

Συστήματα Επιχειρηματικής Ευφυΐας

Οι αλγόριθμοι Hill Climbing, Simulated Annealing, Great Deluge, VNS, Tabu Search

Τέταρτη Διάλεξη - Περιεχόμενα

1. Το πρόβλημα της πρόωρης σύγκλισης (premature convergence)
2. Αλγόριθμος Hill Climbing
3. Αλγόριθμος Simulated Annealing
4. Αλγόριθμος Great Deluge
5. Αλγόριθμος VNS
6. Αλγόριθμος Tabu Search

Το πρόβλημα της πρόωρης σύγκλισης (premature convergence) (1)

- ▶ Συνήθως ο χώρος έρευνας (search space), εκτός από το ολικά βέλτιστο, περιλαμβάνει και τοπικά βέλτιστα.
- ▶ Η αποτελεσματικότητα οποιουδήποτε αλγορίθμου εξαρτάται άμεσα από την μορφολογία του χώρου έρευνας.
- ▶ Ένας χώρος έρευνας με πολλά τοπικά ακρότατα συνήθως είναι πρόκληση για οποιονδήποτε αλγόριθμο.

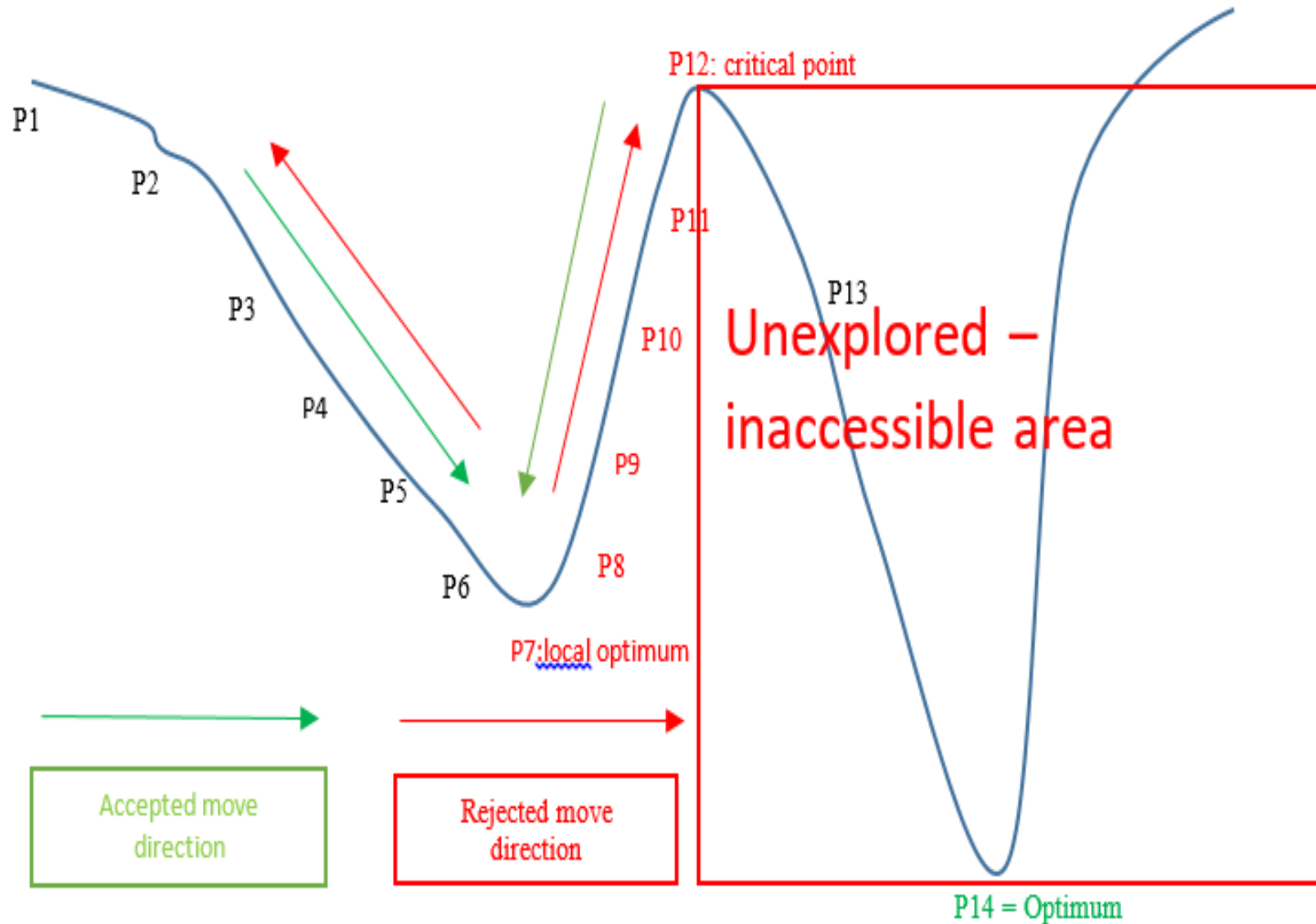
Το πρόβλημα της πρόωρης σύγκλισης (premature convergence) (2)

- ▶ Ένας αλγόριθμος ενδέχεται να παγιδευτεί σε τοπικό ακρότατο. Αυτό συμβαίνει όταν ο αλγόριθμος:
 - Έχει διαθέσιμη μια λύση **Sol1** με τιμή $\text{fitness} = \text{fitness_before}$. Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος είναι population - based, η λύση είναι ένα μέλος ενός πληθυσμού λύσεων (swarm ή Population).
 - Με βάση μια γειτονιά εκτελέσει μια κίνηση επί της λύσης **Sol1** και προκύπτει μια νέα υποψήφια λύση **Sol2**, ως μετασχηματισμός της **Sol1**, με $\text{fitness} = \text{fitness_after}$.
 - Έχει ως «πολιτική» να αποδέχεται την νέα λύση **Sol2** (και να αντικαθιστά την **Sol1** από την **Sol2**) όταν και μόνο όταν ισχύει $\text{fitness_after} < \text{fitness_before}$.

Το πρόβλημα της πρόωρης σύγκλισης (premature convergence) (3)

- ▶ Το παραπάνω φαινόμενο είναι γνωστό ως **local optimum entrapment** (εγκλωβισμός σε τοπικό ακρότατο).
- ▶ **Πρόωρη σύγκλιση (premature convergence)** είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ο αλγόριθμος παγιδεύεται - εγκλωβίζεται σε τοπικό ακρότατο και μάλιστα στα **πρώτα στάδια** της εκτέλεσής του.

Σχηματική παράσταση εγκλωβισμού σε local optimum



Πιθανή ακολουθία θέσεων αλγορίθμου (1):
p1, p2, p3, p4, p9, p6, p7.

Πιθανή ακολουθία θέσεων αλγορίθμου (2):
p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7.

Απίθανη ακολουθία θέσεων
αλγορίθμου(1): p1, p2, p3, p4, p9, p6, p7,
p8

Απίθανη ακολουθία θέσεων
αλγορίθμου(2): p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7,
p9

Ιδανική ακολουθία θέσεων αλγορίθμου:
p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9, p10,
p11, p12, p13, p14 (optimum).

Αλγόριθμος Hill Climbing (ανάβαση λόφου) (1)

- ▶ Σε πρόβλημα ελαχιστοποίησης, κανονικά, θα έπρεπε να ονομάζεται «κατάβαση λόφου»
- ▶ Είναι αποτελεσματικότετος σε προβλήματα ελαχιστοποίησης κυρτών (convex) συναρτήσεων (συνεχής χώρος).
- ▶ Η φιλοσοφία του έγκειται στην εξέταση μιας λύσης, η οποία είναι γειτονική της τρέχουσας και στην αποδοχή αυτής της λύσης εφόσον διαθέτει μικρότερη ή ίση τιμή fitness από την τρέχουσα λύση.

Αλγόριθμος Hill Climbing (ανάβαση λόφου) (2)

- ▶ Υπάρχουν παραλλαγές του αλγορίθμου Hill Climbing, όπως:
 - ❑ **Στοχαστικός (stochastic) HC:** Επιλέγει για εξέταση έναν τυχαίο από τους γείτονες της τρέχουσας λύσης
 - ❑ **Απλός (simple) HC:** Επιλέγει τον πρώτο καλύτερο γείτονα.
 - ❑ **Απότομης κατάβασης (steepest descend) HC:** Επιλέγεται ο καλύτερος από όλους τους γείτονες.
 - ❑ **HC κατάβασης κατά συντεταγμένη (coordinate descend HC) :** ερευνά για γείτονες κατά μήκος μιας συντεταγμένης, ή διαφορετικής συντεταγμένης σε κάθε γενεά.

Αλγόριθμος Simulated Annealing (προσομοιωμένη Ανόπτηση) (1)

- ▶ Τα μέταλλα διαθέτουν δύο ανταγωνιστικά χαρακτηριστικά:
 - Σκληρότητα
 - Ευθραστότητα
- ▶ **Ανόπτηση** είναι η διαδικασία θέρμανσης του μετάλλου και στην συνέχεια η σταδιακή ψύξη του με ελεγχόμενο ρυθμό ψύξης, έτσι ώστε το μέταλλο να αποκτήσει την ιδανική αναλογία των χαρακτηριστικών της σκληρότητας και ευθραστότητας. Η Ανόπτηση επιδρά στην κρυσταλλική δομή του μετάλλου και αποδίδει στο μέταλλο τις επιθυμητές ιδιότητες.
- ▶ Σε περίπτωση που η ψύξη γίνει με πιο ταχύ ή πιο αργό ρυθμό από ότι πρέπει, δεν επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Αλγόριθμος Simulated Annealing (προσομοιωμένη Ανόπτηση)

(2)

- ▶ Ο αλγόριθμος της προσομοιωμένης Ανόπτησης (Simulated Annealing - SA) προτάθηκε από τους Kirkpatrick, Gelatt και Vecchi, το 1983*.
- ▶ Προσομοιώνει την διαδικασία της Ανόπτησης.
- ▶ Έχει εφαρμοστεί περισσότερο σε διακριτούς χώρους έρευνας (discrete space) και λιγότερο σε συνεχείς.
- ▶ Η συνεισφορά του είναι ότι αποφεύγει τον εγκλωβισμό σε τοπικά ακρότατα (κατά το δυνατόν). Ο τρόπος που το επιτυγχάνει είναι η αποδοχή και κακών λύσεων, με βάση κάποια πιθανότητα αποδοχής Paccept.

<http://citeseer.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.123.7607&rep=rep1&type=pdf>

Αλγόριθμος Simulated Annealing (προσομοιωμένη Ανόπτηση)

(3)

- ▶ Η πιθανότητα αποδοχής υπολογίζεται συνεχώς και δυναμικά με τέτοιο τρόπο ώστε στις αρχικές γενεές να είναι αρκετά μεγάλη, ενώ προς το τέλος του αλγορίθμου να είναι αρκετά μικρή.
- ▶ Ο τρόπος ορισμού της πιθανότητας αποδοχής κακών λύσεων οδηγεί τον αλγόριθμο στην ευρεία αποδοχή κακών λύσεων στην αρχή και στην σχεδόν μηδενική αποδοχή αυτών προς το τέλος.
- ▶ Ο τύπος υπολογισμού της πιθανότητας αποδοχής μιας κακής λύσης

είναι:
$$P_{\text{accept}} = e^{-\frac{F_{\text{after}} - F_{\text{before}}}{T}} \quad (1)$$

Αλγόριθμος Simulated Annealing (προσομοιωμένη Ανόπτηση) (4)

- ▶ Στον τύπο (1), F_{before} είναι η τιμή fitness της τρέχουσας λύσης, F_{after} είναι η τιμή fitness της κακής λύσης, δηλαδή αυτής που σε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης θα έπρεπε να είναι μικρότερη από την F_{before} σε περίπτωση βελτίωσης, ενώ δεν είναι (εξ ου και ο χαρακτηρισμός «κακή»). Σημειώνεται ότι επί της τρέχουσας λύσης εφαρμόζεται ένας μετασχηματισμός ώστε να προκύψει ένας γείτονας - νέα λύση, ο οποίος μπορεί να είναι καλός (βελτιωμένη fitness) ή κακός (χειρότερη fitness).
- ▶ Στον τύπο (1), T είναι η «θερμοκρασία». Αυτή είναι μια μεταβλητή που παίρνει μια αρχική τιμή T_{init} στην αρχή του αλγορίθμου, σταδιακά μειώνεται και τελικά παίρνει την τιμή T_{min} στο τέλος του αλγορίθμου.

Αλγόριθμος Simulated Annealing (προσομοιωμένη Ανόπτηση)

(5)

- ▶ Η εκάστοτε μείωση της θερμοκρασίας T γίνεται κάθε φορά που θα συμπληρωθεί ένας αριθμός γενεών ίσος με μια συγκεκριμένη τιμή, **Plateau**.
- ▶ Τόσο η αρχική θερμοκρασία **T_{init}** , όσο και οι τιμές **T_{min}** και **Plateau** καθορίζονται από τον χρήστη και **ανάλογα με το πρόβλημα**. Η σωστή ρύθμιση των τιμών αυτών είναι κρίσιμη για την ποιότητα του SA, και αποτελούν ταυτόχρονα μια ιδιαίτερη δυσκολία που χαρακτηρίζει τον SA.
- ▶ Τα δύο πιο κοινά σχήματα - μέθοδοι ψύξης (**cooling schemas**) είναι:
 - ❑ $T_{new} = T_{old} * a$, με $a < 1$ και συνήθως $a = 0.8 - 0.98$. (Γεωμετρικό σχήμα)
 - ❑ $T_{new} = T_{old} - \Delta T$, όπου ΔT μια μικρή ποσότητα.

Αλγόριθμος Simulated Annealing (προσομοιωμένη Ανόπτηση)

(6)

- ▶ Όταν πρόκειται να ρυθμίσουμε τις παραμέτρους του SA, πρέπει η αρχική θερμοκρασία και το σχήμα ψύξης να είναι τέτοια ώστε προς το τέλος του αλγορίθμου η T να πάρει σχεδόν την τιμή T_{min} .
- ▶ Αν ο ρυθμός ψύξης είναι πολύ γρήγορος (δηλαδή το a ή το ΔT είναι μικρό και μεγάλο αντίστοιχα), ή πολύ αργός (δηλαδή το a και το ΔT είναι μεγάλο και μικρό αντίστοιχα), τότε τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά.

Αλγόριθμος Simulated Annealing (προσομοιωμένη Ανόπτωση)

(6) Ο ψευδό-κώδικας (pseudo code) του SA

- ▶ 1. Αρχικοποίησε μια λύση Sol και τις παραμέτρους του SA (Tinit, Tmin, Plateau) και θέσε $T = Tinit$.
- ▶ 2. Υπολόγισε την fitness της Sol, έστω $F(Sol)$.
- ▶ 3. Πάραξε έναν γείτονα, Snew, από μια γειτονιά της Sol και υπολόγισε την $F(Snew)$.
- ▶ 4. Αν $F(Snew) \leq F(Sol)$ τότε $Sol = Snew$ και $F(Sol) = F(Snew)$
- ▶ 5. αλλιώς ($F(Snew) > F(Sol)$ δηλαδή η Snew είναι κακή λύση) τότε:
 - 5.1. $P_{accept} = e^{-\frac{F(Snew) - F(Sol)}{T}}$
 - 5.2. Πάραξε έναν τυχαίο αριθμό r, στο διάστημα [0, 1] με βάση την ομοιόμορφη κατανομή
 - 5.3. Αν $r \leq P_{accept}$ τότε $Sol = Snew$ και $F(Sol) = F(Snew)$ (αποδοχή της κακιάς λύσης)
- ▶ 6. Αν έχει συμπληρωθεί Plateau αριθμός γενεών τότε ψύξε το T σύμφωνα με το επιλεγμένο σχήμα ψύξης.
- ▶ 7. Αν έχει ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού επίστρεψε την τελική λύση Sol και τερμάτισε, αλλιώς επανάλαβε από το βήμα 3.

Αλγόριθμος Great Deluge (1)

- ▶ Ο αλγόριθμος του Μεγάλου Κατακλυσμού (Great Deluge) προτάθηκε από τον **Gunter Dueck** το 1990*. Προσομοιώνει το φαινόμενο ενός κατακλυσμού, κατά το οποίο, καθώς η στάθμη του νερού ανεβαίνει, κάποιος ανεβαίνει ακόμη ψηλότερα, προκειμένου να μην βραχεί. (Προφανώς η αναλογία αναφέρεται σε πρόβλημα μεγιστοποίησης).



Gunter Dueck 1951 -

Αλγόριθμος Great Deluge (2)

- ▶ Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος μοιάζει με τον Simulated Annealing και έχει τον ίδιο στόχο: την αποφυγή του εγκλωβισμού σε τοπικά ακρότατα.
- ▶ Η φιλοσοφία του είναι απλή και εξηγείται περιγραφικά:
 - ❑ Αρχικά, θέτουμε την τιμή μιας μεταβλητής Level σε κάποια υψηλή τιμή, η οποία είναι συνάρτηση της αρχικής fitness.
 - ❑ Μια βελτιωτική λύση γίνεται πάντα δεκτή, ενώ μια μη βελτιωτική λύση γίνεται αποδεκτή αν και μόνο αν η fitness αυτής είναι μικρότερη της Level.
 - ❑ Η τιμή της Level μειώνεται κατά μια ποσότητα κάθε **decay** γενεές.
 - ❑ Αν η τιμή της Level πέσει κάτω από μια τιμή, τότε επανατίθεται σε μια υψηλή τιμή, ως συνάρτηση της fitness.

Αλγόριθμος VNS (1)

- ▶ Ο αλγόριθμος VNS (Variable Neighborhood Search - αλγόριθμος μεταβλητής γειτονιάς) προτάθηκε από τους Nenad Mladenović και Pierre Hansen το 1997* για την επίλυση συνδυαστικών (combinatorial) και καθολικής βελτιστοποίησης (global optimization) προβλημάτων.
- ▶ Το βασικό χαρακτηριστικό του VNS είναι η επαναλαμβανόμενη εναλλαγή των γειτονιών στις οποίες διεξάγεται η έρευνα.

Αλγόριθμος VNS (2)

- ▶ Ο αλγόριθμος βασίζεται σε τρεις προτάσεις - παρατηρήσεις:
 - Ένα τοπικό ελάχιστο ως προς μια γειτονιά δεν είναι απαραίτητα τοπικό ελάχιστο για μια άλλη γειτονιά.
 - Το ολικό ελάχιστο είναι ένα τοπικό ελάχιστο για όλες τις πιθανές γειτονιές.
 - Σε πολλά προβλήματα, τα τοπικά ελάχιστα ως προς μια ή περισσότερες γειτονιές βρίσκονται σε σχετικά μικρή απόσταση μεταξύ τους.
- ▶ Τα πλεονεκτήματα του VNS έναντι άλλων αλγορίθμων είναι ότι δεν χρειάζεται ρύθμιση παραμέτρων (tuning), είναι απλός στην υλοποίησή του και αποδίδει πολύ καλά σε πολλά προβλήματα.

Αλγόριθμος VNS (3)- Παραλλαγές

- ▶ Εξαιτίας της απλότητας του αλγορίθμου, ευνοείται η ανάπτυξη διάφορων παραλλαγών, όπως:
 - Η επιλογή των γειτονιών γίνεται σειριακά και επαναληπτικά.
 - Η επιλογή (και εναλλαγή) των γειτονιών γίνεται με τυχαίο ομοιόμορφο τρόπο.
 - Η επιλογή (και εναλλαγή) των γειτονιών γίνεται με βάση την πιθανότητα της κάθε γειτονιάς, η οποία είναι σταθερή για κάθε γειτονιά.

Αλγόριθμος VNS (4)- Παραλλαγές

- Η επιλογή της κάθε γειτονιάς γίνεται με βάση την πιθανότητα επιλογής της κάθε γειτονιάς, η οποία καθορίζεται δυναμικά, ανάλογα με την αποτελεσματικότητα της γειτονιάς. Όσο πιο αποτελεσματική είναι μια γειτονιά, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα επιλογής της.
- Κάθε γειτονιά, μπορεί να επιστρέφει τον πρώτο καλύτερο γείτονα που θα βρει ή τον καλύτερο από όλους τους γείτονες που ανήκουν στην γειτονιά.

Αλγόριθμος Tabu Search (1)

- ▶ Ο αλγόριθμος Tabu Search (αλγόριθμος απαγορευμένων κινήσεων) προτάθηκε από τον Fred W. Glover το 1986*.



Fred W. Glover, 1937 -

Αλγόριθμος Tabu Search (2)

- ▶ Ο αλγόριθμος εκκινεί λαμβάνοντας μια πιθανή λύση. Από αυτήν, με βάση έναν μετασχηματισμό, ο οποίος επιφέρει μικρή μόνο τροποποίηση στην αρχική λύση, λαμβάνεται ένας γείτονας (νέα λύση), με την ελπίδα ότι θα υπάρξει βελτίωση. Η προηγούμενη διαδικασία είναι γνωστή ως «τοπική έρευνα» (Local search). Η τοπική έρευνα έχει την τάση να εγκλωβίζει τον αλγόριθμο σε τοπικά ακρότατα. Ο αλγόριθμος Tabu Search αναβαθμίζει την απόδοση της Local search, υλοποιώντας δύο πολιτικές:

Αλγόριθμος Tabu Search (3)

- ❑ Αποδέχεται και μια κακή λύση, αν δεν υπάρχουν γείτονες (λύσεις) βελτιωτικοί.
- ❑ Απομνημονεύει τις λύσεις (γείτονες) που έχει ήδη εξετάσει ο αλγόριθμος στο πρόσφατο παρελθόν και οι οποίες έχουν αποδειχτεί κακές.
- ▶ Με αυτόν τον τρόπο, αποθαρρύνεται η επανάληψη της επίσκεψης σε «μονοπάτια» που δεν βελτιώνουν το αποτέλεσμα του αλγορίθμου.

Αλγόριθμος Tabu Search (4)

- ▶ Στην ορολογία του αλγορίθμου συναντάται ο όρος **tabu list**, (η λίστα αποθήκευσης των κακών κινήσεων), ο όρος **tenure** (το μήκος της tabu list, δηλαδή για πόσες γενεές στο παρελθόν θα κρατούνται οι κακές κινήσεις), οι όροι **short term memory** (βραχυχρόνια μνήμη), **intermediate memory** (ενδιάμεση μνήμη) και **long term memory** (μακροχρόνια μνήμη).
- ▶ Σημειώνεται, ότι μια κίνηση χαρακτηρισμένη ως tabu μπορεί στο μέλλον να αποχαρακτηριστεί και να μην είναι πλέον tabu.

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας

