



Πολυτεχνείο
Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

*Εισαγωγή στην Τεχνητή
Νοημοσύνη*

Αναζήτηση με αντιπαλότητα

Τσαφράκης Στέλιος

Παίγνια

- Προβλήματα **αναζήτησης με αντιπαλότητα** (γνωστά και ως παίγνια): ανταγωνιστικά περιβάλλοντα στα οποία οι στόχοι των πρακτόρων συγκρούονται
- Μαθηματική **Θεωρία παιγνίων** (game theory): κλάδος των οικονομικών όπου ένα πολυπρακτορικό περιβάλλον αποτελεί παίγνιο ανεξάρτητα αν οι πράκτορες είναι συνεργατικοί ή ανταγωνιστικοί.
- Τεχνητή νοημοσύνη: παίγνια μηδενικού αθροίσματος (οι χρησιμότητες στο τέλος είναι ίσες & αντίθετες) , αιτιοκρατικά, με τέλεια πληροφόρηση (πλήρως παρατηρήσιμο περιβάλλον)

Παίγνια 2 Αντιπάλων (1/2)

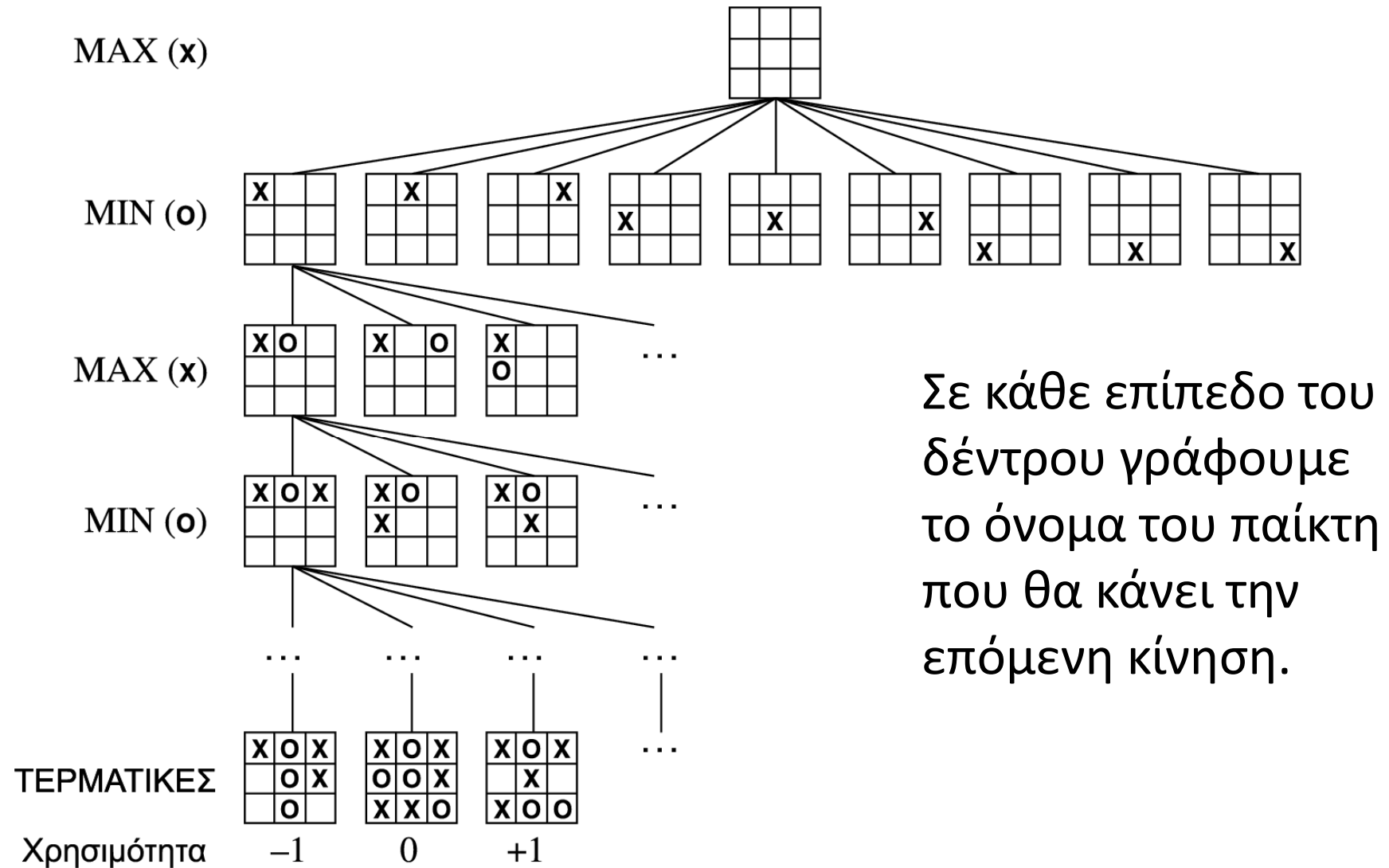
- Τα προβλήματα όπου η εξέλιξη των καταστάσεων εξαρτάται από δύο διαφορετικά σύνολα τελεστών μετάβασης που εφαρμόζονται εναλλάξ αναφέρονται ως ανταγωνιστικά παίγνια ή παίγνια δύο αντιπάλων (adversary ή two-person games)
- Ο όρος "παίγνιο" αφορά την περιγραφή του τρόπου με τον οποίο παίζεται το παιχνίδι & 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 παιγνίου.

Παίγνια 2 Αντιπάλων (2/2)

Το πρόβλημα ορίζεται ως εξής:

- Μια κατάσταση παριστάνει τη διάταξη των πρακτόρων (π.χ. πιόνια) 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 με όλες τις εναλλακτικές κινήσεις (**δένδρο του παιγνίου**).

Δένδρο παιχνιδιού: τρίλιζα



Αλγόριθμοι Αναζήτησης σε Παίγνια 2 Αντιπάλων (1/2)

- Το χαρακτηριστικό αυτών των δέντρων είναι ότι οι κινήσεις 2 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 π.χ. 10 κινήσεις στο σκάκι (ο άνθρωπος σταματά συνήθως μετά την πρόβλεψη 2 ή 3 κινήσεων).
- Παραδόξως, οι διαφορές αυτές δεν κάνουν κάποιο πρόγραμμα κυρίαρχο οποιουδήποτε παιγνίου έναντι του ανθρώπου.

Αλγόριθμοι Αναζήτησης σε Παίγνια 2 Αντιπάλων (2/2)

- Συνδυαστική έκρηξη:
 - Για κάθε κατάσταση στο σκάκι παράγονται κατά μ.ο. 10 νέες καταστάσεις
 - Μια παρτίδα τελειώνει κατά μ.ο σε 40 κινήσεις (20 για κάθε παίκτη)
 - Οι πιθανές τελικές καταστάσεις θα είναι της τάξης του 10^{40}
 - Ένας υπολογιστής ξοδεύει 10^{-9} sec για να εξετάσει κάθε κατάσταση
 - Για να τις εξετάσει όλες θέλει $10^{40} \times 10^{-9} = 10^{31}$ sec = 10^{24} χρόνια
 - Ηλικία σύμπαντος: 10^9 χρόνια
- Η ανωτερότητα του ανθρώπου έγκειται στους εξής παράγοντες:
 - Επιλέγει με κάποιον ευρετικό τρόπο τις εναλλακτικές κινήσεις.
 - Διαθέτει κάποια διαίσθηση για την κατάληξη του παιχνιδιού.
 - Με την εμπειρία που αποκτά μπορεί να σκέφτεται πολλές φορές εντελώς μηχανικά, ιδίως στα πρώτα & τελευταία στάδια του παιχνιδιού.

Ο Αλγόριθμος Minimax (1/2)

- Δεδομένης μίας κατάστασης του παιχνιδιού, ο αλγόριθμος αναζήτησης *Μεγίστου-Ελαχίστου* (*Minimax*) καλείται να αποφασίσει ποια θα είναι η επόμενη κίνησή έναντι του αντιπάλου.
- Η εξαντλητική αναζήτηση των δένδρων παιχνιδιού είναι τις περισσότερες φορές 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 η οποία εφαρμόζεται στα φύλλα του δένδρου του παιχνιδιού
- Ο ένας παίκτης (πρόγραμμα ή άνθρωπος) ονομάζεται *max* και ο άλλος ονομάζεται *min*.

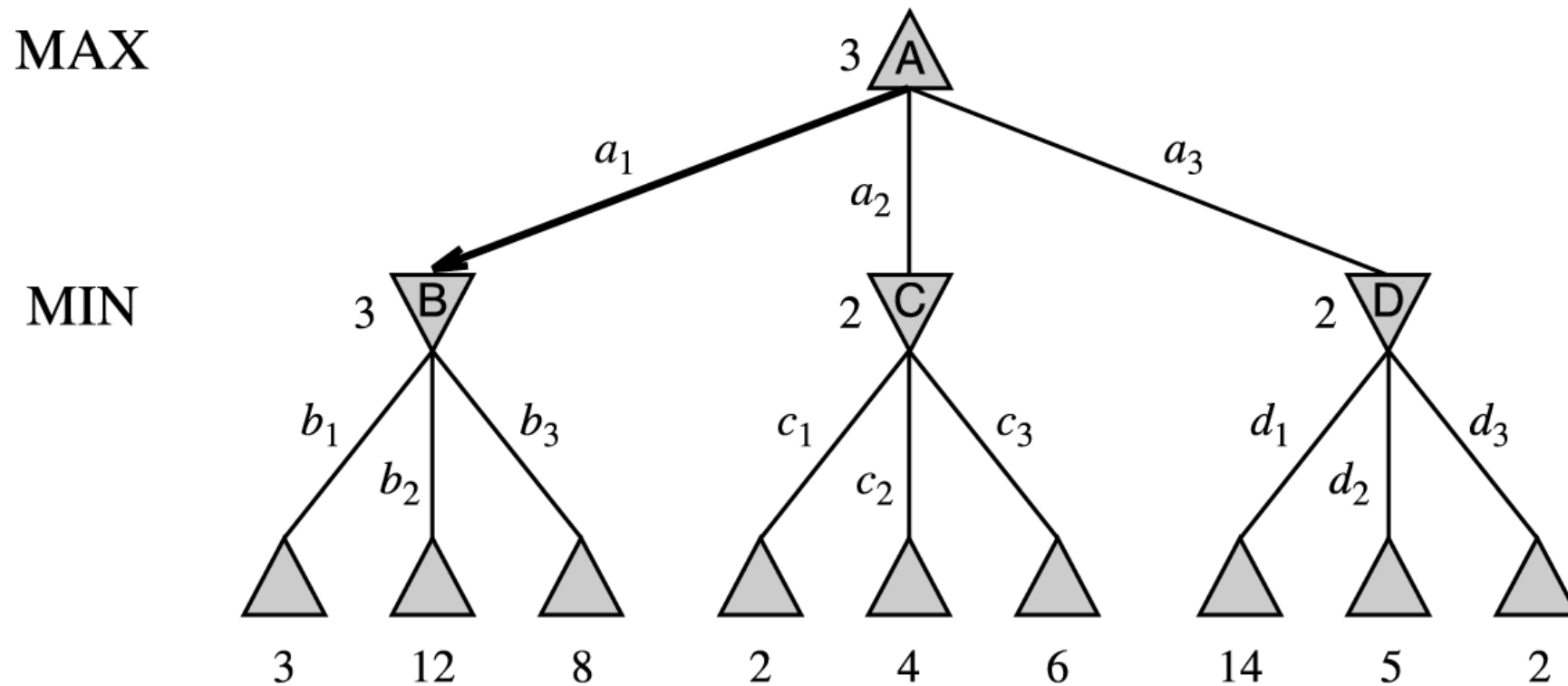
Ο Αλγόριθμος Minimax (2/2)

- Ορίζουμε ως τιμή Minimax κάθε κόμβου τη χρησιμότητα που αποκομίζει ο MAX ευρισκόμενος σε αυτή την κατάσταση δεδομένου ότι & οι 2 παίκτες θα δράσουν ορθολογικά έως το τέλος για να κερδίσουν.
- Προφανώς ο MAX προτιμάει να μεταβεί σε μια κατάσταση μέγιστης τιμής, ενώ ο MIN σε ελάχιστης τιμής.
- Αρχικά υπολογίζονται οι χρησιμότητες (για τον MAX) των φύλων του δέντρου (τερματικές καταστάσεις).
- Στη συνέχεια αναδρομικά αντιγράφονται οι τιμές Minimax στους κόμβους του προηγούμενου επιπέδου μέχρι να φτάσουμε στη ρίζα του δέντρου.

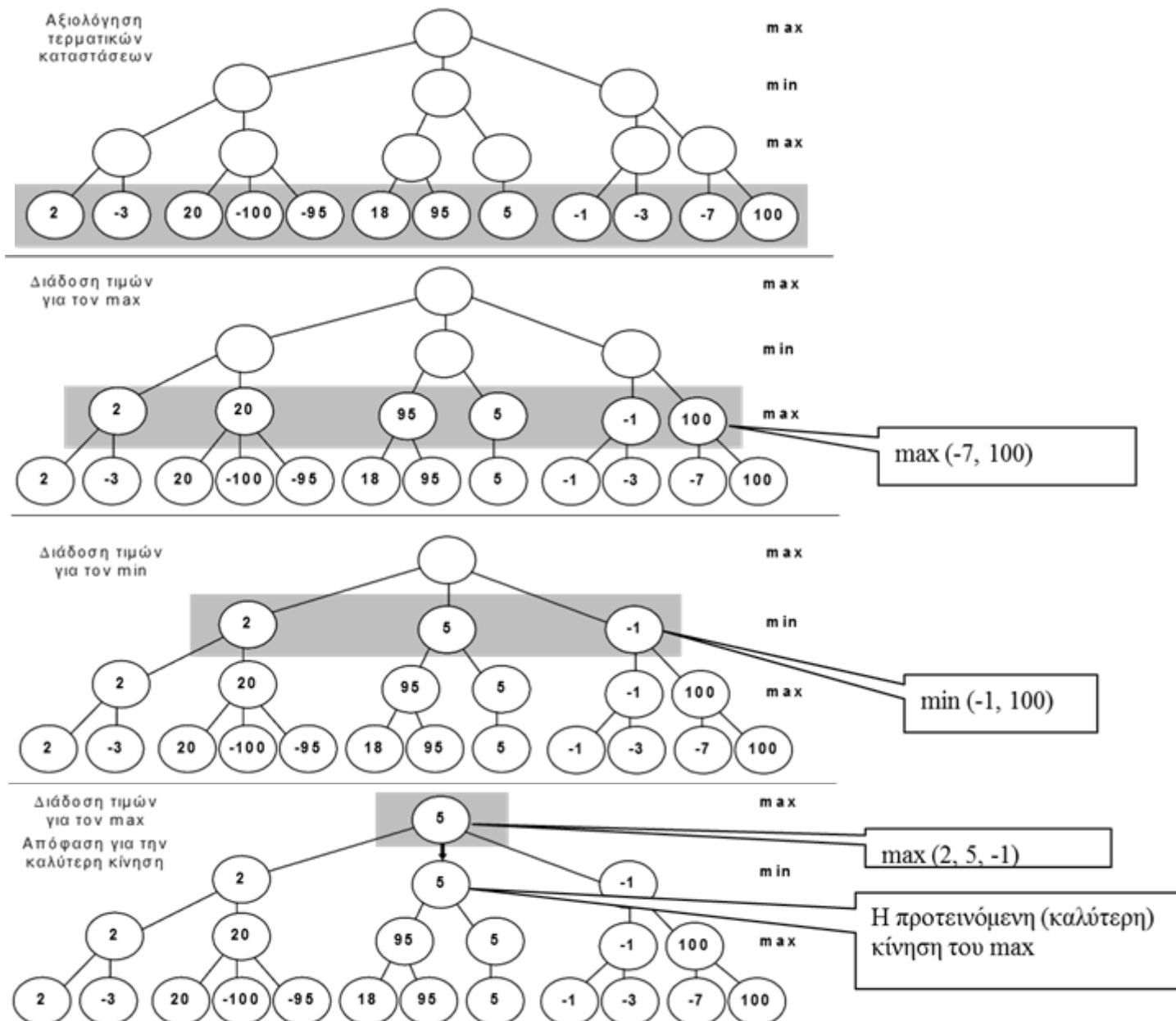
Ψευδοκώδικας αλγόριθμου Minimax

- Υπολόγισε τις χρησιμότητες των φύλων του δέντρου.
- Ξεκινώντας από τα φύλα & προχωρώντας προς τη ρίζα του δέντρου μετέφερε τις τιμές Minimax στους ενδιαμέσους κόμβους:
 - Η τιμή κάθε κόμβου MAX είναι η μέγιστη των κόμβων παιδιών του
 - Η τιμή κάθε κόμβου MIN είναι η μέγιστη των κόμβων παιδιών του
- Σταμάτα όταν και ο κόμβος ρίζα του δέντρου πάρει τιμή.
- Άρα αν ο από πάνω κόμβος είναι MAX τότε ανεβάζουμε την υψηλότερη τιμή, ενώ αν είναι MIN τη χαμηλότερη
- Ο αλγόριθμος Minimax υποδεικνύει την καλύτερη κίνηση για τον παίκτη που παίζει πρώτος, δεδομένου ότι ο αντίπαλος δρα ορθολογικά.

Αλγόριθμος minimax: παράδειγμα

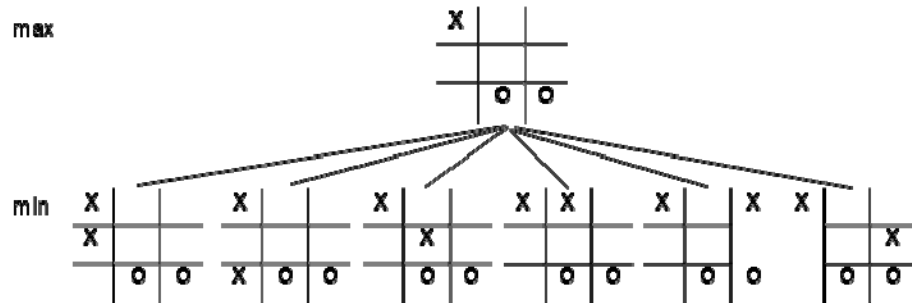
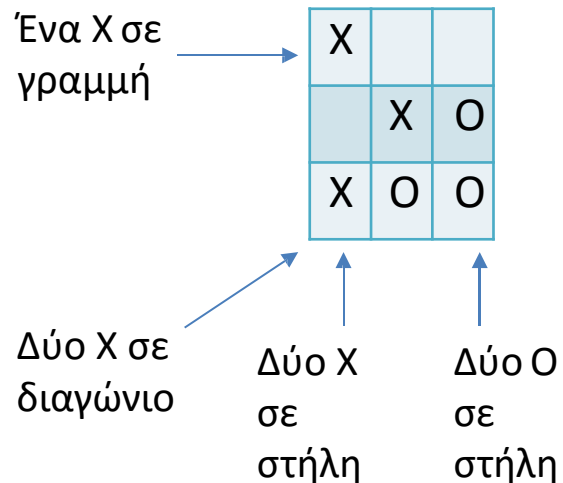


Ο Αλγόριθμος Minimax: παράδειγμα



Συνάρτηση αξιολόγησης: τρίλιζα

- 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.



- Η τιμή της συνάρτησης αξιολόγησης (για τον παίκτη X) είναι:

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

Ο αλγόριθμος Minimax στο σκάκι

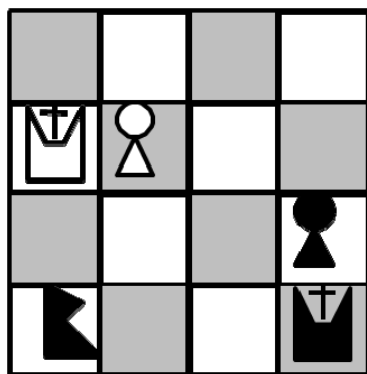
- Το κύριο μέλημα των προγραμμάτων σκάκι είναι να αναζητήσουν το δένδρο του παιχνιδιού σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάθος.

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, οπότε παίρνει 20 πόντους.



Βασιλιάς



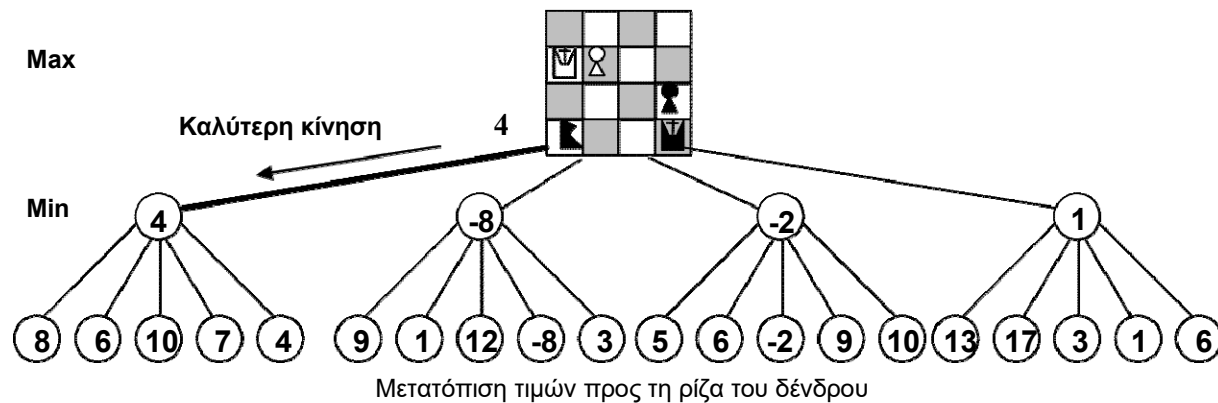
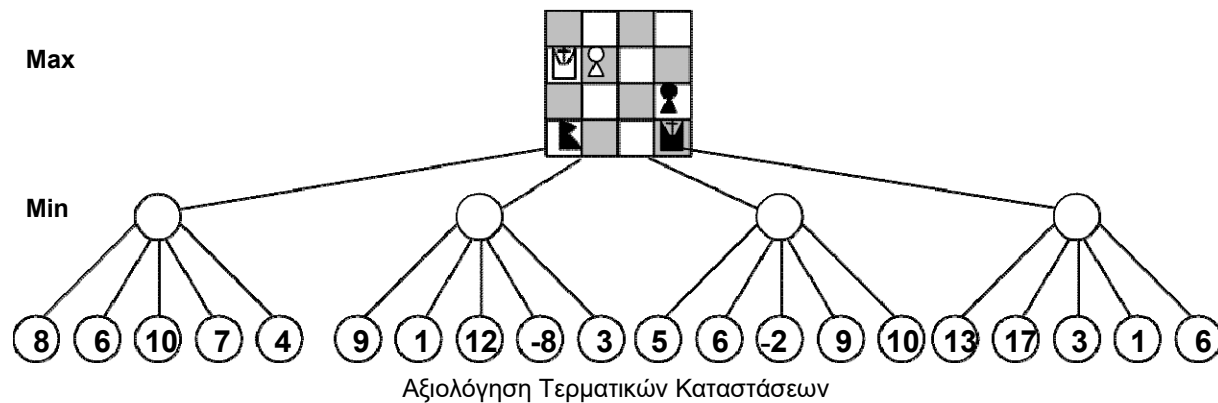
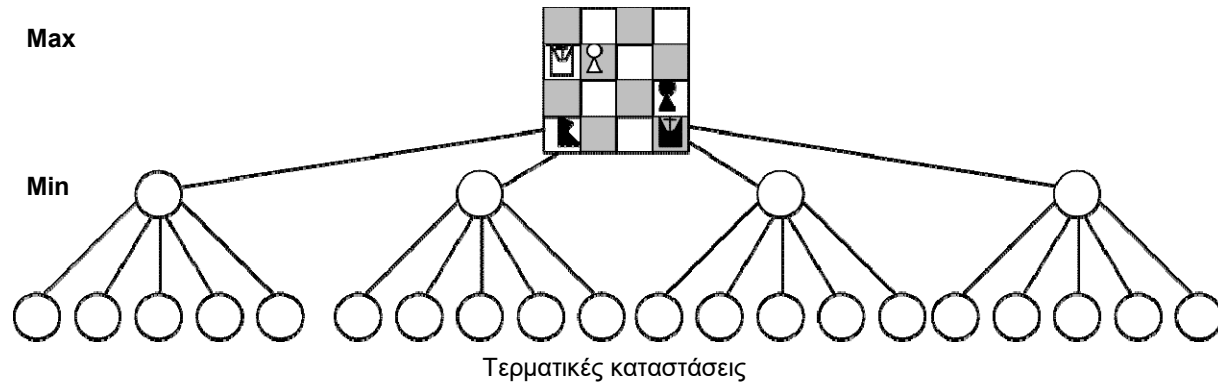
Άλογο



Πιόνι

- Λευκά: $10+1$ (λόγω α) + 2 (λόγω β) + 0 (λόγω γ) = 13
- Μαύρα: $10+5+1$ (λόγω α) + 0 (λόγω β) + 3 (λόγω γ) = 19

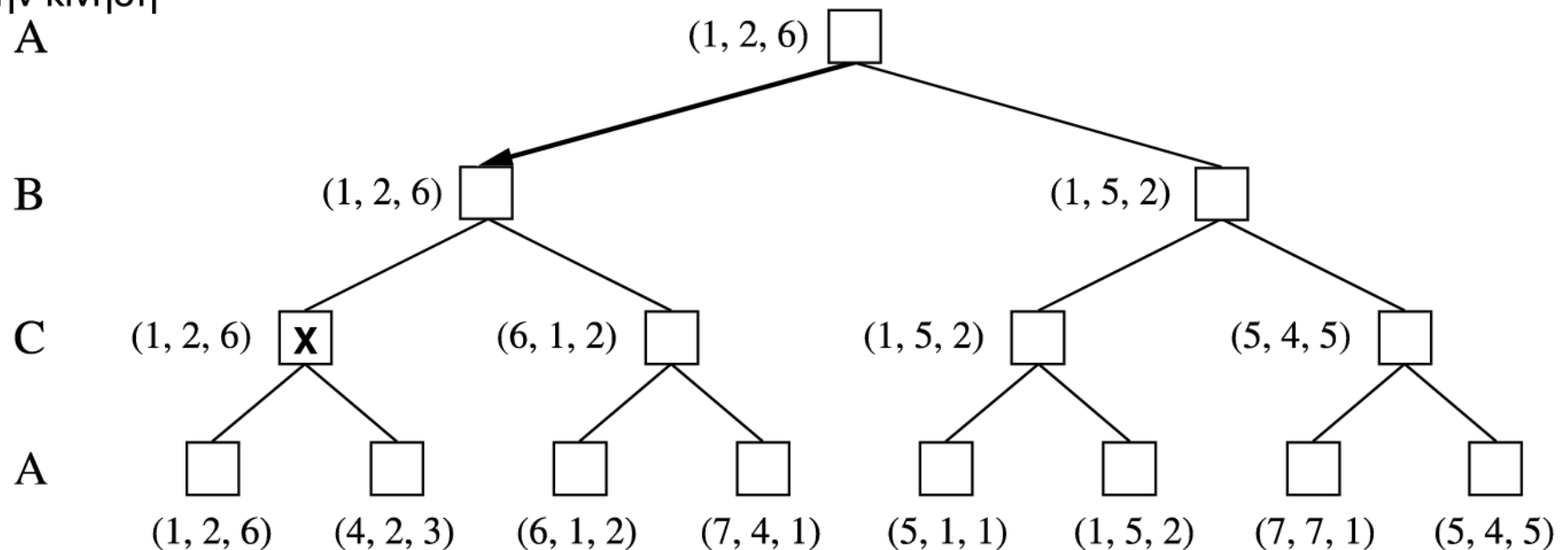
Ο Αλγόριθμος Minimax στο Σκάκι



Παίγνια πολλών παικτών

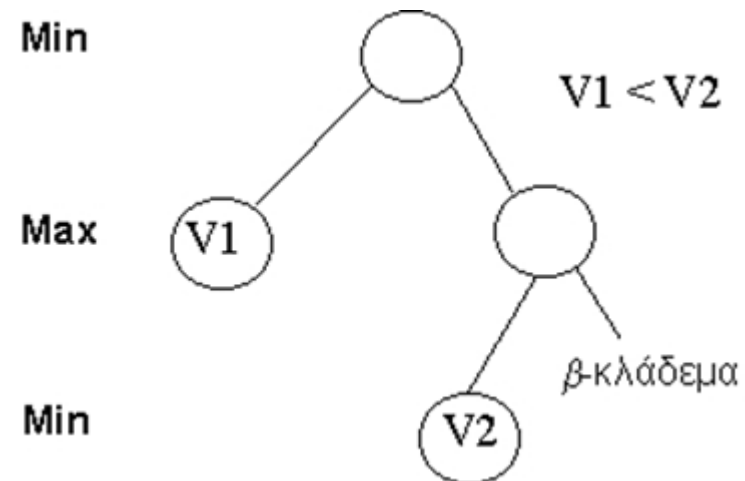
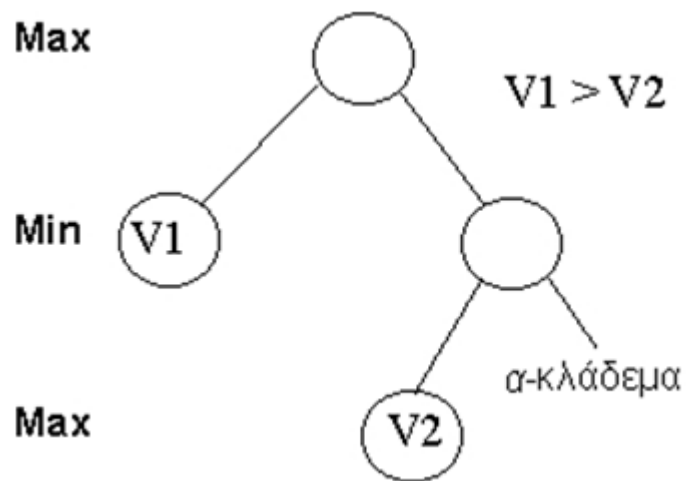
- Κάθε κόμβος έχει ένα διάνυσμα τιμών (αντί για 1 τιμή)
- Το διάνυσμα δείχνει τη χρησιμότητα της κατάστασης από την άποψη του κάθε παίκτη, π.χ. (u_A, u_B, u_C) :

έχει την κίνηση
A

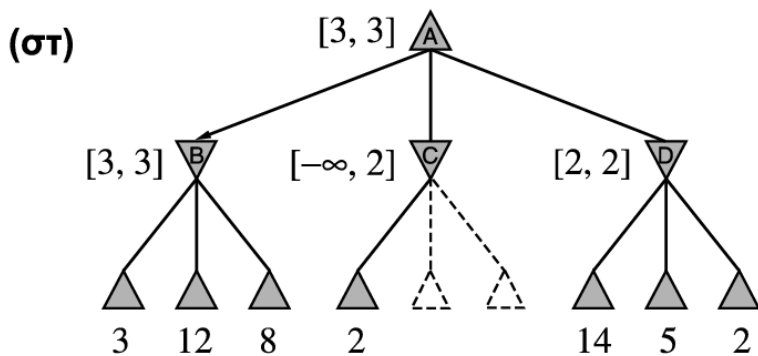
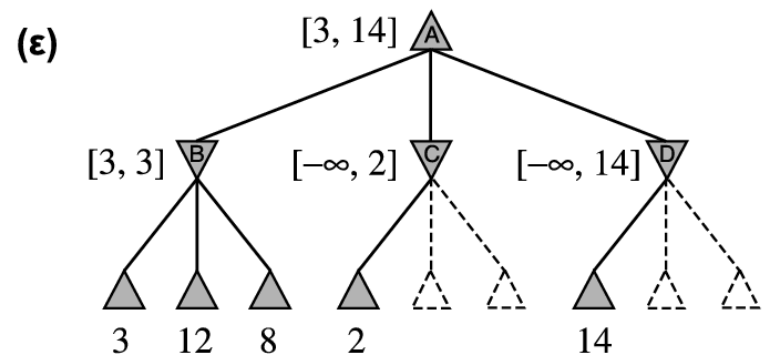
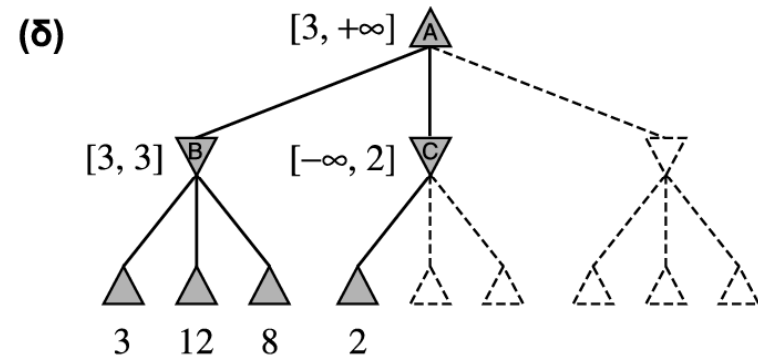
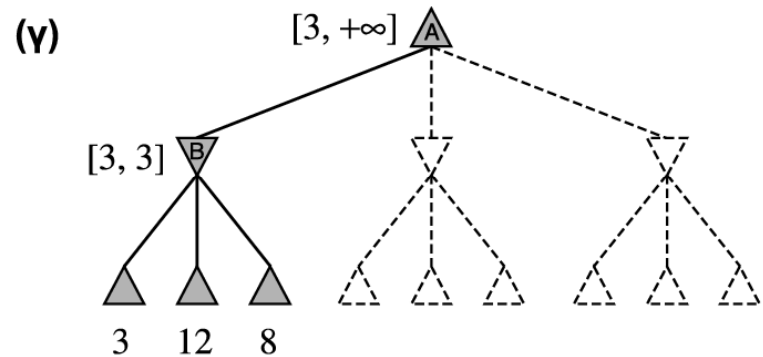
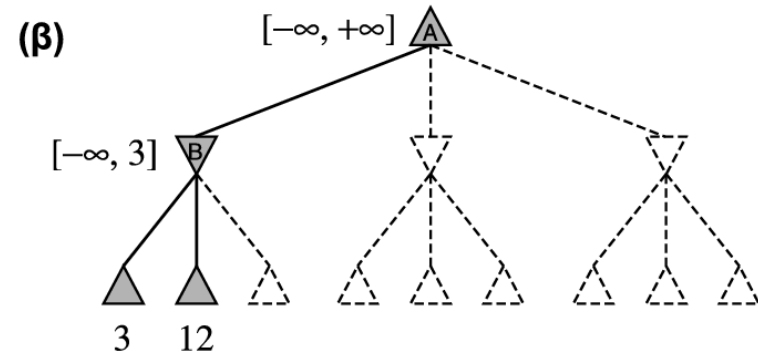
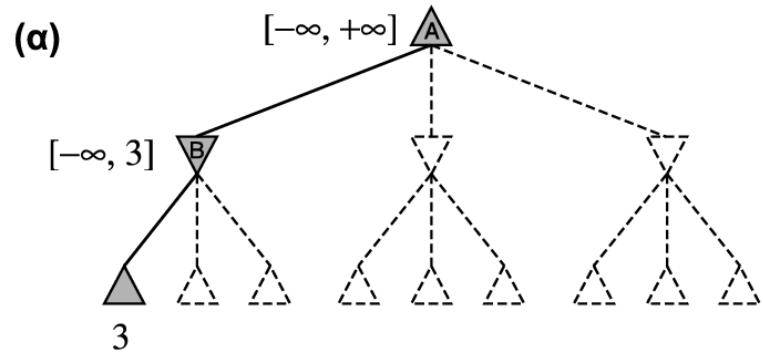


Ο Αλγόριθμος Alpha-Beta

- Ο Minimax είναι εξαντλητικός αλγόριθμος: εφαρμόζει τη συνάρτηση αξιολόγησης σε κάθε τερματική κατάσταση.
- Ο Άλφα-Βήτα (Alpha-Beta - AB) αποφεύγει την αξιολόγηση καταστάσεων.
- Ο AB είναι όμοιος με τον Minimax, αλλά με κλάδεμα υποδένδρων.

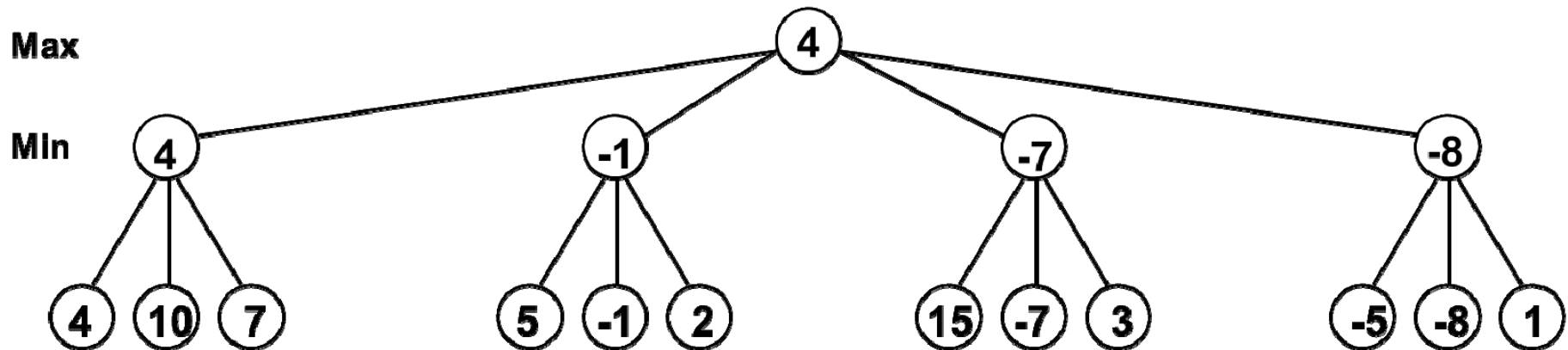


Κλάδεμα άλφα-βήτα

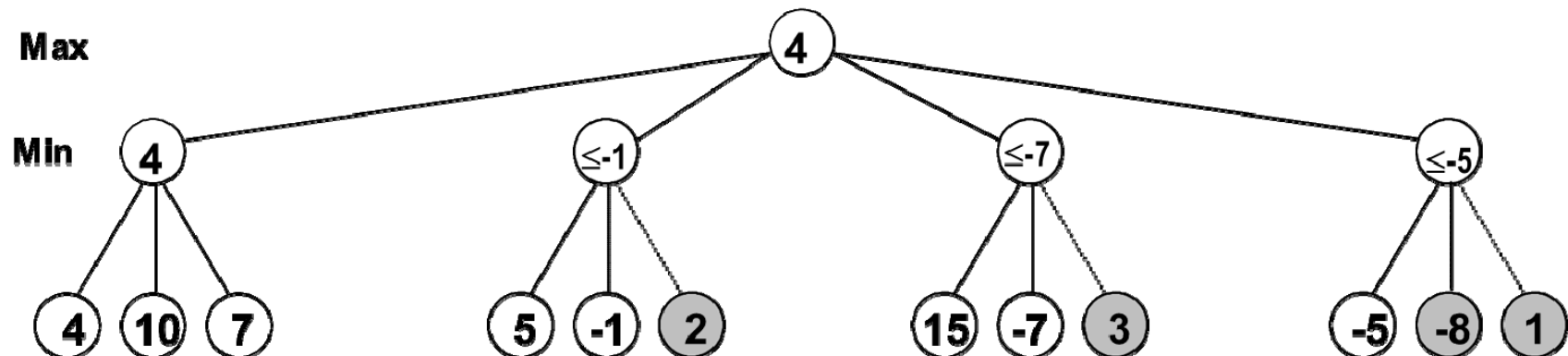


Σύγκριση του AB με τον Minimax

Παράδειγμα Minimax



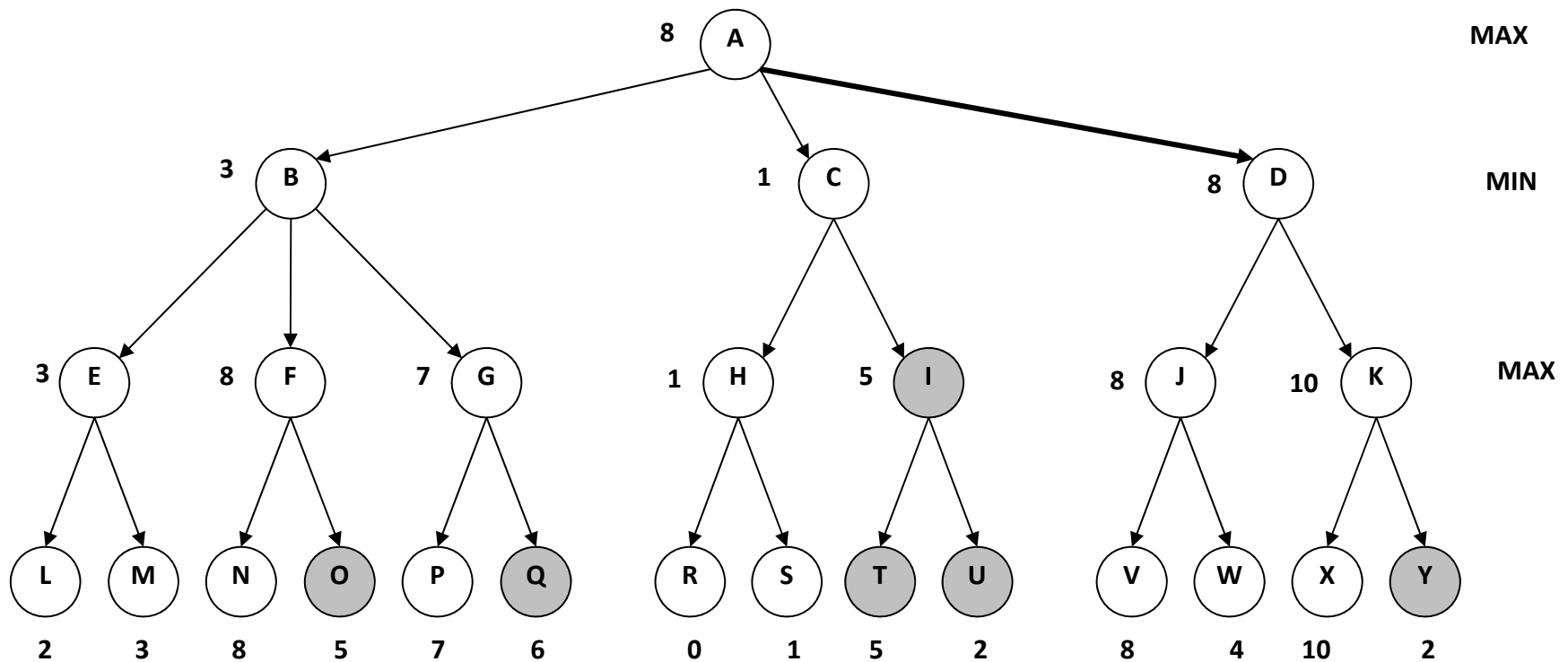
Παράδειγμα Alpha-Beta



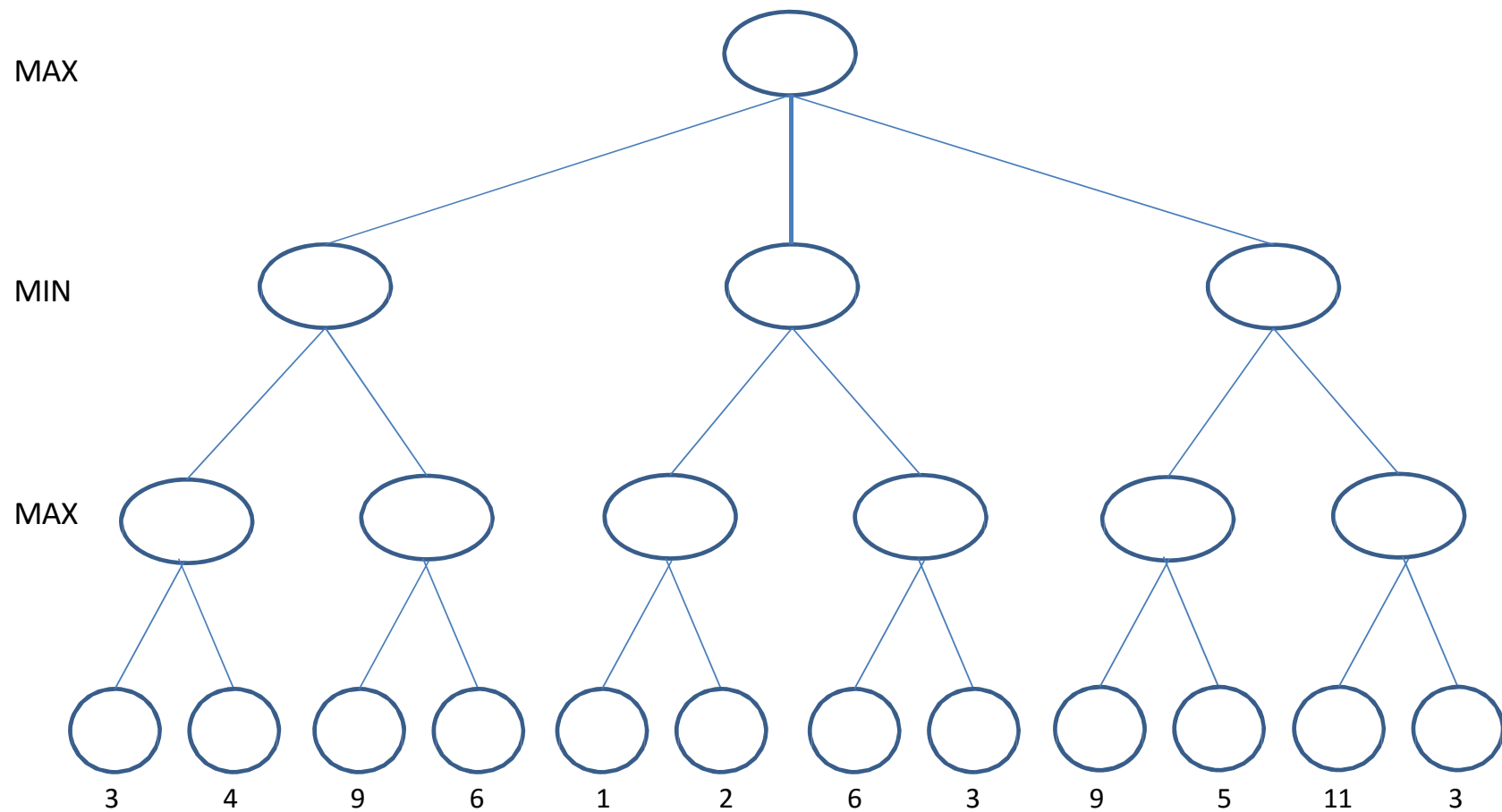
Σύγκριση του AB με τον Minimax (2/2)

- 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:
 - Ευρετικό 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*).

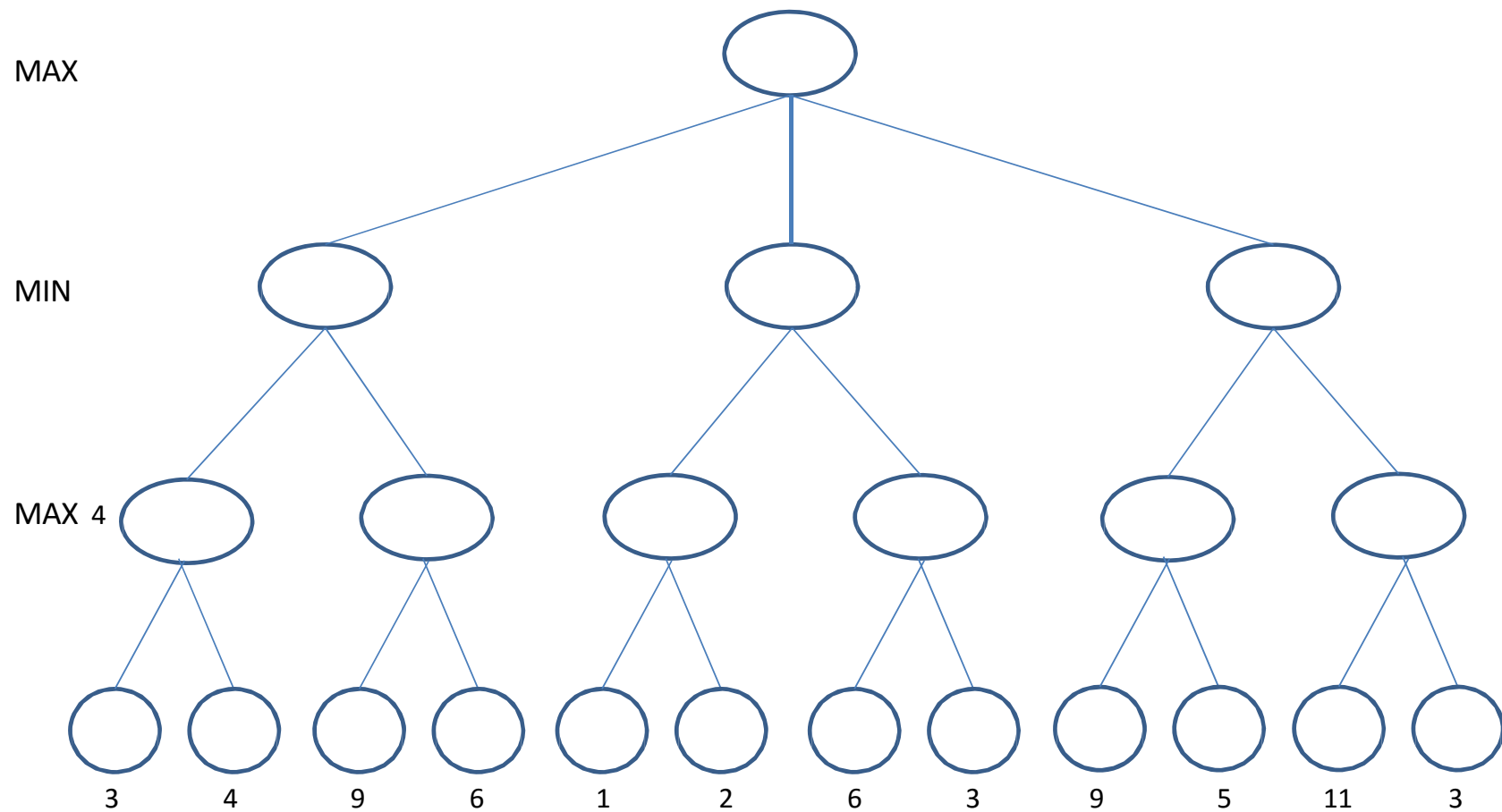
Κλάδεμα με 3 στρώσεις



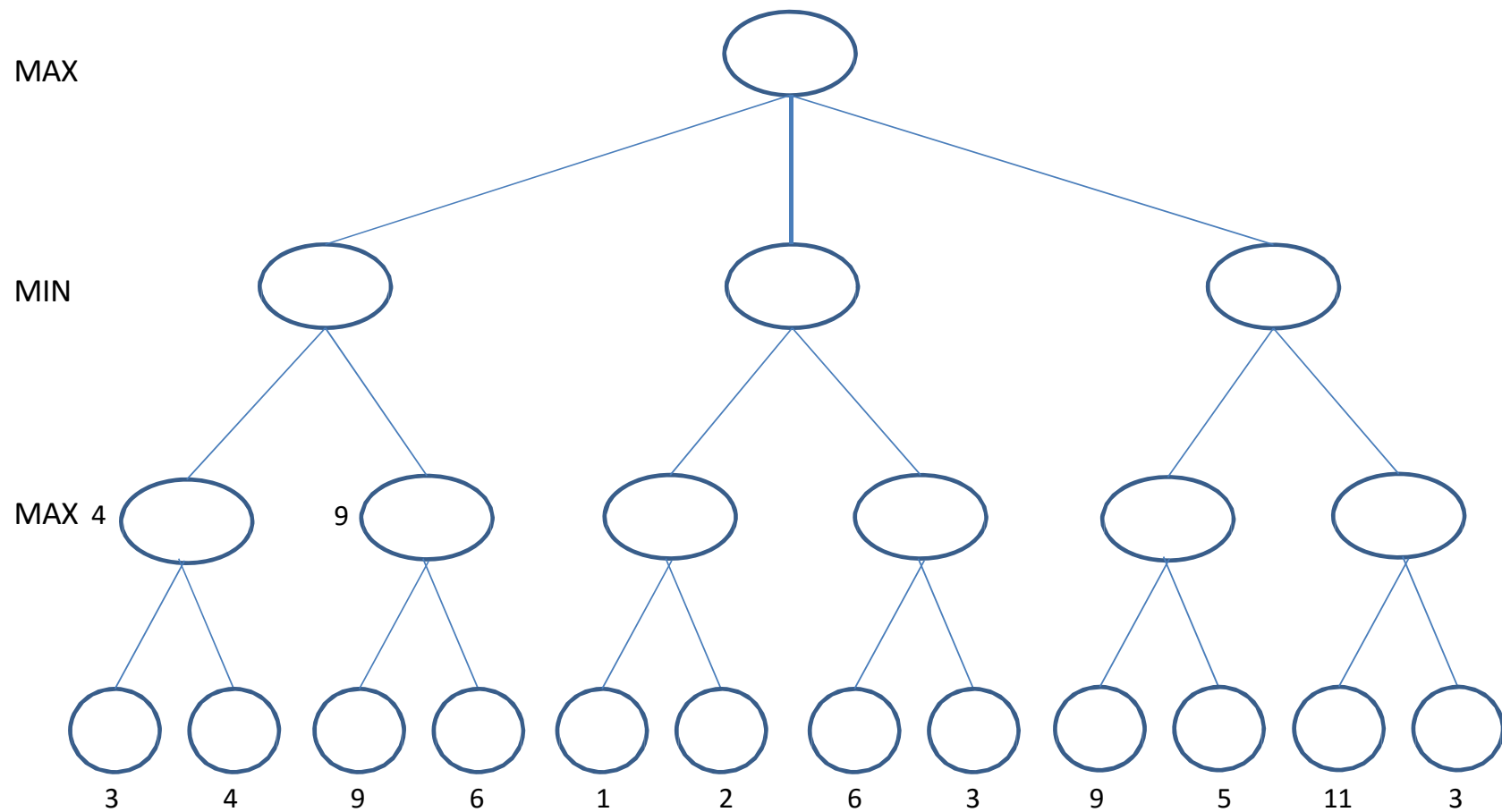
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



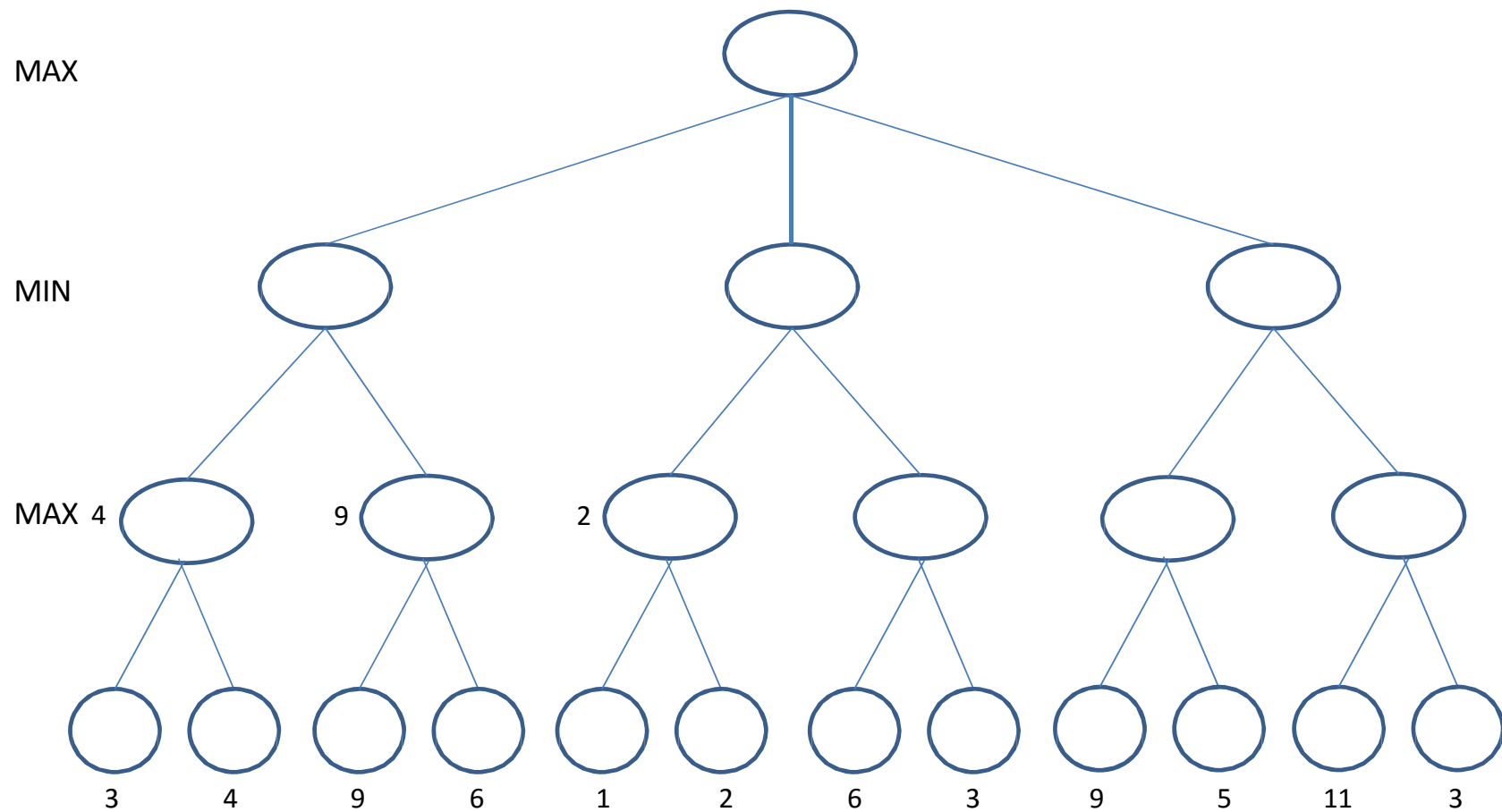
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



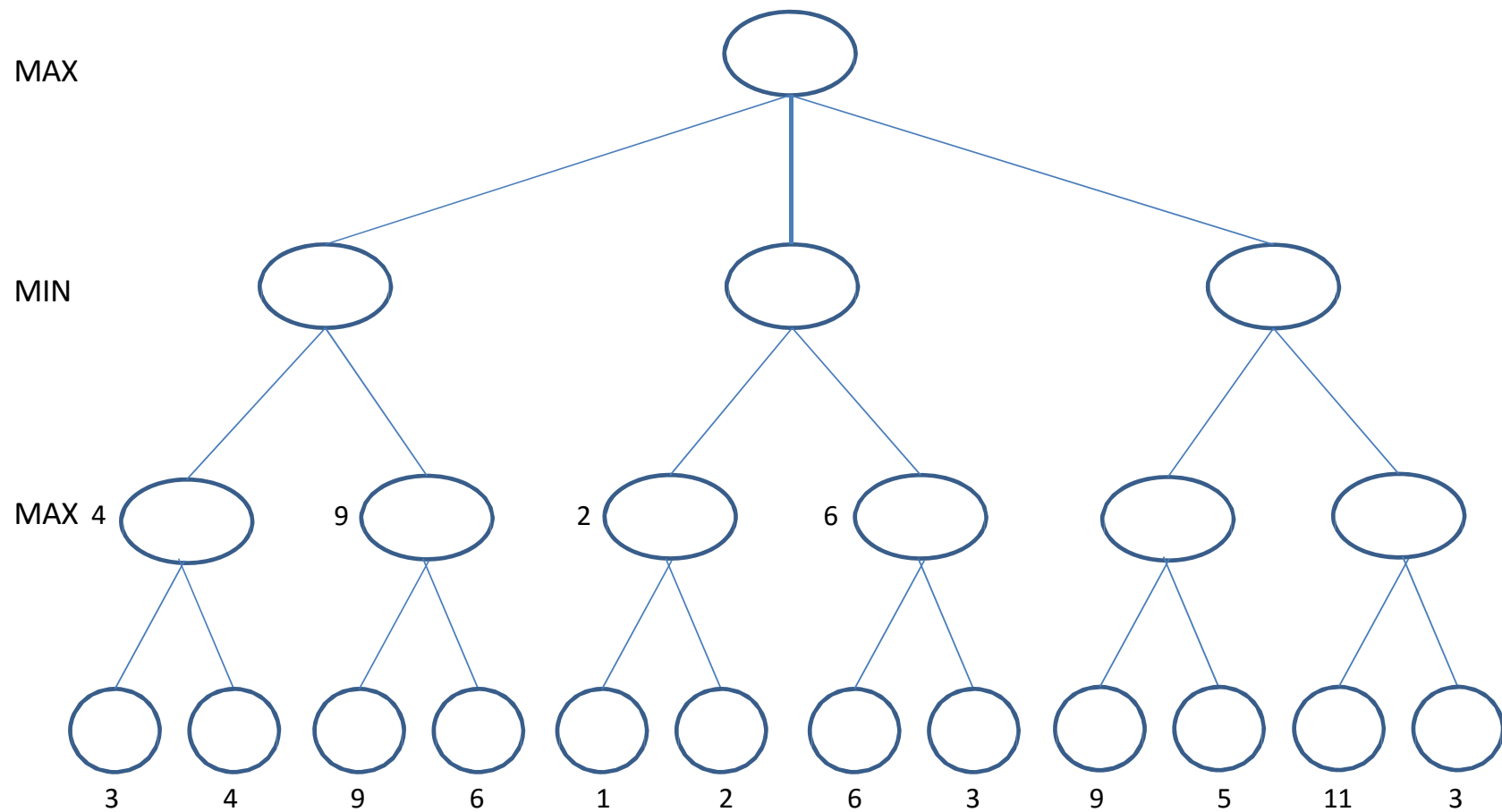
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



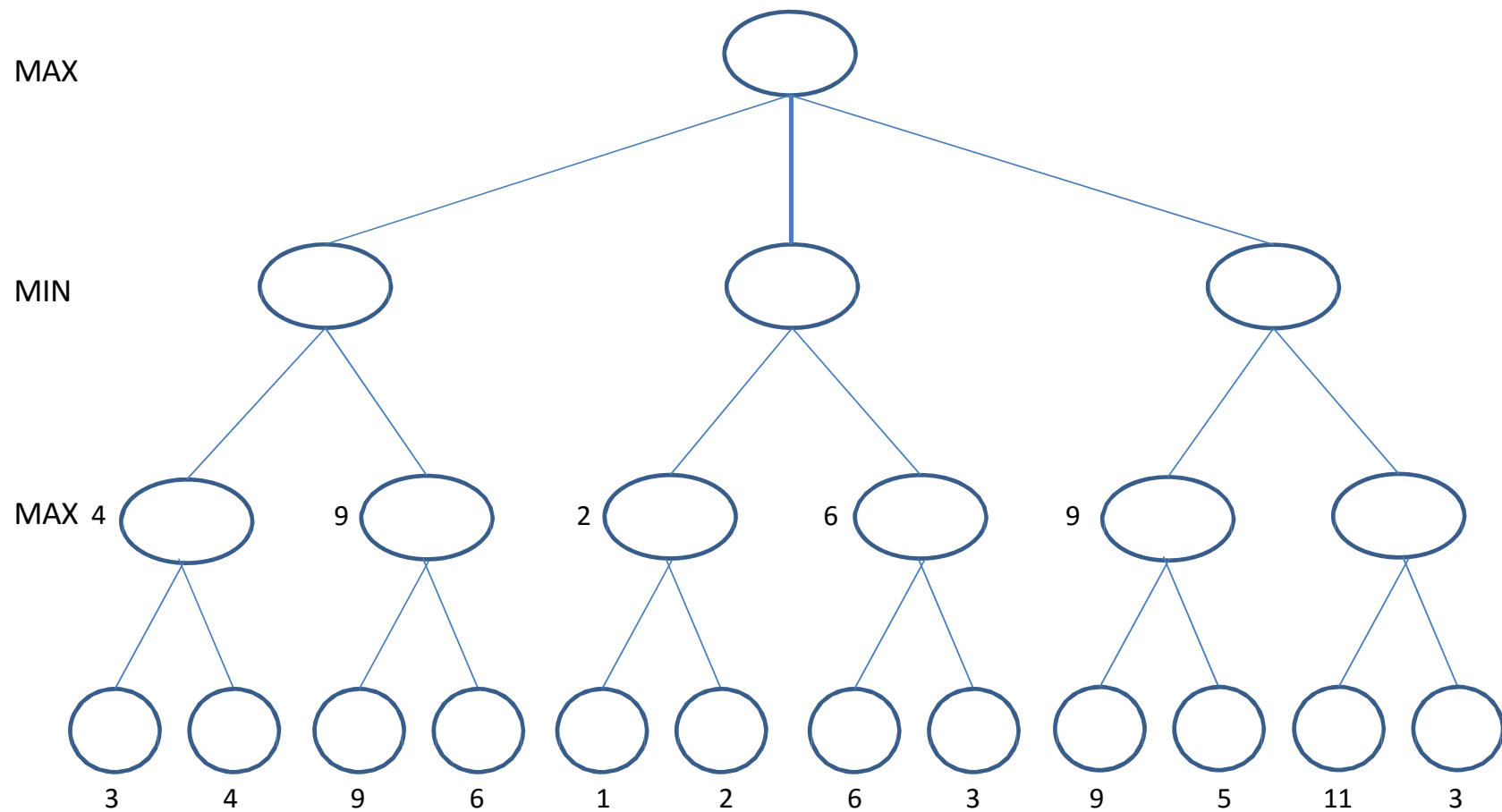
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



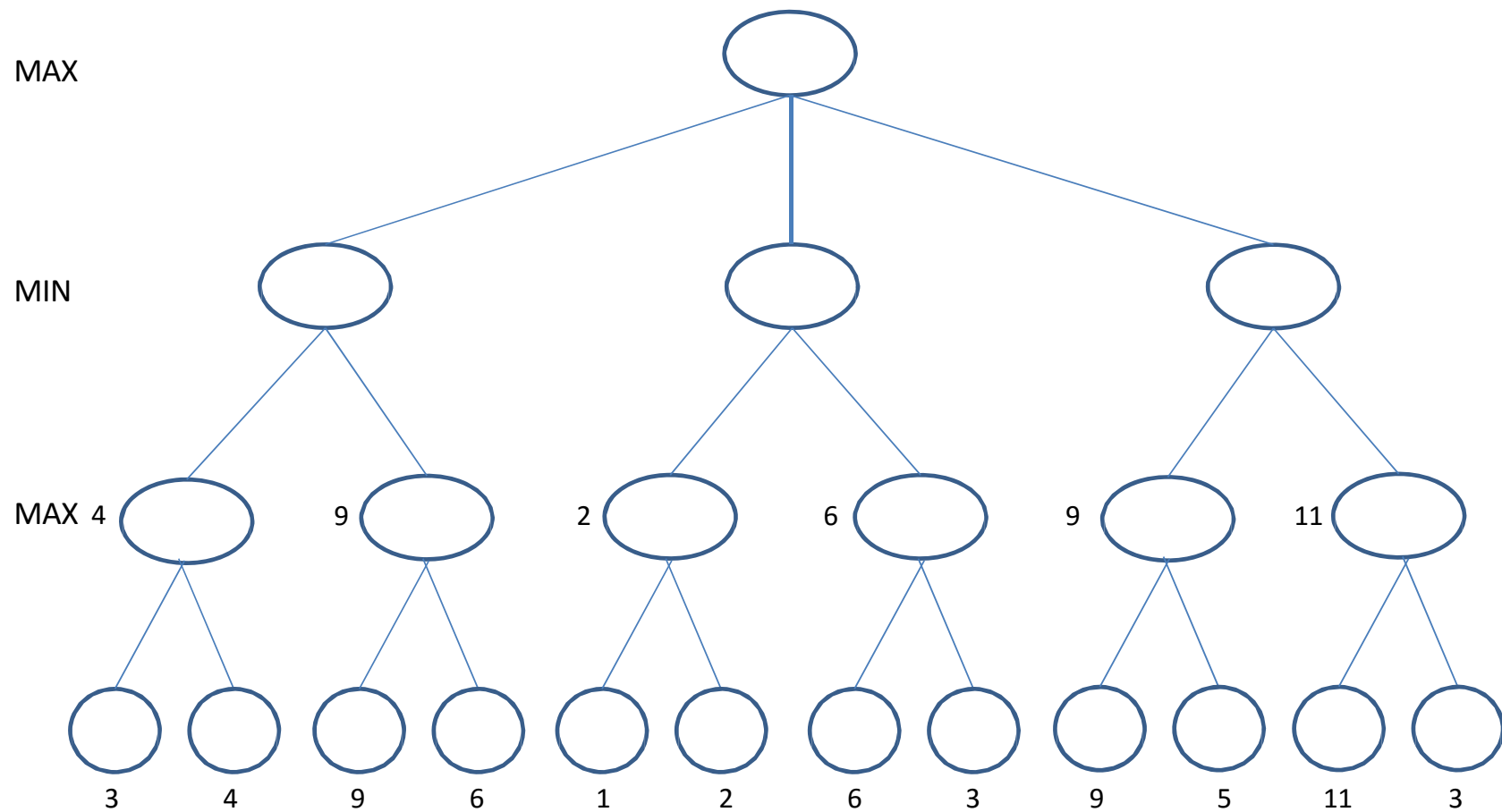
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



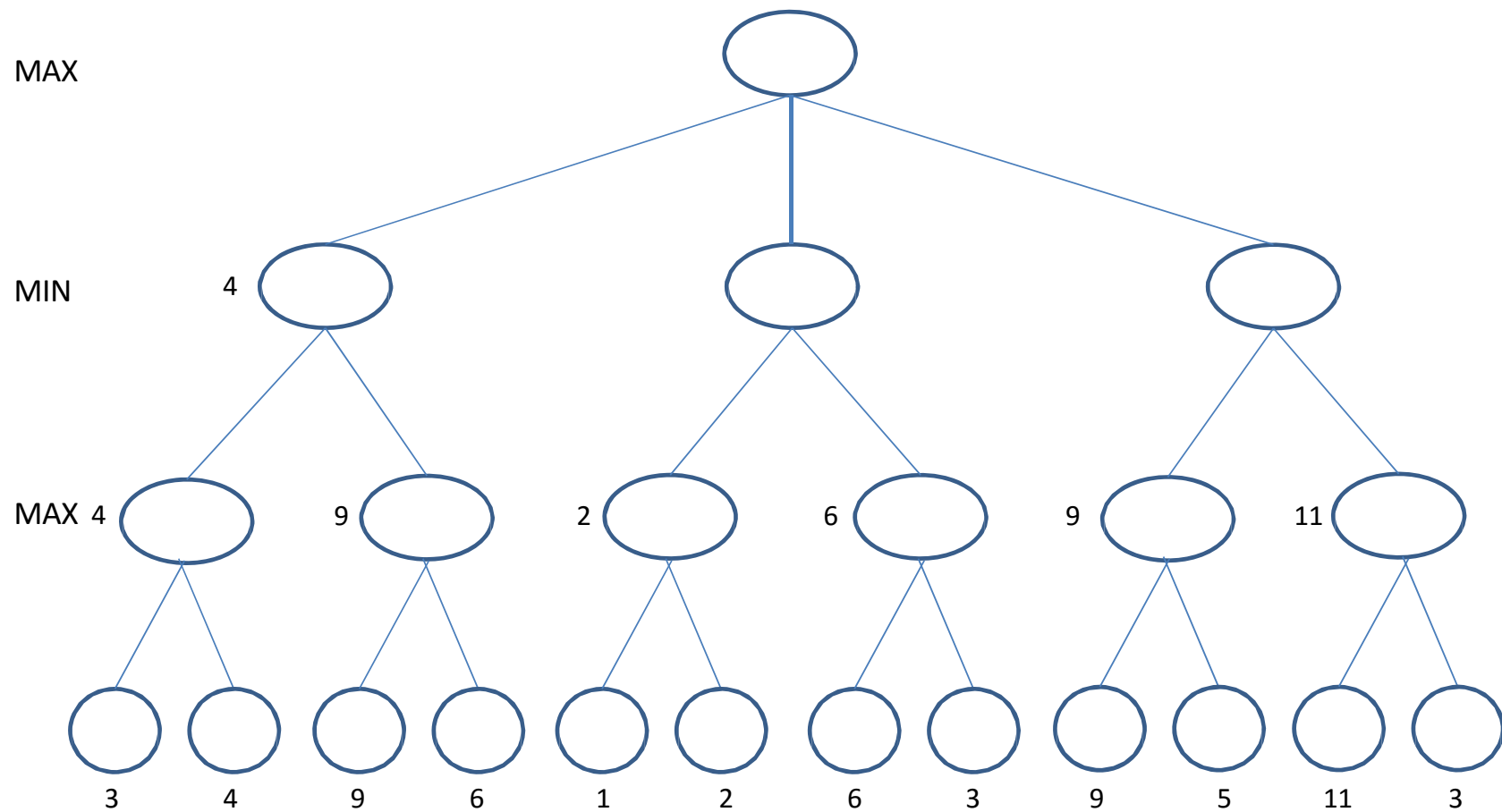
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



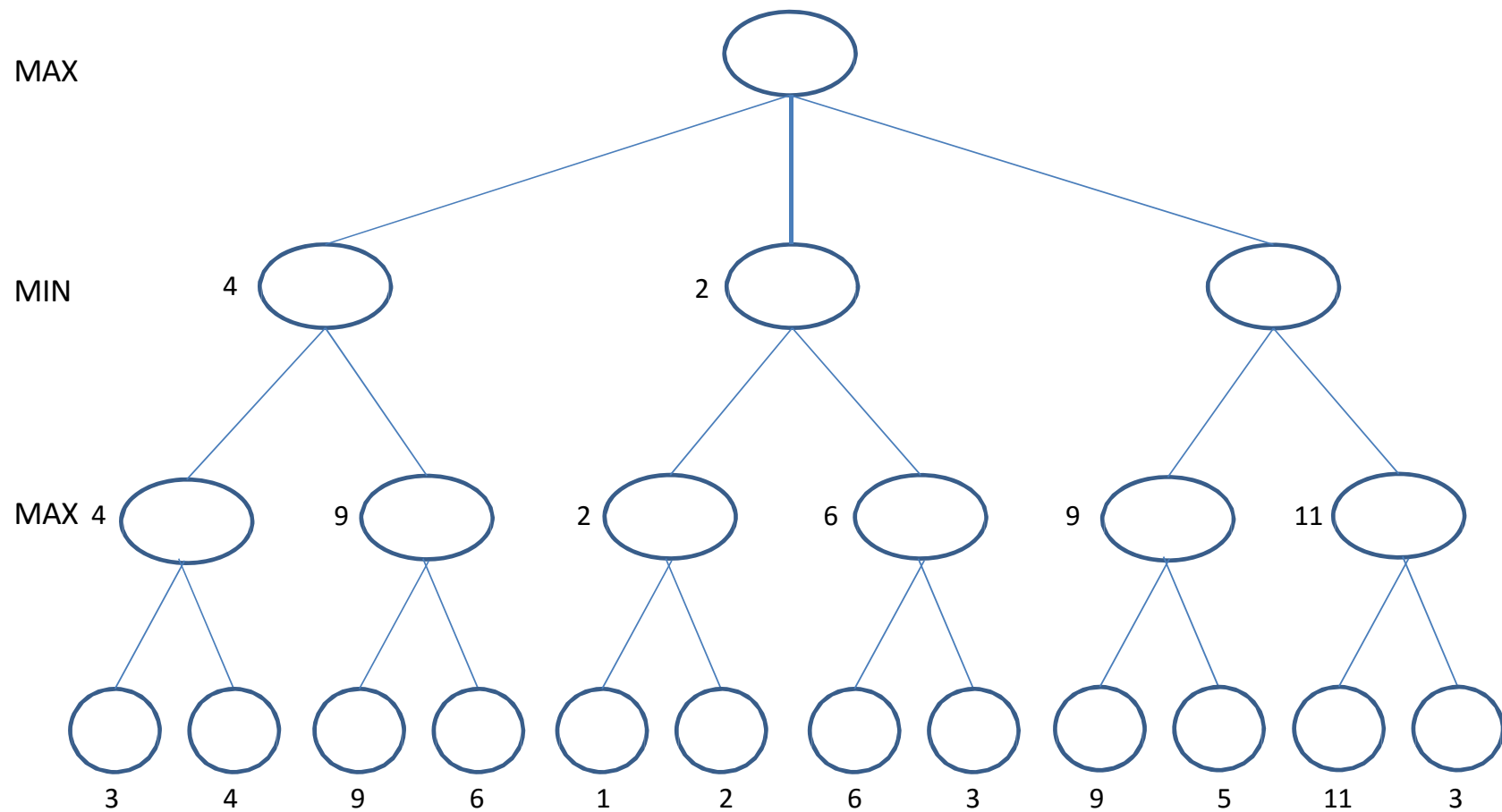
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



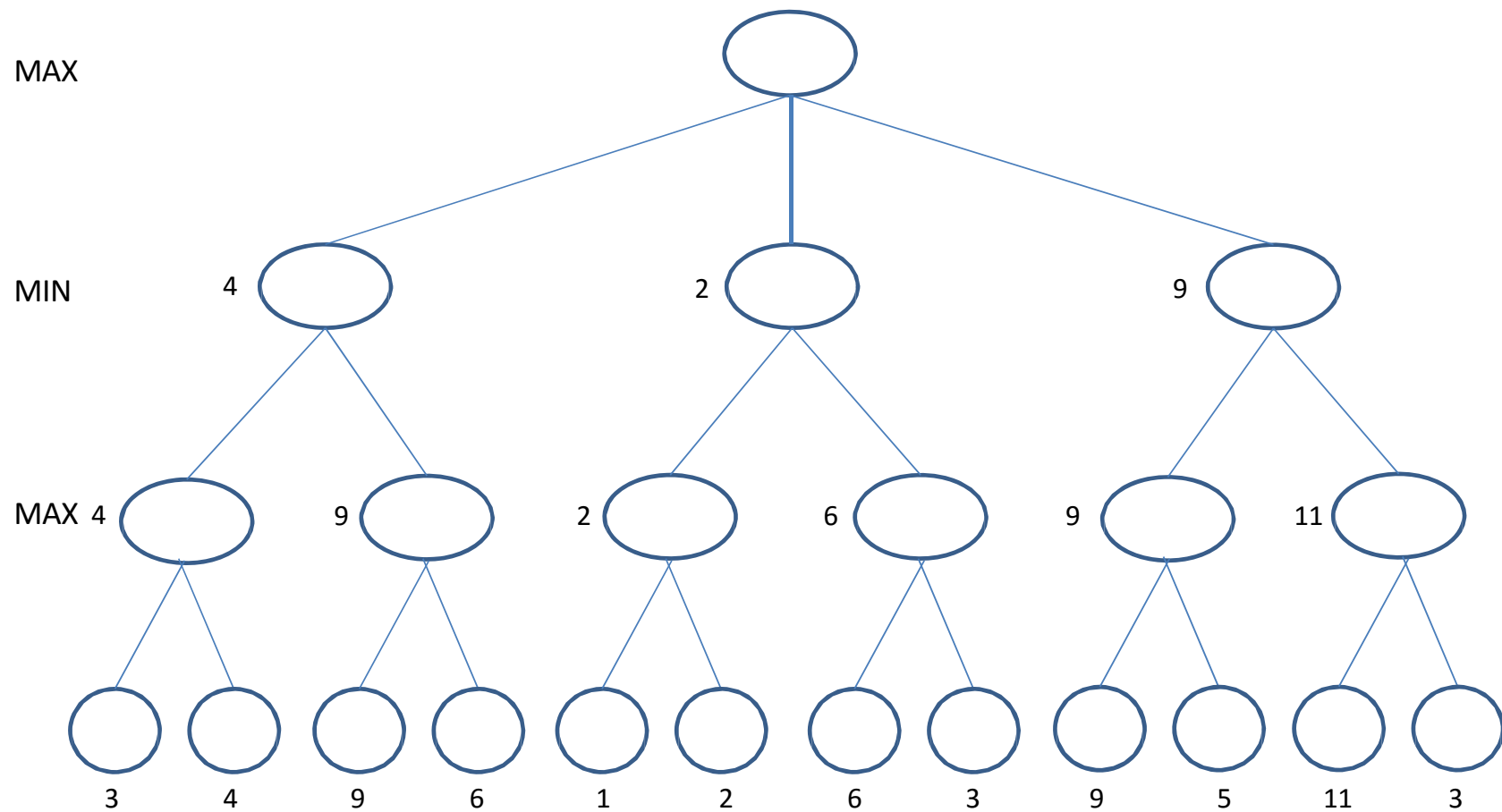
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



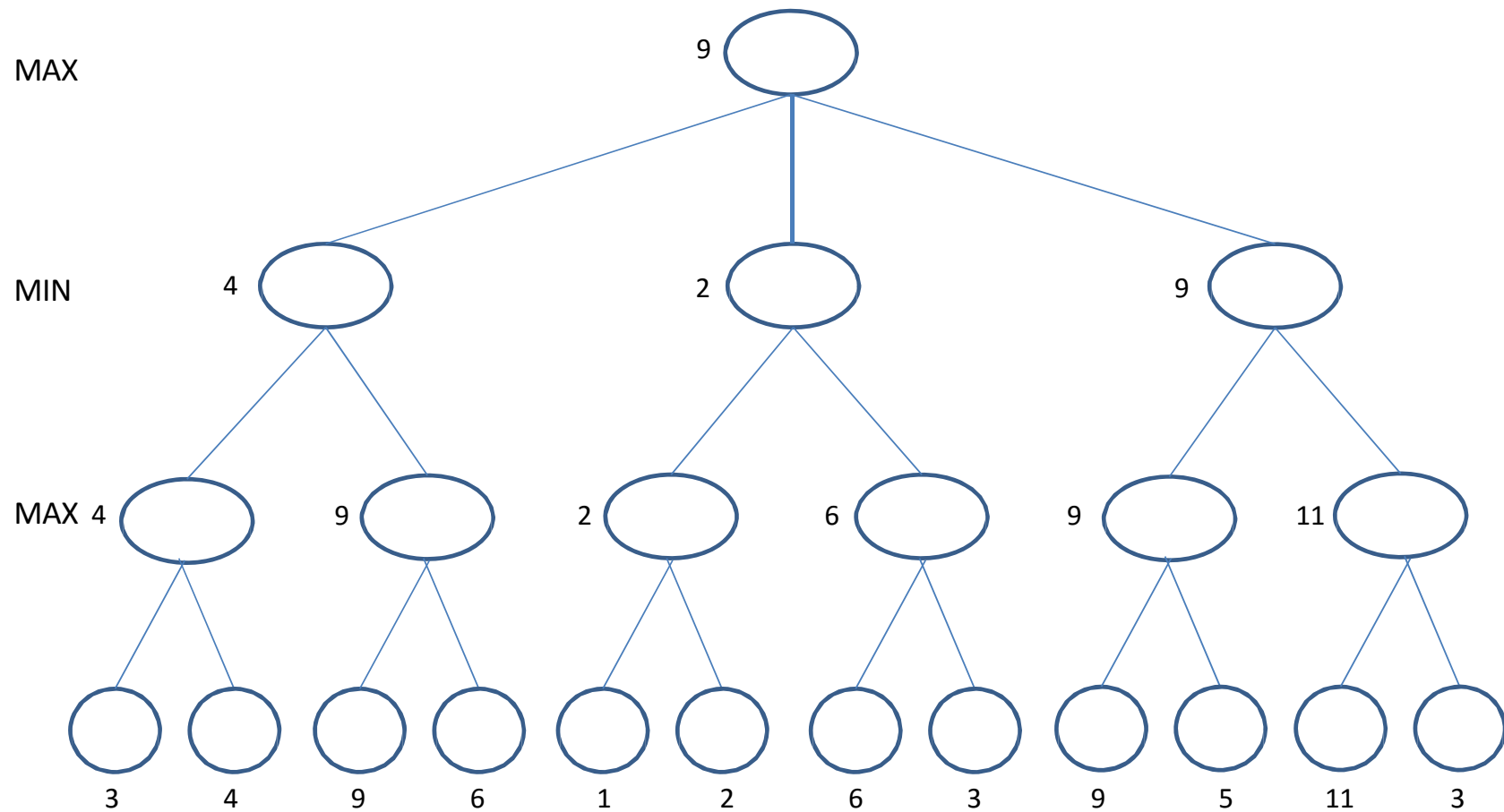
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



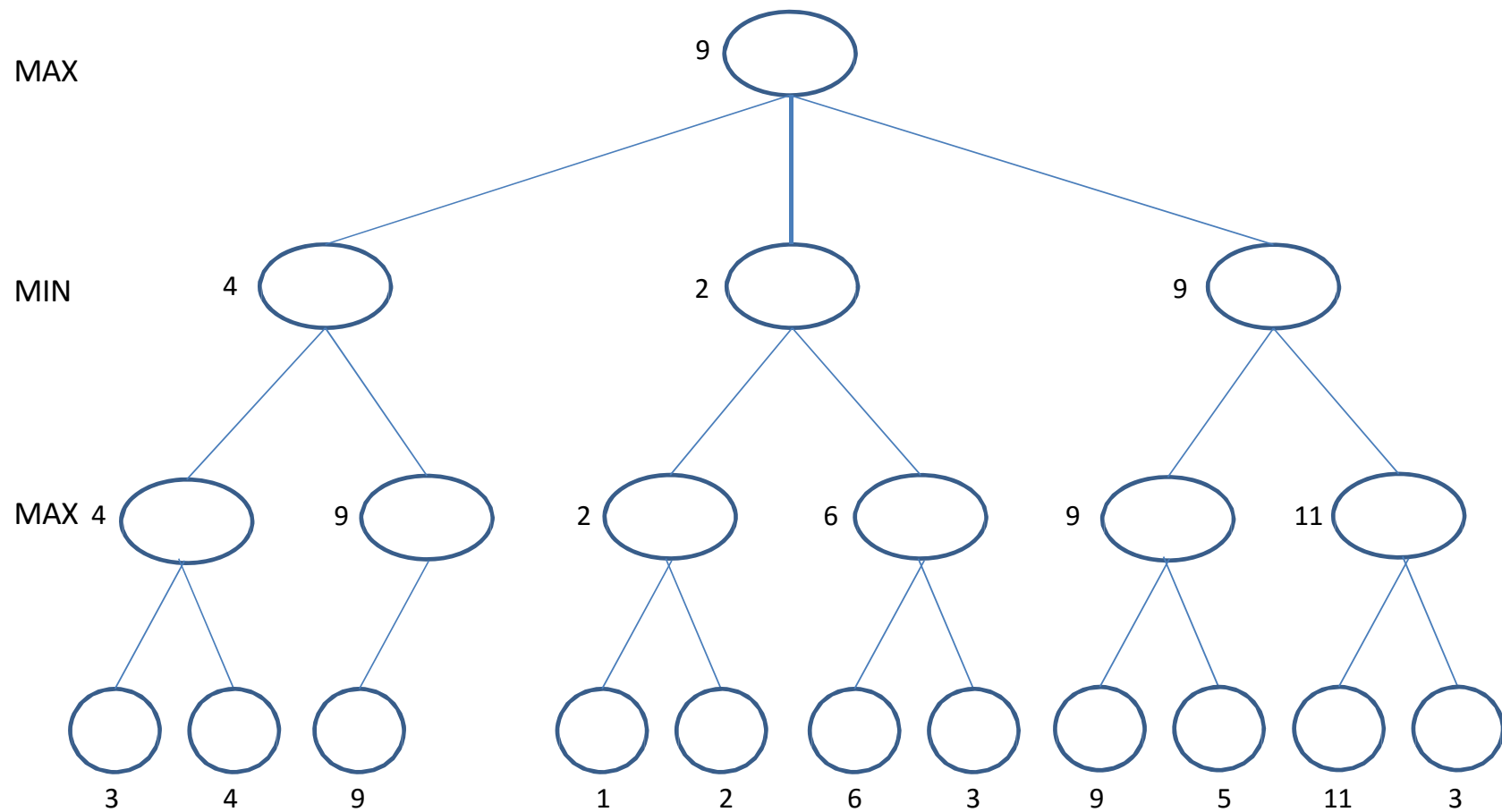
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



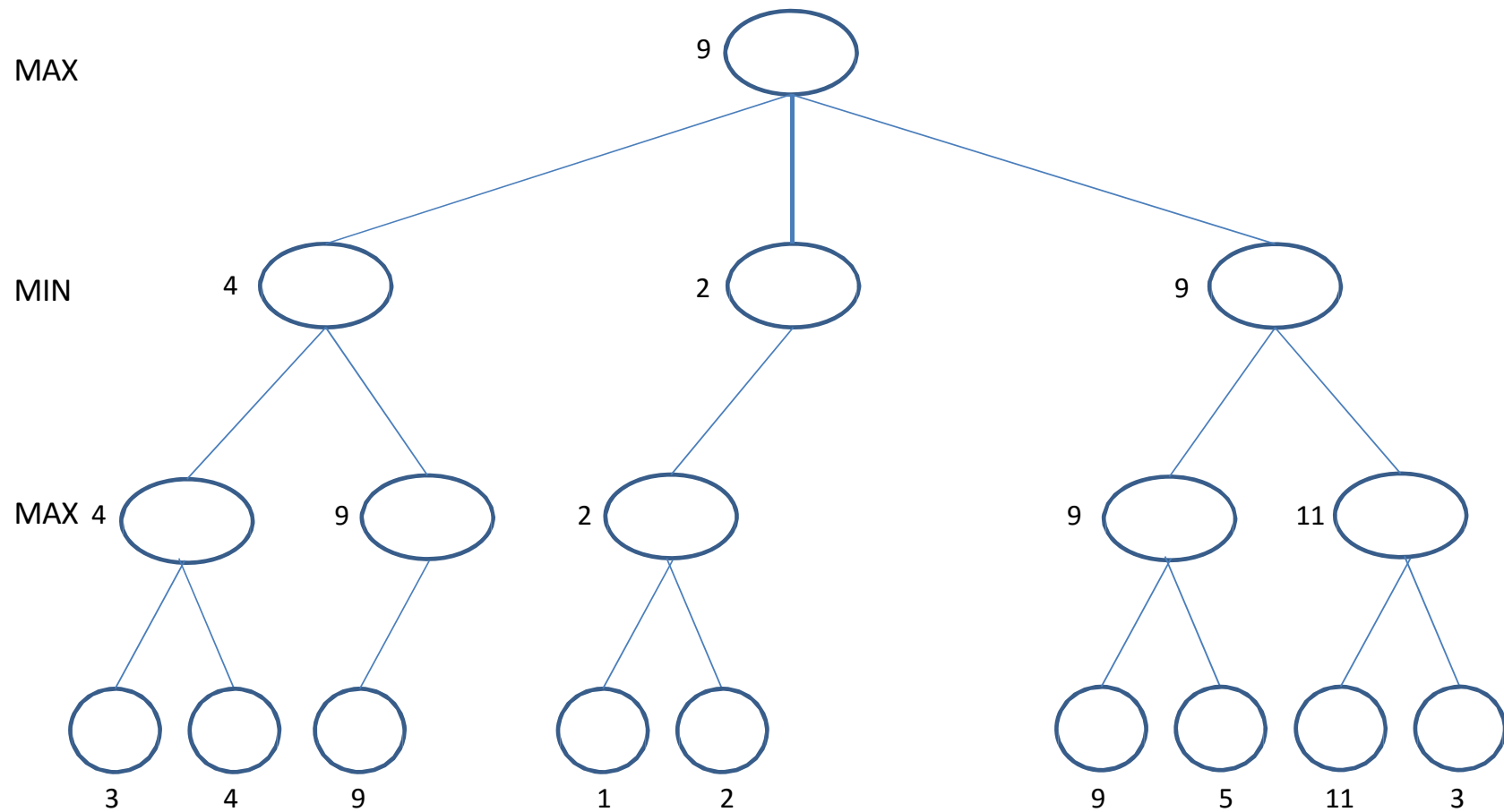
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



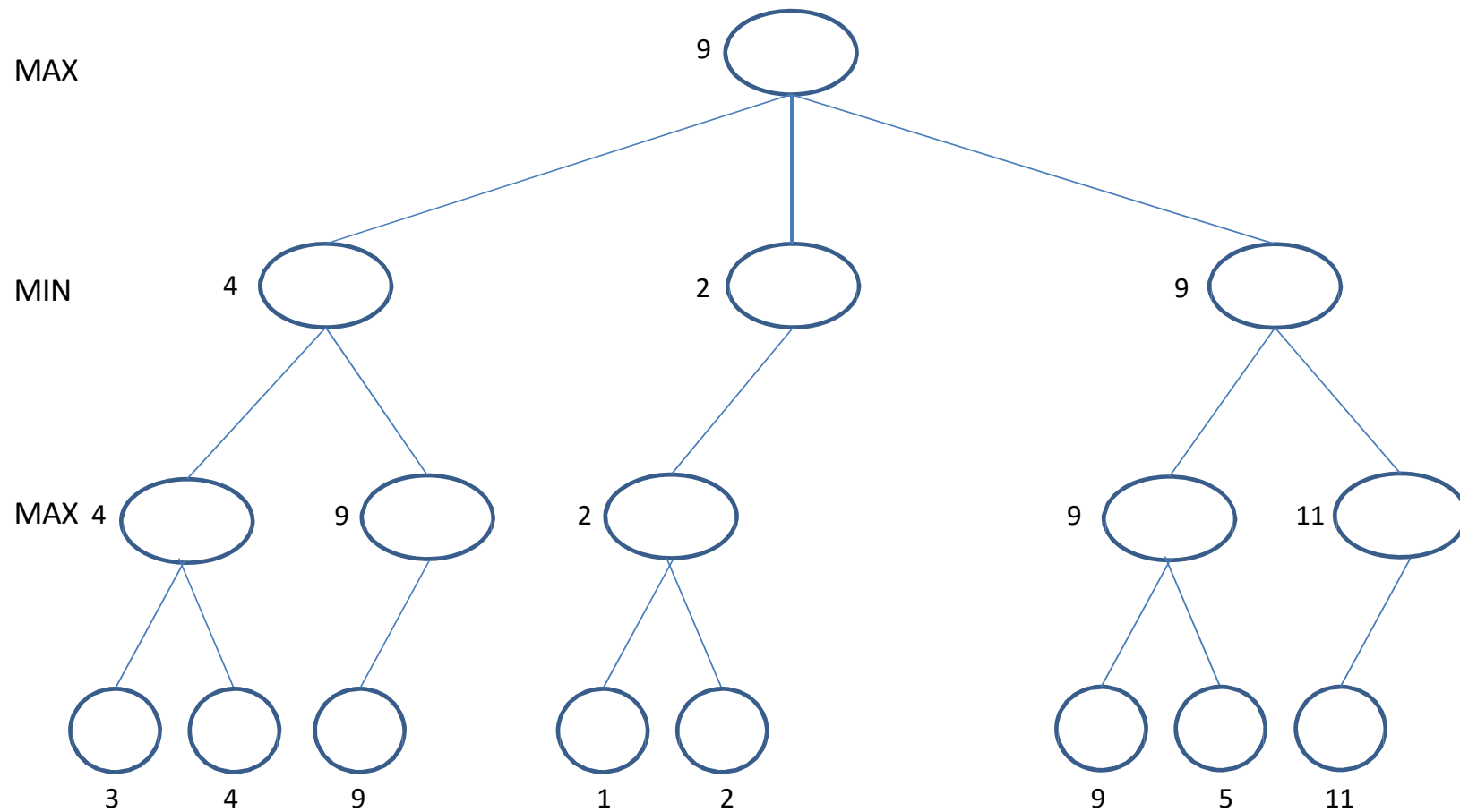
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



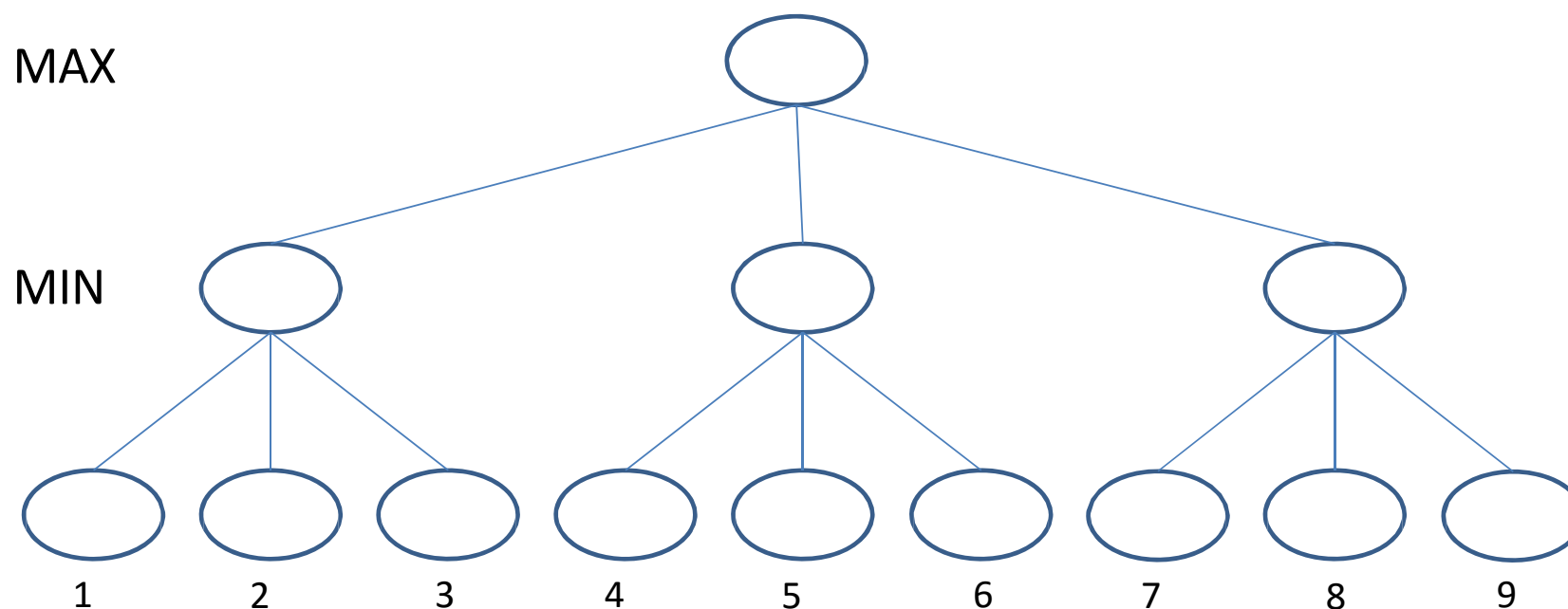
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



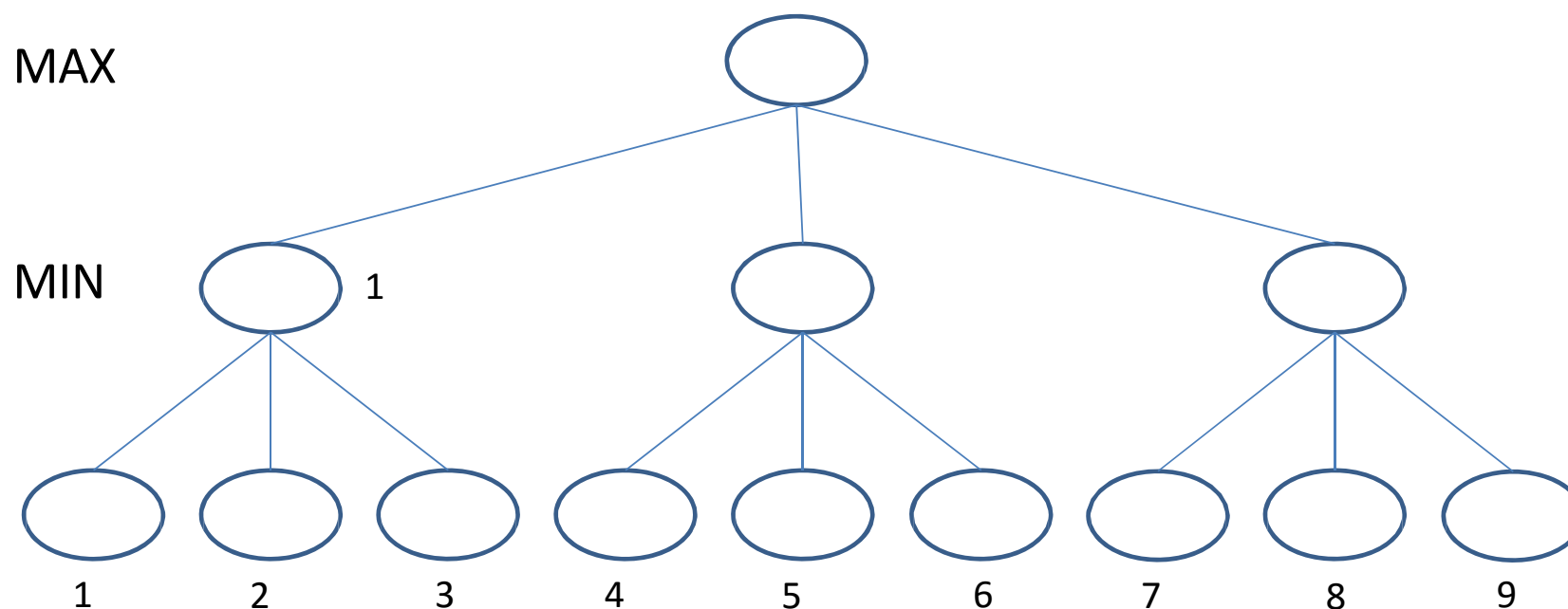
Παράδειγμα κλαδέματος AB σε παίγνιο τριών κινήσεων



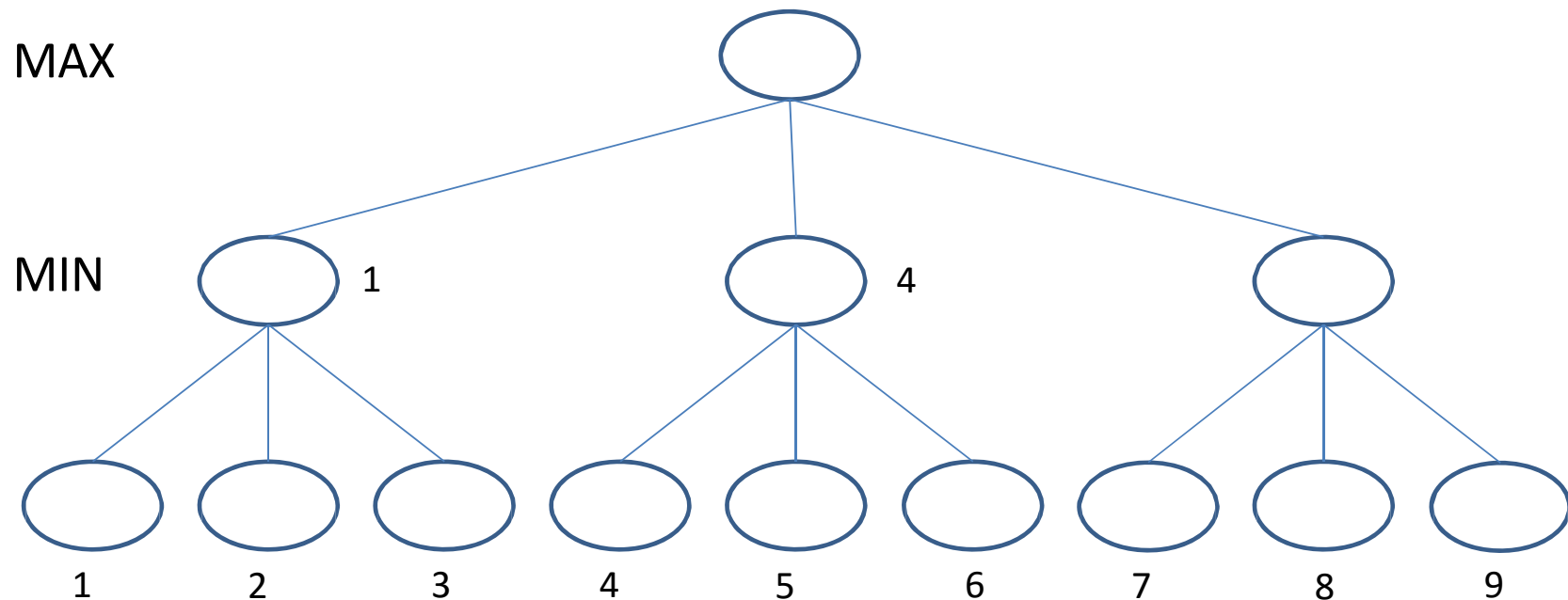
Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (I)



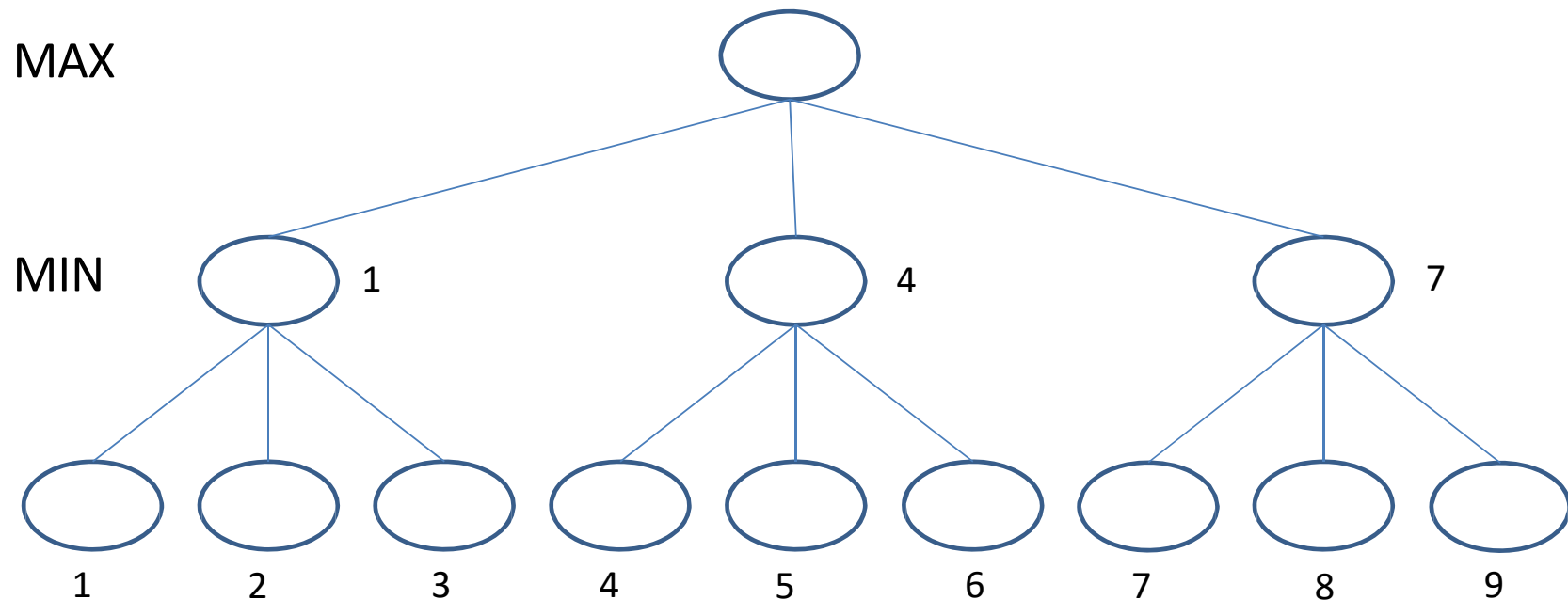
Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (I)



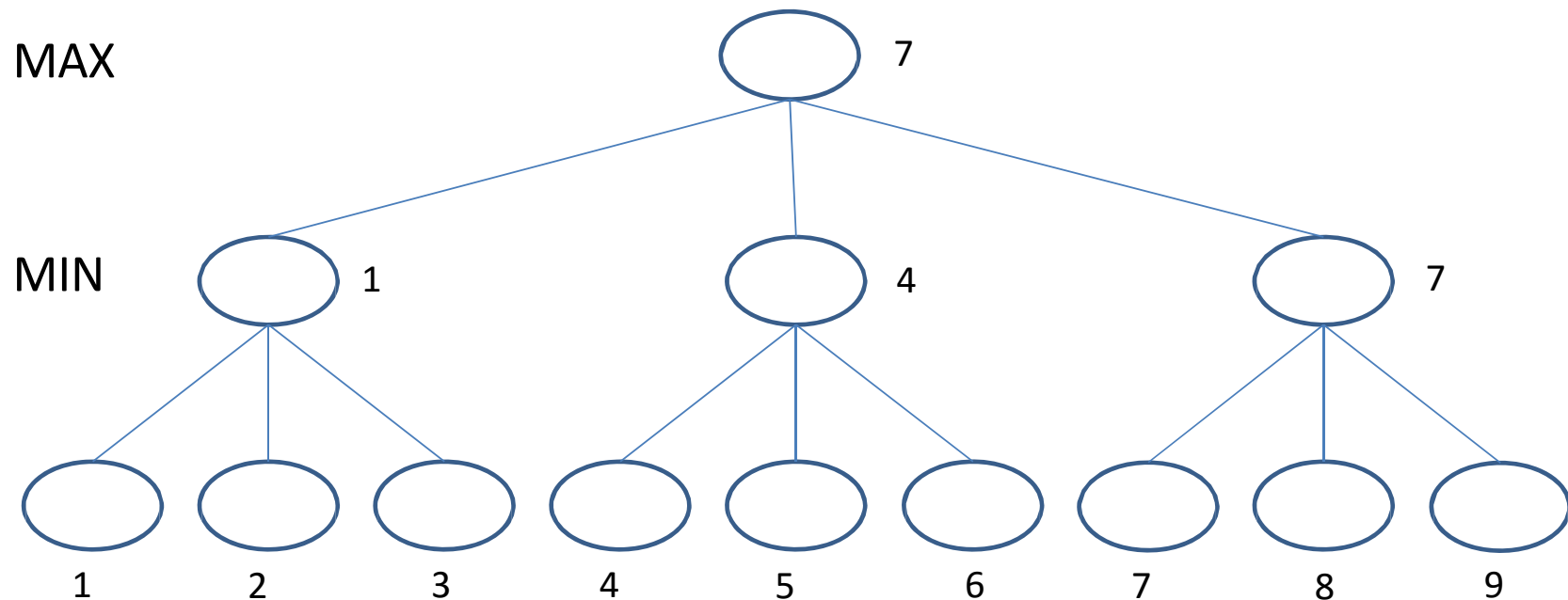
Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (I)



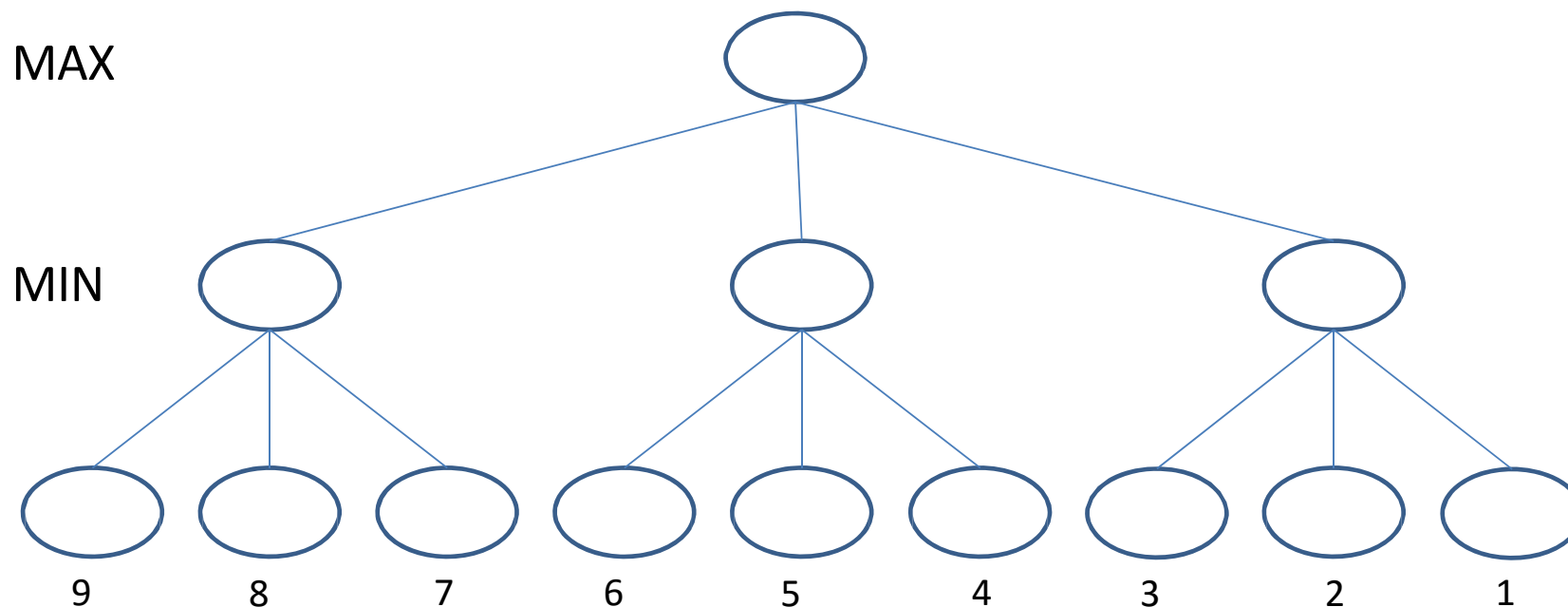
Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (I)



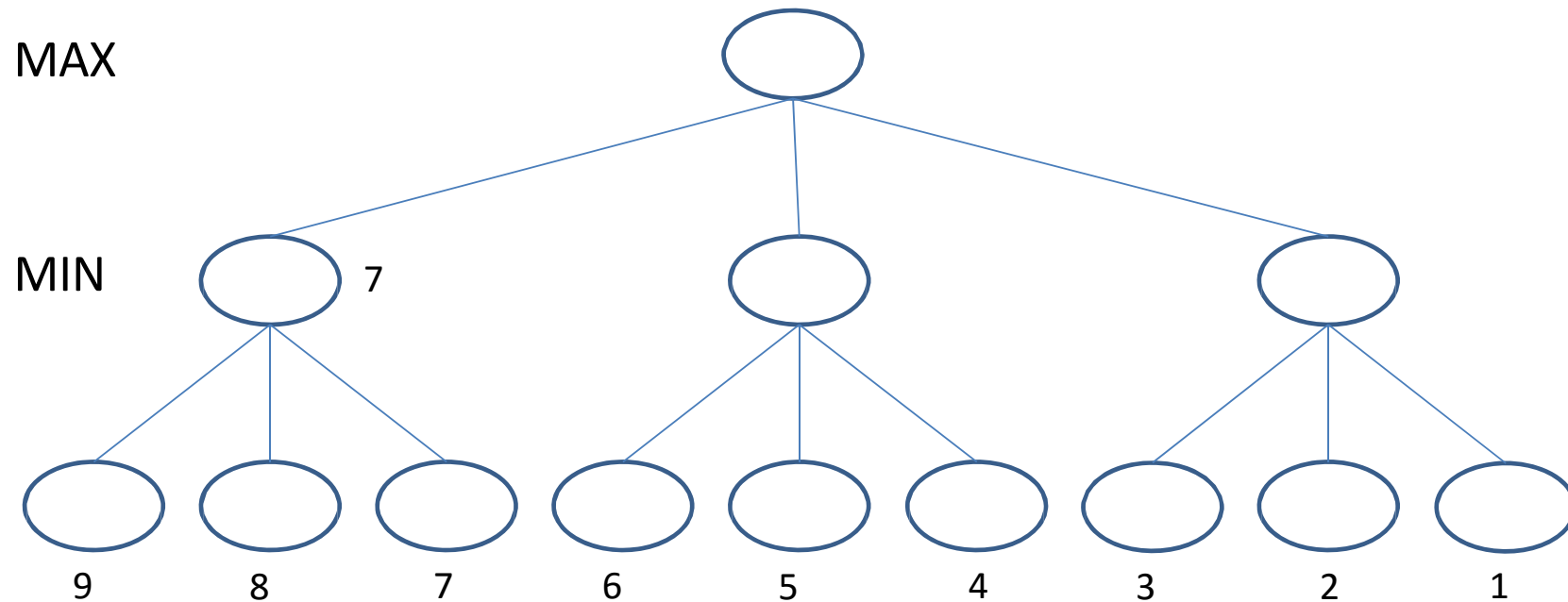
Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (I)



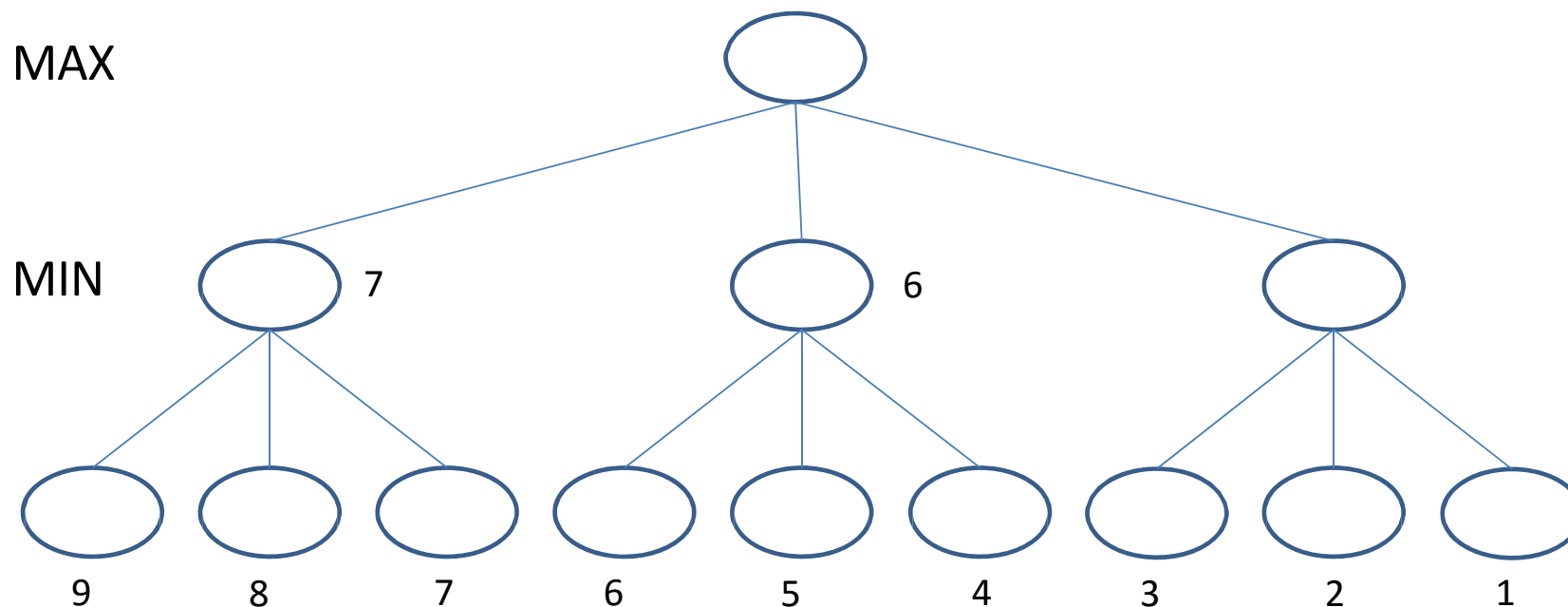
Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (II)



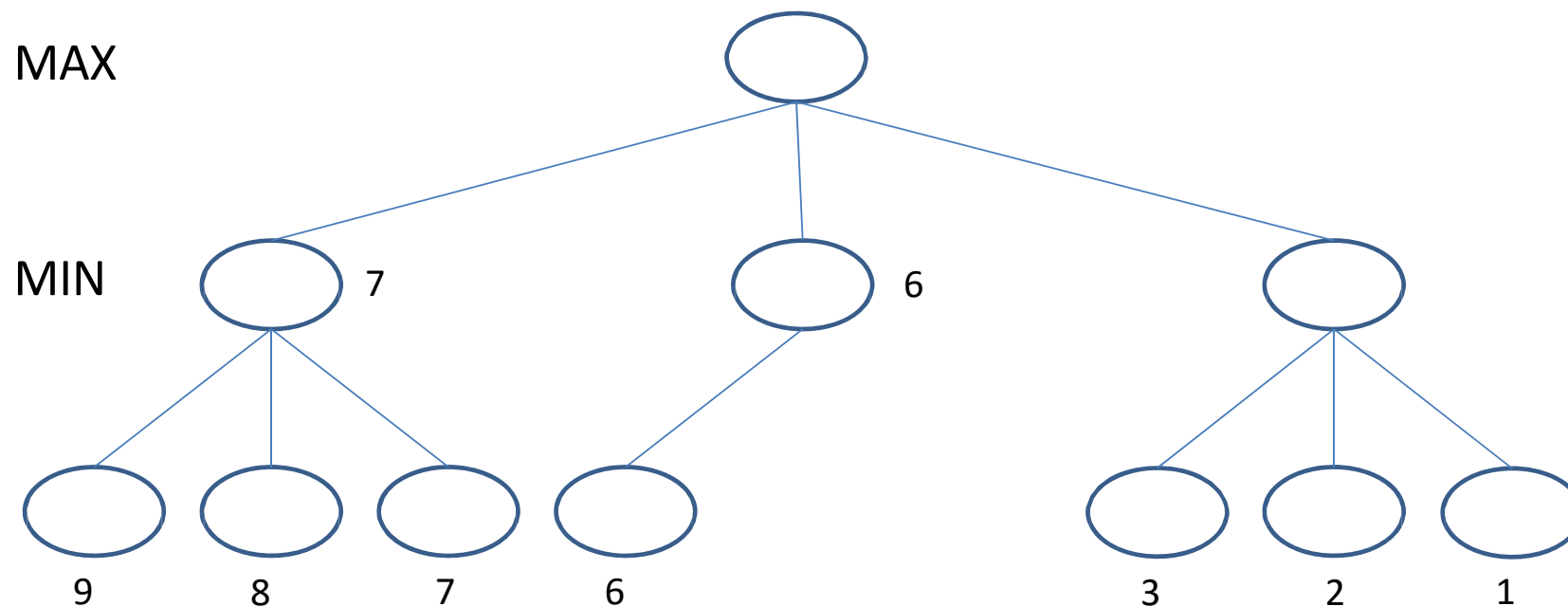
Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (II)



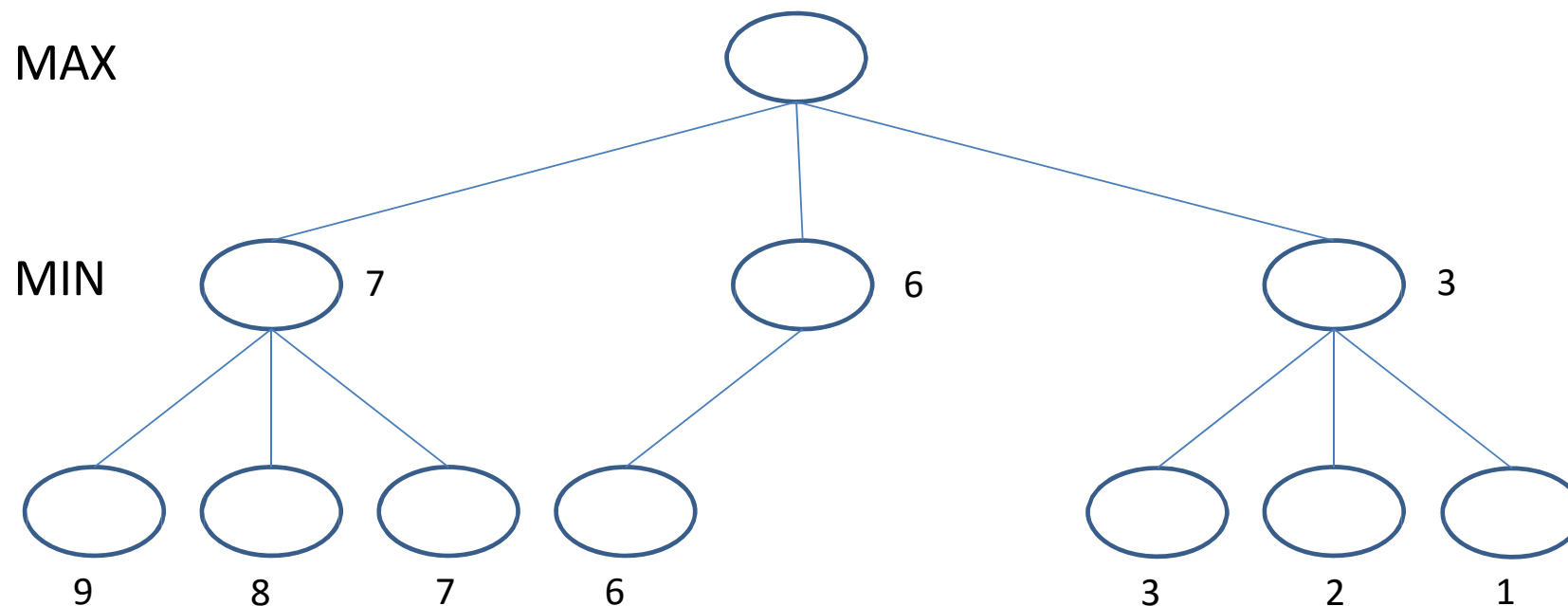
Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (II)



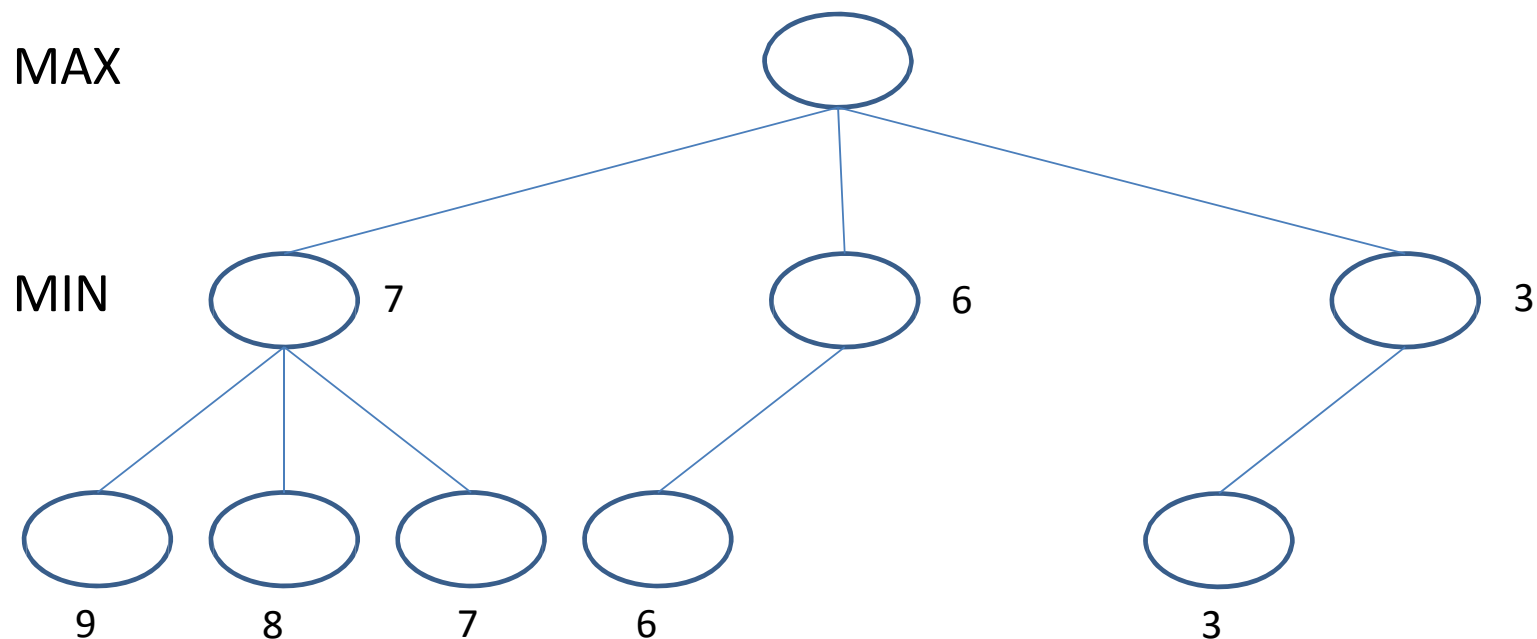
Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (II)



Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (II)



Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (II)



Η επίδραση της σειράς εξέτασης των κόμβων στο κλάδεμα Άλφα-Βήτα (II)

