αρχικές και τελικές φάσεις του παιχνιδιού (*Openings, End Game moves*).

Το Πρόβλημα του Ορίζοντα



- ❑ Το φαινόμενο του ορίζοντα (horizon effect) αντιμετωπίζεται με ανιχνευτές (scouts).