

## ΠΛΗ31

## ΕΝΟΤΗΤΑ 4: ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Μάθημα 4.1:  
Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους

Δημήτρης Ψούνης



www.psounis.gr

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## Α.Θεωρία

1. Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους
  1. Προβλήματα Αριθμητικής Βελτιστοποίησης
  2. Προβλήματα Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης
2. Δομή του Γενετικού Αλγόριθμου
  1. Αρχικοποίηση
  2. Αξιολόγηση
  3. Επιλογή
  4. Διασταύρωση
  5. Μετάλλαξη
3. Σύνοψη για τον Γενετικό Αλγόριθμο
  1. Γενικά Χαρακτηριστικά
  2. Πλεονεκτήματα του Γενετικού Αλγόριθμου

## Β.Ασκήσεις

## Α. Θεωρία

## 1. Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους

## 1. Προβλήματα Αριθμητικής Βελτιστοποίησης

- Στα προβλήματα αριθμητικής βελτιστοποίησης, μας δίνεται μια αριθμητική συνάρτηση  $f$  πολλών μεταβλητών και ζητείται να βρούμε το **μέγιστό** της.
  - Γενική Μορφή **προβλήματος μεγιστοποίησης**:  
 $f(x_1, x_2, \dots, x_k): \mathbb{R}^k \rightarrow \mathbb{R}$  και ζητείται το  $\max[f]$
  - Η συνάρτηση  $f$  καλείται **αντικειμενική συνάρτηση** (objective function)
- Ακόμη και αν ζητείται το πρόβλημα της **ελαχιστοποίησης** μιας συνάρτησης (εύρεση του ελαχίστου) μπορούμε να το μεταμορφώσουμε σε ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης λύνοντας:
  - αντί για το:  $\min[f]$
  - το  $\max[-f]$
- Ακόμη θα υποθέσουμε ότι η  $f$  παίρνει μόνο θετικές τιμές.
  - Ακόμη κι αν δεν παίρνει θετικές τιμές, μπορούμε να εισάγουμε μια θετική σταθερά, ώστε να παίρνει μόνο θετικές τιμές.
  - Εργαζόμαστε δηλαδή με τη συνάρτηση:  
 $\max[f + C]$

## Α. Θεωρία

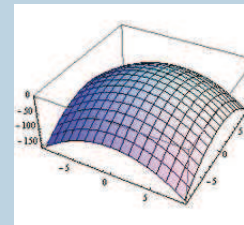
## 1. Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους

## 1. Προβλήματα Αριθμητικής Βελτιστοποίησης

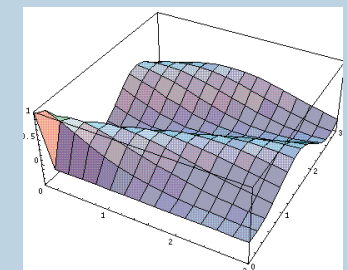
- Η εύρεση ενός μεγίστου σε μία αριθμητική συνάρτηση είναι ένα πολύ σημαντικό υπολογιστικό πρόβλημα. Έχουν προταθεί πολλές προσεγγίσεις για την αποδοτική επίλυση του προβλήματος.
- Για παράδειγμα έχουν προταθεί:
  - Η αναρρίχηση λόφου που ακολουθεί μια αύξουσα πορεία στην γραφική παράσταση της συνάρτησης
  - Οι **γενετικοί Αλγόριθμοι** που πράκτορες είναι ατάκτως εριμμένοι στον χώρο αναζήτησης αναζητώντας ένα καλό τοπικό βέλτιστο.

## Παράδειγμα 1

$$f(x, y) = -x^2 - y^2$$



## Παράδειγμα 2

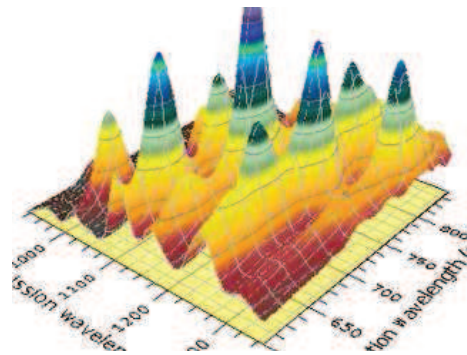


## A. Θεωρία

### 1. Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους

#### 2. Προβλήματα Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης

- Τα Προβλήματα Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης είναι το κατ'εξοχήν πεδίο εφαρμογής των Γενετικών Αλγορίθμων
  - Τέτοια προβλήματα είναι το TSP, το SAT κ.λπ.
- Οι αντικειμενικές συναρτήσεις αυτών των προβλημάτων είναι ιδιαίτερα περίπλοκες με αποτέλεσμα ο χώρος αναζήτησης να παρουσιάζει ιδιαίτερες αυξομειώσεις.
- Είναι πολύ εύκολο να γίνει εγκλωβισμός σε τοπικά μέγιστα
- Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι έρχονται να προσπεράσουν αυτό το πρόβλημα!



## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

**Ο βασικός Γενετικός Αλγόριθμος** αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. **Αρχικοποίηση** του πληθυσμού (Initialization)
  2. Επανάλαβε:
    1. **Αξιολόγηση** κάθε στοιχείου του πληθυσμού
    2. **Επιλογή** ενός νέου πληθυσμού (τελεστής επιλογής)
    3. **Διασταύρωση** στοιχείων του πληθυσμού (τελεστής διασταύρωσης)
    4. **Μετάλλαξη** στοιχείων του πληθυσμού (τελεστής μετάλλαξης)
- Εως ότου να ικανοποιηθεί το **κριτήριο τερματισμού** του ΓΑ

## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 1. Αρχικοποίηση (Initialization)

##### **Βήμα Αρχικοποίησης:**

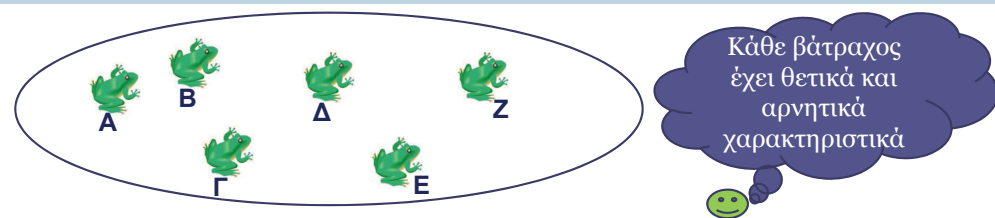
Επιλέγεται με τυχαίο τρόπο ένα αρχικό σύνολο πληθυσμού δυνατών λύσεων

Παραμέτροι που πρέπει να καθοριστούν:

- Πόσα είναι τα στοιχεία του πληθυσμού (Το μέγεθος του πληθυσμού είναι σταθερό και συμβολίζεται με **pop\_size**)
- Πως θα αναπαρασταθεί ένα στοιχείο στον υπολογιστή (καλείται γενετική αναπαράσταση της λύσης ή κωδικοποίηση της λύσης)

Παράδειγμα της Δημιουργίας του Τέλειου Βατράχου

Επιλέγουμε ένα σύνολο 6 τυχαίων βατράχων.



## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 1. Αρχικοποίηση (Ορολογία κωδικοποίησης)

- Στην ορολογία των γενετικών αλγορίθμων:
  - Μία αρχική λύση (χωρίς κωδικοποίηση) λέγεται φαινότυπος
  - Η κωδικοποίηση της λύσης λέγεται γονότυπος (ή χρωμόσωμα)
  - Κάθε bit του γονότυπου είναι και ένα γονίδιο.



(10,21)

← Φαινότυπος

00010100010101



Γονίδια

← Γονότυπος  
(ή χρωμόσωμα)

## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

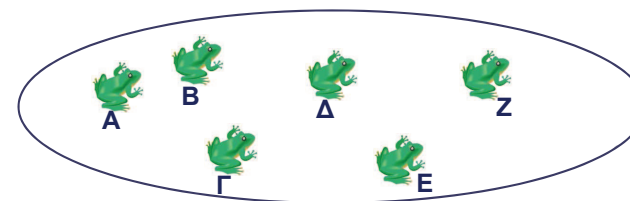
#### 1. Αρχικοποίηση (Κωδικοποίηση Λύσεων)

- Η κωδικοποίηση μιας λύσης εξαρτάται από το πρόβλημα που έχουμε να λύσουμε.
  - Συνήθως σε προβλήματα αριθμητικής βελτιστοποίησης επιλέγεται **δυαδική κωδικοποίηση** (Κάθε λύση αναπαρίσταται από μία δυαδική συμβολοσειρά)
  - Αντίθετα σε προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης προτιμάται **κωδικοποίηση ακεραίων**.
- Επίσης η κωδικοποίηση μιας λύσης μπορεί να έχει και μεταβλητό μήκος (κυρίως σε προβλήματα λαβυρίνθων)

## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 1. Αρχικοποίηση (Initialization)



#### Παράδειγμα της Δημιουργίας του Τέλειου Βατράχου

Έστω ότι η κωδικοποίηση των βατράχων είναι:

- A=010111
- B=110011
- Γ=000101
- Δ=111011
- E=011100
- Z=001100

Συχνά στην εκφώνηση της άσκησης θα μας δίνεται άμεσα η κωδικοποίηση των λύσεων

## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.1. Αξιολόγηση (Evaluation)

##### Βήμα Αξιολόγησης:

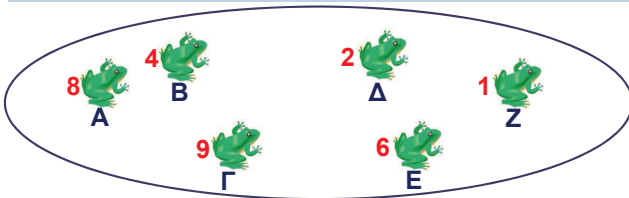
Κάθε στοιχείο αξιολογείται χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση αξιολόγησης

Παραμέτρους που πρέπει να καθοριστούν:

- Να καθοριστεί με επάρκεια μια συνάρτηση (συνήθως πολλών μεταβλητών) που θα αξιολογεί με έναν αριθμό κάθε στοιχείο. Η συνάρτηση αυτή λέγεται **συνάρτηση αξιολόγησης** (ή απόδοσης ή ικανότητας ή καταλληλότητας) ή **αντικειμενική συνάρτηση**

#### Παράδειγμα της Δημιουργίας του Τέλειου Βατράχου

Αφού ορίσουμε μια συνάρτηση που αξιολογεί έναν βάτραχο με έναν αριθμό από το 1-10, αξιολογούμε κάθε βάτραχο ξεχωριστά. Έστω ότι η αξιολόγηση των βατράχων είναι ως ακολούθως:



Κάθε βάτραχος παίρνει έναν συνολικό βαθμό. Οσοόσο μπορεί ένας βάτραχος με χαμηλό συνολικό βαθμό να έχει κάποια πολύ καλά ιδιοχαρακτηριστικά

## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.1. Αξιολόγηση

- Η συνάρτηση αξιολόγησης πρέπει να είναι οπωσδήποτε μια συνάρτηση μεγιστοποίησης και να παίρνει αυστηρά θετικές τιμές (όχι ίσες με μηδέν)
  - Γενική Μορφή **προβλήματος μεγιστοποίησης**:  
 $f(x_1, x_2, \dots, x_k): \mathbb{R}^k \rightarrow \mathbb{R}$  και ζητείται το  $\max[f]$
- Αν έχουμε πρόβλημα **ελαχιστοποίησης** μιας συνάρτησης (εύρεση του ελαχίστου) μπορούμε να το μεταμορφώσουμε σε ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης λύνοντας:
  - Α' τρόπος: αντί για να υπολογίζουμε το:  $\min[f]$ 
    - Υπολογίζουμε το  $\max[-f]$
  - Β' τρόπος: αντί για να υπολογίζουμε το  $\min[f]$ 
    - Υπολογίζουμε το  $\max\left[\frac{1}{f}\right]$
- Ακόμη θα υποθέσουμε ότι η  $f$  παίρνει **αυστηρά μόνο θετικές τιμές**.
  - Ακόμη κι αν δεν παίρνει θετικές τιμές, μπορούμε να προσθέσουμε μια θετική σταθερά, ώστε να παίρνει μόνο θετικές τιμές.
  - Εργαζόμαστε δηλαδή με τη συνάρτηση:  
 $\max[f + C]$

## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.2. Επιλογή

##### Βήμα Επιλογής:

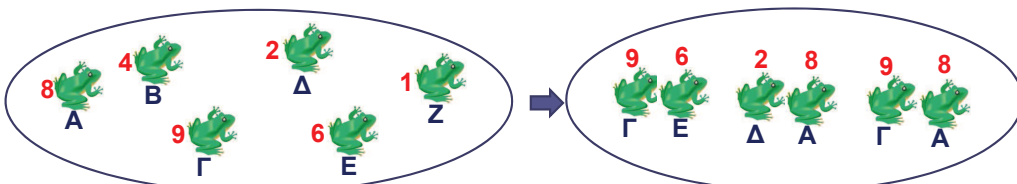
Επιλογή μέρους του τρέχοντος πληθυσμού με βάση την απόδοση κάθε στοιχείου => Παραγωγή του **προσωρινού πληθυσμού**

Παραμέτροι που πρέπει να καθοριστούν:

- Πόσα στοιχεία επιλέγονται (συνήθως ακριβώς τόσα όσα και ο πληθυσμός)
- Η μέθοδος επιλογής (π.χ. τυχαία επιλογή, εξαναγκασμένη ρουλέτα κ.α.) που θα πρέπει να αφήνει και περιθώριο επιβίωσης σε στοιχεία με χαμηλή βαθμολογία
- Στην **εξαναγκασμένη ρουλέτα** ενδέχεται να επιλεγθούν πολλές φορές τα ίδια άτομα με πιθανότητα ανάλογη της απόδοσής τους (Η σειρά επιλογής έχει σημασία)

Παράδειγμα της Δημιουργίας του Τέλους Βατράχου

Έστω ότι εφαρμόζεται εξαναγκασμένη ρουλέτα στον πληθυσμό των βατράχων



## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.2. Επιλογή (Μέθοδος Εξαναγκασμένης Ρουλέτας)

##### Επιλογή

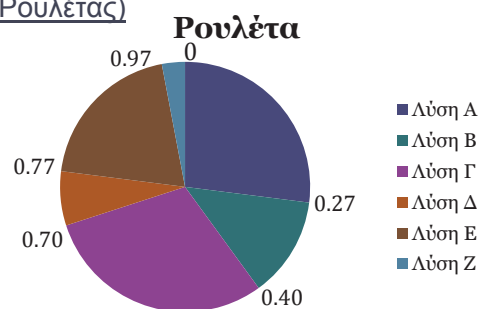
Η επιλογή γίνεται με την μέθοδο της **εξαναγκασμένης ρουλέτας**:

##### ΕΠΙΛΟΓΗ

- Για **pop\_size** φορές επιλέγεται ένας πραγματικός αριθμός  $r$  από το 0 έως το 1
  - Αν  $r \leq q_1$  επιλέγεται το πρώτο χρωμόσωμα.
  - Αλλιώς επιλέγεται το χρωμόσωμα  $q_i$  για το οποίο ισχύει:  $q_{i-1} < r \leq q_i$

Παρατηρήσεις:

- Ένα στοιχείο μπορεί να επιλεγθεί πολλές φορές. Αναμενόμενες εμφανίσεις του στοιχείου  $i$  είναι  $p_i \times \text{pop\_size}$
- Ο πληθυσμός που παράγεται καλείται **προσωρινός πληθυσμός**



Επιλογή: Διαδοχικά από μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών έχουμε:

- $r = 0.55$ : Επιλογή του Γ
- $r = 0.89$ : Επιλογή του Ε
- $r = 0.74$ : Επιλογή του Δ
- $r = 0.09$ : Επιλογή του Α
- $r = 0.42$ : Επιλογή του Γ
- $r = 0.09$ : Επιλογή του Α

Προσωρινός πληθυσμός είναι ο (Γ, Ε, Δ, Α, Γ, Α)

## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.2. Επιλογή (Μέθοδος Εξαναγκασμένης Ρουλέτας)

##### Μέθοδος Εξαναγκασμένης Ρουλέτας

##### ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ

- Αθροίζονται οι αξιολογήσεις των μελών του πληθυσμού:

$$F = \sum_{i=1}^{\text{pop\_size}} \text{eval}(v_i)$$

- Η πιθανότητα επιλογής του κάθε μέλους  $v_i$  δίνεται από τη σχέση:

$$p_i = \frac{\text{eval}(v_i)}{F}$$

- Για κάθε μέλος υπολογίζουμε την αθροιστική πιθανότητα:

$$q_i = \sum_{j=1}^i p_j$$

##### Επιλογή

- Το άθροισμα των αξιολογήσεων των μελών:  $F = 8 + 4 + 9 + 2 + 6 + 1 = 30$

- Η πιθανότητα επιλογής των μελών:

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{\text{eval}(v_1)}{F} = \frac{8}{30} = 0.27 \\ p_2 &= \frac{\text{eval}(v_2)}{F} = \frac{4}{30} = 0.13 \\ p_3 &= \frac{\text{eval}(v_3)}{F} = \frac{9}{30} = 0.30 \\ p_4 &= \frac{\text{eval}(v_4)}{F} = \frac{2}{30} = 0.07 \\ p_5 &= \frac{\text{eval}(v_5)}{F} = \frac{6}{30} = 0.20 \\ p_6 &= \frac{\text{eval}(v_6)}{F} = \frac{1}{30} = 0.03 \end{aligned}$$

- Η αθροιστική πιθανότητα των μελών:

$$\begin{aligned} q_1 &= p_1 = 0.27 \\ q_2 &= p_1 + p_2 = 0.40 \\ q_3 &= p_1 + p_2 + p_3 = 0.70 \\ q_4 &= p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 0.77 \\ q_5 &= p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 = 0.97 \\ q_6 &= p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 1.00 \end{aligned}$$

## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.3. Διασταύρωση (Crossover)

##### Βήμα Διασταύρωσης:

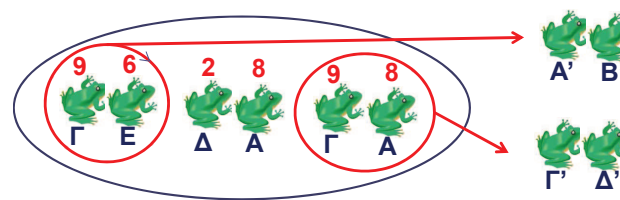
Επιλέγονται ομάδες στοιχείων του προσωρινού πληθυσμού και ζευγαρώνουν (διασταυρώνονται) για να παράγουν νέα στοιχεία

Παραμέτροι που πρέπει να καθοριστούν:

- Το πλήθος διασταυρώσεων που θα γίνουν (συνήθως μειώνονται με τα βήματα της επανάληψης)
- Τα μέλη του πληθυσμού που θα λάβουν μέρος σε κάθε διασταύρωση
- Ο τρόπος που θα γίνει η διασταύρωση (μέθοδος 1 σημείου, 2 σημείων κ.λπ.)

Παράδειγμα της Δημιουργίας του Τέλους Βατράχου

Γίνονται 2 διασταυρώσεις και προσέξτε ότι ένα μέλος ενδέχεται να επιλεγεί πολλές φορές



Η διασταύρωση πρέπει να γίνεται με τυχαίο τρόπο ώστε να συνδυάζονται ιδιοχαρακτηριστικά.



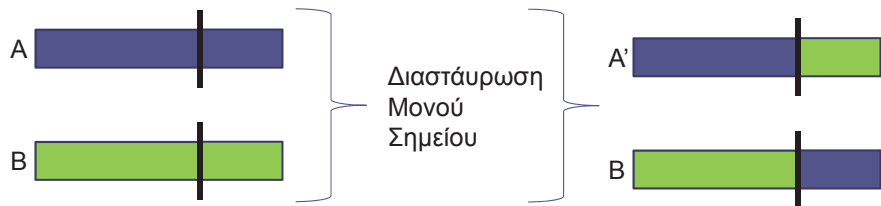


## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.3. Διασταύρωση (Μονού Σημείου)

- Χρησιμοποιούνται στην πράξη διάφορες μέθοδοι διασταύρωσης. Η πιο συχνή είναι η διασταύρωση μονού σημείου. Σε αυτήν την μέθοδο χωρίζουμε τις δύο συμβολοσειρές (γονείς) σε ένα κοινό σημείο (σημείο διαχωρισμού) και παράγουμε τους απογόνους ως εξής:



- Η επιλογή του σημείου διαχωρισμού γίνεται **τυχαία** ανάμεσα σε όλα τα πιθανά σημεία διασταύρωσης. Θα δούμε αναλυτικά την μέθοδο διασταύρωση μονού σημείου.



## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.3. Διασταύρωση (Μέθοδος Μονού Σημείου)

##### Διασταύρωση Μονού Σημείου

**Προεργασία:** Θέτουμε ως ισοπίθανα όλα τα δυνατά σημεία διασταύρωσης.

- Αν η συμβολοσειρά έχει μέγεθος  $n$  ( $n$  bits). Τότε τα πιθανά σημεία διασταύρωσης είναι  $n-1$ .
  - Μεταξύ 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> θέσης.
  - Μεταξύ 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> θέσης.
  - ...
  - Μεταξύ  $(n-1)$  και  $n$  θέσης.
- Κάθε μία από τις παραπάνω επιλογές είναι ισοπίθανη με πιθανότητα  $1/(n-1)$
- Η επιλογή του σημείου διασταύρωσης για κάθε ζεύγος θα γίνεται με βάση τους τυχαίους αριθμούς.

##### Διασταύρωση - Προεργασία

Η συμβολοσειρά που αναπαριστά μια λύση έχει μέγεθος 6.

Τα πιθανά σημεία διασταύρωσης είναι  $n-1=5$ . Θέτουμε κάθε ένα σημείο ισοπίθανο με πιθανότητα  $1/5=0.2$ .

Συνεπώς το σημείο διαχωρισμού θα επιλέγεται τυχαία με βάση τους τυχαίους αριθμούς και θα επιλέγεται ανάμεσα στις:

- Θέσεις 1-2 στο διάστημα  $[0.00, 0.20]$
- Θέσεις 2-3 στο διάστημα  $(0.20, 0.40]$
- Θέσεις 3-4 στο διάστημα  $(0.40, 0.60]$
- Θέσεις 4-5 στο διάστημα  $(0.60, 0.80]$
- Θέσεις 5-6 στο διάστημα  $(0.80, 1.00]$



## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.3. Διασταύρωση (Μέθοδος Μονού Σημείου)

##### Διασταύρωση Μονού Σημείου

##### Εφαρμογή της διασταύρωσης

- Χωρίζω τον πληθυσμό σε ζεύγη (με βάση τη σειρά επιλογής) και με πιθανότητα  $p_c$  (καλείται **πιθανότητα διασταύρωσης** και είναι είσοδος του προβληματος)
- Τραβάμε έναν τυχαίο αριθμό  $r$  από το 0 έως το 1 και αν  $r \leq p_c$  τότε το ζεύγος διασταυρώνεται

##### Παρατηρήσεις:

- Αν **pop\_size**: περιπτώς επιλέγουμε ένα ακόμη άτομο από τον προσωρινό πληθυσμό ή απορρίπτουμε ένα στοιχείο (αυθαίρετη επιλογή)
- Αν  $p_c=1$  τότε επιλέγονται όλα τα στοιχεία χωρίς να τραβήξουμε τυχαίους αριθμούς

##### Διασταύρωση (με $p_c=0.60$ )

Κάνουμε διασταύρωση με την εξής ακολουθία τυχαίων αριθμών (δίδεται από την εκφώνηση)  
0.42 0.65 0.89 0.21 0.29

##### 1<sup>ο</sup> ζεύγος (Γ,Ε).

- Τυχαίος Αριθμός:  $0.42 \leq p_c$ . Διασταυρώνονται!
  - Τυχαίος Αριθμός: 0.65, άρα μεταξύ θέσεων 4-5.
    - $\Gamma=0001|01$  }  $A'=0001|00$
    - $E=0111|00$  }  $B'=0111|01$

##### 2<sup>ο</sup> ζεύγος (Δ,Α).

- Τυχαίος Αριθμός:  $0.89 > p_c$ . Δεν διασταυρώνονται!
  - Οι γονείς περνάνε στον επόμενο πληθυσμό χωρίς διασταύρωση:
    - $\Delta=111011$  }  $\Gamma'=111011$
    - $A=010111$  }  $\Delta'=010111$

##### 3<sup>ο</sup> ζεύγος (Γ,Α).

- Τυχαίος Αριθμός:  $0.21 \leq p_c$ . Διασταυρώνονται!
  - Τυχαίος Αριθμός: 0.29, άρα μεταξύ θέσεων 2-3.
    - $\Gamma=00|0101$  }  $E'=00|0111$
    - $A=01|0111$  }  $Z'=01|0101$

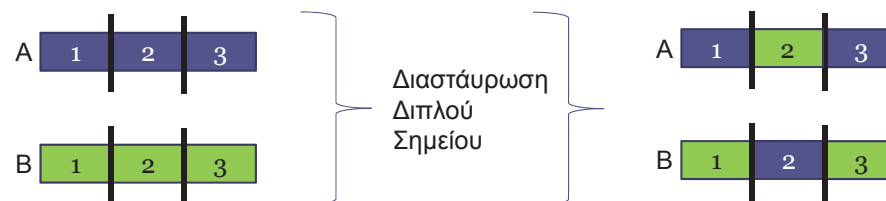


## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.3. Διασταύρωση (Άλλες Μέθοδοι Διασταύρωσης)

- Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι διασταύρωσης (όπως π.χ η μέθοδος διασταύρωσης διπλού σημείου)



- Τέλος υπάρχουν και άλλες μέθοδοι που είναι εξαρτώμενες από το πρόβλημα (π.χ για το πρόβλημα TSP υπάρχει ο τελεστής διασταύρωσης OX). Θα τις μελετήσουμε αναλυτικά στα επόμενα μαθηματα.



## Α. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.4. Μετάλλαξη (Mutation)

##### Βήμα Μετάλλαξης:

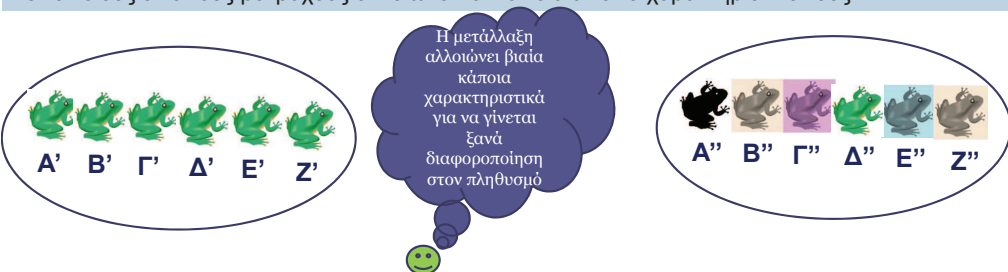
Με τυχαίο τρόπο αλλοιώνονται κάποια από τα χαρακτηριστικά των στοιχείων του πληθυσμού

Παραμέτροι που πρέπει να καθοριστούν:

- Ο τρόπος επιλογής των στοιχείων του πληθυσμού
- Η πιθανότητα να αλλάξει κάποιο χαρακτηριστικό τους

Παράδειγμα της Δημιουργίας του Τέλειου Βατράχου

Σε κάποιους από τους βατράχους αλλοιώνονται κάποια από τα χαρακτηριστικά τους



## Α. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.4. Μετάλλαξη

##### Μετάλλαξη

Για κάθε μέλος (χρωμόσωμα) σύμφωνα με την διάταξή τους:

- Για κάθε bit (γονίδιο) από αριστερά προς τα δεξιά:
  - Τραβάμε έναν τυχαίο αριθμό  $r$  από το 0 έως το 1 και αν  $r \leq p_m$  τότε το bit αντιστρέφεται.
- Στην εκφώνηση της άσκησης μας δίδεται η ακολουθία των τυχαίων αριθμών που θα χρησιμοποιήσουμε.

Παρατηρήσεις:

- Το  $p_m$  καλείται **πιθανότητα μετάλλαξης** και είναι είσοδος του προβλήματος.
- Το αναμενόμενο πλήθος των στοιχείων του πληθυσμού που θα επιλεγούν για μετάλλαξη είναι  $pop\_size \times m \times p_m$



## Α. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.4. Μετάλλαξη

Παράδειγμα με πιθανότητα μετάλλαξης  $p_m=0.20$

Χρησιμοποιώντας την εξής ακολουθία τυχαίων αριθμών: 0.77 0.23 0.12 0.93 0.28 0.22 0.15 0.82 0.34 0.32 0.44.

Λύση:

	1° bit	2ο bit	3° bit	4° bit	5° bit	6° bit	
A' = 000100	0.77 0	0.23 0	<u>0.12</u> 0	0.93 1	0.28 0	0.22 0	A'' = 001100
B' = 011101	<u>0.15</u> 0	0.82 1	0.34 1	0.32 1	0.44 0	0.77 1	B'' = 111101
Γ' = 111011	0.23 1	<u>0.12</u> 1	0.93 1	0.28 0	0.22 1	<u>0.15</u> 1	Γ'' = 101010
Δ' = 010111	0.82 0	0.34 1	0.32 0	0.44 1	0.77 1	0.23 1	Δ'' = 010111
Ε' = 000111	<u>0.12</u> 0	0.93 0	0.28 0	0.22 1	<u>0.15</u> 1	0.82 1	Ε'' = 100101
Ζ' = 010101	0.34 0	0.32 1	0.44 0	0.77 1	0.23 0	<u>0.12</u> 1	Ζ'' = 010100



## Α. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 2.4. Μετάλλαξη

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής των τριών τελεστών είναι η επόμενη γενιά του πληθυσμού. Στην επόμενη επανάληψη θα επαναληφθεί η ίδια βηματική διαδικασία στον τρέχοντα πληθυσμό:

ΓΕΝΙΑ 0	ΕΠΙΛΟΓΗ	ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ	ΜΕΤΑΛΛΑΞΗ	ΓΕΝΙΑ 1
A=010111	Γ=000101 E=011100 Δ=111011 A=010111 Γ=000101 A=010111	A'=000100	A''=001100	A=001100
B=110011		B'=011101	B''=111101	B=111101
Γ=000101		Γ'=111011	Γ''=101010	Γ=101010
Δ=111011		Δ'=010111	Δ''=010111	Δ=010111
E=011100		E'=000111	E''=100101	E=100101
Z=001100		Z'=010101	Z''=010100	Z=010100

## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου

#### 3. Κριτήριο Τερματισμού

##### Κριτήριο Τερματισμού:

Συνήθως τερματίζουμε όταν:

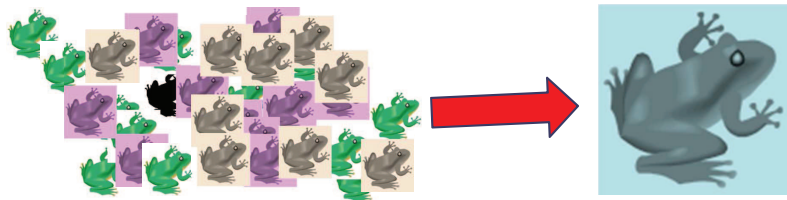
- Έχει συμπληρωθεί ένας μέγιστος αριθμός γενεών.
- Για μεγάλο αριθμό γενεών δεν έχει βελτιωθεί η απόδοση των μελών του.

Τότε

- Επιστρέφεται το καλύτερο στοιχείο που βρέθηκε στην διάρκεια της αναζήτησης (σε όλες τις γενιές – όχι μόνο στην τελευταία)

Παράδειγμα της Δημιουργίας του Τέλους Βατράχου

Μετά από έναν κύκλο γενεών έχει βρεθεί ένας αρκούντως καλός βάτραχος



## A. Θεωρία

### 3. Σύνοψη για τον Γενετικό Αλγόριθμο

#### 1. Γενικά Χαρακτηριστικά

- Δουλεύουν με μια **κωδικοποίηση του συνόλου τιμών** που μπορούν να λάβουν οι μεταβλητές και όχι με τις ίδιες τις μεταβλητές του προβλήματος
- Κάνουν **αναζήτηση σε πολλά σημεία** ταυτόχρονα και όχι μόνο σε ένα
- Χρησιμοποιούν μόνο την **αντικειμενική συνάρτηση** και καμία επιπρόσθετη πληροφορία
- Χρησιμοποιούν **πιθανοθεωρητικούς** κανόνες μετάβασης και όχι ντετερμινιστικούς

## A. Θεωρία

### 2. Δομή του Γενετικού Αλγορίθμου.

#### ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Συμβολισμός	Επεξήγηση
$f(x_1, x_2, \dots, x_k)$	Αντικειμενική Συνάρτηση
pop_size	Μέγεθος του πληθυσμού (χρωμοσώματα)
$p_c$	Πιθανότητα Διασταύρωσης
$p_m$	Πιθανότητα Μετάλλαξης
K	Αριθμός Γενεών (επαναλήψεις του αλγορίθμου)

## A. Θεωρία

### 3. Σύνοψη για τον Γενετικό Αλγόριθμο

#### 2. Πλεονεκτήματα των Γενετικών Αλγορίθμων

1. Μπορούν να επιλύουν δύσκολα προβλήματα γρήγορα και αξιόπιστα.
2. Μπορούν εύκολα να συνεργαστούν με τα υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα
3. Είναι εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι.
4. Μπορούν να συμμετέχουν σε υβριδικές μορφές με άλλες μεθόδους.
5. Εφαρμόζονται σε πολύ περισσότερα πεδία από κάθε άλλη μέθοδο.
6. Δεν απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται.
7. Δεν ενδιαφέρει η σημασία της υπό εξέταση πληροφορίας.
8. Είναι μία μέθοδος που κάνει ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας.
9. Επιδέχονται παράλληλη υλοποίηση.

## Β. Ασκήσεις

### Εφαρμογή 1

Δίνεται ο ακόλουθος πληθυσμός συμβολοσειρών με τις αντίστοιχες καταλληλότητες, στη γενιά 0:

	Χρωμόσωμα	Καταλληλότητα
A	011101	5
B	101001	1
C	111001	4
D	010000	2
E	011001	4
F	111101	4

Θεωρήστε ότι:

- ο Γενετικός Αλγόριθμος χρησιμοποιεί τελεστή επιλογής που βασίζεται στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε άτομο (κάθε άτομο επιλέγεται ανάλογα με την απόδοσή του) και εκτελεί πλήρη αντικατάσταση των ατόμων κάθε γενιάς (κανένας γονέας δεν αντιγράφεται απευθείας στην επόμενη γενιά),
- η επιλογή των ατόμων που θα συμμετέχουν στη διασταύρωση γίνεται με βάση τον τελεστή επιλογής και τους τυχαίους αριθμούς που προέκυψαν από τη γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Ο τελεστής διασταύρωσης είναι μονού σημείου με πιθανότητα διασταύρωσης 1.0, με το σημείο διασταύρωσης να επιλέγεται τυχαία,
- η πιθανότητα μετάλλαξης είναι ίση με 0, και
- τα δύο παιδιά που προκύπτουν από μία διασταύρωση προστίθενται στον πληθυσμό της επόμενης γενιάς. Επίσης δίνεται η παρακάτω λίστα τυχαίων αριθμών που έχει παραχθεί με χρήση μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών: 0.12, 0.63, 0.20, 0.35, 0.48, 0.93, 0.51, 0.46, 0.28, 0.15, 0.52, 0.81, 0.65, 0.25, 0.73.

## Β. Ασκήσεις

### Εφαρμογή 2

Δίνεται ο εξής πληθυσμός συμβολοσειρών τη γενιά 0: A=11011, B=01011, C=11001, και D=10111, με τις παρακάτω καταλληλότητες:  $f(A) = 2$ ,  $f(B) = 1$ ,  $f(C) = 3$ , και  $f(D) = 4$ . Επίσης δίνεται η παρακάτω λίστα τυχαίων αριθμών που έχει παραχθεί με χρήση μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών:

0.25, 0.73, 0.15, 0.52, 0.81, 0.65, 0.15, 0.52, 0.81, 0.65, 0.25, 0.73, 0.15.

Θεωρήστε ότι:

- ο Γ.Α. χρησιμοποιεί τελεστή επιλογής που βασίζεται στην απόδοση της αντικειμενικής συνάρτησης κάθε ατόμου (κάθε άτομο επιλέγεται ανάλογα με την απόδοσή του) και πλήρη αντικατάσταση των ατόμων κάθε γενιάς (κανένας γονέας δεν αντιγράφεται στην επόμενη γενιά).
- η πιθανότητα μετάλλαξης είναι ίση με 0.
- η επιλογή των ατόμων που θα συμμετέχουν στη διασταύρωση γίνεται με βάση τον τελεστή επιλογής και τους τυχαίους αριθμούς που προέκυψαν από τη γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Ο τελεστής διασταύρωσης είναι μονού σημείου με πιθανότητα διασταύρωσης 1.0, με το σημείο διασταύρωσης να επιλέγεται.
- Και τα δύο παιδιά που προκύπτουν από μία διασταύρωση προστίθενται στον πληθυσμό της επόμενης γενιάς.

- (α) Τη ρουλέτα για την επιλογή των ατόμων από τη γενιά 0. Να φαίνεται το ποσοστό που αντιστοιχεί σε κάθε άτομο του αρχικού πληθυσμού και ο προσωρινός πληθυσμός.
- (β) Να εφαρμόσετε την διασταύρωση των ζευγών του πληθυσμού που προέκυψαν κατά τη γενιά 1.

Να υπολογίσετε τα ακόλουθα:

- (α) Τη ρουλέτα που χρησιμοποιείτε για την επιλογή των ατόμων από τη γενιά 0. Να φαίνεται καθαρά το ποσοστό που αντιστοιχεί σε κάθε άτομο του αρχικού πληθυσμού και τον προσωρινό πληθυσμό.
- (β) Τον πληθυσμό των ατόμων στη γενιά 1.



## Β. Ασκήσεις

### Εφαρμογή 3

Να επιλέξετε την/τις σωστή/σωστές απάντηση/απαντήσεις.

**(α1)** Κατά τη χρήση των Γενετικών Αλγορίθμων έχουμε μια διαδικασία εξέλιξης που εφαρμόζεται πάνω σε έναν πληθυσμό χρωμοσωμάτων και η οποία αντιστοιχεί σε μία εκτενή αναζήτηση μέσα σε ένα χώρο από πιθανές λύσεις. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχημένη έκβαση μιας τέτοιας διαδικασίας αναζήτησης αποτελεί η εξισορρόπηση δύο αντικρουόμενων διαδικασιών.

Ποιες είναι αυτές;

1. της αξιολόγησης όλων των λύσεων.
2. της εκμετάλλευσης και διατήρησης των καλύτερων λύσεων.
3. της όσο το δυνατόν καλύτερης εξερεύνησης όλου του διαστήματος.
4. το 1 και το 3.
5. το 2 και το 3.

**(α2)** Ποια είναι η βασική διαφορά των Γενετικών Αλγορίθμων (ΓΑ) σε σχέση με άλλες μεθόδους αναζήτησης;

1. Είναι η μόνη μέθοδος που εξασφαλίζει τη βέλτιστη λύση.
2. Εξελίσσουν ένα πληθυσμό λύσεων σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους που επεξεργάζονται μόνο ένα σημείο του χώρου αναζήτησης.
3. Οι ΓΑ είναι μέθοδοι τοπικής και ολικής αναζήτησης.
4. Το 1 και το 2.
5. Κανένα από τα παραπάνω.

**(α3)** Διαισθητικά σε τι εξυπηρετεί ο γενετικός τελεστής της διασταύρωσης και σε τι ο γενετικός τελεστής της μετάλλαξης κατά τη διαδικασία της εξέλιξης ενός πληθυσμού;

1. Είναι οι δύο βασικοί γενετικοί τελεστές.
2. Βοηθούν στην εκμετάλλευση της πληροφορίας που παράγεται.
3. Ο πρώτος εξυπηρετεί την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ πιθανών λύσεων και ο δεύτερος εξυπηρετεί την εισαγωγή νέων πιθανών λύσεων.
4. Το 1 και το 3.
5. Κανένα από τα παραπάνω.

**(α4)** Η βασική δομή ενός Γενετικού Αλγορίθμου αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

1. Αρχικοποίηση
2. Αποκωδικοποίηση
3. Υπολογισμός ικανότητας ή αξιολόγηση.
4. Αναπαραγωγή
  1. Επιλογή
  2. Διασταύρωση
  3. Μετάλλαξη

Επανάληψη από το βήμα (2) μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού του ΓΑ

Σε έναν απλό Γενετικό Αλγόριθμο, ποιο ή ποια από αυτά τα βήματα μπορεί να παραληφθεί;

1. Το βήμα 1.
2. Το βήμα 1 και το 4.II.
3. Το βήμα 1 και το 4.III.
4. Το βήμα 4.II ή το 4.III.
5. Κανένα.