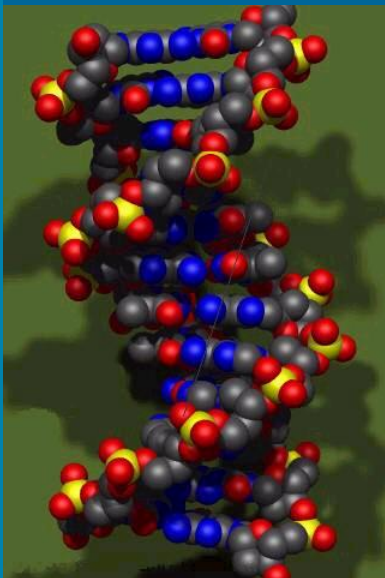




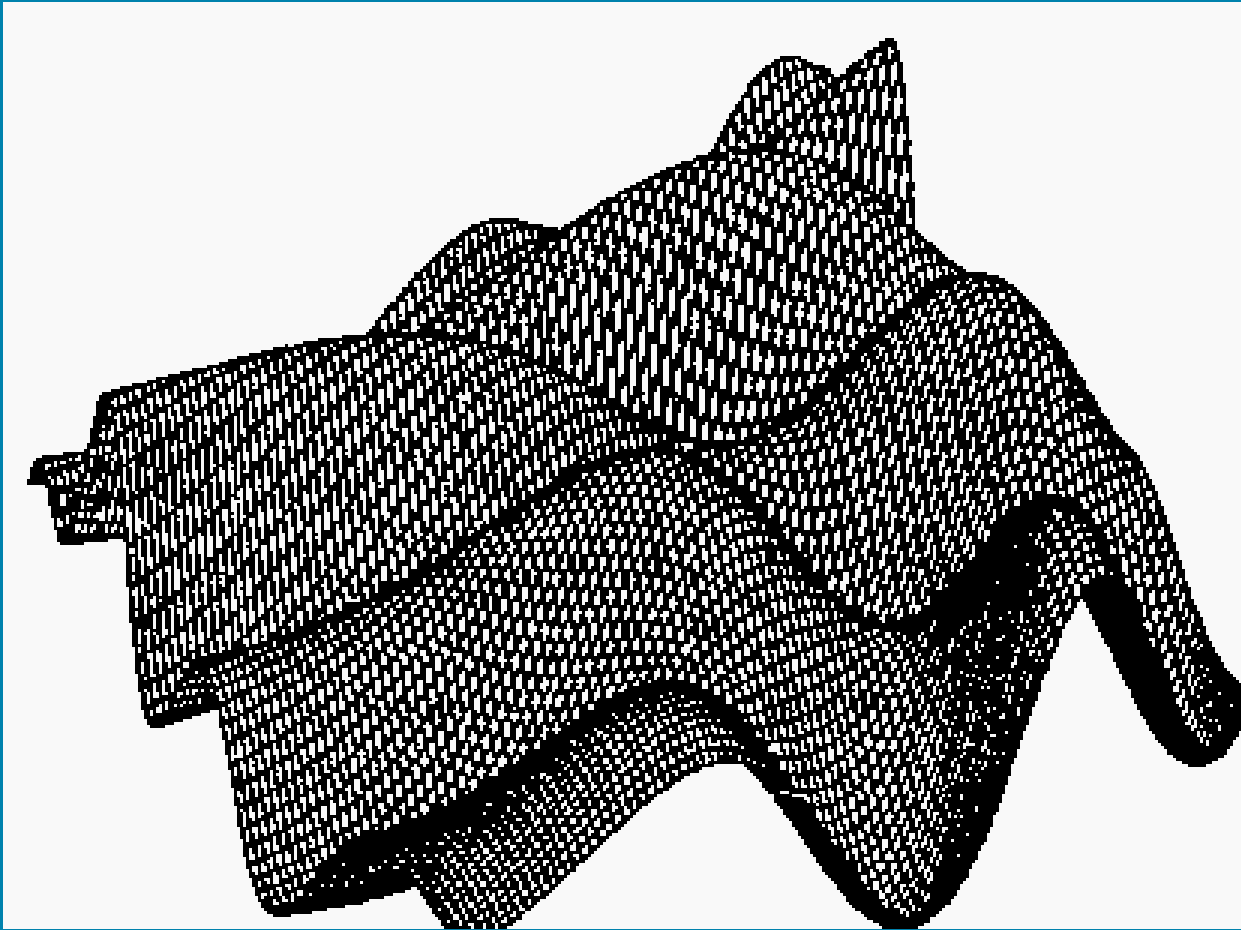
Εξελικτικός υπολογισμός

Γενετικοί αλγόριθμοι



Βελτιστοποίηση χωρίς παραγώγους

Η Πληθυσμιακή προσέγγιση



Το
ΤΟΠΙΟ
ΤΩΝ
ΛΥΣΕΩΝ

Θεωρία της εξέλιξης

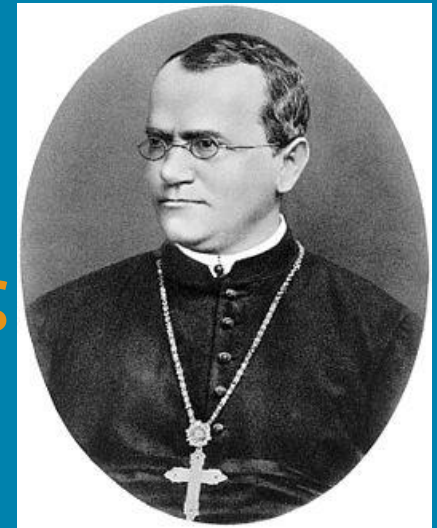
Jean-Baptiste Lamarck (1744 – 1829)

Κληρονόμηση επίκτητων
χαρακτηριστικών (Λαμαρκισμός)



Gregor Johann Mendel (1822 – 1884)

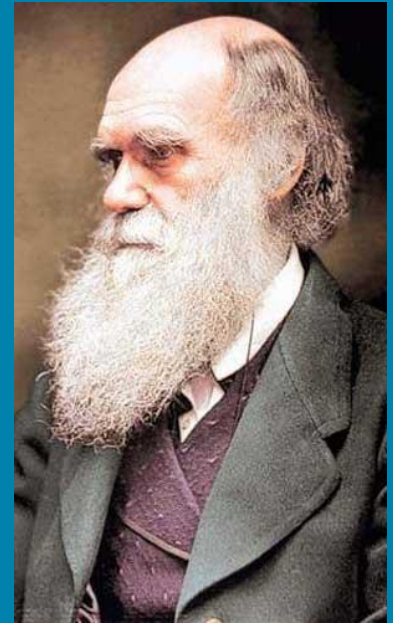
Νόμοι της Μεντελιανής Κληρονομικότητας
Πατέρας της γενετικής (μετά θάνατον)



«Τι θα είχε συμβεί αν ο Darwin γνώριζε τον Mendel;»

Θεωρία της εξέλιξης

Charles Robert Darwin
(1809 – 1882)



Εξέλιξη

Διαδικασία που οδηγεί στην αύξηση
της ικανότητας ενός πληθυσμού
να επιβιώνει και να αναπαράγεται
σε ένα δεδομένο περιβάλλον

Εξελικτική προσαρμογή
Φυσική επιλογή

ON
THE ORIGIN OF SPECIES
BY MEANS OF NATURAL SELECTION.
OR THE
PRESERVATION OF FAVOURED RACES IN THE STRUGGLE
FOR LIFE.

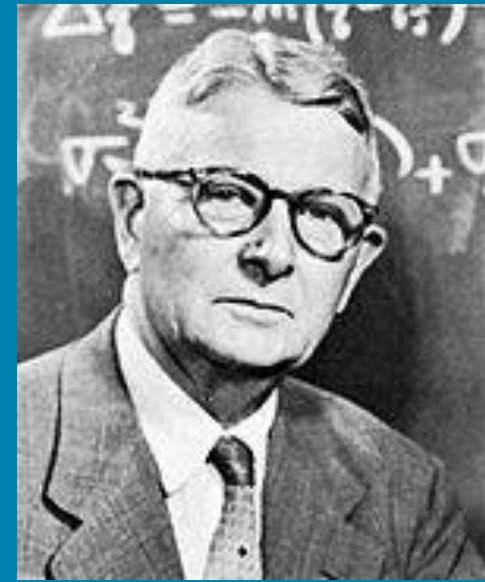
By CHARLES DARWIN, M.A.,
FELLOW OF THE ROYAL, GEOLOGICAL, LINNEAN, ETC., SOCIETIES;
AUTHOR OF "JOURNAL OF RESEARCHES DURING N. H. S. DARWIN'S VOYAGE
ROUND THE WORLD."

LONDON:
JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET.
1859.

The right of Translation is reserved.

Θεωρία της εξέλιξης

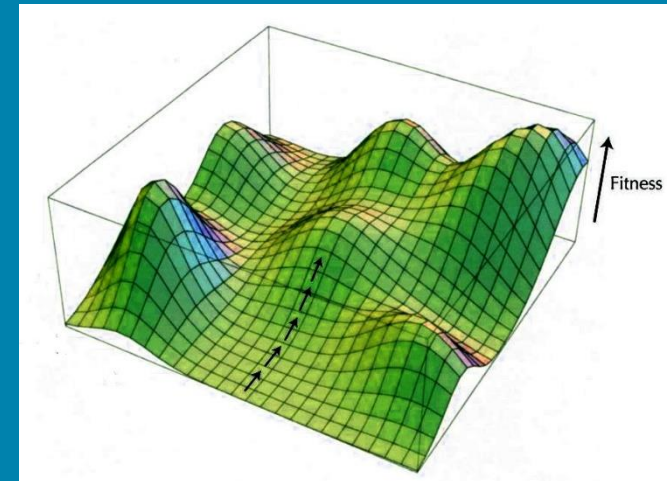
Sewall Green Wright
(1889 – 1988)



Πληθυσμιακή γενετική

Τοπίο προσαρμογής

Οι κορυφές αντιστοιχούν
στη βέλτιστη προσαρμογή
των ειδών



Wright, S. "The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution". Proc. 6th Int. Cong. Genet. 1932.

Εξελικτικός υπολογισμός

Evolutionary computation

Γενετικοί αλγόριθμοι (genetic algorithms)

J. Holland (1975), D.E. Goldberg (1989),
Z. Michalewicz (1996)

Στρατηγικές εξέλιξης (evolution strategies)

I. Rechenberg (1965), H.-P. Schwefel (1981)

Γενετικός προγραμματισμός (genetic programming)

J.R. Koza (1992)

CiteSeer^x 10M

[Most Cited Articles](#)
[Most Cited Citations](#)
[Most Cited Authors](#)
[Venue Impact Ratings](#)

Most Cited Computer Science Citations

This list is generated from documents in the CiteSeer^x database as of March 19, 2015. This list is automatically generated and may contain errors. The list is generated in batch mode and citation counts may differ from those currently in the CiteSeer^x database, since the database is continuously updated.

[All Years](#) | [1990](#) | [1991](#) | [1992](#) | [1993](#) | [1994](#) | [1995](#) | [1996](#) | [1997](#) | [1998](#) | [1999](#) | [2000](#) | [2001](#) | [2002](#) | [2003](#) | [2004](#) | [2005](#) | [2006](#) | [2007](#) | [2008](#) | [2009](#) | [2010](#) | [2011](#) | [2012](#) | [2013](#) | [2014](#) | [2015](#)

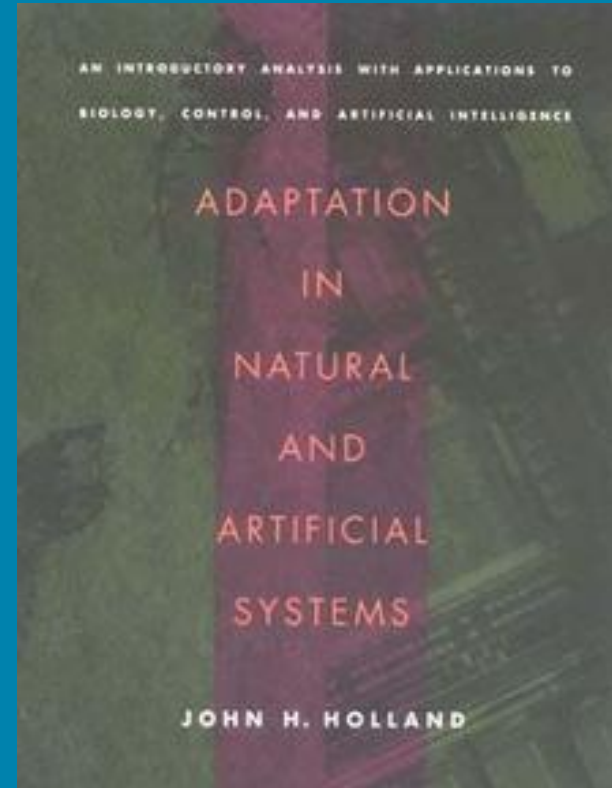
1. M R Garey, D S Johnson
[Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NPCompleteness"](#) W.H. Feeman and 1979 **NP complete**
 11468
2. J Sambrook, E F Fritsch, T Maniatis
[Molecular Cloning: A Laboratory Manual, Vol. 1, 2nd edn](#) Nucleic Acids Research, 1989
 10362
3. V Vapnik
[Statistical Learning Theory.](#) 1998 **SVM**
 9898
4. T M Cover, J A Thomas
[Elements of Information Theory](#) Series in Telecommunications, 1991 **Cover's theorem**
 9198
5. U K Laemmli
[Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4.](#) Nature 227:680–685 1970
 9092
6. T H Cormen, C E Leiserson, R L Rivest, C Stein
[Introduction to Algorithms.](#) 1990
 9039
7. A P Dempster, N M Laird, D B Rubin
[Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm.](#) 1977 **statistical models with latent variables**
 8999
8. D E Goldberg
[Genetic Algorithms](#) in Search, Optimization and Machine Learning, 1989 **Genetic Algorithms**
 8261
9. J Pearl
[Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems](#) 1988 **Probabilistic Reasoning - uncertainty**
 7473
10. C E Shannon, W Weaver
[The Mathematical Theory of Communication](#) 1949
 7077

Γενετικοί αλγόριθμοι

John Henry Holland (1929-2015)

Professor of psychology

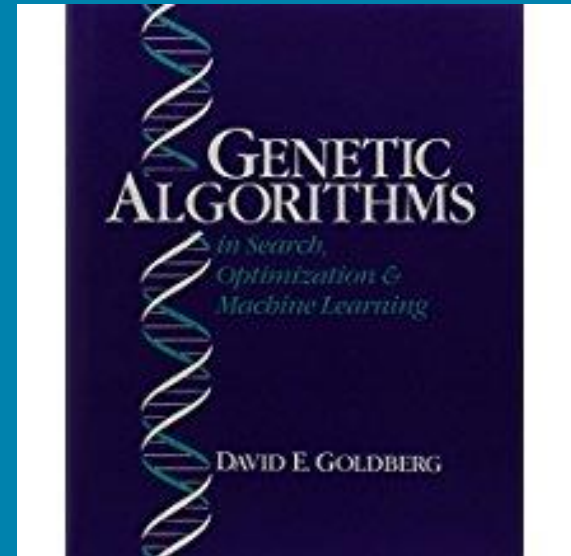
Professor of electrical engineering
and computer science



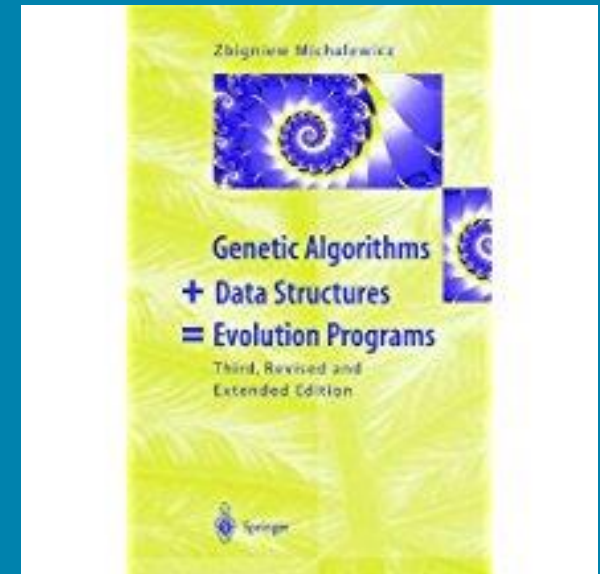
Γενετικοί αλγόριθμοι



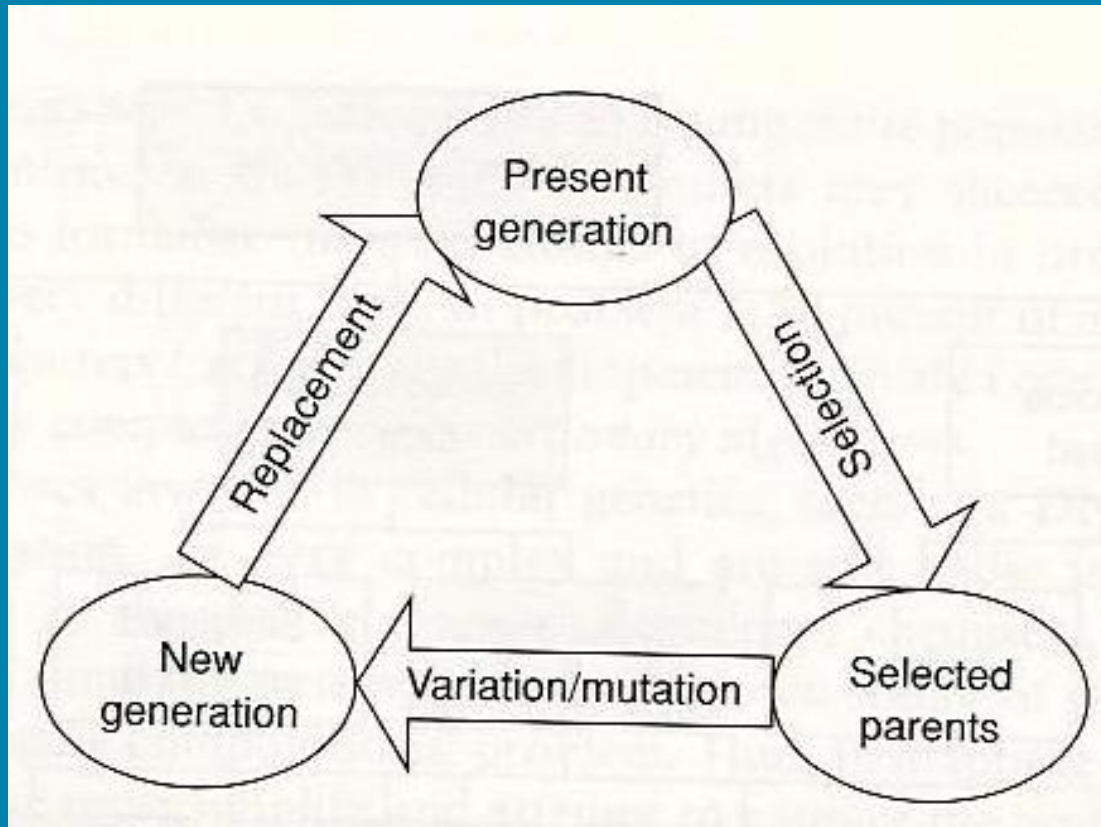
David E. Goldberg



Zbigniew
Michalewicz



Προσομοίωση της διαδικασίας εξέλιξης



Πληθυσμιακή
βελτιστοποίηση

Ο βασικός εξελικτικός κύκλος

Γενετικοί αλγόριθμοι

Ορολογία

- Πληθυσμός
- Χρωμόσωμα
- Κωδικοποίηση
- Συνάρτηση προσαρμογής (Fitness function)
- Επιλογή (Selection)
- Ελιτισμός (Elitism)
- Κλωνοποίηση (Cloning)
- Διασταύρωση (Crossover)
- Μετάλλαξη (Mutation)

Συμβολισμός

$P(t)$: Πληθυσμός

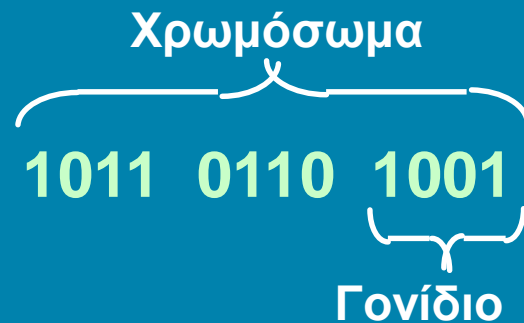
N : Μέγεθος πληθυσμού

L : Μήκος χρωμοσωμάτων

Γενετικοί αλγόριθμοι

Δυαδική κωδικοποίηση

(11, 6, 9)



Διασταύρωση

1 0 0 1 1 1 1 0
1 0 1 1 0 0 1 0



1 0 0 1 0 0 1 0
1 0 1 1 1 1 1 0

Σημείο διασταύρωσης

Μετάλλαξη

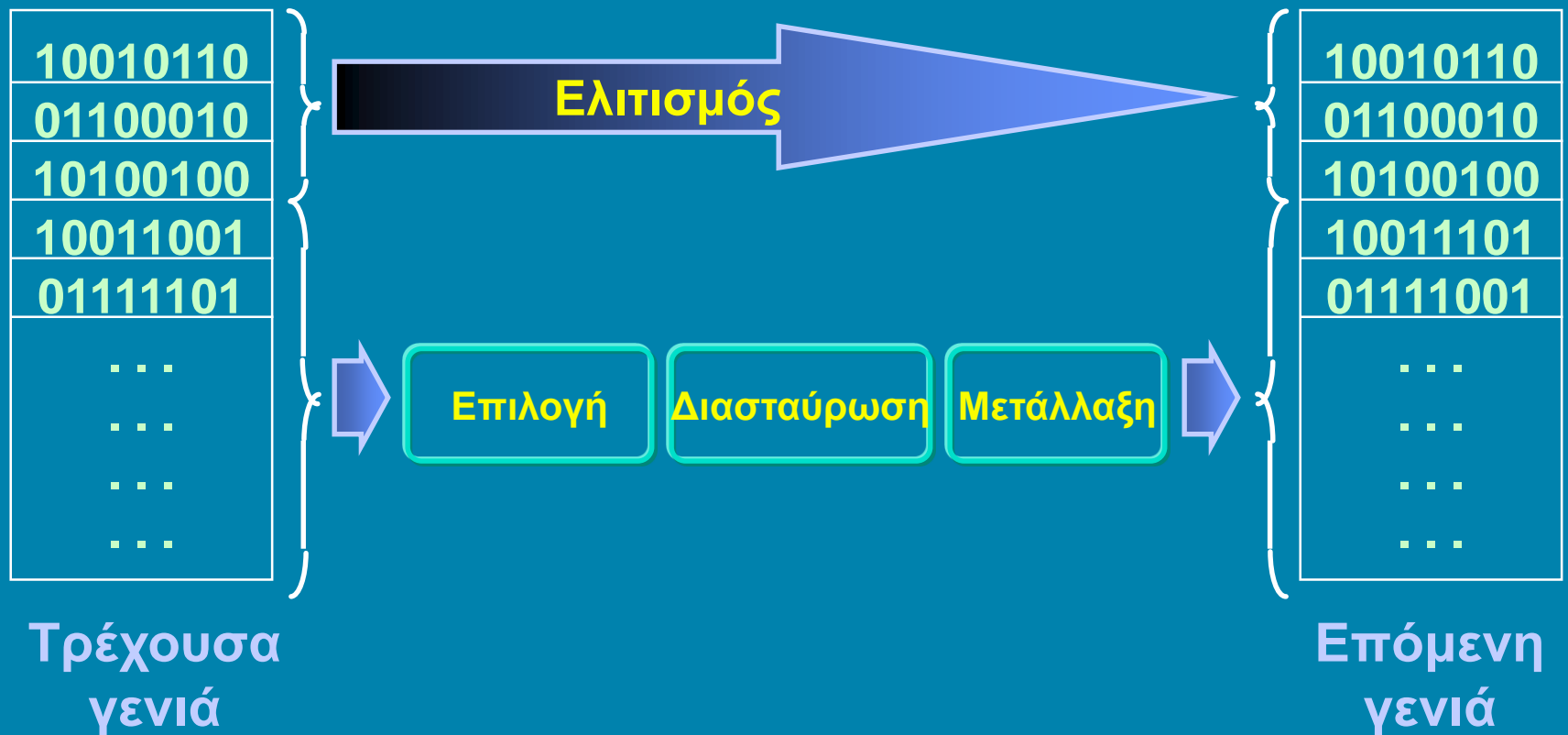
1 0 0 1 1 1 1 0



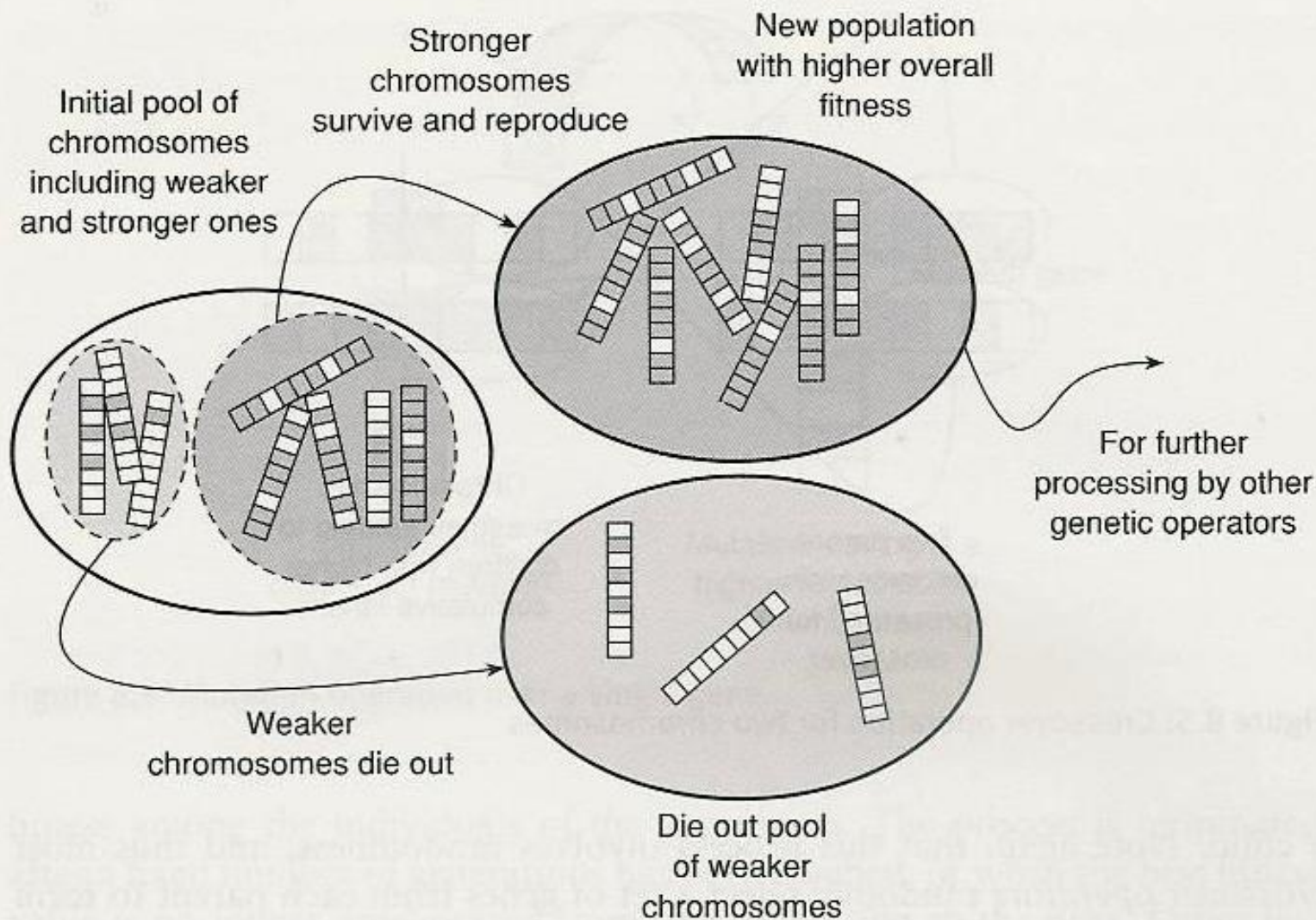
1 0 0 1 1 0 1 0

Ψηφίο μετάλλαξης

Γενετικοί αλγόριθμοι



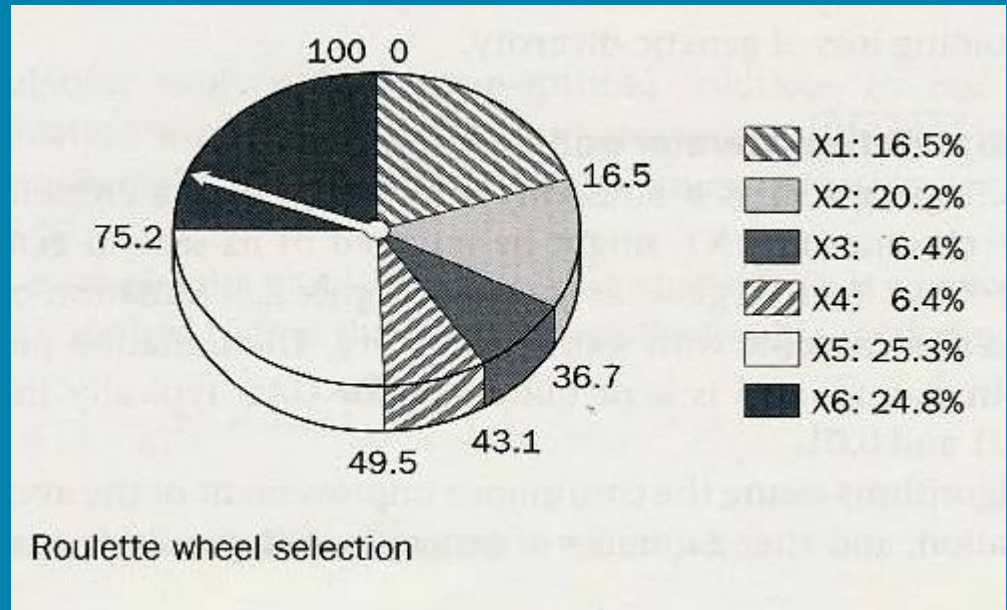
Επιλογή



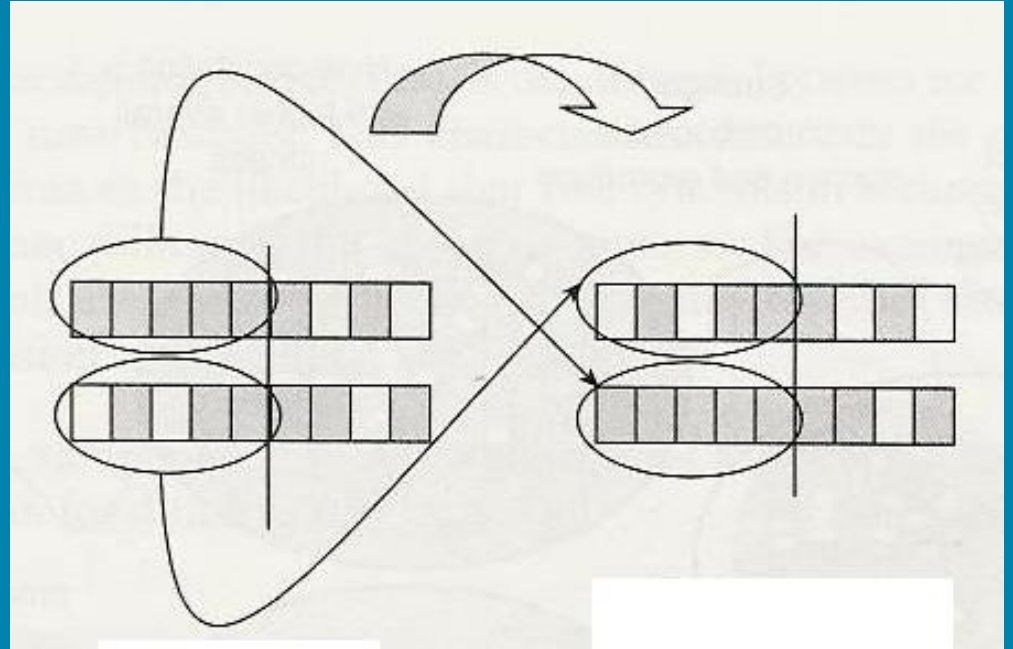
“Survival of the fittest”

Επιλογή: Μηχανισμός ρουλέτας

$$\Pr(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_j f(x_j)}$$

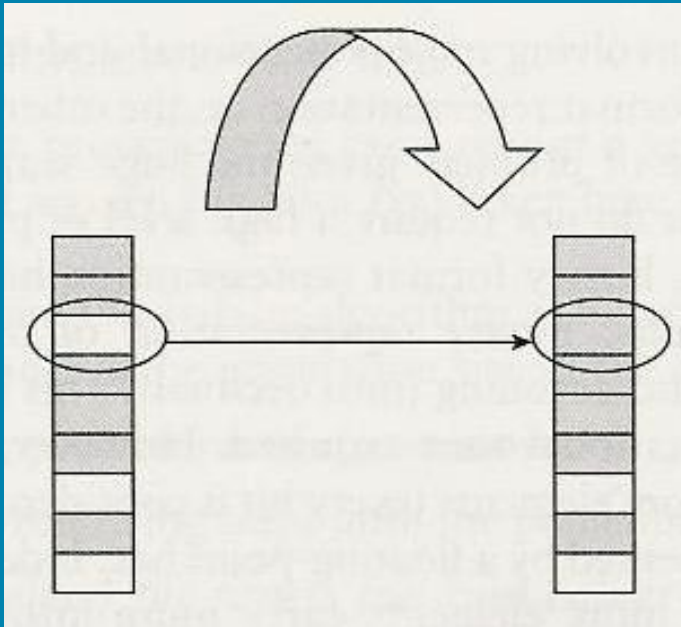


Διασταύρωση

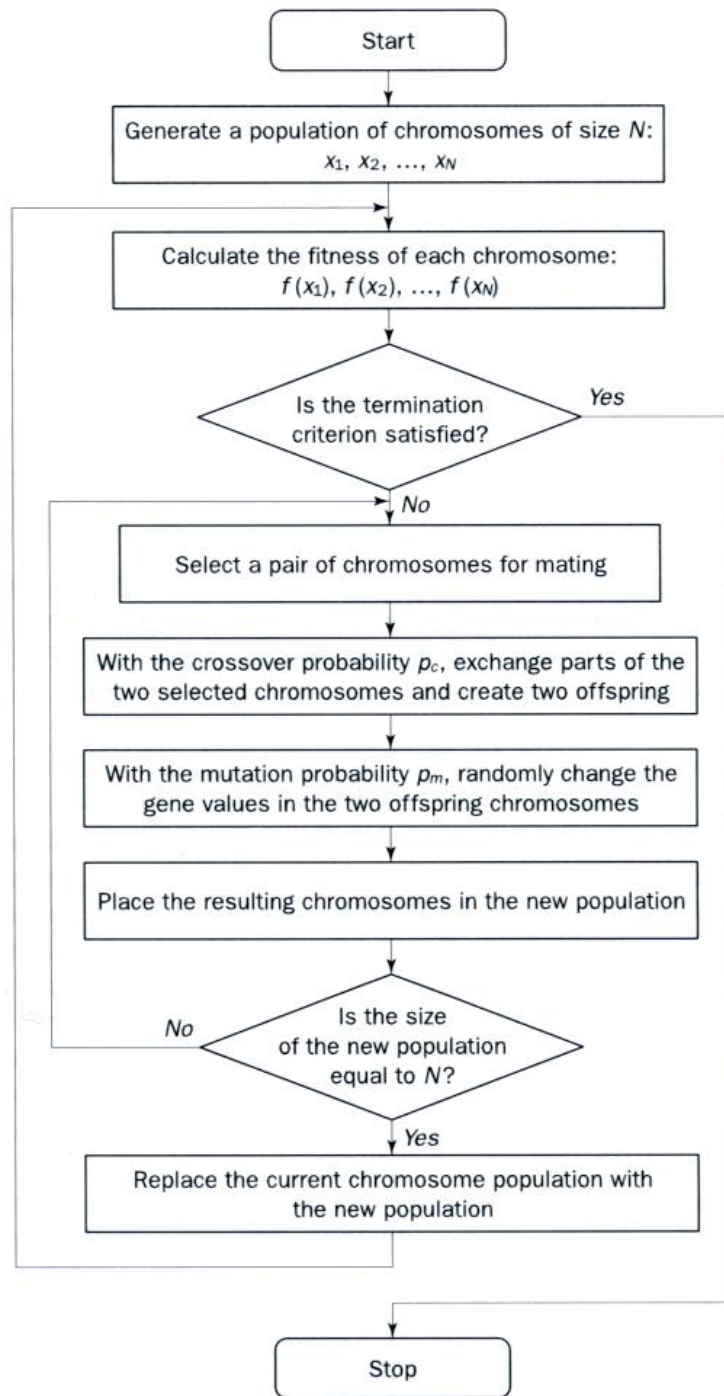


Αύξηση
ποικιλίας

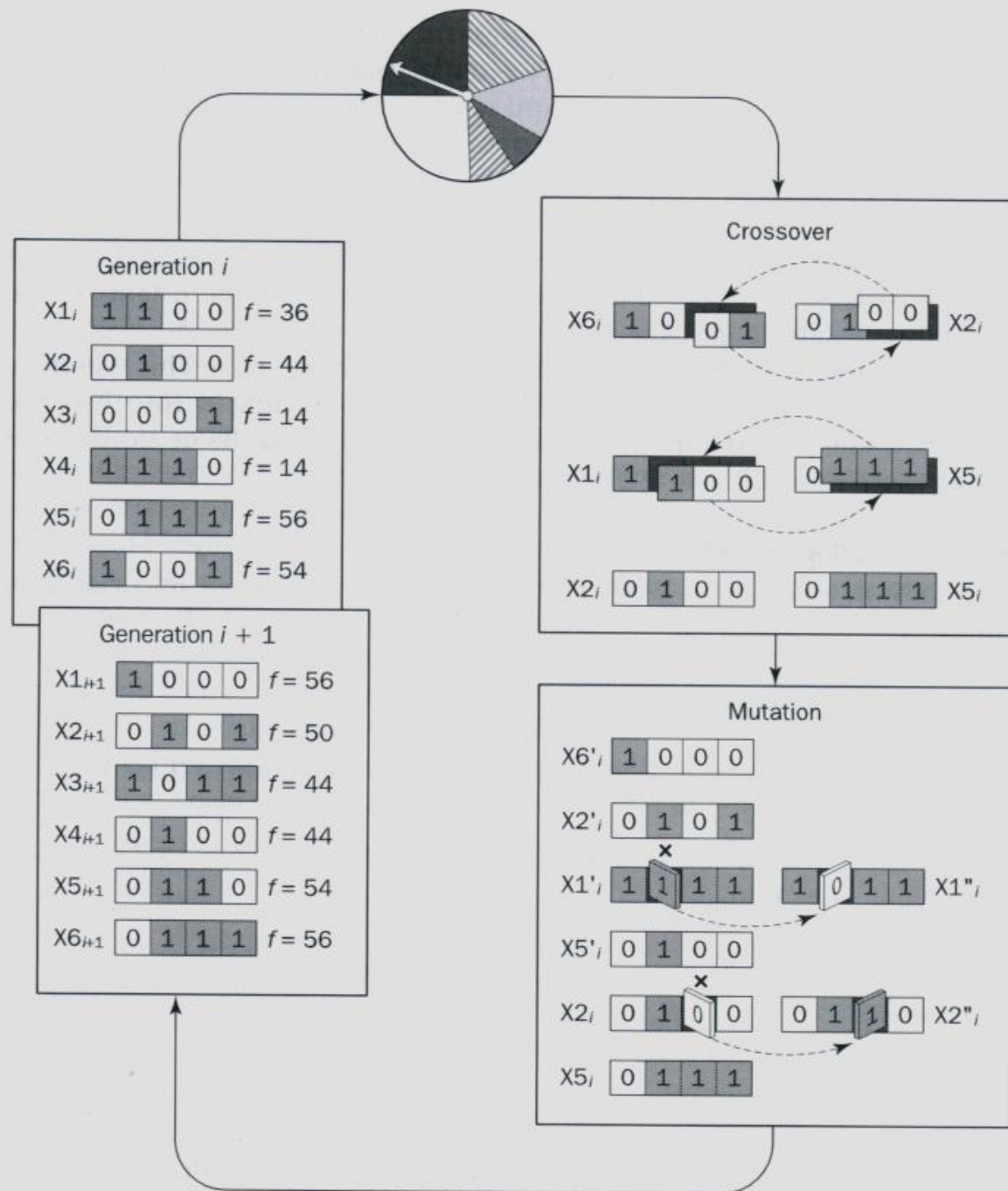
Μετάλλαξη



Βασικός Γενετικός Αλγόριθμος



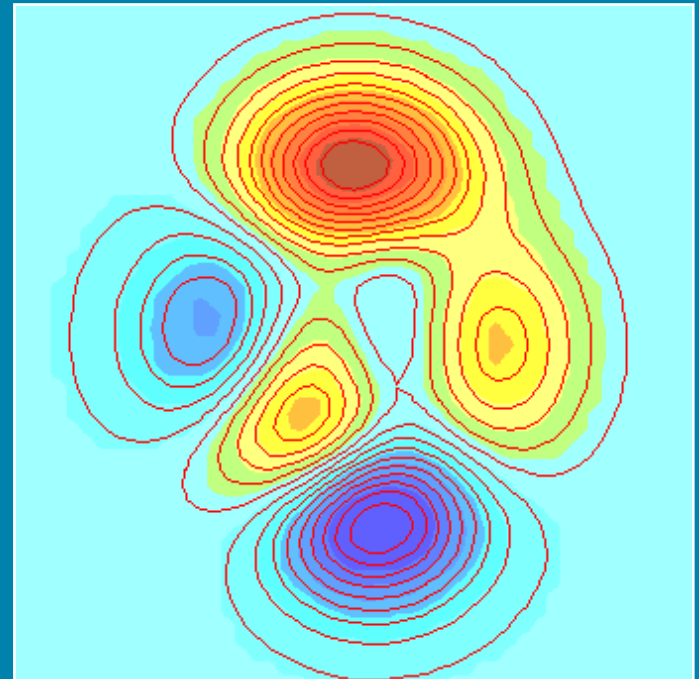
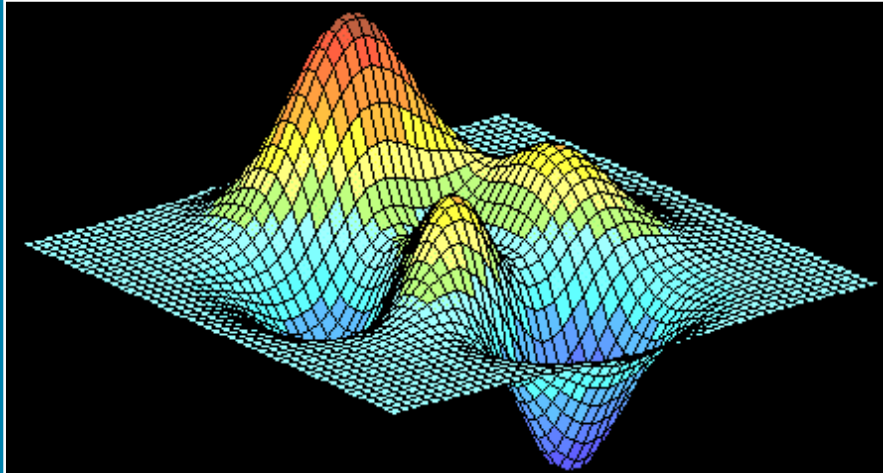
Γενετικός κύκλος



Γενετικοί αλγόριθμοι

Παράδειγμα: Εύρεση του μεγίστου της συνάρτησης “peaks”

$$z = f(x, y) = 3*(1-x)^2*\exp(-(x^2) - (y+1)^2) - 10*(x/5 - x^3 - y^5)*\exp(-x^2-y^2) - 1/3*\exp(-(x+1)^2 - y^2).$$

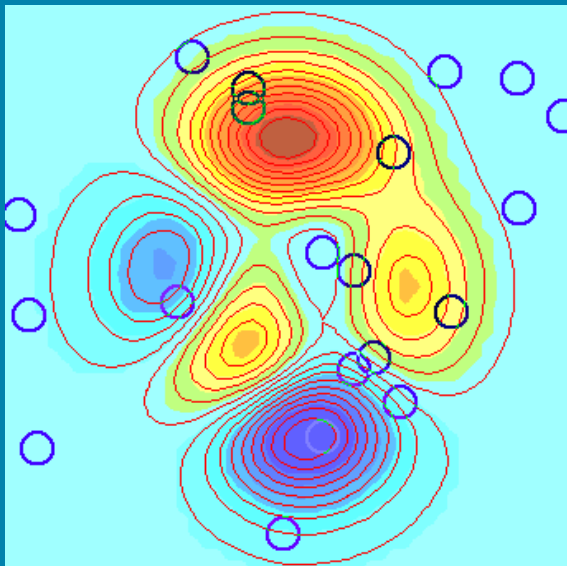


Γενετικοί αλγόριθμοι

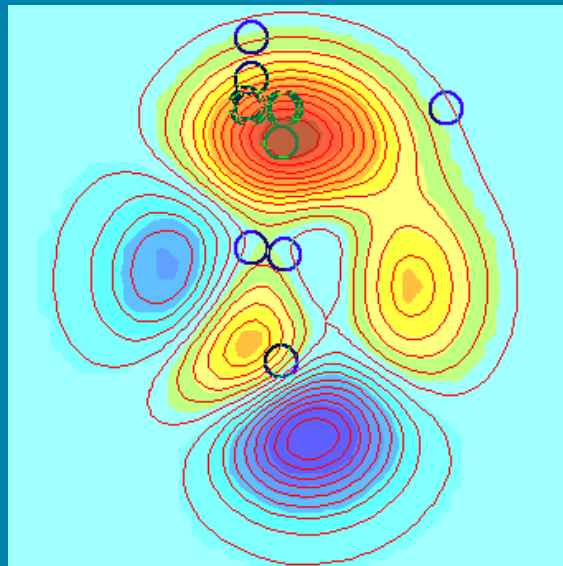
Παράγωγοι της συνάρτησης “peaks”

- $dz/dx = -6*(1-x)*\exp(-x^2-(y+1)^2) - 6*(1-x)^2*x*\exp(-x^2-(y+1)^2) - 10*(1/5-3*x^2)*\exp(-x^2-y^2) + 20*(1/5*x-x^3-y^5)*x*\exp(-x^2-y^2) - 1/3*(-2*x-2)*\exp(-(x+1)^2-y^2)$
- $dz/dy = 3*(1-x)^2*(-2*y-2)*\exp(-x^2-(y+1)^2) + 50*y^4*\exp(-x^2-y^2) + 20*(1/5*x-x^3-y^5)*y*\exp(-x^2-y^2) + 2/3*y*\exp(-(x+1)^2-y^2)$
- $d^2z/dx^2 = 36*x*\exp(-x^2-(y+1)^2) - 18*x^2*\exp(-x^2-(y+1)^2) - 24*x^3*\exp(-x^2-(y+1)^2) + 12*x^4*\exp(-x^2-(y+1)^2) + 72*x*\exp(-x^2-y^2) - 148*x^3*\exp(-x^2-y^2) - 20*y^5*\exp(-x^2-y^2) + 40*x^5*\exp(-x^2-y^2) + 40*x^2*\exp(-x^2-y^2)*y^5 - 2/3*\exp(-(x+1)^2-y^2) - 4/3*\exp(-(x+1)^2-y^2)*x^2 - 8/3*\exp(-(x+1)^2-y^2)*x$
- $d^2z/dy^2 = -6*(1-x)^2*\exp(-x^2-(y+1)^2) + 3*(1-x)^2*(-2*y-2)^2*\exp(-x^2-(y+1)^2) + 200*y^3*\exp(-x^2-y^2) - 200*y^5*\exp(-x^2-y^2) + 20*(1/5*x-x^3-y^5)*\exp(-x^2-y^2) - 40*(1/5*x-x^3-y^5)*y^2*\exp(-x^2-y^2) + 2/3*\exp(-(x+1)^2-y^2) - 4/3*y^2*\exp(-(x+1)^2-y^2)$

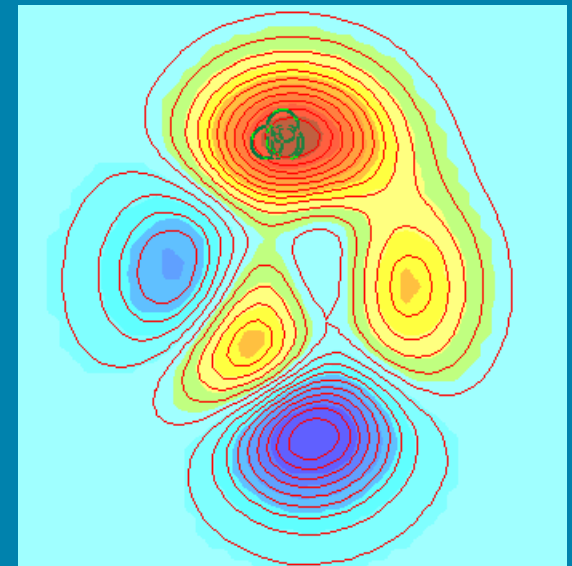
Γενετικοί αλγόριθμοι



Αρχικός πληθυσμός



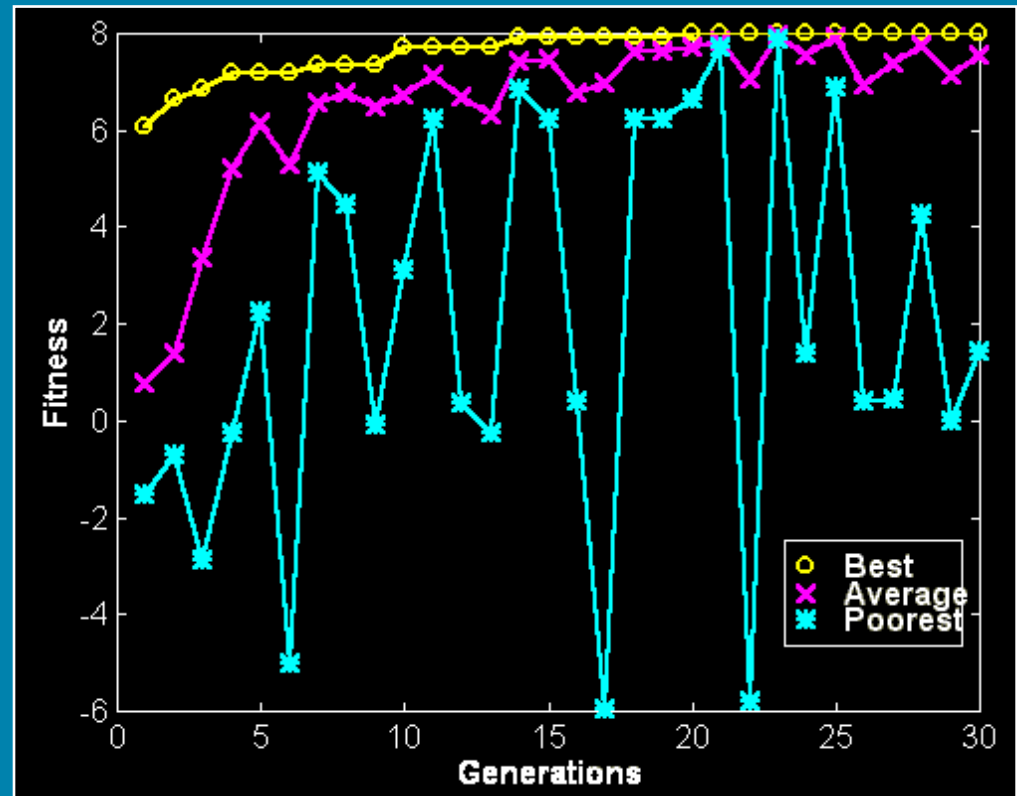
5η γενιά



10η γενιά

Γενετικοί αλγόριθμοι

Γράφημα επίδοσης



Πρόωρη σύγκλιση

“Exploitation vs
exploration”

Μείωση ποικιλίας

Genetic drift

File Exchange

DEMO

Global Optimization with MATLAB

by [Stuart Kozola](#)

08 Apr 2010 (Updated 01 Sep 2018)

Demo files from the 2010 webinar "Global Optimization with MATLAB Products"

[Watch this File](#)

4.8 | 10 ratings

[Rate this file](#)

50 Downloads (last 30 days)

File Size: 1.16 MB

File ID: #27178

Version: 1.0.0.1

File Information

Description This submission contains the demo files used in the Global Optimization with MATLAB webinar:
<http://www.mathworks.com/videos/global-optimization-with-matlab-products-81716.html>
MultStart Demos

- * Peaks Minimization
- * Nonlinear Curve Fitting

GlobalSearch Demos

- * Peaks Minimization
- * Volumetric Efficiency Maximization

Simulated Annealing Demos

- * Peaks Minimization
- * Eight Queens Problem
- * Galactic Traveling Salesman

Pattern Search Demos

- * Peaks Minimization
- * Mount Washington Demo

Genetic Algorithm Demos

- * Peaks Minimization
- * Rastrigin's Function Minimization
- * Partial Swarm Example
- * Multiobjective Genetic Algorithm

Comparison of Solvers on Rastrigin's Function

- * Comparison of Multiple Solvers on Rastrigin's

Γενετικοί αλγόριθμοι

Δυνατότητες - Περιορισμοί

Επεκτάσεις – Παραλλαγές

Άλλες κωδικοποιήσεις/τελεστές

- πραγματικοί αριθμοί (Michalewicz, 1996)
- πίνακες, λίστες, αντικείμενα
- εξάρτηση από το πρόβλημα

Προσαρμογή παραμέτρων

Παράλληλες υλοποιήσεις

Δυαδική κωδικοποίηση

Το θεώρημα των σχημάτων (Holland)

Σχήμα (Schema) = Ακολουθία που περιλαμβάνει 0, 1 και '*' ("don't care")

Π.χ. το σχήμα

1	*	*	0
---	---	---	---

παριστάνει το σύνολο
των δυαδικών ακολουθιών
(χρωμοσωμάτων)

1	1	1	0
1	1	0	0
1	0	1	0
1	0	0	0

Μια δυαδική ακολουθία μήκους L είναι εκπρόσωπος (στιγμιότυπο) καθενός από τα 2^L διαφορετικά σχήματα με τα οποία ταιριάζει.

Επίδραση της επιλογής

$\alpha(s,t)$: Αριθμός στιγμιοτύπων του σχήματος s
στον πληθυσμό τη στιγμή (γενιά) t

$f(x)$: Τιμή προσαρμογής της ακολουθίας x

$\bar{f}(s,t)$: Μέση τιμή προσαρμογής των στιγμιοτύπων
του σχήματος s στον πληθυσμό τη στιγμή t

$\bar{F}(t)$: Μέση τιμή προσαρμογής όλων των μελών
του πληθυσμού τη στιγμή t

Πιθανότητα
επιλογής

$$\text{Pr}(x) = \frac{f(x)}{\sum_j f(x_j)} = \frac{f(x)}{N \bar{F}(t)}$$

Επίδραση της επιλογής

Πιθανότητα επιλογής στιγμιοτύπου του σχήματος s :

$$\Pr(x \in s) = \sum_{x \in s \cap P(t)} \frac{f(x)}{N F(t)} = \frac{f(s, t)}{N F(t)} \alpha(s, t)$$

Αναμενόμενος αριθμός στιγμιοτύπων του σχήματος s από τις N ανεξάρτητες επιλογές:

$$E[\alpha(s, t + 1)] = \frac{f(s, t)}{F(t)} \alpha(s, t)$$

Επίδραση της διασταύρωσης

p_c : Πιθανότητα εφαρμογής του τελεστή διασταύρωσης σε ένα μέλος του πληθυσμού

$l(s)$: Ορίζον μήκος (defining length) του σχήματος s
(απόσταση μεταξύ των ακραίων ορισμένων ψηφίων)

Πιθανότητα επιβίωσης του σχήματος s (πιθανότητα ένα τυχαίο μέλος του πληθυσμού που εκπροσωπεί το σχήμα s να εξακολουθεί να το εκπροσωπεί μετά την εφαρμογή της διασταύρωσης):

$$p^c(s) = 1 - p_c \frac{l(s)}{L-1}$$

Επίδραση της μετάλλαξης

p_m : Πιθανότητα μετατροπής ενός ψηφίου ενός μέλους του πληθυσμού με εφαρμογή του τελεστή μετάλλαξης

$\tau(s)$: Αριθμός των ορισμένων ψηφίων του σχήματος s

Πιθανότητα επιβίωσης του σχήματος s (πιθανότητα ένα τυχαίο μέλος του πληθυσμού που εκπροσωπεί το σχήμα s να εξακολουθεί να το εκπροσωπεί μετά την εφαρμογή της μετάλλαξης):

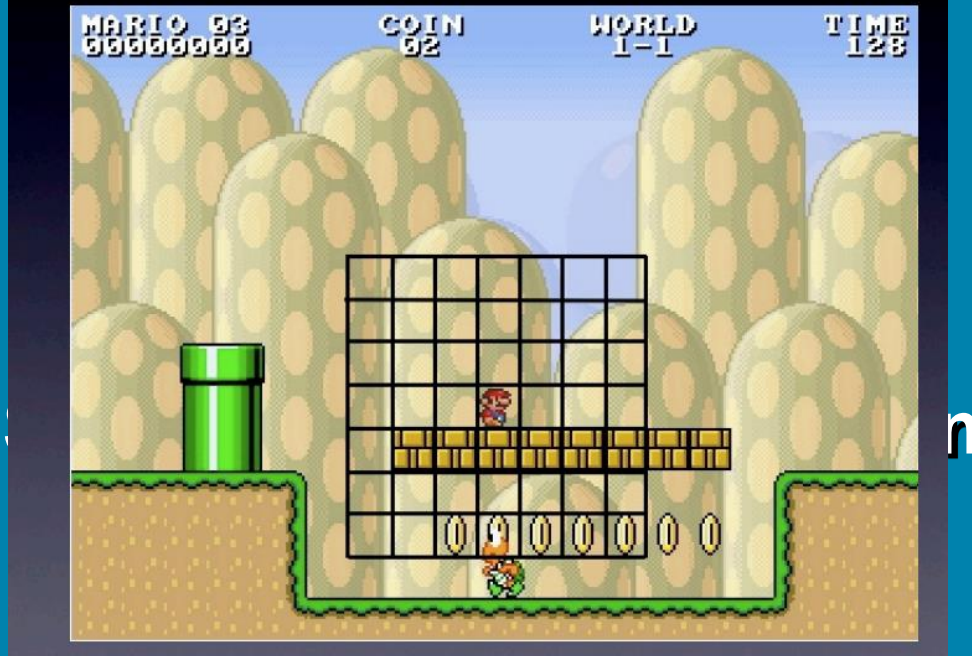
$$p^m(s) = (1 - p_m)^{\tau(s)}$$

Εξίσωση ανάπτυξης των σχημάτων

Κάτω φράγμα της αναμενόμενης συχνότητας του σχήματος s (λαμβάνοντας υπόψη μόνο την αρνητική επίδραση των τελεστών διασταύρωσης και μετάλλαξης):

$$E[\alpha(s, t + 1)] \geq \frac{f(s, t)}{F(t)} \alpha(s, t) \left(1 - p_c \frac{l(s)}{L - 1} \right) (1 - p_m)^{\tau(s)}$$

Interface

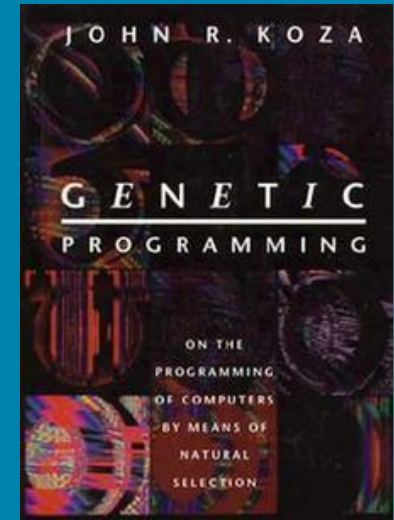


Διπλωματική: Ανάπτυξη ευφυούς χειριστή mario
με γενετικούς αλγόριθμους
Συνάρτηση προσαρμογής:
Πόσο μακριά στην πίστα μπορείς να προχωρήσεις

Γενετικός Προγραμματισμός (GP)

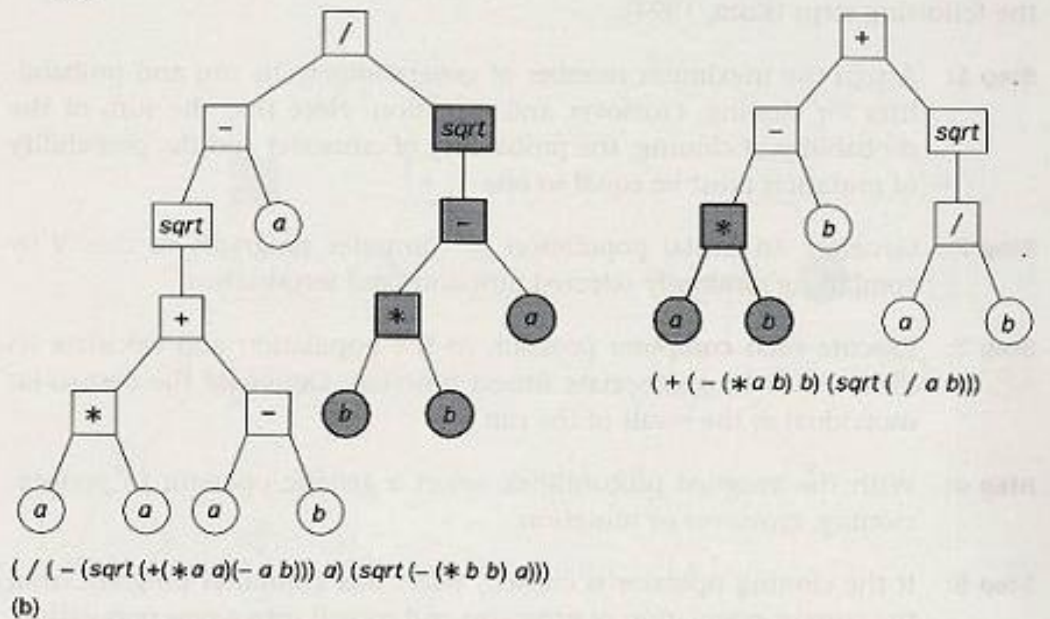
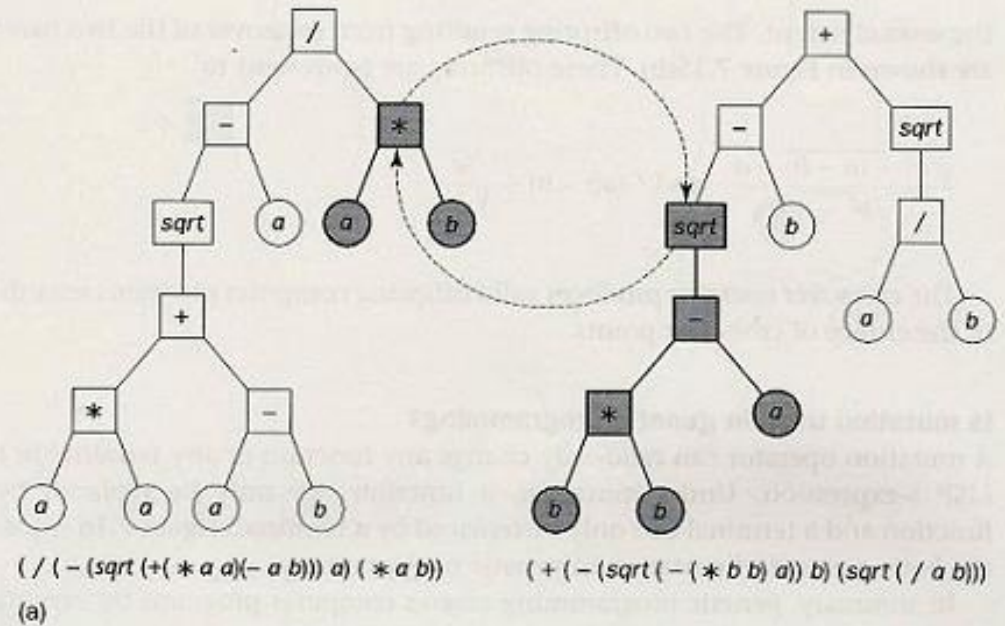
Koza, 1992

- Εξέλιξη προγράμματος (κώδικα) για την επίλυση ενός προβλήματος
- Αναπαράσταση προγράμματος: συντακτικό δέντρο
- Δομικά στοιχεία: Πρωτογενείς συναρτήσεις, δεδομένα εισόδου (τερματικά σύμβολα) \Rightarrow **LISP**
- Συνάρτηση προσαρμογής: σφάλμα εξόδου σε σύνολο εκπαιδευτικών δεδομένων
- Επιλογή (κλωνοποίηση), διασταύρωση, μετάλλαξη

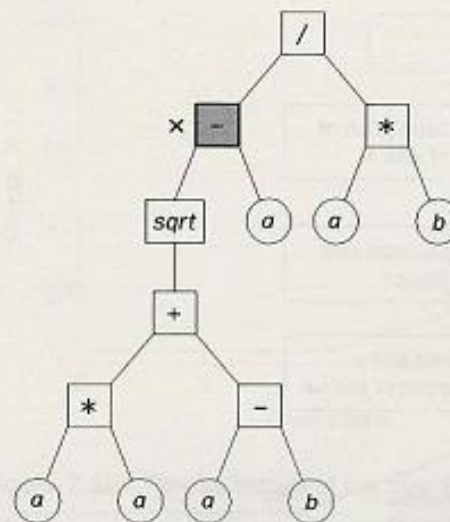


Γενετικός προγραμματισμός: Διασταύρωση

GENETIC PROGRAMMING

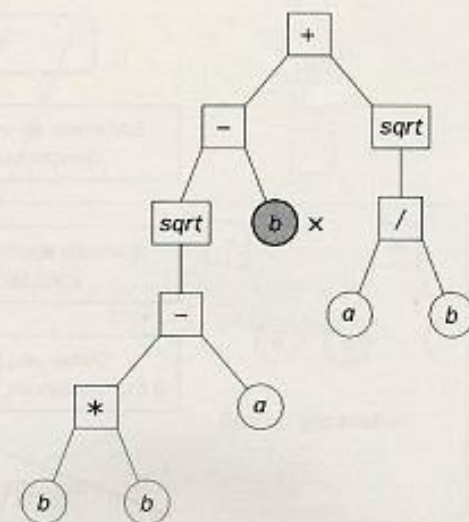


Γενετικός προγραμματισμός: Μετάλλαξη

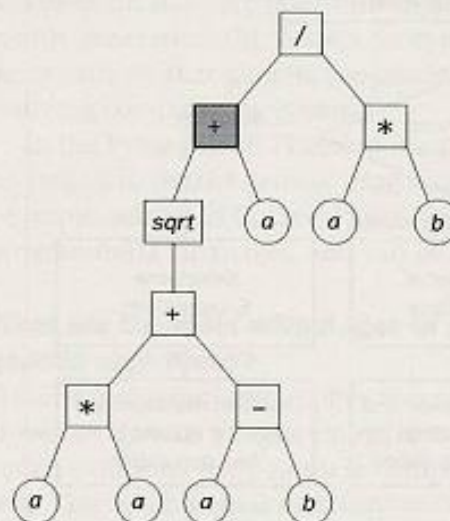


$(/ (- (\text{sqrt} (+ (* a a) (- a b))) a) (* a b))$

(a)

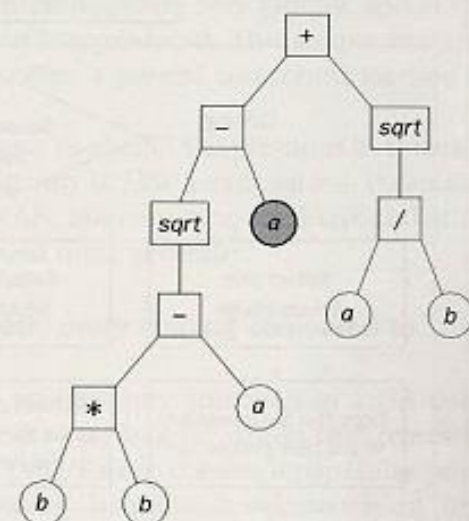


$(+ (- (\text{sqrt} (- (* b b) a)) b) (\text{sqrt} (/ a b)))$



$(/ (+ (\text{sqrt} (+ (* a a) (- a b))) a) (* a b)$

(b)



$(+ (- (\text{sqrt} (- (* b b) a)) a) (\text{sqrt} (/ a b)))$

Στρατηγικές Εξέλιξης (Evolutionsstrategien - ES)

Rechenberg, 1965, Schwefel, 1981

- Βελτιστοποίηση τεχνικών προβλημάτων
- Κωδικοποίηση με πραγματικούς αριθμούς
- Αναπαραγωγή λύσεων με τυχαίες αλλαγές των τιμών των μεταβλητών



Στρατηγικές Εξέλιξης

ΒΑΣΙΚΟ ΣΧΗΜΑ

Ένας γονέας – ένα παιδί (1+1)-ES

- Κωδικοποίηση: διάνυσμα μεταβλητών $X = [x_i]$
- Σε κάθε βήμα (μόνο μετάλλαξη):
 - Τελεστής μετάλλαξης $x'_i = x_i + N(0, \sigma_i)$
 - Κρατείται η λύση X ή X' με την καλύτερη προσαρμογή

Στρατηγικές Εξέλιξης

ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΣΕ ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΟ ΣΧΗΜΑ

μ γονείς – λ παιδιά ($\mu < \lambda$)

- Αναπαραγωγή λύσεων με εφαρμογή μετάλλαξης και επανασυνδυασμού (recombination) σε κάθε βήμα (Πολλοί τρόποι υλοποίησης του τελεστή επανασυνδυασμού)
- Επιλογή των καλύτερων λύσεων

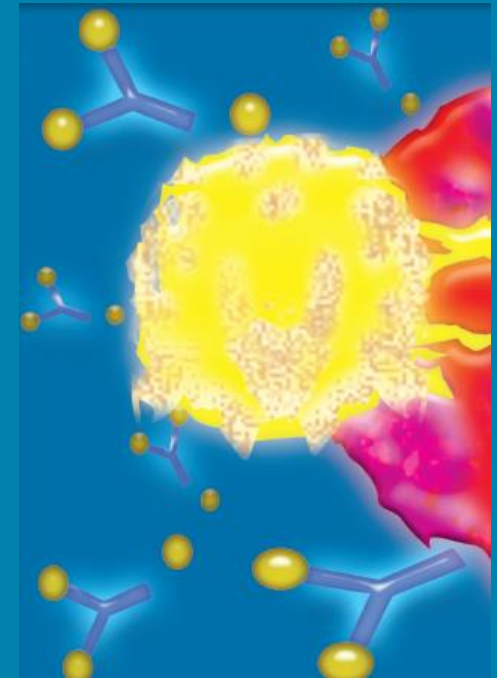
$(\mu+\lambda)$ -ES (plus strategy): Τα μ άτομα της επόμενης γενιάς επιλέγονται από το σύνολο των $\mu+\lambda$ γονέων και παιδιών

(μ,λ) -ES (comma strategy): Τα μ άτομα της επόμενης γενιάς επιλέγονται από το σύνολο των λ παιδιών

Εξελικτικός υπολογισμός

Άλλες τεχνικές

- Memetic Algorithms (MA)
- Swarm Intelligence (SI)
 - Ant Colony Optimization (ACO)
 - Particle Swarm Optimization (PSO)
 - Artificial Bee Colony (ABC)
- Artificial Immune Systems (AIS)



SEX

AS AN ALGORITHM

THE THEORY OF EVOLUTION
UNDER THE LENS OF COMPUTATION

Looking at the mysteries of evolution from a computer science point of view yields some unexpected insights.

BY ADI LIVNAT AND CHRISTOS PAPADIMITRIOU

Sex as an Algorithm

The Theory of Evolution Under the Lens of Computation

Not only is sex essentially universal, but it seems to be very much center stage in life, the basis of a fantastic variety of behavior and structure.



There is a mismatch between heuristics and evolution. Heuristics should strive to create populations that contain outstanding individuals. Evolution under sex seems to excel at something markedly different: creating a “good population.”