

ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ – ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

# Χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων με Εξελικτικούς Αλγορίθμους

ΔΡΟΥΓΚΑΣ ΛΟΥΚΑΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΑΔΑΜΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ



Θεσσαλονίκη 2009

# Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	4
2. Χρονοπρογραμματισμός .....	6
2.1. Κατηγορίες Χρονοπρογραμματισμού .....	10
2.2. Χρονοπρογραμματισμός και ανθρώπινη δραστηριότητα.....	12
2.3. Υπολογιστική πολυπλοκότητα & Χρονοπρογραμματισμός .....	14
2.4. Τεχνικές Επίλυσης Προβλημάτων Χρονοπρογραμματισμού .....	15
3. Εξελικτικοί Αλγόριθμοι.....	17
3.1 Γενετικοί Αλγόριθμοι.....	18
4. Χρονοπρογραμματισμός με εξελικτικούς αλγορίθμους .....	21
4.1. Ακαδημαϊκά προβλήματα .....	21
4.1.1. Προβλήματα κατά παραγγελία.....	22
4.1.2. Προβλήματα συνεχούς ροής.....	23
4.1.3. Προβλήματα ελεύθερης ροής.....	24
4.2. Ρεαλιστικά ακαδημαϊκά προβλήματα.....	24
4.3. Ιδιοσυγκρασιακά προβλήματα.....	25
4.4. Τεχνικά ζητήματα .....	27
4.4.1. Αναπαράσταση ατόμων.....	27
4.4.2. Γενετικοί τελεστές.....	33
4.4.2.1. Τελεστές ανασυνδυασμού .....	33
4.4.2.2. Τελεστές μετάλλαξης .....	37

5. Το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού των διαφημίσεων.....	39
5.1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση του προβλήματος του χρονοπρογραμματισμού των διαφημίσεων .....	41
6. Η υλοποίηση της εφαρμογής EvoAds.....	43
6.1. Εισαγωγή.....	43
6.2. Η ισχύουσα κατάσταση στους τηλεοπτικούς σταθμούς.....	43
6.3. Παραδοχές για την υλοποίηση.....	45
6.4. Σχεδίαση συστήματος.....	46
6.4.1. Εργαλεία ανάπτυξης.....	46
6.4.2. Η βάση δεδομένων.....	47
6.4.3. Το εξελικτικό μοντέλο.....	48
6.4.3.1. Αναπαράσταση.....	48
6.4.3.2. Συνάρτηση ποιότητας.....	49
6.4.3.3. Γενετικοί τελεστές.....	50
6.4.3.4. Γραφικό Περιβάλλον της εφαρμογής.....	51
7. Δοκιμές και αποτελέσματα της χρονοδρομολόγησης.....	53
8. Συμπεράσματα και προοπτικές.....	59
Βιβλιογραφία.....	61
Παράρτημα Α' - Εγκατάσταση του EvoAds.....	63
Παράρτημα Β' - Εγχειρίδιο χρήσης του EvoAds.....	65

# 1. Εισαγωγή

Ο χρονοπρογραμματισμός (scheduling) με εξελικτικούς αλγορίθμους (evolutionary algorithms) θεωρείται μια καινούργια ερευνητική περιοχή που συνδέει δύο σημαντικές επιστήμες, τη τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence) και την επιχειρησιακή έρευνα (operation research). Ο χρονοπρογραμματισμός στις διάφορες μορφές του είναι ένα σημαντικό πρόβλημα της σημερινής εποχής, στην οποία υπάρχει μεγάλη ανάγκη για υψηλή παραγωγικότητα, γεγονός που επιφέρει σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

Τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού περιλαμβάνουν μια πληθώρα συνδυαστικών προβλημάτων βελτιστοποίησης, στα οποία αντικειμενικός σκοπός είναι η ικανοποίηση μια σειράς από περιορισμούς, οι οποίοι καθορίζουν την εφικτότητα και την ποιότητα ενός χρονοπρογράμματος. Τα οφέλη ενός καλού χρονοπρογράμματος μπορεί να είναι άμεσα, όπως τα οικονομικά κέρδη και η ευνοϊκή διαχείριση του διαθέσιμου χρόνου ή και έμμεσα όπως η ικανοποίηση των ενδιαφερόμενων προσώπων ενός έργου. Για τους παραπάνω λόγους έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια τα τελευταία χρόνια για την ανάπτυξη αλγορίθμων που θα συμβάλλουν στην αυτόματη χρονοδρομολόγηση.

Τα προβλήματα του πραγματικού κόσμου είναι πολύπλοκα, μεγάλης κλίμακας και με πολλούς περιορισμούς, γι' αυτό και η κλασική επιχειρησιακή έρευνα αδυνατεί να τα λύσει. Με τη ραγδαία αύξηση της επεξεργαστικής ισχύος των ηλεκτρονικών υπολογιστών και την εξέλιξη του κλάδου της τεχνητής νοημοσύνης, αυξάνεται ολοένα και περισσότερο το ενδιαφέρον για τη χρήση εξελικτικών υπολογιστικών τεχνικών για την λύση προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού. Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών και τεχνικών, όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι (genetic algorithms), ο γενετικός προγραμματισμός (genetic programming), οι εξελικτικές στρατηγικές (evolutionary strategies), οι μιμητικοί αλγόριθμοι (memetic algorithms), ο

αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικιών μυρμηγκιών (ant colony optimization), η τεχνική βελτιστοποίησης με σμήνη σωματιδίων (particle swarm optimization). Όλες αυτές οι τεχνικές είναι εμπνευσμένες από τη φύση και την εξέλιξη των ειδών και είναι πλήρως συμβατές, ώστε να μπορούν να λύνουν πολυκριτηριακά προβλήματα μεγάλου εύρους και αυξημένης υπολογιστικής ισχύος.

Ο σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιάσει τις εξελικτικές τεχνικές για την επίλυση προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού και να αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους αναλύοντας το πρόβλημα χρονοδρομολόγησης διαφημίσεων και παρουσιάζοντας την εφαρμογή EvoAds (evolutionary advertisements). Η εφαρμογή EvoAds είναι ένα ερευνητικό εργαλείο για την εισαγωγή και τη διαχείριση τηλεοπτικού ωρολογιακού προγράμματος και διαφημίσεων, με σκοπό την παραγωγή τηλεοπτικών χρονοπρογραμμάτων των διαφημίσεων. Η εφαρμογή ενσωματώνει τις εξελικτικές τεχνολογίες χρονοπρογραμματισμού που παρουσιάζονται στο θεωρητικό μέρος, καθώς και τη δυνατότητα πλήρους παραμετροποίησης της διαδικασίας παραγωγής χρονοπρογραμμάτων.

Αυτή η πτυχιακή εργασία θα δώσει απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- Τι είναι τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού;
- Ποιες είναι οι κατηγορίες προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού;
- Γιατί θεωρούνται δύσκολα τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού;
- Τι είναι οι εξελικτικοί αλγόριθμοι;
- Πώς λύνονται τα προβλήματα χρονοδρομολόγησης με εξελικτικούς αλγορίθμους;
- Ποιο είναι το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού διαφημίσεων;
- Αν η εξελικτική προσέγγιση του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού διαφημίσεων είναι πετυχημένη;

Αυτή η πτυχιακή εργασία μπορεί να φανεί χρήσιμη σε φοιτητές, επιστήμονες της πληροφορικής ή της επιχειρησιακής έρευνας που μελετούν την εφαρμογή των εξελικτικών τεχνολογιών στο marketing και στην διοίκηση επιχειρήσεων.

## 2. Χρονοπρογραμματισμός

Ο χρονοπρογραμματισμός είναι η διαδικασία λήψης αποφάσεων, που έχει ως σκοπό τη δημιουργία του χρονοπλάνου ενός έργου, με στόχο τη βελτιστοποίηση ενός ή περισσότερων κριτηρίων. Οι βασικές συνιστώσες του χρονοπρογραμματισμού είναι οι δραστηριότητες, οι εξαρτήσεις προήγησης μεταξύ τους, οι διαθέσιμοι πόροι, καθώς και διάφοροι περιορισμοί που θέτουν τα όρια για την κατασκευή του. Όσο για τα κριτήρια βελτιστοποίησης τα σημαντικότερα είναι ο συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης (makespan) και η μεγιστοποίηση της καθαρής αξίας του έργου. Στόχος αυτής της διαδικασίας είναι η εύρεση ενός εφικτού χρονοπρογράμματος που διέπεται από τους αυστηρούς κανόνες (hard constraints) του χρονοπρογραμματισμού, αλλά και ακολουθεί όσο το δυνατότερο τις προτιμήσεις (soft constraints) του χρονοπρογραμματιστή για ένα βέλτιστο χρονοπλάνο [1][2][5].

Ο ορισμός του χρονοπρογραμματισμού έχει ειπωθεί ως «η ανάθεση πόρων, για την πραγμάτωση ενός συνόλου εργασιών στην μονάδα του χρόνου», γι' αυτό η συγκεκριμένη διαδικασία καθορίζει τους χρόνους έναρξης και λήξης του συνόλου των εργασιών ενός έργου. Για να ορίσουμε το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού, θα εξετάσουμε μια συνηθισμένη διάταξη εργοστασίου. Ως πόροι (resources) θα ονομάζονται οι μηχανές (machines), οι οποίες εκτελούν εργασίες (jobs) που αποτελούνται από μια σειρά λειτουργιών (operations).

Κάθε πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού θα περιέχει [2]:

- Ένα αριθμό από μηχανές  $M$ , ένα αριθμό από εργασίες  $J$  και τον χρόνο επεξεργασίας κάθε εργασίας στην αντίστοιχη μηχανή σε ένα πίνακα  $A$ .
- Μια σειρά από περιορισμούς (constraints)  $C$  που πρέπει να πληρούνται.
- Μια συνάρτηση στόχου  $f$  που πρέπει να ελαχιστοποιήσουμε.

Σε αυτό το παράδειγμα, θεωρούμε ότι κάθε εργασία περιέχει μόνο μια λειτουργία που πρέπει να εκτελεστεί σε μια μηχανή. Οι χρόνοι επεξεργασίας δίνονται σε ένα πίνακα  $A$  μεγέθους  $M \times J$ , όπου  $A_{j,m}$  είναι ο χρόνος επεξεργασίας της

Χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων με εξελικτικούς αλγόριθμους

εργασίας  $j$  στην μηχανή  $m$ . Στόχος είναι να βρεθεί ένα χρονοπρόγραμμα  $S$  μεγέθους  $M \times J$ , όπου  $S_{j,m}$  είναι η ώρα έναρξης της εργασίας  $j$  στην μηχανή  $M$ . Ένα χρονοπρόγραμμα, για να είναι εφικτό, πρέπει να μην υπάρχει επικάλυψη εργασιών στην ίδια μηχανή και να μην εκτελούνται εργασίες την ίδια χρονική στιγμή σε δύο διαφορετικά μέρη. Όλοι οι χρόνοι επεξεργασίας εκφράζονται με θετικούς αριθμούς. Έτσι, όλα τα χρονοπρογράμματα πρέπει να πληρούν τις παρακάτω σχέσεις [2]:

$$\forall i, m S_{i,m} \geq 0 \quad (1)$$

$$\forall i, j, m (i \neq j \wedge S_{i,m} \leq S_{j,m}) \Rightarrow S_{i,m} + x_{y^2} A_{i,m} \leq S_{j,m} \quad (2)$$

$$\forall i, m, n (m \neq n \wedge S_{i,m} \leq S_{i,n}) \Rightarrow S_{i,m} + A_{i,m} \leq S_{i,n} \quad (3)$$

Για να ελαχιστοποιήσουμε τη συνολική διάρκεια του χρονοδιαγράμματος πρέπει να βρούμε ένα πραγματοποιήσιμο χρονοπρόγραμμα που δίνει τη μικρότερη τιμή για την παρακάτω συνάρτηση:

$$\mathcal{F}(s) = \max (S_{i,m} + A_{i,m}) \quad (4)$$

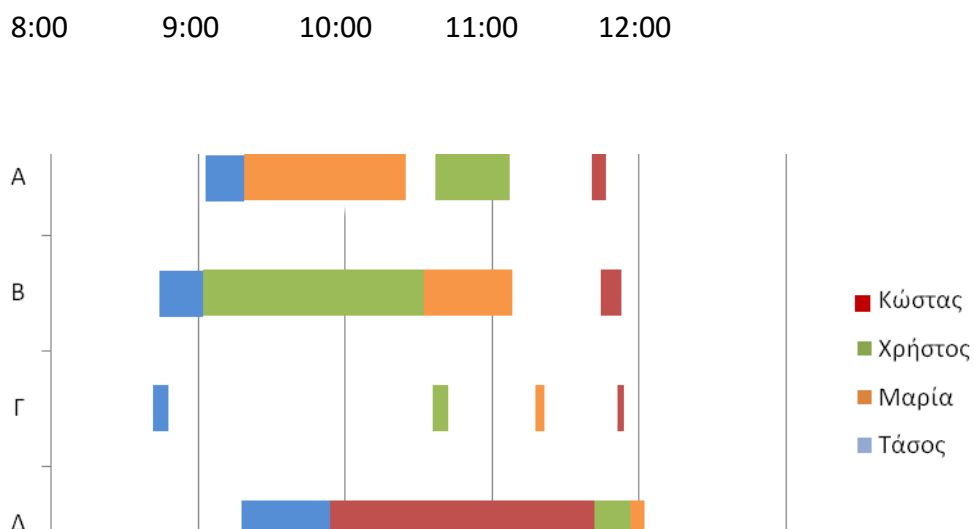
Βέβαια η συνάρτηση - στόχος μπορεί να είναι οποιαδήποτε συνάρτηση που εξυπηρετεί τις απαιτήσεις του προβλήματος που μελετάται. Εναλλακτικά η συνάρτηση μπορεί να εκφράζει τη δικαιοσύνη στην κατανομή των εργασιών στις μηχανές (fairness), την καθυστέρηση (lateness), την αποδοτικότητα (efficiency) κ.ο.κ. Είναι γνωστό ότι τέτοια προβλήματα ανήκουν στην κλάση NP-complete της αλγοριθμικής πολυπλοκότητας (βλ. σχετική παράγραφο σ.13) και ότι δεν υπάρχει πολυωνυμικός αλγόριθμος που να τα επιλύει.

Ένα απλό αλλά αντιπροσωπευτικό παράδειγμα χρονοπρογραμματισμού είναι το εξής [5]: Τέσσερις φοιτητές ο Κώστας, ο Χρήστος, η Μαρία και ο Τάσος μοιράζονται το ίδιο διαμέρισμα. Κάθε πρωί προμηθεύονται τέσσερις διαφορετικές εφημερίδες τις Α, Β, Γ, Δ. Όλοι τους διαβάζουν τις εφημερίδες σε συγκεκριμένο χρόνο την κάθε μία. Έπισης, γνωρίζουμε ότι ο Κώστας ξυπνά στις 8:30, ο Χρήστος και η Μαρία στις 8:45 και ο Τάσος στις 9:30. Επομένως, ποιός θεωρείται ο συντομότερος χρόνος που μπορούν όλοι οι φοιτητές να ξεκινήσουν για το

πανεπιστήμιο; Ο χρόνος που δεσμεύουν οι φοιτητές για την ανάγνωση των εφημερίδων σε λεπτά της ώρας δίνεται παρακάτω:

Φοιτητές	A	B	Γ	Δ
Κώστας	60	30	2	5
Χρήστος	25	75	3	10
Μαρία	10	15	5	30
Τάσος	2	4	1	90

Ένας εύκολος τρόπος, για να κατανοήσουμε και να παρουσιάσουμε την πρόοδο ενός προβλήματος χρονοπρογραμματισμού, είναι με διάγραμμα GANTT. Στο παρόν πρόβλημα οι εργασίες είναι το διάβασμα των εφημερίδων από κάθε φοιτητή και οι μηχανές (πόροι) οι τέσσερις εφημερίδες. Το διάγραμμα GANTT θα μας βοηθήσει στη γραφική απεικόνιση των εργασιών που εκτελούνται στις μηχανές στη μονάδα του χρόνου. Έτσι έχουμε:



### Παράδειγμα απλού χρονοπρογράμματος με διάγραμμα GANTT.

Οι εφημερίδες ανταλλάσσονται από τον ένα φοιτητή στον άλλο τηρώντας τους περιορισμούς που αναφέραμε παραπάνω. Όλοι οι χρόνοι διαβάσματος, όπως είναι φυσικό, είναι θετικοί αριθμοί (1), στην ίδια μηχανή δεν μπορούν να υπάρχουν



δύο δραστηριότητες που εκτελούνται ταυτόχρονα (2), δεν μπορούν να υπάρχουν επικαλύψεις σε δραστηριότητες που εκτελούνται σε δύο μηχανές (3). Έτσι, ο Κώστας ξεκινά να διαβάζει όλες τις εφημερίδες, αργότερα τις δίνει στο Χρήστο και στη Μαρία, ενώ ο Τάσος τις διαβάζει κάπως καθυστερημένα. Αναζητώντας μια καλή λύση βρήκαμε ότι περίπου στις 12:00 είναι η ώρα όπου όλοι οι φοιτητές θα έχουν τελειώσει το διάβασμα. Η καλύτερη λύση για αυτό το πρόβλημα έχει κάποιες ιδιαιτερότητες. Το διάβασμα από τους φοιτητές ξεκινά περίπου στις 8:45, την ώρα που ξυπνά ο Χρήστος και η Μαρία, ενώ ο Κώστας είναι διαθέσιμος από τις 8:30. Επίσης, η Μαρία καθυστερεί τους υπόλοιπους, αφού διαβάζει μόνη της λίγο πριν τις 12:00, ενώ οι υπόλοιποι είναι έτοιμοι για το πανεπιστήμιο. Η σειρά διαβάσματος που τελικά θα ακολουθήσουν οι φοιτητές δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Εφημερίδες	1	2	3	4
A	Κώστας	Μαρία	Χρήστος	Τάσος
B	Κώστας	Χρήστος	Μαρία	Τάσος
Γ	Κώστας	Χρήστος	Μαρία	Τάσος
Δ	Κώστας	Τάσος	Χρήστος	Μαρία

#### **Η λύση του προβλήματος με το διάβασμα των εφημερίδων.**

Το πρόβλημα που περιγράφηκε παραπάνω είναι αρκετά γενικό και απλοποιημένο, στην πραγματικότητα ο χρονοπρογραμματισμός εφαρμόζει πιο πολύπλοκα μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη τους τη διαθεσιμότητα των πόρων, καθώς και άλλους στοχαστικούς παράγοντες που προκύπτουν. Μπορεί να βρεθεί καλύτερο χρονοπρόγραμμα; Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα προσπαθήσουμε να δώσουμε απαντήσεις με στοιχεία, για να δούμε πως οι εξελικτικοί αλγόριθμοι μπορούν να δώσουν καλύτερες λύσεις σε προβλήματα χρονοπρογραμματισμού.

## 2.1. Κατηγορίες Χρονοπρογραμματισμού

Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο περιγράψαμε ένα γενικό πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού και δώσαμε μερικούς μαθηματικούς τύπους. Παρακάτω θα αναφερθούν σε θεωρητικό επίπεδο οι κατηγορίες των προβλημάτων του χρονοπρογραμματισμού, όπως έχουν χωριστεί από το [5] και [3].

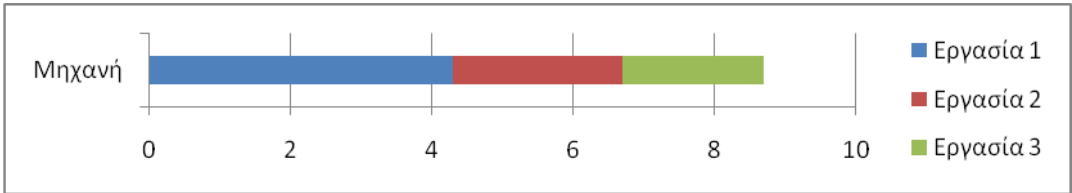
Ο χρονοπρογραμματισμός μπορεί να είναι στατικός (static scheduling) ή δυναμικός (dynamic scheduling) ανάλογα με το χρόνο άφιξης των εργασιών για επεξεργασία. Στο στατικό χρονοπρογραμματισμό όλες οι εργασίες για επεξεργασία είναι διαθέσιμες από την αρχή, και δεν υπάρχουν αφίξεις εργασιών στη συνέχεια. Αντίθετα, στον δυναμικό χρονοπρογραμματισμό ο χρόνος άφιξης των εργασιών συμβαίνει σε γνωστές ή άγνωστες χρονικές στιγμές. Επιπλέον, ο χρονοπρογραμματισμός χωρίζεται σε ντετερμινιστικό (deterministic scheduling) και στοχαστικό (stochastic scheduling). Στον πρώτο όλες οι πληροφορίες, όπως ο αριθμός των εργασιών, ο χρόνος άφιξης τους στην μονάδα του χρόνου, οι χρόνοι επεξεργασίας στις μηχανές, είναι γνωστά από την αρχή. Σε αυτό το σύστημα όλα είναι προγραμματισμένα, αλλά στην πραγματικότητα τα συστήματα είναι πιο απρόβλεπτα.

Στο στοχαστικό χρονοπρογραμματισμό οι χρόνοι διαθεσιμότητας των δραστηριοτήτων και οι χρόνοι επεξεργασίας είναι μεταβλητοί. Επιπρόσθετα, το σύστημα είναι σε θέση να αντιμετωπίσει πιθανές βλάβες εξοπλισμού, ανθρώπινα λάθη, καθυστερήσεις ή άλλο απρόοπτο γεγονός. Ένα στοχαστικό σύστημα είναι σε θέση να αφομοιώσει τις αλλαγές, δηλαδή να προσαρμόζεται στα νέα δεδομένα που αφορούν στο σύστημα. Αυτό στην πράξη αποδεικνύεται χρησιμότερο από το να βρει κανείς ένα βέλτιστο χρονοπρόγραμμα σε ένα ντετερμινιστικό πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού.

Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο υιοθετήθηκε ένα εργοστασιακό μοντέλο για την περιγραφή του χρονοπρογραμματισμού. Στην συνέχεια, ακολουθούν τα 4 μοντέλα χρονοπρογραμματισμού που έχουν μελετηθεί εκτενώς και συναντιόνται

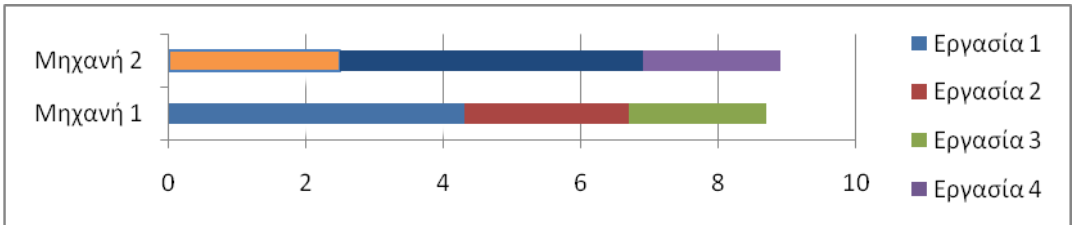
πιο συχνά στον πραγματικό κόσμο. Η πρώτη κατηγορία είναι τα μοντέλα απλών μηχανών (single machine), όπου κάθε εργασία αποτελείται μόνο από μια λειτουργία η οποία πρέπει να εκτελεστεί στην μια και μοναδική μηχανή. Ο χρονοπρογραμματισμός εδώ είναι η ακολουθία με την οποία οι εργασίες θα περάσουν από το στάδιο της επεξεργασίας στην μηχανή.

Μοντέλο απλής μηχανής



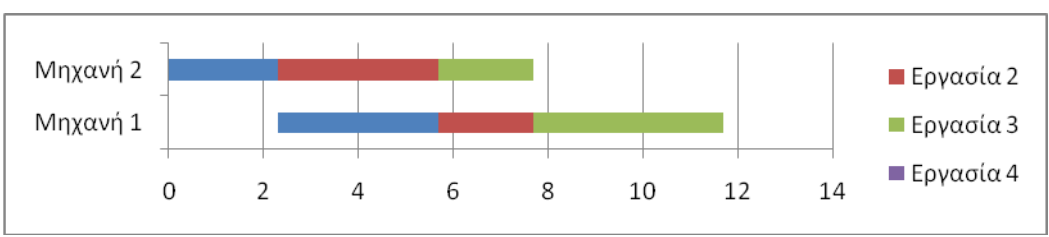
Η δεύτερη κατηγορία είναι τα μοντέλα παράλληλων μηχανών (parallel machine), όπου κάθε εργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε περισσότερες από μια μηχανές που εκτελούν την ίδια επεξεργασία και λειτουργούν παράλληλα.

Μοντέλο παράλληλων μηχανών



Τα μοντέλα συνεχούς ροής (flow shop) αποτελούνται από περισσότερες από μια μηχανές και κάθε εργασία περιέχει μια καθορισμένη ακολουθία από λειτουργίες. Κάθε εργασία αυτού του μοντέλου καλείται να ακολουθήσει την ίδια διαδρομή στις μηχανές του συστήματος.

Μοντέλο συνεχούς ροής



Η τέταρτη και πιο διαδεδομένη κατηγορία είναι τα κατά παραγγελία μοντέλα (job shop). Σε αυτά κάθε εργασία θα εκτελεστεί σε διαφορετική μηχανή, άρα κάθε εργασία έχει τη δική της διαδρομή και τους δικούς της περιορισμούς μέσα στο σύστημα (βλ. παράδειγμα απλού χρονοπρογράμματος του κεφ. 2). Όπως και στα συνεχούς ροής μοντέλα, κάθε εργασία έχει μια αδιάσπαστη ακολουθία από λειτουργίες. Στην ίδια κατηγορία, ως γενικότερη θεώρηση, ανήκουν τα μοντέλα ελεύθερης ροής (open shop), στα οποία δεν υπάρχει κανένας περιορισμός διαδρομής των εργασιών και των λειτουργιών που την απαρτίζουν.

## 2.2. Χρονοπρογραμματισμός και ανθρώπινη δραστηριότητα

Αναμφισβήτητα, ο χρονοπρογραμματισμός βοήθησε στην υλοποίηση των στόχων κάθε πολύπλοκης ανθρώπινης δραστηριότητας με ορίζοντα το μέλλον. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον δείχνουν οι επιχειρήσεις, καθώς η επιστήμη του χρονοπρογραμματισμού έχει συμβάλει καθοριστικά στην βελτίωση των δεικτών απόδοσης και παραγωγής. Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναφερθούν οι πτυχές των δραστηριοτήτων των επιχειρήσεων και των οργανώσεων στις οποίες εφαρμόζεται ο χρονοπρογραμματισμός [4][7]. Τα προβλήματα διοίκησης λειτουργιών (operations management) που συναντούμε πιο συχνά θα χωριστούν σε 5 κατηγορίες.

Η πρώτη κατηγορία θεωρείται ο έλεγχος παραγωγής (production control) και χωρίζεται σε 3 υποκατηγορίες: την φόρτωση των μηχανών (machine loading), τον προγραμματισμό των μηχανών (machine scheduling) και τον προγραμματισμό του ανθρώπινου δυναμικού (personnel scheduling). Οι δύο πρώτες υποκατηγορίες είναι αλληλοεξαρτώμενες και συμβάλλουν στη βελτίωση της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας της παραγωγής στον σύνολό της. Η τροφοδότηση των μηχανών με όσο το δυνατόν περισσότερες πρώτες ύλες και η αύξηση της χρήσης συμβάλλει καθοριστικά στη συνολική ποσότητα υλικών διακινούμενη μέσα στην

επιχείρηση. Στον προγραμματισμό ανθρώπινου δυναμικού οι εργαζόμενοι χωρίζονται σε ομάδες ειδικότητας σύμφωνα με το αντικείμενο και την διαθεσιμότητά τους και έπειτα προγραμματίζεται το πλάνο εργασία τους. Αυτή η εργασία μπορεί να γίνει δυσκολότερη, αν οι εργαζόμενοι έχουν πολλές ειδικότητες και δύσκολους χρόνους διαθεσιμότητας.

Η δεύτερη κατηγορία αφορά στο σχεδιασμό εγκαταστάσεων μιας επιχείρησης (facility layout design). Με το σωστό προγραμματισμό της εγκατάστασης των μονάδων παραγωγής (π.χ κτίρια, εργοτάξια), των μηχανών όσο και των χώρων αποθήκευσης των πρώτων υλών, οι επιχειρήσεις καταφέρνουν να βελτιώσουν τη ροή των υλικών, για να τα επεξεργαστούν στους διάφορους σταθμούς και αποθήκες και για να προσφέρουν λύσεις που αφορούν στη μορφοποίηση του δομικού χώρου της οργάνωσης.

Τρίτη κατηγορία αποτελεί η εξισορρόπηση της γραμμής παραγωγής (line balancing) που αφορά στη δίκαιη απόδοση φόρτου εργασίας στις διάφορες γραμμές παραγωγής ανάμεσα στα διάφορα τμήματα οργάνωσης. Αυτή η διαδικασία εξομαλύνει την απόδοση του ρυθμού (throughput) μιας οργάνωσης και μειώνει τον κύκλο παραγωγής.

Ο προγραμματισμός εφοδιαστικών αλυσίδων (supply chain scheduling) είναι η τέταρτη κατηγορία και αναφέρεται στο σχεδιασμό και στη διαχείριση όλων των ενεργειών και των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τις διαδικασίες προμήθειας, με την παραγωγή-μεταποίηση και με όλες τις δραστηριότητες της διανομής. Επιπλέον, συμπεριλαμβάνει το συντονισμό και τη συνεργασία με όλους τους εταίρους του καναλιού εφοδιασμού, που μπορεί να είναι προμηθευτές, μεσάζοντες, εταιρείες παροχής υπηρεσιών και πελάτες. Ο αντικειμενικός, λοιπόν, σκοπός της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η αύξηση της συνολικής κερδοφορίας κατά μήκος της αλυσίδας που συνεπάγεται την αύξηση της κερδοφορίας όλων των εταίρων της.

Η πέμπτη κατηγορία είναι τα μοντέλα χρονοδιαγραμμάτων (timetabling), που δίνουν λύση σε προβλήματα στα οποία διάφορες δραστηριότητες πρέπει να δρομολογηθούν σε συγκεκριμένο αριθμό χρονοθυρίδων (time-slots) τηρώντας

κάποιους περιορισμούς. Κύριο μέλημα στην κατασκευή χρονοδιαγραμμάτων είναι η μη ύπαρξη διενέξεων, δηλαδή να μην υπάρχει ανάθεση διαφορετικών δραστηριοτήτων σε άτομα ή μηχανές την ίδια ώρα. Σε κάθε περίπτωση τα μοντέλα χρονοδιαγραμμάτων μπορούν να βρουν πολλαπλές εφαρμογές σε διάφορα προβλήματα, όπως στα ωρολογιακά προγράμματα των σχολείων και των πανεπιστημίων, στον προγραμματισμό των μεταφορικών μέσων και στις ραδιοτηλεοπτικές μεταδόσεις.

## 2.3. Υπολογιστική πολυπλοκότητα & Χρονοπρογραμματισμός

Ο χρονοπρογραμματισμός δίνει λύσεις φτιάχνοντας χρονοπλάνα σε πολύπλοκα προβλήματα πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης. Τέτοια προβλήματα, συνήθως, λύνονται με το συνδυασμό μεθόδων αναζήτησης (search methods) και ευρετικών μεθόδων (heuristics) παρέχοντας καλές λύσεις, αλλά όχι βέλτιστες. Αντικείμενο της θεωρίας της υπολογιστικής πολυπλοκότητας (computational complexity theory) είναι η μελέτη των υπολογιστικών προβλημάτων και η κατάταξή τους σε κλάσεις πολυπλοκότητας ανάλογα με τους υπολογιστικούς πόρους που αυτά απαιτούν, για να λυθούν αλγοριθμικά.

Παρακάτω θα αναλυθεί ένα μοντέλο προβλήματος αποφάσεων (decision problem) που λειτουργεί περίφημα, για να περιγράψουμε δύσκολα προβλήματα [5][9]. Επομένως, προβλήματα τα οποία μπορούν να επιλυθούν σε πολυωνυμικό χρόνο ανήκουν στην κλάση P. Προβλήματα, των οποίων μια καταφατική απάντηση μπορεί να επιβεβαιωθεί σε πολυωνυμικό χρόνο με την παροχή κάποιας επιπρόσθετης πληροφορίας, ανήκουν στην κλάση NP. Προβλήματα, των οποίων μια αρνητική απάντηση μπορεί να επιβεβαιωθεί σε πολυωνυμικό χρόνο με την παροχή κάποιας επιπρόσθετης πληροφορίας, ανήκουν στην κλάση co-NP. Τα πιο δύσκολα NP προβλήματα, στα οποία ανήκει ο χρονοπρογραμματισμός, είναι τα λεγόμενα NP-

complete. Σε ένα τέτοιο πρόβλημα, λοιπόν, δεν μπορεί να βρεθεί πολυωνυμικός αλγόριθμος που να το επιλύει. Διάφορες εξελιγμένες μέθοδοι αναζήτησης, που χρησιμοποιούν ευρετικές μεθόδους, δεν εγγυόνται ευνοϊκές λύσεις λόγω του ότι είναι δύσκολος ο σχεδιασμός τους. Ανασταλτικός παράγοντας θεωρείται το γεγονός ότι τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού είναι από την φύση τους δύσκολα να περιγραφούν με μαθηματικά μοντέλα, λόγω των περιορισμών που δεν μπορούν εύκολα να αναπαρασταθούν.

## 2.4. Τεχνικές Επίλυσης Προβλημάτων Χρονοπρογραμματισμού

Είναι γνωστό ότι τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού ανήκουν στη δυσκολότερη κατηγορία προβλημάτων υπολογιστικής πολυπλοκότητας, τα NP-complete. Η επιστημονική έρευνα προσπαθεί να βρει αποδοτικές λύσεις για την καλύτερευση των διαδικασιών σε οργανώσεις, αλλά και για εξειδικευμένα ακαδημαϊκά προβλήματα. Λέγεται ότι η αύξηση της αποδοτικότητας του χρονοπρογραμματισμού θα σηματοδοτήσει την πρόοδο της οικονομίας, την καλύτερευση της ποιότητας, καθώς και νέους επιστημονικούς ορίζοντες. Η πραγματικότητα, όμως, δείχνει πως υπάρχει αρκετός χώρος για συζήτηση πάνω σε αυτό το θέμα.

Βασικές συνιστώσες στα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού αποτελούν οι δραστηριότητες, οι εξαρτήσεις προήγησης μεταξύ τους και οι διαθέσιμοι πόροι. Αυτό το σύνολο πρέπει να εξυπηρετεί τους στόχους που έχει ορίσει η επιχειρησιακή έρευνα, ώστε να βρεθεί τελικά η βέλτιστη λύση. Οι τεχνικές επίλυσης των προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού κατατάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τις βέλτιστες προσεγγίσεις (optimal procedures) και τις ευρετικές μεθόδους (heuristics) [9]. Η χρήση των βέλτιστων μεθόδων οδηγεί θεωρητικά στη βέλτιστη λύση. Παρουσιάζει όμως το μειονέκτημα των μεγάλων υπολογιστικών χρόνων, χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων με εξελικτικούς αλγορίθμους

κυρίως σε προβλήματα με μεγάλη υπολογιστική πολυπλοκότητα. Για το λόγο αυτό οι βέλτιστες μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίλυση των προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού περιορίζονται, κυρίως, σε μικρά προβλήματα περιορισμένου πλήθους πιθανών λύσεων. Μερικές από τις βέλτιστες μεθόδους είναι:

- Μαθηματικός προγραμματισμός (mathematical programming)
- Δυναμικός προγραμματισμός (dynamic programming)
- Ακέραιος προγραμματισμός (integer programming)
- Γραμμικός προγραμματισμός (linear programming)
- Τεχνικές διακλάδωσης και φράγματος (branch and bound techniques).

Οι ευρετικές μέθοδοι, αν και είναι υπολογιστικά πολύ ταχύτερες σε σχέση με τις βέλτιστες προσεγγίσεις, δεν παρέχουν πάντοτε τη βέλτιστη λύση. Ευρετικές μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίλυση προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού είναι:

- Η δρομολόγηση με βάση κανόνες-τιμές προτεραιότητας (priority - based scheduling)
- Ευρετικές μέθοδοι που βασίζονται σε τεχνικές διακλάδωσης και φράγματος
- Η μέθοδος διαζευκτικών τόξων (disjunctive arc concepts)
- Ευρετικές μέθοδοι με βάση τον ακέραιο προγραμματισμό
- Μετα-ευρετικές τεχνικές (met-heuristic techniques), όπως η μέθοδος προσομοιωμένης ανόπτησης (simulated annealing) και οι γενετικοί αλγόριθμοι.



### 3. Εξελικτικοί Αλγόριθμοι

Οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (ΕΑ) είναι μέθοδοι αναζήτησης εμπνευσμένοι από τις αρχές της Δαρβίνειας θεωρίας της εξέλιξης. Μερικά από τα κύρια στοιχεία αυτής της θεωρίας είναι ότι:

- Κάθε άτομο διαβιβάζει κάποια χαρακτηριστικά του στους απογόνους του.
- Κάθε άτομο έχει μοναδικό συνδυασμό χαρακτηριστικών.
- Το πιο κυρίαρχα άτομα, δηλαδή εκείνα με τα καλύτερα χαρακτηριστικά, έχουν περισσότερους απογόνους.
- Οι μεταγενέστεροι πληθυσμοί των ατόμων είναι καλύτεροι και πιο βιώσιμοι στο περιβάλλον τους.

Οι ΕΑ συνήθως χωρίζονται σε 3 κατηγορίες [10][11][12]:

- Εξελικτικές Στρατηγικές (evolution strategies)
- Γενετικός Προγραμματισμός (genetic programming)
- Γενετικοί Αλγόριθμοι (genetic algorithms ΓΑ)

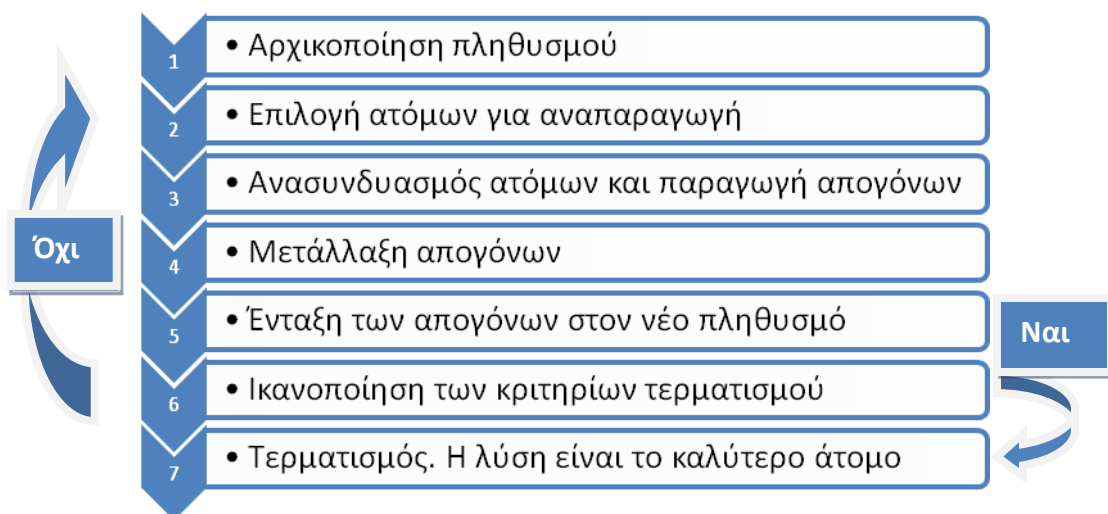
Ο όρος εξελικτικές στρατηγικές (ΕΣ) εισηγήθηκε για πρώτη φορά από τους Γερμανούς Rechenberg και Schwefel γύρω στο 1960. Μια ενδεχόμενη λύση σε ένα πρόβλημα αναπαρίσταται με ένα διάνυσμα πραγματικών αριθμών. Οι ΕΣ λειτουργούν αλλάζοντας τις παραμέτρους από την κωδικοποιημένη λύση μιμούμενοι τις αρχές της φυσικής εξέλιξης και χρησιμοποιήθηκαν κυρίως σε προβλήματα βελτιστοποίησης. Ο γενετικός προγραμματισμός προτάθηκε από τον Αμερικανό Koza που προτείνει την αναζήτηση του καλύτερου προγράμματος για τη βελτιστοποίηση ενός συγκεκριμένου προβλήματος με τη χρήση δέντρων.

Τέλος, οι γενετικοί αλγόριθμοι (ΓΑ) αναπτύχθηκαν από τον Αμερικανό Holland και δεν αποτελούν μόνο μια απλή τεχνική βελτιστοποίησης, άλλα μιμούνται συγκεκριμένες πτυχές της φυσικής εξέλιξης. Η σημαντικότερη διαφορά με τις υπόλοιπες κατηγορίες ΕΑ είναι πως πλέον υπάρχει ένας πληθυσμός από υποψήφιες κωδικοποιημένες λύσεις, οι οποίες αξιολογούνται και εφαρμόζονται μεροληπτικά χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων με εξελικτικούς αλγορίθμους

με γενετικούς τελεστές, όπως η επιλογή, ο ανασυνδυασμός, η μετάλλαξη κάθε φορά κάποιου παράγοντα σε ένα νέο πληθυσμό μέχρι ότου ικανοποιηθεί κάποιο ή κάποια κριτήρια. Συνεπώς, μετά από έναν αριθμό επαναλήψεων θα δίνεται μια καλή λύση, εάν αυτή υπάρχει. Στην συνέχεια, θα αναφερθούμε εκτενέστερα στους ΓΑ για την πληρέστερη κατανόηση των αρχών που τους διέπουν.

### 3.1. Γενετικοί Αλογόριθμοι

Οι γενετικοί αλογόριθμοι (genetic algorithms) θεωρούνται ως μια στρατηγική αναζήτησης λύσεων. Μια σειρά από υποψήφιας κωδικοποιημένες λύσεις που ονομάζονται χρωμοσώματα (chromosomes) αποτελούν τον αρχικό πληθυσμό (population) για την επίλυση ενός προβλήματος. Κάθε χρωμόσωμα έχει συγκεκριμένη σειρά από κελιά που περιέχουν μια τιμή. Κάθε κελί ονομάζεται γονίδιο (gene) και περιέχει μια τιμή που αντιπροσωπεύει ένα χαρακτηριστικό του ατόμου. Η τιμή ενός γονιδίου έχει ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών που εξυπηρετεί τη φύση του προβλήματος που μελετάται. Ακρογωνιαίος λίθος για την επίλυση ενός προβλήματος με ΓΑ είναι η επιλογή του τρόπου αναπαράστασης της λύσης του προβλήματος με πληρέστερο και αποδοτικότερο τρόπο. Αφού επιλεγεί η αναπαράσταση της λύσης, οι ΓΑ ακολουθούν μια επαναληπτική διαδικασία με τον παρακάτω τρόπο [10][11][12][13]:



**Παραπάνω η διαδικασία εξέλιξης με γενετικούς αλογόριθμους.**

Αναλυτικότερα έχουμε:

**Αρχικοποίηση (initialization):** Κάθε υποψήφια λύση μπορεί να αναπαρασταθεί με τυχαία ή με πραγματικά δεδομένα. Για παράδειγμα, έστω ότι θέλουμε να βρούμε 5 συνεχόμενους αριθμούς που ικανοποιούν κάποια κριτήρια. Η αρχικοποίηση θα ήταν η παραγωγή  $N$  πεντάδων από συνεχόμενους αριθμούς με την εν λόγω αναπαράσταση. Θα μπορούσαμε επιτηδευμένα να δώσουμε κάποιες ακολουθίες αριθμών που είναι ένα μέρος της λύσης ή και μια όχι βέλτιστη λύση του προβλήματος, αλλά αυτό θα το καταλάβουμε παρακάτω.

**Επιλογή ατόμων (selection):** Ορίζουμε την ποιότητα (fitness) του ατόμου χρησιμοποιώντας μια εξειδικευμένη συνάρτηση αξιολόγησης (fitness function) για το εκάστοτε πρόβλημα. Η τιμή της συνάρτησης προσδιορίζει μονοσήμαντα το πόσο κοντά είναι μια λύση από την επιθυμητή. Αυτός ο μονοδιάστατος τρόπος αναπαράστασης της ποιότητας ενός ατόμου μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα, αν η συνάρτηση ποιότητας δεν ανταποκρίνεται πλήρως στις απαιτήσεις του προβλήματος. Η ιδέα είναι η εξής: τα άτομα με την καλύτερη ποιότητα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να γίνουν γονείς και να διαβιβάσουν στις επόμενες γενιές κάποια από τα χαρακτηριστικά τους. Η επιλογή των ατόμων μπορεί να γίνει και με στοχαστικό ή με άλλο τρόπο που να μας εξυπηρετεί καλύτερα.

**Γονιμοποίηση ατόμων (breeding):** Η πεμπτουσία αυτής της διαδικασίας είναι η παραγωγή των απογόνων με γενετικούς τελεστές που εφαρμόζονται στα άτομα που επιλέχθηκαν στο παραπάνω στάδιο. Οι δύο κυριότερες κατηγορίες τελεστών είναι:

- **Ανασυνδυασμός (recombination):** Το νέο άτομο παράγεται συνδυάζοντας την πληροφορία των δύο γονέων με διάφορους τρόπους.
- **Μετάλλαξη (mutation):** Το νέο άτομο παράγεται αλλάζοντας ελαφρώς κάποιο ή κάποια από τα χαρακτηριστικά του με διάφορους τρόπους.

Εφαρμόζοντας τους γενετικούς τελεστές θεωρούμε ότι καλά στοιχεία από κάθε άτομο μπορούν να διασταυρωθούν επιτυχώς και να δώσουν απογόνους καλύτερους και από τους δύο γονείς τους. Αν κάποιο άτομο έχει κακή ποιότητα,

απλά έχει λιγότερες πιθανότητες κατά τη φάση επιλογής, να δώσει απογόνους. Η μετάλλαξη δίνει στον πληθυσμό τη δυναμική της καινοτομίας που ίσως ο ανασυνδυασμός δεν θα μπορούσε να δώσει ή που θα ήταν πολύ δύσκολο να δώσει.

**Τερματισμός:** Αφού ο πληθυσμός ανανεωθεί ο καινούργιος πληθυσμός ατόμων θα αντικαταστήσει τον παλιό και η διαδικασία θα επαναληφθεί έως ότου κάποιο ή κάποια κριτήρια ικανοποιηθούν. Συνήθως τερματικά κριτήρια είναι η σύγκλιση της ποιότητας των ατόμων του πληθυσμού σε καλή τιμή, το πέρας ενός συγκεκριμένου αριθμού επανάληψεων της διαδικασίας, ακόμα και αν η ποιότητα των ατόμων δεν βελτιώνεται σημαντικά στην πάροδο των γενεών.

Αναφέρουμε πως σκοπός αυτής της διαδικασίας δεν είναι να εφαρμοστούν πιστά οι αρχές της δαρβίνειας θεωρίας, αλλά να χρησιμοποιηθούν οι ευφυείς μηχανισμοί της φύσης για τη λύση δύσκολων προβλημάτων. Σε κάθε περίπτωση μπορούμε να αυτοσχεδιάσουμε, αν αυτό μπορεί να μας οδηγήσει σε καλύτερο και ευκολότερο δρόμο για την λύση. Τέλος, οι ΓΑ θα μπορούσαν ακόμη να αποτελέσουν αντικείμενο της γενικότερης επιστημονικής αναζήτησης που προσπαθεί να κατανοήσει και να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο συνέβησαν οι αλλαγές στην εξέλιξη των ειδών.

## 4. Χρονοπρογραμματισμός με εξελικτικούς αλγορίθμους

Γενικά δεν υπάρχει φυσική ή προφανής κατηγοριοποίηση των προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού, γι' αυτό και το πεδίο χωρίζεται σε 3 διακριτές περιοχές όπως περιγράφονται στο [1]. Υπάρχουν τα ακαδημαϊκά προβλήματα (academic problems), τα ρεαλιστικά ακαδημαϊκά προβλήματα (reality-enhanced academic problems) και τα ιδιοσυγκρασιακά προβλήματα (idiosyncratic problems). Η τελευταία περιοχή περιλαμβάνει προβλήματα του πραγματικού κόσμου, τα οποία εφαρμόζουν τις ιδέες και τις τάσεις που παρουσιάζονται στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία των τελευταίων ετών. Αυτά λύνονται με εξειδικευμένο τρόπο αναλύοντας τις απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος.

### 4.1. Ακαδημαϊκά προβλήματα

Η εφαρμογή και η εξέταση των επιδόσεων των εξελικτικών αλγορίθμων στα ακαδημαϊκά προβλήματα κυριαρχεί στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Τα προβλήματα περιγράφονται με τη γνωστή διάταξη εργοστασίου, όπου υπάρχει ένας αριθμός από εργασίες και η κάθε εργασία αποτελείται από μια σειρά λειτουργιών που πρέπει να εκτελεστούν σε μια ή σε περισσότερες μηχανές. Η σχέση μεταξύ των μηχανών επεξεργασίας των εργασιών και των λειτουργιών σε συνδυασμό με τους κανόνες χρονοπρογραμματισμού και τους περιορισμούς δημιουργούν διαφορετικές κατηγορίες προβλημάτων.

Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες προβλημάτων είναι τα μοντέλα απλών μηχανών (single machine), παράλληλων μηχανών (parallel machine), συνεχούς ροής (flow machine), κατά παραγγελία (job-shop) και ελεύθερης ροής (open shop) που έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο υποκεφάλαιο (υποκεφ.2.1). Τις παραμέτρους μέτρησης των μοντέλων χρονοδρομολόγησης τις κατηγοριοποίησε ο French [14].

Μερικές από αυτές είναι ο μέγιστος χρόνος ολοκλήρωσης (maximum complete time), ο μέσος χρόνος ολοκλήρωσης (mean complete time), η μέγιστη καθυστέρηση (maximum lateness), η μέση καθυστέρηση (mean lateness), ο μέγιστος χρόνος βραδύτερης περάτωσης (maximum tardiness), ο μέσος χρόνος βραδύτερης περάτωσης (mean tardiness), ο συνολικός χρόνος ροής (maximum flow time), ο μέσος χρόνος ροής (mean flow time) και ο συνολικός αριθμός αργοπορημένων εργασιών (number of tardy jobs).

### 4.1.1. Προβλήματα κατά παραγγελία

Η ακαδημαϊκή κοινότητα έχει ασχοληθεί εκτενώς με τα προβλήματα κατά παραγγελία, συνεπώς υπάρχει πληθώρα διαφορετικών υλοποιήσεων και προσεγγίσεων. Όπως αναφέρθηκε και στο υποκεφάλαιο για τις κατηγορίες χρονοπρογραμματισμού, τα προβλήματα κατά παραγγελία διακρίνονται σε στατικά προβλήματα κατά παραγγελία (static job-shop), σε δύναμικά (dynamic job shop), σε ντετερμινιστικά (deterministic job shop) και σε στοχαστικά προβλήματα (stochastic job shop).

Ο Cheng et al. [15] ανασκόπησαν σε βάθος τις αναπαραστάσεις των χρωμοσωμάτων των γενετικών αλγορίθμων που λύνουν τα προβλήματα κατά παραγγελία, και τις διακρίνουν σε δύο κλάσεις: την άμεση (direct representation) και την έμμεση (indirect representation). Στην άμεση αναπαράσταση το χρονοπρόγραμμα κωδικοποιείται φυσικά μέσα στο χρωμόσωμα περιέχοντας όλη την απαραίτητη πληροφορία· οι αναπαραστάσεις operation-based, job-based, job pair relation-based, completion time-based και random keys ανήκουν σ'αυτή την προσέγγιση. Στην έμμεση προσέγγιση τα χρωμοσώματα δεν περιέχουν όλη την πληροφορία ενός χρονοπρογράμματος, αλλά υπάρχει αλγόριθμος που αναλαμβάνει να ερμηνεύσει το χρωμόσωμα με κανόνες επιλογής και αποστολής (dispatching rules). Οι αναπαραστάσεις preference list-based, priority rule-based, disjunctive graph-based και machine-based ανήκουν σε αυτή την έμμεση προσέγγιση.

## 4.1.2. Προβλήματα συνεχούς ροής

Λιγότερες εφαρμογές των εξελικτικών αλγορίθμων συναντάμε στα προβλήματα συνεχούς ροής. Ο Reeves et al. [16] παρουσίασαν την εμπειρική ανάλυση δύο εκ των προβλημάτων του Taillard, με σκοπό την ανάπτυξη ενός αποδοτικού γενετικού αλγορίθμου που θα εκμεταλλεύεται την ιδιαίτερη δομή κοιλάδας που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα προβλήματα. Τα προβλήματα συνεχούς ροής είναι γνωστό ότι προκαλούν μια δομή εκτεταμένης κοιλάδας με τοπικά βέλτιστα που είναι κοντά μεταξύ τους και με αυτά που είναι κοντά στο ολικό μέγιστο της λύσης.

Ο Reeves παρουσίασε την τεχνική επανασύνδεσης της διαδρομής (path relinking), η οποία βασίζεται στην υπόθεση ότι εάν υπάρχουν δύο τοπικά μέγιστα σε μια λύση, ακολουθώντας την διαδρομή μεταξύ των δύο μεγίστων, μπορεί να υπάρχουν κι άλλα τοπικά μέγιστα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδωσαν εντυπωσιακά αποτελέσματα ξεπερνώντας τα μέχρι τότε καλύτερα αποτελέσματα του Nowicki και Smutnicki [17] που χρησιμοποίησαν αναζήτηση ταμπού (tabu search) στο πρόβλημα 50X20. Η τεχνική του Reeves ανέδειξε την ιδιαιτερότητα και την καινοτομία με την οποία αντιμετωπίζεται η επίλυση των προβλημάτων συνεχούς ροής.

Ο Esquivel et al. [18] χρησιμοποιώντας διαφορετικά παραδείγματα των προβλημάτων του Taillard συνέκρινε μια σειρά από εξελικτικές προσεγγίσεις στα προβλήματα συνεχούς ροής. Δυστυχώς δεν είναι δυνατή η σύγκριση με τα αποτελέσματα του Reeves, λόγω της διαφορετικής διατύπωσης του προβλήματος του Taillard στη έρευνα του Esquivel. Ωστόσο, ο Esquivel με μια βασική εξελικτική προσέγγιση σύγκρινε ένα τελεστή ανασυνδυασμού ενός σημείου με μια πολυγονεϊκή προσέγγιση, όπου κάθε απόγονος δημιουργείται από μεγαλύτερο πεδίο αναζήτησης λύσεων. Ο Esquivel απέδειξε ότι όσο αυξάνεται η ποικιλομορφία του πληθυσμού των λύσεων, τόσο αποτρέπεται η πρόωρη σύγκλιση.

Τελικά ο Esquivel εισηγήθηκε τον τελεστή ανασυνδυασμού PXM και υβριδοποίησε τον αλγόριθμο με τη γνωστή ευρετική μέθοδο NEH (Nawaz-Enscore-Ham heuristic), για να καταλήξει στον αλγόριθμο γνωστό ως MCPC-NEH. Αυτός ο ευρετικός αλγόριθμος θεωρείται ως ο καλύτερος για την λύση προβλημάτων συνεχούς ροής.

### 4.1.3. Προβλήματα ελεύθερης ροής

Τα προβλήματα ελεύθερης ροής έχουν προσελκύσει λιγότερο το ενδιαφέρον της ακαδημαϊκής κοινότητας σε σχέση με τα άλλα ακαδημαϊκά προβλήματα. Ο Fang [19] εξέτασε την μέθοδο Evolving Heuristic Choice (EHC) όπου κατάφερε να ξεπεράσει τις μετρήσεις των προηγούμενων ερευνητών στα προβλήματα ελεύθερης ροής.

## 4.2. Ρεαλιστικά ακαδημαϊκά προβλήματα

Στην πιο πρόσφατη βιβλιογραφία, συναντιέται η τάση να προσδίδεται στα προβλήματα περισσότερη πολυπλοκότητα, η οποία ανταποκρίνεται πιο ρεαλιστικά στις απαιτήσεις της βιομηχανίας. Ο Bruns [20], Husbands και Mill [21] και Husbands και συν. [22] εξελίσσοντας την πολυπλοκότητα των προβλημάτων κατά παραγγελία, θεώρησαν ένα μοντέλο όπου κάθε εργασία μπορεί να έχει εναλλακτικές διαδρομές επεξεργασίας στις μηχανές. Αυτή η θεώρηση περιγράφει καλύτερα τις απαιτήσεις της βιομηχανίας, αφού μπορεί να υπάρχουν πανομοιότυπες μηχανές επεξεργασίας που έχουν την ίδια αποστολή.

Οι Tuson [23], Fang [5] και Fang et al. [25] έθεσαν το ζήτημα της επαναχρονοδρομολόγησης (rescheduling) που είναι ευρέως γνωστό ως δυναμικός χρονοπρογραμματισμός (dynamic scheduling). Σε αυτή την κατάσταση οι εργασίες



έρχονται δυναμικά στη γραμμή επεξεργασίας κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, όπως συμβαίνει πρακτικά στη βιομηχανία. Σε αυτή την περίπτωση η εύρεση ενός ευνοϊκού ή βέλτιστου χρονοπρογράμματος, όσον αφορά στις εργασίες που είναι διαθέσιμες στην τρέχουσα διαδικασία, δεν έχει νόημα αφού οι δυναμικά ερχόμενες εργασίες αποσταθεροποιούν το υπάρχον χρονοπρόγραμμα.

Στα ρεαλιστικά ακαδημαϊκά προβλήματα συναντούμε τα στοχαστικά προβλήματα ελεύθερης ροής (stochastic flowshop problems) όπου οι χρόνοι επεξεργασίας των μηχανών, καθώς και οι χρόνοι άφιξης των εργασιών είναι δύσκολο να προσδιοριστούν με ακρίβεια. Έτσι, οι προσομοιώσεις και τα μετέπειτα αποτελέσματα των χρονοπρογραμμάτων είναι ανακριβείς. Άλλα είδη προβλημάτων που ανήκουν σε αυτή την κλάση δημιουργήθηκαν από ερευνητές προσδιορίζοντας νέους περιορισμούς και χαρακτηριστικά στα προβλήματα κατά παραγγελία στα οποία προσομοιώνουν καλύτερα την πρακτική λειτουργία της βιομηχανίας. Για παράδειγμα ο Ramat [26] παρουσιάζει μια εξελικτική προσέγγιση στον χρονοπρογραμματισμό περιορισμένων πόρων (multiple resource constraint scheduling), όπου οι εργασίες έχουν ανάγκη για πόρους παρά για μηχανές.

Στα κλασικά προβλήματα κατά παραγγελία ο μοναδικός πόρος για τις εργασίες είναι οι μηχανές επεξεργασίας, που είναι διαθέσιμες ανα πάσα στιγμή και επεξεργάζονται μια εργασία στη μονάδα του χρόνου, κάτι που δεν αναποκρίνεται στα πρακτικά δεδομένα. Ο Ramat κατάφερε να διατυπώσει τα προβλήματα κατά παραγγελία από την πλευρά της διαθεσιμότητας του χρόνου και του χώρου για τις εργασίες γενικεύοντας τον κλασικό όρο μηχανή.

### 4.3. Ιδιοσυγκρασιακά προβλήματα

Η τελευταία κατηγορία χρονοπροβλημάτων από τον τίτλο της αντικατοπτρίζει τη δυσκολία για φυσική ταξινόμηση των προβλημάτων χρονοδρομολόγησης και την προφανή ποικιλία των εξελικτικών προσεγγίσεων στα προβλήματα. Για παράδειγμα, ο Ryu et al. [27] περιέγραψαν το πρόβλημα της

κατασκευής πλοίων σε ναυπηγικές εγκαταστάσεις, αναφερόμενοι στη διαδικασία κατασκευής των μερών του πλοίου. Στην συνέχεια συνθέτουν ιεραρχικά μεγαλύτερα τμήματα μέχρι την ολοκλήρωση του έργου. Κάθε εργασία αφορά στην κατασκευή ενός μέρους του πλοίου και ως μηχανές θεωρούνται οι ομάδες κατασκευής που εργάζονται κάθε φορά σε ένα μόνο τμήμα.

Η ιδιαιτερότητα του προβλήματος μετέφερε το ενδιαφέρον των σχεδιαστών στην ποιότητα χρονοδρομολόγησης των εργασιών, με σκοπό την ομοιόμορφη κατανομή στις ομάδες κατασκευής, παρά τη μονόπλευρη ελαχιστοποίηση του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου. Ο Ryu et al. υβριδοποίησε μια απλή δομή χρωμοσώματος και χρησιμοποίησε ένα σύνθετο και εξειδικευμένο αλγόριθμο αξιολόγησης για τα χρονοπρογράμματα.

Η ανάγκη για επέκταση και προσαρμογή του κλασικού προβλήματος κατά παραγγελία στην πραγματική ζωή φαίνεται στην εργασία του W.Langdon, ο οποίος εξέτασε τη χρονοδρομολόγηση εργασιών συντήρησης του δικτύου του ηλεκτρικού ρεύματος της Αγγλίας. Κριτήριο αξιολόγησης των χρονοπρογραμμάτων είναι η ποιότητά τους. Σημαντικός παράγοντας πολυπλοκότητας αποτελεί η συντήρηση των σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας, που αδρανοποιούνται για την επισκευή τους, με πολύπλοκες συνέπειες στην ηλεκτροδότηση της περιοχής. Έτσι, τα χρονοπρογράμματα πρέπει να εφαρμόζουν κριτήρια ποιότητας που θα σχετίζονται με τις πραγματικές ανάγκες του συγκεκριμένου προβλήματος. Το πρόβλημα είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους εργασιών, η αξιοποίηση της δυναμικότητας του δικτύου για την ικανοποίηση της ζήτησης, η εξομάλυνση της περιοδικής συντήρησης και η αποφυγή της δημιουργίας προγραμμάτων στα οποία το πρόγραμμα συντήρησης απαιτεί αλλαγές στο σχετικό πρόγραμμα ηλεκτροδότησης της περιοχής. Ο W.Langdon χρησιμοποίησε την ίδια ιδέα με τον Ryu για την κατασκευή του εξελικτικού μοντέλου. Στην πιο πρόσφατη βιβλιογραφία συναντούμε τη διερεύνηση και την εξέλιξη των προβλημάτων κατά παραγγελία, γεγονός που ενισχύει την εφαρμογή τους στα ιδιοσυγκρασιακά προβλήματα.

## 4.4. Τεχνικά ζητήματα

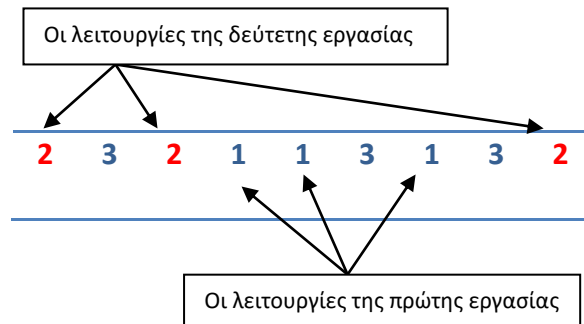
### 4.4.1. Αναπαράσταση ατόμων

Η αναπαράσταση των ατόμων στα προβλήματα χρονοδρομολόγησης ποικίλει σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κωδικοποίησης της λύσης, της αποδοτικότητας της μεθόδου, καθώς και της μετέπειτα επιλογής των γενετικών τελεστών. Μια κακή αναπαράσταση του χρωμοσώματος μπορεί να διευρύνει το χώρο αναζήτησης του προβλήματος ή να καθυστερήσει την εξέλιξη, εάν υπάρχουν τελέστες διόρθωσης για τη διασφάλιση της εγκυρότητας των χρωμοσωμάτων. Για τα περισσότερα προβλήματα μια αναπαράσταση σταθερού μήκους χρωμοσώματος είναι ιδανική, αλλά σε μερικές περιπτώσεις είναι πιο συμφέρουσα η ανάγκη για μεταβλητό μήκος.

Πιο κάτω παρατίθενται οι σημαντικότερες μέθοδοι αναπαράστασης που αναφέρθηκαν στην υποενότητα των προβλημάτων κατά παραγγελία, από την σκοπιά των ακαδημαϊκών προβλημάτων. Αυτές διακρίνονται σε δύο κλάσεις: την άμεση και την έμμεση, όπως προαναφέρθηκε. Αυτές οι προσεγγίσεις εκφράζουν τη βάση για την αναπαράσταση του συνόλου των προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού που αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Ο Cheng et al. [15] ανασκόπησαν και παρουσίασαν μια σειρά από αναπαραστάσεις για τα προβλήματα κατά παραγγελία. Έτσι, για την άμεση αναπαράσταση έχουμε τις:

- Operation-based representation
- Job-based representation
- Job pair relation-based representation
- Completion time-based representation
- Random keys representation

Για την αναπαράσταση operation-based το χρωμόσωμα κωδικοποιείται βάσει της ακολουθίας των λειτουργιών του χρονοπρογράμματος. Για παράδειγμα, μια αναπαράσταση τριών λειτουργιών και εργασιών θα ήταν όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



**Στο παραπάνω σχήμα η αναπαράσταση Operation-based.**

Έτσι ο αριθμός 2, ανάλογα με τη θέση του στον πίνακα, δηλώνει τον αριθμό της λειτουργίας της δεύτερης εργασίας (π.χ ο δεύτερος αριθμός 2 δηλώνει τη δεύτερη λειτουργία της δεύτερης εργασίας). Οι λειτουργίες προγραμματίζονται σύμφωνα με τη θέση τους στον πίνακα μεγέθους  $n \times m$ , όπου  $n$  ο αριθμός των εργασιών και όπου  $m$  ο αριθμός των λειτουργιών. Όλες οι μεταθέσεις των γονιδίων του χρωμοσώματος παράγουν έγκυρα χρωμοσώματα.

Στην job-based αναπαράσταση η κωδικοποίηση του χρωμοσώματος γίνεται βάσει της ακολουθίας των εργασιών. Στο παρακάτω σχήμα παραθέτουμε μια κωδικοποίηση με τρεις λειτουργίες και τρεις εργασίες:



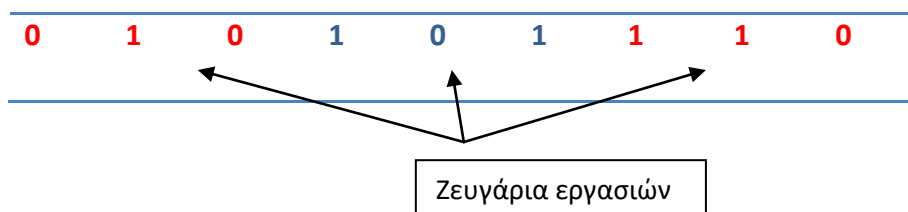
**Η αναπαράσταση job-based.**

Σε αυτό το παράδειγμα όλες οι λειτουργίες της τρίτης εργασίας προγραμματίζονται πρώτα, ενώ με προτεραιότητα προγραμματίζονται οι λειτουργίες της πρώτης και της δεύτερης εργασίας.

Η job pair relation-based αναπαράσταση χρησιμοποιεί ένα δυαδικό πίνακα, για να αναπαραστήσει τη λύση. Οι τιμές του πίνακα καθορίζονται με την εξής διαδικασία: 1) Εάν η εργασία  $i$  επεξεργάζεται πριν την εργασία  $j$  στη μηχανή  $m$  τότε  $x_{ijm} = 1$  διαφορετικά  $x_{ijm} = 0$ . Ένα πρόβλημα με τρεις εργασίες και τρεις μηχανές θα μπορούσε να διαμορφωθεί ως εξής:

$$\begin{pmatrix} x_{121} & x_{122} & x_{123} \\ x_{131} & x_{132} & x_{133} \\ x_{231} & x_{233} & x_{232} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Η ακολουθία της μεταβλητής  $x_{ijm}$  στον παραπάνω πίνακα διατηρείται σταθερή με την ακολουθία των λειτουργιών την πρώτης εργασίας του ζευγαριού εργασιών. Αυτή η αναπαράσταση μπορεί να κωδικοποιηθεί σε ένα χρωμόσωμα καθορίζοντας μια σειρά από υποχρωμοσώματα (sub-chromosomes) που αναπαριστούν τη σειρά επεξεργασίας ενός ζευγαριού εργασιών στην κάθε μηχανή όπως παρακάτω:



### Η αναπαράσταση job pair relation-based.

Λόγω της πολυπλοκότητας και της πλειονάζουσας φύσης της μεθόδου, αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε ελάχιστα για τη λύση προβλημάτων, αφού οι γενετικοί τελεστές πρέπει να περιέχουν μεθόδους ελέγχου και διόρθωσης των μη-έγκυρων αναπαραστάσεων.

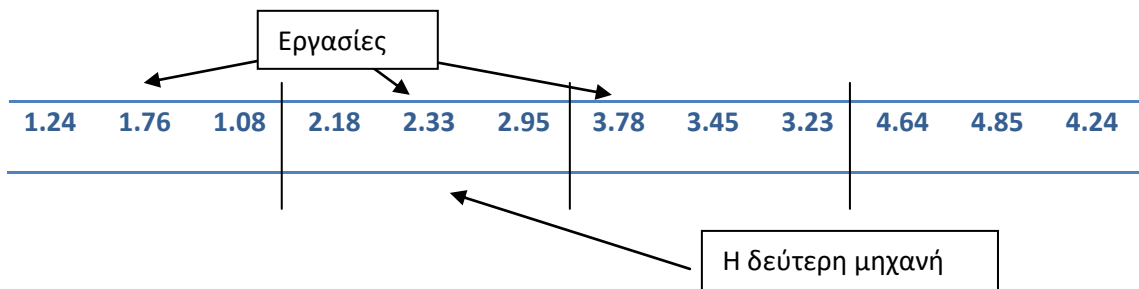
Η αναπαράσταση completion time-based κωδικοποιεί τα χρωμοσώματα με μια διατεταγμένη λίστα των χρόνων ολοκλήρωσης των λειτουργιών. Αυτοί οι χρόνοι λαμβάνονται από τη δημιουργία ενός ενεργού προγράμματος (active schedule) χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο των Giffler και Thomson. Στο κλασικό πρόβλημα με τις τρεις εργασίες και τις τρεις μηχανές θα έχουμε ένα χρωμόσωμα όπου κάθε γονίδιο θα αναπαριστάται από το χρόνο ολοκλήρωσης των λειτουργιών  $C_{jom}$ . Το  $j$

αφορά στον αριθμό της εργασίας, το  $o$  τη λειτουργία της εργασίας και το  $m$  τη μηχανή επεξεργασίας.

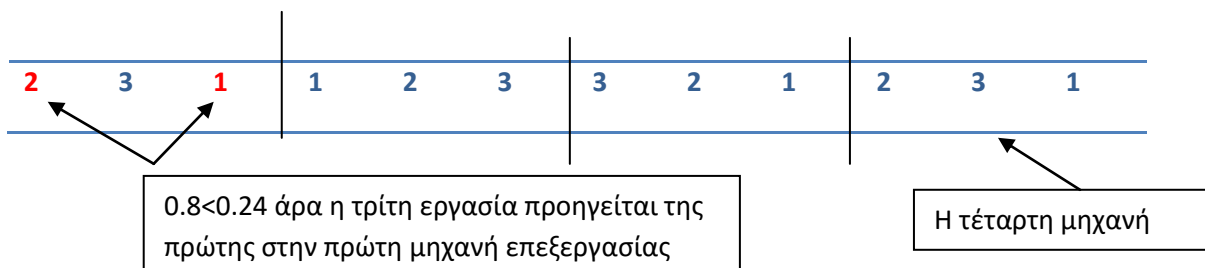
$C_{111}$	$C_{122}$	$C_{133}$	$C_{211}$	$C_{223}$	$C_{232}$	$C_{312}$	$C_{321}$	$C_{333}$
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

### Η αναπαράσταση completion time-based.

Η τελευταία άμεση αναπαράσταση, η random key, κωδικοποιεί το κάθε γονίδιο με ένα τυχαίο αριθμό και στη συνέχεια κάθε αριθμός ταξινομείται, για να καθοριστεί η ακολουθία των λειτουργιών. Η γεννήτρια τυχαίων αριθμών χρησιμοποιείται δύο φορές. Την πρώτη φορά παράγει έναν ακέραιο θετικό αριθμό, για να καθοριστεί σε ποια μηχανή εκχωρείται η εκάστοτε λειτουργία, και έπειτα παράγει ένα αριθμό μεταξύ του  $(0,1)$  που καθορίζει την προτεραιότητα της εργασίας για χρονοδρομολόγηση. Ο μικρότερος τυχαίος αριθμός στο διάστημα  $(0,1)$  καθορίζει την πρώτη εργασία που θα χρονοδρομολογηθεί. Στο παρακάτω παράδειγμα το μοντέλο αποτελείται από τρεις εργασίες και τέσσερις μηχανές. Το πρώτο σχήμα αναπαριστά το κωδικοποιημένο χρωμόσωμα, ενώ το δεύτερο τη σειρά προτεραιότητας των εργασιών.



### Η αναπαράσταση random key.

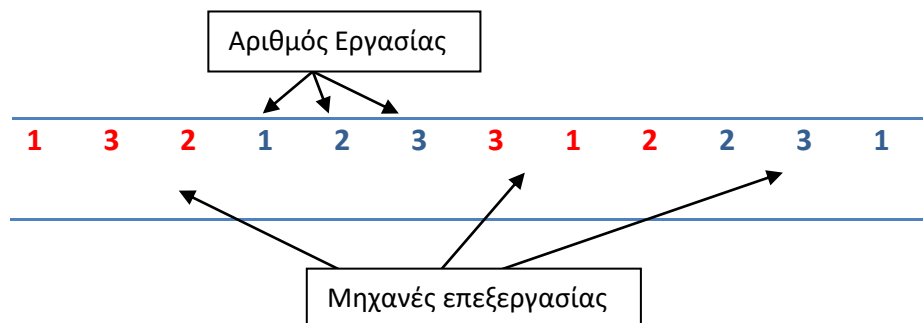


### Η σειρά προτεραιότητας των εργασιών του παραδείγματος.

Στην έμμεση αναπαράσταση, όπου το χρονοπρόγραμμα δεν είναι κωδικοποιημένο φυσικά στο χρωμόσωμα, διακρίνουμε τέσσερις προσεγγίσεις:

- Preferred list-based representation
- Priority rule-based representation
- Disjunctive graph-based
- Machine-based

Στην preferred list-based αναπαράσταση το χρωμόσωμα αποτελείται από μια ακολουθία  $m$  υπο-χρωμοσωμάτων, όπου  $m$  είναι ο αριθμός των εργασιών. Κάθε υπο-χρωμόσωμα αριθμεί μια λίστα προτεραιότητας επεξεργασιών για τις διαθέσιμες εργασίες του μοντέλου. Το παραπάνω μοντέλο αναπαριστάται με τον παρακάτω πίνακα, ο οποίος αφορά σ' ένα σύστημα με τέσσερις μηχανές και τρεις εργασίες:

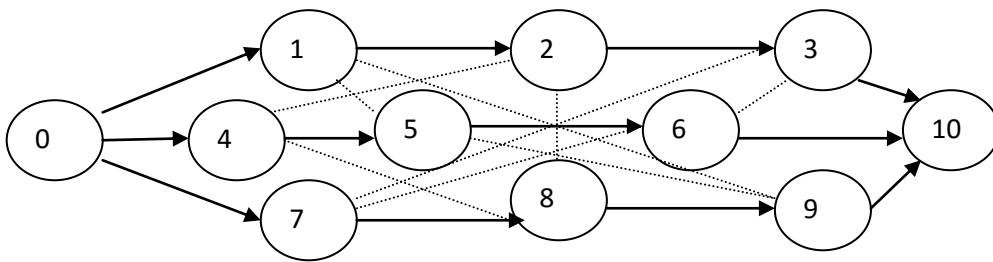


### Η αναπαράσταση preferred list-based.

Συνεχίζοντας, η priority rule-based κωδικοποιεί το χρωμόσωμα ως μια ακολουθία κανόνων επιλογής και αποστολής (dispatching rules). Το χρονοπρόγραμμα των εργασιών δημιουργείται χρησιμοποιώντας ευρετικές μεθόδους βασισμένες στους κανόνες επιλογής και αποστολής, όπως έχει προταθεί από τους Giffler και Thomson. Το χρωμόσωμα αποτελείται από  $n \times m$  γονίδια, όπου  $n$  ο αριθμός των εργασιών και  $m$  ο αριθμός των μηχανών.

Στην disjunctive graph-based η αναπαράσταση του χρωμοσώματος πραγματοποιείται με μια δυαδική σειρά συμβόλων που προέρχεται από την αναπαράσταση γράφου του προβλήματος. Ο γράφος αποτελείται από διαζευτικά χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων με εξελικτικούς αλγορίθμους

τόξα που ενώνουν μεταξύ τους τις διαφορετικές εργασίες (κόμβοι - nodes), οι οποίες πρέπει να επεξεργαστούν σε μια μηχανή. Ο γράφος μπορεί να οριστεί ως  $G = (N, A, E)$ , όπου  $N$  είναι ο αριθμός των κόμβων που αναπαριστούν μια εργασία,  $A$  η σειρά των λειτουργιών που απαρτίζουν την εκάστοτε εργασία (σύμφωνα με τις συνδέσεις των τόξων) και  $E$  το σύνολο των λειτουργιών που πρέπει να επεξεργαστούν από την ίδια μηχανή (σύμφωνα με τις συνδέσεις των διαζευκτικών τόξων). Παρακάτω ένα παράδειγμα με τρεις εργασίες και τρεις μηχανές. Οι διαφορετικές εργασίες αναπαρίστανται από κύκλους, η σειρά των λειτουργιών της εκάστοτε εργασίας συνδέεται με συμπαγείς γραμμές, ενώ η επεξεργασία των λειτουργιών της κάθε μηχανής αναπαρίσταται από τις συνδέσεις των διακεκομμένων γραμμών.



**Disjunctive graph-based γράφος.**

Το χρωμόσωμα αποτελείται από μια σειρά από δυαδικούς χαρακτήρες που προσδιορίζουν την προτεραιότητα των εργασιών στην εκάστοτε μηχανή. Κάθε διαζευκτικό τόξο (διακεκομμένη γραμμή) αναπαρίσταται ως  $e_{ij}$  όπου  $i$  και  $j$  οι λειτουργίες (κύκλοι) που ενώνει το διαζευκτικό τόξο. Για κάθε σύνδεση, όταν η διαδικασία  $j$  προηγείται της  $i$ , η τιμή του  $e_{ij}$  είναι 1, ενώ όταν η διαδικασία  $i$  προηγείται της  $j$ , η τιμή του  $e_{ij}$  είναι 0.



$e_{15}$	$e_{19}$	$e_{59}$	$e_{24}$	$e_{28}$	$e_{48}$	$e_{36}$	$e_{37}$	$e_{67}$
0	1	0	0	1	1	1	0	1

### Disjunctive graph-based αναπαράσταση.

Να σημειώσουμε ότι το χρωμόσωμα δεν αναπαριστά το ίδιο το χρονοπρόγραμμα, αλλά χρησιμοποιείται ως εργαλείο για την οργάνωση των προτεραιοτήτων των εργασιών στις μηχανές. Στην συνέχεια, με την διαδικασία του κρίσιμου μονοπατιού (critical path), δημιουργείται το χρονοπρόγραμμα.

Τέλος, η αναπαράσταση machine based είναι πανομοιότυπη με την job based με την διαφορά ότι στην job based οι αριθμοί στο χρωμόσωμα αναπαριστούν την προτεραιότητα των εργασιών, ενώ στην machine based οι αριθμοί αναπαριστούν την σειρά επεξεργασίας των μηχανών.

## 4.4.2. Γενετικοί τελεστές

### 4.4.2.1 Τελεστές ανασυνδυασμού

Ο Cheng et al. [15] παρουσίασαν το σύνολο των τελεστών ανασυνδυασμού για τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού οι οποίοι είναι:

- Partially-mapped crossover (PMX)
- Order crossover (OX)
- Position-based crossover
- Order-based crossover
- Cycle crossover
- Linear order crossover (LOX)
- Subsequence exchange crossover (SXX)

- Job-based order crossover (JOX)

Ο τελεστής *partially-mapped crossover* (PMX) αναπτύχθηκε για να αντιμετωπίσει αποδοτικά το πρόβλημα του τυφλού περιοδεύοντος πωλητή (*blind salesman problem* BTSP). Η διαφορά του με το πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή (TSP) είναι ότι στο BTSP έχει προστεθεί ο περιορισμός ότι η απόσταση που διανύει ο πωλητής είναι άγνωστη ωστόσο μια περιήγηση ολοκληρωθεί. Θεωρώντας ότι αυτά τα προβλήματα λειτουργούν με μεταθέσεις (*permutations*), ένας τυπικός τελεστής ανασυνδυασμού θα ήταν καταστροφικός για το πρόβλημα. Ο PMX διαλέγει δύο ίδιου μήκους περιοχές των γονέων, οι οποίες ανταλλάσσονται μεταξύ τους, ενώ οι υπόλοιπες τιμές του χρωμοσώματος συμπληρώνονται με τα γονίδια που υπολείπονται, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

**Χρωμοσώματα γονέων**

3	9	5	4	6	2	7	1	8
7	4	3	8	9	2	1	5	6

**Χρωμοσώματα απογόνων**

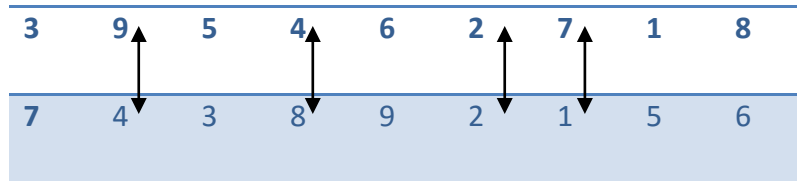
5	6	3	8	9	2	7	1	4
7	8	5	4	6	2	1	2	9

**Τελεστής *partially-mapped crossover*.**

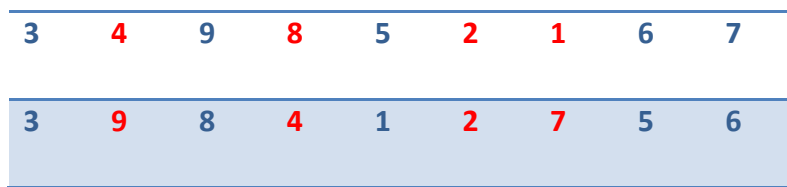
Ο τελεστής *order crossover* έχει παρόμοια λειτουργία με τον PMX, η διαφορά τους έγκειται στο ότι οι περιοχές επιλογής για ανταλλαγή μπορεί να είναι περισσότερες από μια. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές αυτής της μεθόδου μία από αυτές περιγράφεται στο[29].

Ο position-based crossover είναι μια παραλλαγή του γνωστού uniform crossover αλλά για μεταθέσεις. Αφού έχουν επιλεγεί οι δύο γονείς για ανασυνδυασμό, επιλέγονται τυχαία τα σημεία που θα γίνει η ανταλλαγή. Αφού γίνει η ανταλλαγή, οι τιμές των υπόλοιπων γονιδίων διορθώνονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να τηρείται η διάταξη μετάθεσης των γονιδίων.

#### Χρωμοσώματα γονέων



#### Χρωμοσώματα απογόνων

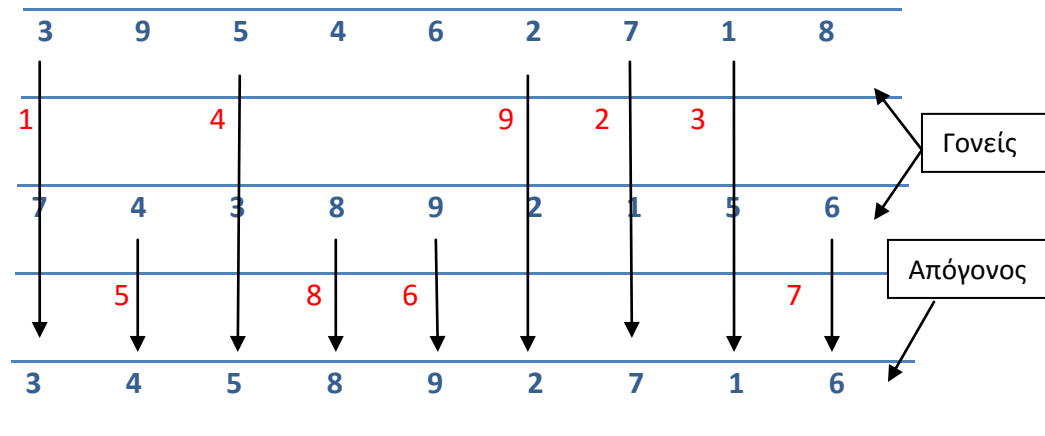


#### Τελεστής position-based crossover.

Ο τελεστής order-based crossover είναι μια παραλλαγή του position-based crossover. Ο τελεστής χρησιμοποιεί μια δυαδική μάσκα, όπου 0 σημαίνει ανταλλαγή γονιδίων από τον πρώτο γονέα και όπου 1 ανταλλαγή γονιδίων από τον δεύτερο. Μετά από αυτή τη διαδικασία οι κενές θέσεις των απογόνων συμπληρώνονται με την διάταξη που εμφανίζονται στους γονείς.

Ο τελεστής cycle crossover δημιουργεί απογόνους με κυκλικό τρόπο. Η διαδικασία ξεκινά αντιγράφοντας το πρώτο γονίδιο του πατέρα στο παιδί. Στην συνέχεια, με την αντιγραφή του πρώτου γονιδίου του δεύτερου γονέα προσδιορίζεται η θέση όπου η μέθοδος θα ανταλλάξει το γονίδιο από τον πρώτο γονέα. Ο κύκλος αυτής της διαδικασίας ολοκληρώνεται πριν η μέθοδος αντιγράψει το γονίδιο που υπάρχει ήδη στον απόγονο. Έπειτα, η ίδια διαδικασία

επαναλαμβάνεται με τον δεύτερο γονέα, με το να δίνει το πρώτο γονίδιο στον απόγονο.



**Ο τελεστής cycle crossover. (Οι αριθμοί με κόκκινο χρώμα προσδιορίζουν τη σειρά με την οποία δημιουργούνται τα γονίδια του απογόνου).**

Ο Linear order crossover (LOX), μια παραλλαγή του order crossover (OX), αν και δεν έχει δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα στο πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή, όπως ο OX, είναι αρκετά αποτελεσματικός στα προβλήματα κατά παραγγελία. Η διαφορά με τον OX είναι ότι, μετά την ανταλλαγή του γενετικού υλικού, οι υπόλοιπες τιμές του χρωμοσώματος συμπληρώνονται με τα γονίδια που υπολείπονται είτε δεξιά είτε αριστερά της αλλαγής.

Ο subsequence exchange crossover (SXX) σχεδιάστηκε για τα προβλήματα κατά παραγγελία που χρησιμοποιούν το γνωστό πίνακα ροής εργασιών  $n \times m$  (όπου  $n$  ο αριθμός των εργασιών και  $m$  ο αριθμός των μηχανών). Κάθε γραμμή του πίνακα αναπαριστά την ακολουθία κάθε εργασίας στις μηχανές. Κατά τη διασταύρωση δύο γονέων υπακολουθίες της ροής των εργασιών, που τρέχουν αλληπάλληλα, ανταλλάσσονται μεταξύ των δύο γονέων. Αν και θεωρείται αρκετά εξειδικευμένος τελεστής, βρέθηκε να έχει υψηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα.

Τέλος, ο τελεστής job-based order crossover (JOB) είναι παραλλαγή του SSX με διαφορά ότι κατά την διασταύρωση διαλέγει τυχαία τις εργασίες που θα

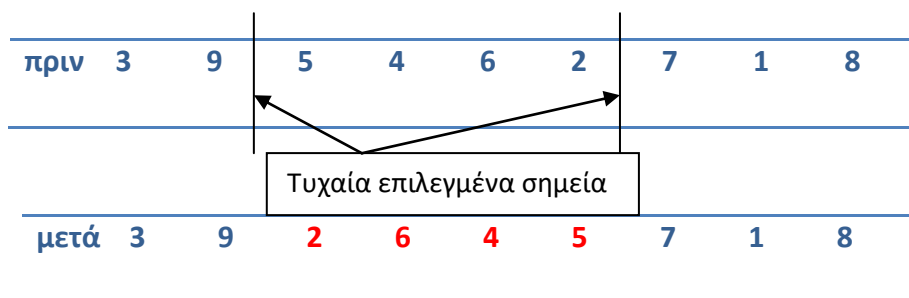
διατηρήσουν τη θέση τους από τον πρώτο γονέα και στη συνέχεια οι υπόλοιπες κενές θέσεις συμπληρώνονται σύμφωνα με τη διάταξη των εργασιών από τον δεύτερο γονέα.

#### 4.4.2.2. Τελεστές μετάλλαξης

Παρακάτω παρουσιάζουμε τους βασικούς τελεστές μετάλλαξης για τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού. Όλα τα παραδείγματα που ακολουθούν είναι σε job-based αναπαράσταση. Οι πιο συνηθισμένοι τελεστές μετάλλαξης για τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού είναι οι:

- Inversion mutation
- Insertion mutation
- Displacement mutation
- Reciprocal mutation
- Shift mutation

Στην inversion μετάλλαξη διαλέγονται δύο τυχαία σημεία του χρωμοσώματος και στη συνέχεια μεταξύ των δύο σημείων γίνεται αντιστροφή, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



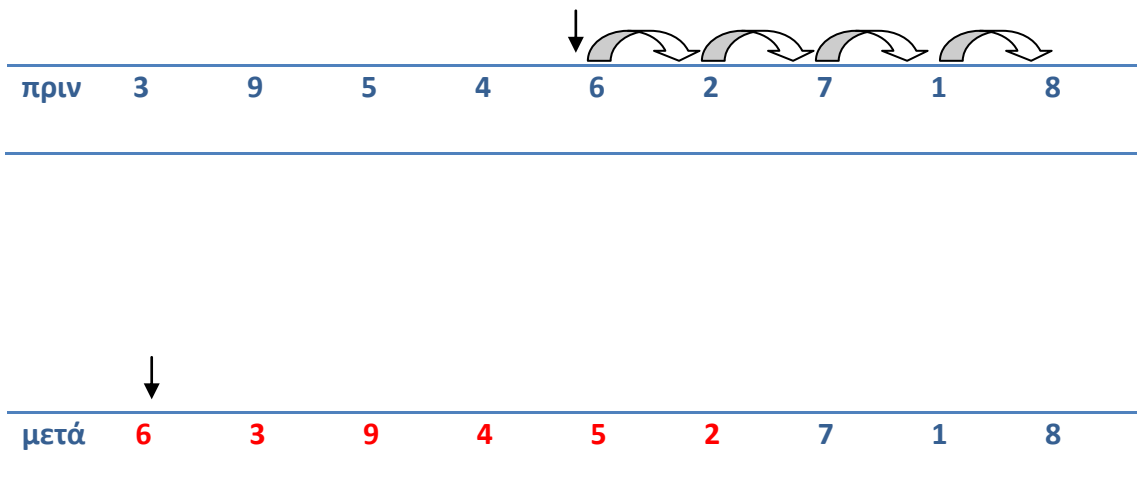
#### Η μετάλλαξη inversion.

Στην insertion μετάλλαξη διαλέγεται τυχαία ένα γονίδιο του χρωμοσώματος και μεταφέρεται σε μια τυχαία θέση, όπως στο παρακάτω σχήμα. Μια παραλλαγή της insertion είναι η displacement mutation, όπου αντί για ένα γονίδιο μια ολόκληρη υπο-περιοχή μεταφέρεται σε τυχαία θέση μέσα στο χρωμόσωμα.



### Η μετάλλαξη insertion.

Στην reciprocal μετάλλαξη δύο τυχαία γονίδια του χρωμοσώματος επιλέγονται για ανταλλαγή. Τέλος, στη shift μετάλλαξη επιλέγεται τυχαία ένα γονίδιο και μετατοπίζεται σε τυχαίο αριθμό θέσεων δεξιά ή αριστερά, όπως φαίνεται πιο κάτω.



### Η μετάλλαξη shift με μετατόπιση 5.

## 5. Το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού των διαφημίσεων

Η διαδικασία πώλησης και προγραμματισμού των διαφημιστικών σποτ μπορεί να περιγραφεί ως εξής [30][33][34]: Οι διαφημιζόμενοι στέλνουν στον εκάστοτε τηλεοπτικό ή ραδιοφωνικό σταθμό την αίτηση για μετάδοση διαφημιστικών σποτ. Ο διαφημιζόμενος μπορεί να είναι η ίδια εταιρεία της οποίας τα προϊόντα θα διαφημιστούν ή η εταιρεία που μεσολαβεί για την επίτευξη συμφωνίας μεταξύ σταθμού και πελάτη. Οι μεσίτες διαφημιστικών μέσων ονομάζονται media shops και είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος επικοινωνίας του φυσικού διαφημιζόμενου με τα διαφημιστικά μέσα.

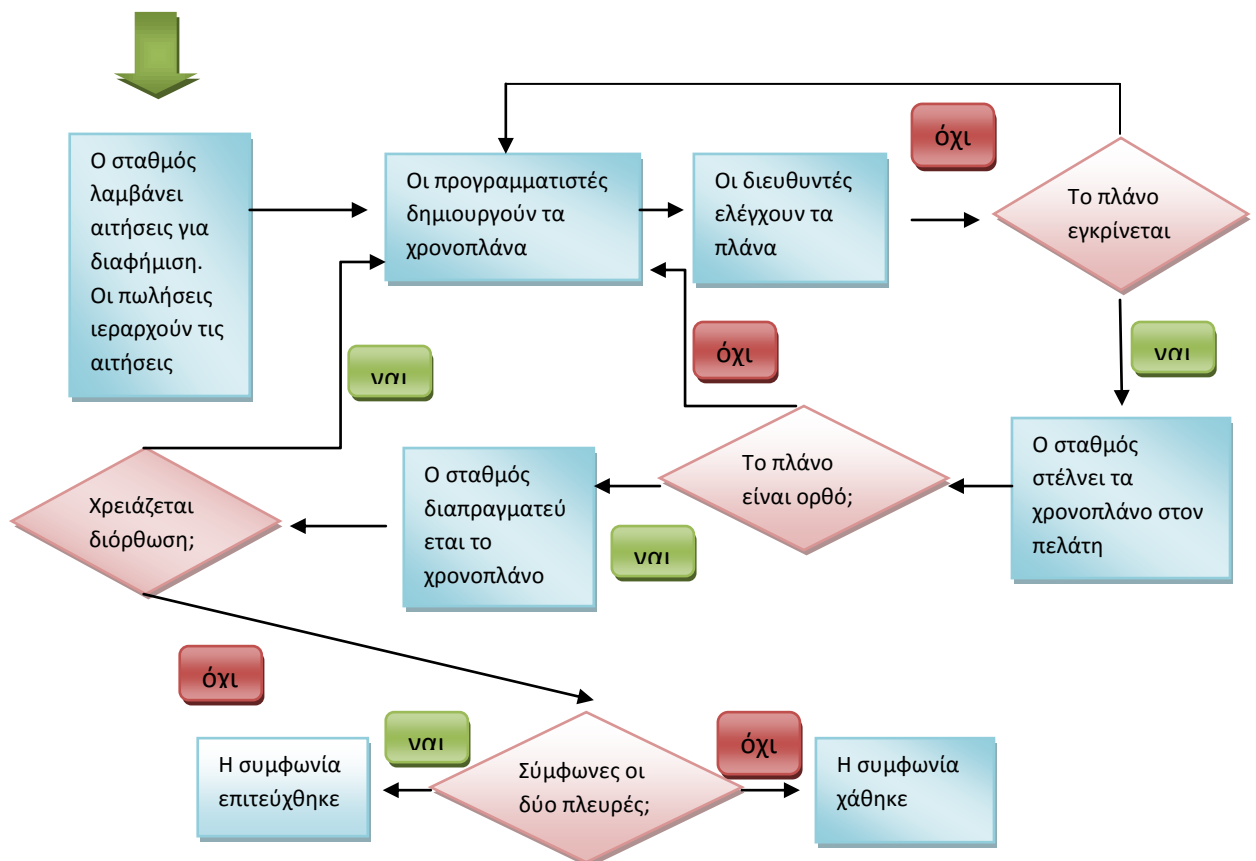
Η διαδικασία αίτησης του διαφημιζόμενου για την μετάδοση διαφημίσεων προσδιορίζει τον αριθμό των διαφημιστικών σποτ για μετάδοση και το χρονικό διάστημα που αυτά τα σποτ πρόκειται να μεταδοθούν. Οι προτιμήσεις του διαφημιζόμενου για μετάδοση είναι γνωστό ότι δεν προσδιορίζονται ακριβώς, αλλά ο διαφημιζόμενος καταθέτει στο σταθμό ένα πλάνο με συγκεκριμένους κανόνες που η συμφωνία πρέπει να πληρεί. Η τιμή της διαφήμισης σε ένα σταθμό καθορίζεται σε μηνιαία βάση προσδιορίζοντας την τιμή του δευτερολέπτου διαφήμισης σε κάθε μια από τις τηλεοπτικές εκπομπές, άρα και οι δύο πλευρές έχουν γνώση για τον τιμοκατάλογο διαφήμισης του σταθμού πριν την επίτευξη της συμφωνίας.

Μετά τη συλλογή των αιτήσεων για μετάδοση οι διευθυντές πωλήσεων του σταθμού ιεραρχούν την προτεραιότητα μετάδοσης για κάθε πελάτη σύμφωνα με στοιχεία που ο σταθμός συλλέγει από παλαιότερες επαγγελματικές συμφωνίες, τη συνολική εικόνα του διαφημιζόμενου ως πελάτη, την προοπτική του διαφημιζόμενου ως μελλοντικού πελάτη. Στην συνέχεια, οι προγραμματιστές των χρονοπλάνων δημιουργούν μια σειρά από ενδεχόμενες λύσεις για την προβολή των διαφημίσεων σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο (εβδομαδιαία, μηνιαία ή και χρονιαία).

Αυτή η διαδικασία είναι εξαιρετικά χρονοβόρα και δύσκολη, γι' αυτό και συχνά τα περισσότερα πρόχειρα χρονοπλάνα έπρεπε να επανασχεδιαστούν, επειδή χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων με εξελικτικούς αλγορίθμους

δεν μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις διμερείς απαιτήσεις και προσδοκίες του σταθμού και του πελάτη. Ιδιαίτερα για τις ώρες υψηλής τηλεθέασης, γνωστές ως prime time, οι χρονοπρογραμματιστές δημιουργούσαν περισσότερα χρονοπλάνα για τους διευθυντές πωλήσεων, με αποτέλεσμα να καταναλώνονται άσκοπα εκατοντάδες ανθρωπόωρες, τη στιγμή που οι περισσότερες επιχειρήσεις έχουν την ανάγκη να λειτουργούν με περιορισμένο ανθρώπινο δυναμικό και οι ίδιοι οι άνθρωποι του marketing να εργάζονται πιο αποδοτικά.

Όλη αυτή η κατάσταση δημιούργησε πολλά προβλήματα στα ανώτερα στελέχη των σταθμών, διότι μη μπορώντας να συμφωνήσουν μεταξύ τους σταθμός και πελάτης, χάνονταν πολλές συμφωνίες στο στάδιο των διαπραγματεύσεων.



Μετά την συλλογή των αιτήσεων για διαφήμιση οι προγραμματιστές μπορεί να αναθεωρήσουν πολλές φορές τα χρονοπλάνα που έχουν δημιουργήσει, εάν αυτά δεν ικανοποιούν το σταθμό και τον πελάτη. Συμφωνία μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν οι δύο πλευρές είναι ικανοποιημένες.



Ένα σύστημα που θα μπορούσε να δημιουργεί αυτόματα χρονοπλάνα θα επωφελούσε τους σταθμούς και τους διαφημιζόμενους αν υποθέσουμε ότι: 1) τα χρονοπλάνα θα κάλυπταν πιο έγκυρα τις ανάγκες σταθμού-πελάτη, 2) ο σταθμός θα μπορούσε να απαντά πιο γρήγορα στους πελάτες για τη διαπραγμάτευση της συμφωνίας τους, 3) ο σταθμός θα μπορούσε να διαχειρίζεται αποδοτικά τον περιορισμένο τηλεοπτικό χρόνο που διαθέτει ιδιαίτερα στη διαφημιστική ζώνη prime time, 4) η ανάγκη για επανεργασία και αναθεώρηση των χρονοπλάνων θα μπορούσε να ελατωθεί συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος.

## 5.1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση του προβλήματος του χρονοπρογραμματισμού των διαφημίσεων

Ο χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων σε ιστοσελίδες είναι θέμα σχετικό με την παρούσα εργασία όχι όμως πανομοιότυπο. Η διαφορά είναι ότι εξετάζεται η τοποθέτηση των διαφημιστικών εικόνων, βίντεο που ποικίλουν σε μέγεθος, στην οθόνη του υπολογιστή και η αλλαγή τους στη διάρκεια του χρόνου. Οι διαφημίσεις είναι αποθηκευμένες σε έναν advertisement server ο οποίος καθορίζει σε ποιες ιστοσελίδες αυτές οι διαφημίσεις θα προβληθούν (π.χ Aggarwal, Wolf, Yu, Adler, Gibbons, Matias, Dean, Goemans, Dawande, Kumar, Sriskandarajah, Freund, Naor) [33]. Εταιρείες, όπως οι Google και η Yahoo, έχουν αναπτύξει ολοκληρωμένα συστήματα δρομολόγησης διαφημίσεων, το Google Ads και το Ads by Yahoo.

Ο χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων σε σταθμούς έχει αναφερθεί σε λίγα άρθρα που σχετίζονται άμεσα με την παρούσα εργασία. Ο Brown αναφέρει την κατάσταση στην 'Thames Television' και τις δυσκολίες του χειροκίνητου χρονοπρογραμματισμού των διαφημίσεων. Επιπλέον, περιγράφει έναν αλγόριθμο για τη συστηματική ανταλλαγή διαφημίσεων σε διάφορα διαλείμματα του τηλεοπτικού προγράμματος, με στόχο να κερδίσει τηλεοπτικό χρόνο για επιπλέον διαφημίσεις.

Ο Balachandra [35] εξετάζει την επίδραση των διαφημιστικών σποτ σε διαφορετικά διαφημιστικά χρονοπρογράμματα παρουσιάζοντας μια προσομοίωση. Οι Hagele, Dunlaving και Riis [36] απέδειξαν ότι το πρόβλημα που περιέγραψε ο Brown ανήκει στην τάξη NP-complete. Ο Bollapragada [32] περιγράφει την κατάσταση στον τηλεοπτικό σταθμό NBC και τις δυσκολίες που αντιμετωπίζει το τμήμα πωλήσεων στο σχεδιασμό χρονοπρογραμμάτων για κάθε διαφημιζόμενο. Ο Bollapragada, Bussieck και Malik [31] αναφερόμενοι στο πρόβλημα του NBC ανέπτυξαν ευρετικό αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης τηλεοπτικών σποτ με βάση τον ακέραιο προγραμματισμό, έτσι ώστε η μετάδοση των ίδιων σποτ να είναι κατανομημένη ομοιόμορφα στο τελικό διαφημιστικό πρόγραμμα.

Ο Bollapragada και Garbiras [30] προσέθεσαν στο πρόβλημα του NBC επιπλέον περιορισμούς. Το αυτόματο σύστημα πωλήσεων στον NBC απέφερε κέρδη ύψους 50 εκατομμυρίων δολαρίων το χρόνο. Οι Alf Kimms και Michael Muller-Bungart [33], σε αντίθεση με το πρόβλημα που ανέφερε ο Bollapragada, ανέπτυξαν ένα σύστημα απόρριψης / αποδοχής διαφημίσεων σε ένα διαφημιστικό πρόγραμμα. Επίσης, ο ευρετικός τους αλγόριθμος εφαρμόζει αυστηρά τους περιορισμούς χρονοδρομολόγησης σε αντίθεση με τους αλγορίθμους του Bollapragada που επιτρέπει την παραβίαση μερικών περιορισμών με την επιβολή ποινής.

Οι S.Hurley, L.Moutinho και N.M.Stephens [7] αναφέρουν για πρώτη φορά τη δυνατότητα των γενετικών αλγορίθμων να λύσουν προβλήματα βελτιστοποίησης στον τομέα του marketing. Οι παραπάνω αναφέρουν μεταξύ άλλων τη στρατηγική διαφήμισης και το σχεδιασμό χρονοπρογραμμάτων για τα μέσα ως αξιόλογες εφαρμογές. Οι J.J.Merelo και A.Prieto [37] αναφέρουν το πρόβλημα τοποθέτησης διαφημίσεων σε ένα αριθμό μέσων, ικανοποιώντας διάφορους περιορισμούς, έτσι ώστε η διαφήμιση να μεταδοθεί στο ενδιαφερόμενο κοινό, αλλά και να καταφέρει να το φτάσει αρκετές φορές και όλα αυτά με τη μικρότερη δυνατή δαπάνη. Η ανάγκη για πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση οδήγησε τους παραπάνω ερευνητές να χρησιμοποιήσουν γενετικούς αλγορίθμους.

## 6. Η υλοποίηση της εφαρμογής EnoAds

### 6.1. Εισαγωγή

Στο ερευνητικό μέρος της εργασίας παρουσιάζουμε την εφαρμογή EnoAds (από τα αρχικά Evolutionary Advertisements Scheduling) που υλοποιεί ένα πλήρες ερευνητικό εργαλείο για τη διαχείριση τηλεοπτικού ωρολόγιου προγράμματος και διαφημίσεων, με σκοπό την παραγωγή τηλεοπτικών χρονοπρογραμμάτων των διαφημίσεων. Για την ανάπτυξη της εφαρμογής μελετήθηκαν οι απαιτήσεις ενός συστήματος διαχείρισης τηλεοπτικού χρόνου μέσα από τις πληροφορίες που παρείχαν τα πρόσωπα, οι εταιρείες και οι δημόσιοι οργανισμοί που εμπλέκονται στον κύκλο της παραγωγής των διαφημιστικών χρονοπρογραμμάτων.

### 6.2. Η ισχύουσα κατάσταση στους τηλεοπτικούς σταθμούς

Οι αρχικές πληροφορίες για την εγκυρότητα και τη νομική κάλυψη των διαφημιστικών χρονοπρογραμμάτων αντλήθηκαν από το Ελληνικό Ραδιοτηλεοπτικό Συμβούλιο (ΕΣΡ), που θεωρείται η ανεξάρτητη αρχή που είναι υπεύθυνη για όλους τους ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς. Μετά από τηλεφωνική επικοινωνία, μας παρέπεμψε στις σχετικές διατάξεις και τους κανονισμούς που αφορούν στις διαφημίσεις και στα διαφημιστικά διαλείμματα. Οι σημαντικότερες πληροφορίες που συλλέξαμε είναι οι εξής: 1) Οι ταινίες και τα σίριαλ μπορεί να διακόπτονται μια φορά κάθε 45 λεπτά με διακοπή 9 λεπτών, ενώ άλλη μια διακοπή επιτρέπεται εάν η προγραμματισμένη διάρκειά τους υπερβαίνει κατά 20 λεπτά τη διάρκεια δυο ή περισσότερων ολόκληρων χρονικών διαστημάτων των 45 λεπτών. 2) Στις θρησκευτικές τελετές δεν πρέπει να παρεμβάλλονται διαφημιστικά μηνύματα, ενώ το ίδιο ισχύει και για τις ενημερωτικές εκπομπές, για τα δελτία καιρού, τα ντοκιμαντέρ, τις εκπομπές θρησκευτικού περιεχομένου και για τις παιδικές εκπομπές που διαρκούν λιγότερο από 30 λεπτά. 3) Στις αθλητικές εκπομπές, τα

διαφημιστικά μηνύματα παρεμβάλλονται μόνο μεταξύ των αυτόνομων μερών ή στα διαλείμματα. 4) Ο συνολικός χρόνος μετάδοσης διαφημιστικών μηνυμάτων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 15% του ημερήσιου συνολικού προγράμματος. 5) Τέλος διευκρινίζεται ότι δεν θεωρούνται διαφημίσεις οι ανακοινώσεις του ραδιοτηλεοπτικού φορέα, τα διάφορα μηνύματα κοινωνικού περιεχομένου που μεταδίδονται δωρεάν, τα προεκλογικά μηνύματα των κομμάτων και τα οπτικοακουστικά μηνύματα επισήμανσης που μεταδίδονται υποχρεωτικά από το σταθμό.

Στην συνέχεια, λάβαμε από διάφορες πηγές πληροφορίες για τις λεπτομέρειες της λειτουργίας των τηλεοπτικών σταθμών και για τη διαχείριση του τηλεοπτικού τους χρόνου. Αρχικά, επικοινωνήσαμε τηλεφωνικά με δύο γνωστές εταιρείες media market (μεσίτες διαφημιστικών μηνυμάτων και δίαυλος επικοινωνίας μεταξύ σταθμού και πελάτη) την TEMPO και την B.G.M, όπου λάβαμε πληροφορίες για την ισχύουσα διαδικασία παραγωγής των διαφημιστικών χρονοπλάνων στους τηλεοπτικούς σταθμούς. Τις επόμενες ημέρες ακολούθησε επίσκεψη στο διευθυντή διαφημίσεων του τηλεοπτικού σταθμού EPT3, όπου λάβαμε πληροφορίες για το πως αξιολογείται ένα διαφημιστικό χρονοπλάνο στο σύνολό του. Τέλος, μετά από τηλεφωνική επικοινωνία με τον τηλεοπτικό σταθμό ALPHA Channel και το αρμόδιο τμήμα διαφήμισης, λάβαμε ένα μηνιαίο διαφημιστικό τιμοκατάλογο του μήνα Σεπτεμβρίου του έτους 2008 και άλλες σημαντικές πληροφορίες για τις διαφημιστικές ζώνες και την προτεραιότητα διαφήμισης των πελάτων. Οι πιο χρήσιμες πληροφορίες είναι οι εξής: 1) οι διαφημιστικές ζώνες είναι χωρισμένες σε έξι περιοχές:

- 5πμ – 2μμ offpic
- 2μμ – 4μμ offpic
- 4μμ – 8μμ offpic
- 8μμ – 12πμ primetime
- 12πμ – 1πμ late prime
- 1πμ-5πμ offpic

Σε κάθε διαφημιστική ζώνη η τιμή του δευτερολέπτου καθορίζεται διαφορετικά, με βάση τις τιμές τηλεθέασης. Οι σημαντικότερες διαφημιστικές ζώνες είναι η primetime και η late prime, καθώς η τιμή των διαφημιστικών σποτ είναι υψηλή και

το ενδιαφέρον των διαφημιζόμενων μεγάλο. 2) Η διάρκεια των σποτ είναι 15 με 30 δευτερόλεπτα συχνά, αλλά και 60 με 120 πιο σπάνια. 3) Οι διαφημιζόμενοι έχουν δυνατότητα να διαφημιστούν στα κανονικά διαλείμματα ενός σταθμού ή στις ενδιάμεσες διακοπές του τηλεοπτικού προγράμματος (διαφημίσεις σφήνες). 4) Η προτεραιότητα προβολής κάθε διαφημιζόμενου καθορίζεται κυρίως από τη διμερή οικονομική συμφωνία μεταξύ σταθμού και πελάτη. Οι καλύτερες θέσεις διαφήμισης σε ένα διάλειμμα είναι οι τρεις πρώτες και οι τρεις τελευταίες, διότι στη μέση του τηλεοπτικού διαλείμματος θεωρείται ότι οι τηλεθεατές χάνουν το ενδιαφέρον τους. 5) Ο πελάτης εκφράζει πάντα την επιθυμία του για προβολή σε κάποια διαφημιστική ζώνη, λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας του διαφημιστικού χρόνου (ιδιαίτερα στις ζώνες υψηλής τηλεθέασης). 6) Η τήρηση χρονικών περιορισμών του ΕΣΡ είναι χαλαρή και ο χρόνος των διαφημιστικών διαλειμμάτων είναι εύκαμπτος.

### 6.3. Παραδοχές για την υλοποίηση

Έχοντας συλλέξει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την υλοποίηση, στο πλαίσιο αυτής της πτυχιακής εργασίας θα θεωρήσουμε ένα σύστημα αυτόματης χρονοδρομολόγησης διαφημίσεων ως εξής:

- Η εφαρμογή EnoAds αξιοποιείται από το τμήμα marketing ενός τηλεοπτικού σταθμού με την εποπτεία του διευθυντή του τμήματος.
- Ο σταθμός έχει στη διάθεσή του το αναλυτικό τηλεοπτικό πρόγραμμα (εβδομαδιαίο ή μηνιαίο) και τον τιμοκατάλογο για κάθε διάλειμμα ή σφήνα.
- Οι διάρκειες των διαφημιστικών διαλειμμάτων εξάγονται αυτόματα από την εφαρμογή EnoAds, αναλύοντας τα νομικά και διαδικαστικά στοιχεία που ορίζει το ΕΣΡ, όπως αναφέραμε στο παραπάνω υποκεφάλαιο.
- Οι πελάτες αιτούνται την τοποθέτηση διαφημίσεων σε μια ή σε περισσότερες διαφημιστικές ζώνες. Για κάθε αίτηση διαφήμισης ο πελάτης πρέπει να ξεκαθαρίζει στο σταθμό, εάν θέλει να μεταδοθεί σε διάλειμμα ή σε σφήνα. Ο πελάτης μπορεί να ζητήσει η ίδια διαφήμιση να προβληθεί και σε διάλειμμα και σε

σφήνες, ωστόσο στο σύστημα EnoAds θα υπάρχουν δύο διαφορετικές αιτήσεις για το συγκεκριμένο πελάτη.

- Η εφαρμογή EnoAds δέχεται τις αιτήσεις για προβολή διαφημίσεων για ένα συγκεκριμένο τηλεοπτικό πρόγραμμα. Επιπλέον, το σύστημα γνωρίζει την ποιότητα του κάθε πελάτη, η οποία καθορίζει την προτεραιότητά του για χρονοδρομολόγηση στις καλύτερες θέσεις του τηλεοπτικού προγράμματος.
- Μετά από την παραγωγή των τηλεοπτικών χρονοπρογραμμάτων των διαφημίσεων για κάθε διαφημιζόμενο μπορεί να μην ικανοποιηθούν κατά γράμμα οι απαιτήσεις του για προβολή.
- Η παραγωγή των τηλεοπτικών χρονοπρογραμμάτων των διαφημίσεων γίνεται συνολικά. Δεν υπάρχει η δυνατότητα επαναχρονοδρομολόγησης των διαφημίσεων σε ένα υπάρχον χρονοπρόγραμμα.
- Εκμεταλλευόμενοι την ελαστικότητα στο χρόνο που μας παρέχει το Ραδιοτηλεοπτικό Συμβούλιο μπορεί να ξεπεράσουμε για λίγα δευτερόλεπτα την προγραμματισμένη διάρκεια των διαλλειμάτων.
- Θεωρούμε ότι δεν έχει προπωληθεί ο τηλεοπτικός χρόνος σε διαφημιστικές εταιρείες (που συνήθως γίνεται στην αρχή της τηλεοπτικής χρονιάς). Οι αναγγελίες για εκπομπές ή άλλες δραστηριότητες του ίδιου του τηλεοπτικού σταθμού δεν υπολογίζονται στο διαθέσιμο διαφημιστικό χρόνο.

## 6.4. Σχεδίαση συστήματος

### 6.4.1. Εργαλεία ανάπτυξης

Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη μίας εφαρμογής έχει η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού, η οποία επηρεάζει σε ένα βαθμό τη σχεδίαση, την ταχύτητα και τη μεταφερσιμότητα της εφαρμογής. Η εφαρμογή EnoAds κατασκευάστηκε με την αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού Java 2, της Sun Microsystems ([www.sun.com](http://www.sun.com)). Η Java είναι μια σπουδαία γλώσσα για την ανάπτυξη μεταφέρσιμων εφαρμογών, αφού μετά τη μεταγλώττιση του πηγαίου κώδικα της χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων με εξελικτικούς αλγορίθμους

εφαρμογής είναι διαθέσιμη να εκτελεστεί όπου υπάρχει η εικονική μηχανή της Java (JVM). Όταν προσπαθήσουμε λοιπόν να εκτελέσουμε την εφαρμογή EnoAds, η JVM που πρέπει να είναι εγκατεστημένη στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μας, θα αναλάβει να διαβάσει τα μεταγλωττισμένα αρχεία και να τα μεταφράσει σε γλώσσα μηχανής. Επιπλέον, η Java διαθέτει μια πλούσια βιβλιοθήκη εργαλείων και κλάσεων για την ανάπτυξη απαιτητικών εφαρμογών. Πιο συγκεκριμένα για την εφαρμογή EnoAds, χρησιμοποιήθηκε το πατέτο ανάπτυξης Java Development Kit 6 που περιέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για τη μεταγλώττιση και την εκτέλεση της εφαρμογής. Τέλος, χρησιμοποιήσαμε την εφαρμογή JCreator Profesional 4.5 ως κειμενογράφο η οποία έχει μια σειρά από αυτοματισμούς και εργαλεία για την εύκολη συγγραφή κώδικα Java.

Για την διαχείριση και την αποθήκευση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων ανοικτού κώδικα PostgreSQL 8.2. Πρόκειται για μια πλατφόρμα υψηλών επιδόσεων αντικειμενοστραφούς-σχεσιακού συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Αυτή η έκδοση συμπεριλαμβάνει ένα πλήθος νέων και βελτιωμένων χαρακτηριστικών, και μεταξύ άλλων το εύχρηστο γραφικό εργαλείο διαχείρισης PgAdmin III. Η εξαιρετική τεκμηρίωση της γλώσσας σε συνδυασμό με την ευκολία σύνδεσης και διαχείρισης με την Java, συνέβαλαν θετικά στη διαδικασία ανάπτυξης της εφαρμογής.

Η ανάπτυξη διεπιφανειών χρήστη έχει συντελέσει στη φιλικότητα και στην ευχρηστία των εφαρμογών για τους τελικούς χρήστες, καθώς παρέχουν διαδραστικό και παραστατικό τρόπο για την απεικόνιση της πληροφορίας στην οθόνη του υπολογιστή. Έχοντας αυτό κατά νου, χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο ανάπτυξης διεπιφανειών NetBeans 6.0 αναπτύσσοντας πλήρες παραθυρικό περιβάλλον.

## 6.4.2. Η βάση δεδομένων

Η εφαρμογή EnoAds κατά τη διαδικασία εγκατάστασης δημιουργεί στην PostgreSQL μια βάση δεδομένων με τον όνομα enoads και 7 πίνακες διαθέσιμους

για χρήση. Αυτοί οι πίνακες είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία της εφαρμογής, καθώς αποθηκεύουν τις πληροφορίες που εισάγει, διαγράφει ή διαφοροποιεί ο χειριστής του συστήματος. Παρακάτω αναφέρονται οι πίνακες της εφαρμογής:

- Στον πίνακα broadcast αποθηκεύονται όλες οι διαθέσιμες τηλεοπτικές εκπομπές. Ο χειριστής αποθηκεύει το όνομα κάθε εκπομπής καθώς και την τηλεοπτική ζώνη στην οποία ανήκει.
- Στον πίνακα program είναι αποθηκευμένα όλα τα διαθέσιμα τηλεοπτικά προγράμματα (εβδομαδιαία ή μηνιαία) τα οποία έχει εισάγει ο χειριστής του συστήματος. Σε αυτό τον πίνακα καθορίζονται όλες οι λεπτομέρειες των εκπομπών, όπως η μέρα και η ώρα προβολής, η τιμή της κάθε εκπομπής για τα διαλείμματα και τις σφήνες και ένας δείκτης που καθορίζει την κατηγορία στην οποία ανήκει κάθε εκπομπή.
- Στον πίνακα ads αποθηκεύονται οι πληροφορίες των αιτήσεων για προβολή από τους πελάτες. Κάθε γραμμή του πίνακα είναι μια αίτηση για προβολή που περιλαμβάνει το όνομα του διαφημιστικού μηνύματος, την ποιότητα του διαφημιζόμενου ως πελάτη, τη διάρκεια του διαφημιστικού μηνύματος, τον αριθμό προβολών που επιθυμεί ο πελάτης, καθώς και τη διαφημιστική ζώνη στην οποία θέλει να προβληθεί.
- Οι πίνακες week, timezone, adsdetails και programdetails είναι παράγωγα της διαδικασίας κανονικοποίησης της βάσης enoads και αποθηκεύουν πληροφορίες οι οποίες επαναλαμβάνονται στους υπόλοιπους πίνακες. Για παράδειγμα, οι πίνακες adsdetails και programdetails αποθηκεύουν τις ημερομηνίες δημιουργίας των αιτήσεων για διαφήμιση και των τηλεοπτικών προγραμμάτων αντίστοιχα.

### 6.4.3. Το εξελικτικό μοντέλο

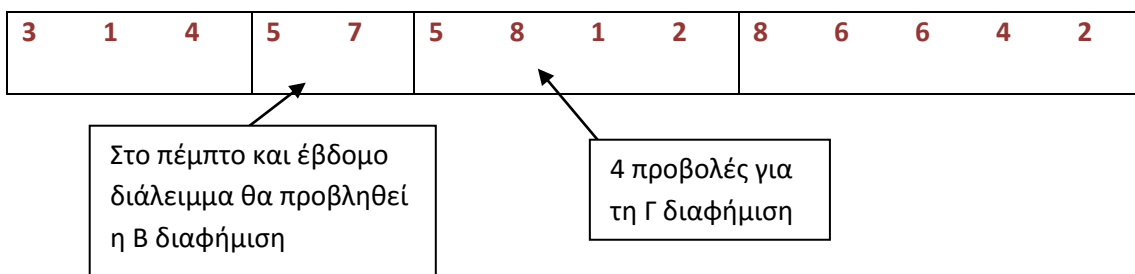
#### 6.4.3.1. Αναπαράσταση

Για την εφαρμογή EnoAds χρησιμοποιήσαμε έμμεση αναπαράσταση του χρωμοσώματος που κωδικοποιεί μια λύση του προβλήματος. Το χρωμόσωμα αναπαρίσταται από ένα μονοδιάστατο πίνακα. Το μέγεθος του πίνακα καθορίζεται χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων με εξελικτικούς αλγορίθμους



από το συνολικό αριθμό των προβολών όλων των διαφημίσεων που θέλουμε να προβληθούν σε μια συγκεκριμένη συνεδρία χρονοδρομολόγησης, εβδομαδιαία ή μηνιαία. Με άλλα λόγια ο αριθμός  $N$  είναι ίσος με το συνολικό αριθμό των αιτούμενων προβολών διαφημίσεων όλων των πελατών για μια συγκεκριμένη συνεδρία. Το περιεχόμενο κάθε κελιού του χρωμοσώματος περιέχει ένα αριθμητικό δείκτη που αντιστοιχεί σε κάποιο διάλειμμα. Με αυτό τον τρόπο καταφέραμε να κατασκευάσουμε μια δομή χρωμοσώματος, όπου οι γενετικοί τελεστές μπορούν να παράγουν εφικτά χρονοπρογράμματα. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η μη ύπαρξη διορθωτικού τελεστή για τα χρωμοσώματα των απογόνων, αυξάνει την ταχύτητα επεξεργασία και την αποδοτικότητα του αλγορίθμου. Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα μικρής κλίμακας, για να κατανοήσουμε καλύτερα την αναπαράσταση που χρησιμοποιούμε.

Έστω ότι έχουμε τις διαφημίσεις A, B ,Γ, Δ και κάθε διαφήμιση πρέπει να προβληθεί 3, 2, 4, 5 φορές αντίστοιχα σε ένα τηλεοπτικό χρονοπρόγραμμα που έχει 8 διαφημιστικά διαλείμματα. Έτσι έχουμε ένα χρωμόσωμα με  $N=3+2+4+5=14$  θέσεις όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



### 6.4.3.2. Συνάρτηση ποιότητας

Ο σωστός σχεδιασμός της συνάρτησης ποιότητας είναι ο ακρογωνιαίος λίθος για την επιτυχία του εξελικτικού αλγορίθμου. Στην εφαρμογή EnoAds προτιμήσαμε να αναπτύξουμε ένα σύστημα ποιότητας που βασίζεται στη μέτρηση της επιτυχίας

κάθε διαφήμισης στη χρονοδρομολόγηση παρά την επιβολή ποινών για τα χρωμοσώματα με χαμηλή ποιότητα.

Η συνάρτηση ποιότητας του εξελικτικού αλγορίθμου εξετάζει:

1. Την επιτυχία προβολής κάθε διαφήμισης στην επιθυμητή διαφημιστική ζώνη
2. Την επιτυχή προβολή κάθε διαφήμισης σε διάλειμμα ή σε σφήνα
3. Την τήρηση των χρονικών περιορισμών των διαλειμμάτων

Κατά το σχεδιασμό της συνάρτησης ποιότητας αντιμετωπίσαμε αρκετά λογικά προβλήματα, αφού η ποιότητα κάθε χρωμοσώματος πρέπει να εκφράζεται μονοσήμαντα. Άμα θεωρήσουμε ότι ένα χρωμόσωμα κωδικοποιεί 6000 διαφημίσεις σε 350 διαλείμματα οι κανόνες 1 και 2 της συνάρτησης ποιότητας μπορούν να δώσουν ένα ρεαλιστικό αριθμό για τη μέτρηση της ποιότητας. Στην περίπτωση του τρίτου κανόνα η επιτυχία μετριέται σε διαλείμματα και όχι σε διαφημίσεις, με συνέπεια οι τιμές ποιότητας που απορρέουν από τους τρεις κανόνες να μην μπορούν να αθροιστούν, διότι μετρούν δύο διαφορετικά πράγματα. Για τη λύση του προβλήματος θεωρούμε ότι για κάθε διάλειμμα που τηρεί τους κανόνες χρονικών περιορισμών, κάθε διαφήμιση που προβάλλεται είναι επιτυχία. Με αυτόν τον τρόπο και οι τρεις κανόνες μετρούν την επιτυχία χρονοδρομολόγησης των διαφημίσεων. Στην περίπτωση των 6000 διαφημίσεων και των 350 διαλειμμάτων η μεγαλύτερη τιμή ποιότητας κάποιου χρωμοσώματος θα ήταν  $6000 \cdot 2 = 12000$ .

### 6.4.3.3. Γενετικοί τελεστές

Ο χειριστής της εφαρμογής έχει τη δυνατότητα επιλογής μιας σειράς γενετικών τελεστών και κανόνων για την εκτέλεση του εξελικτικού αλγορίθμου. Ωστόσο, οι αρχικές ρυθμίσεις της εφαρμογής έχουν καθοριστεί ώστε να δίνουν σχετικά καλά αποτελέσματα σε προβλήματα χρονοδρομολόγησης εβδομαδιαίου χρονοπρογράμματος, αν και αυτό είναι σχετικό διότι στους εξελικτικούς αλγορίθμους η παραμετροποίηση είναι αρκετά ευαίσθητη.

Γενετικοί τελεστές:

- Τελεστής μετάλλαξης τυχαίου αριθμού σημείων (Random Multipoint Mutation)
- Τελεστής μετάλλαξης σταθερού αριθμού σημείων (Multipoint Mutation)
- Ανασυνδυασμός ενός σημείου (One Point Crossover)
- Ανασυνδυασμός με τυχαίο αριθμό σημείων κοπής δίνοντας ένα άνω όριο (Multi Point Selection)
- Τελεστής επιλογής με τη μέθοδο της ρουλέτας (Roulette Wheel Selection)
- Τελεστής επιλογής με τηνμέθοδο τουρνουά (Tournament Selection)

Κανόνες εκτέλεσης:

- Επιλογή των γενιών της διαδικασίας της εξέλιξης (από 10 έως 100.000 γενιές)
- Επιλογή του μεγέθους του πληθυσμού (από 20 έως 1000 άτομα)
- Επιλογή της πιθανότητας της μετάλλαξης
- Δυνατότητα αλλαγής της πιθανότητας μετάλλαξης και των σημείων μετάλλαξης για ένα συγκεκριμένο εύρος γενιών
- Δυνατότητα κλιμάκωσης των αριθμών ποιότητας σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών (π.χ 0 εως 1000)

#### 6.4.3.4. Γραφικό Περιβάλλον της εφαρμογής

Για το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το πακέτο `java.swing` το οποίο υπάρχει εγγενές μαζί με τα υπόλοιπα πρότυπα πακέτα της Java. Το `swing` παρέχει μια σειρά από συστατικά δημιουργίας γραφικού

περιβάλλοντος πλήρως παραμετροποιήσιμα, επιπλέον παρέχει στον προγραμματιστή καλύτερο χειρισμό των συμβάντων με τη χρήση event listeners. Από τα δυνατά σημεία του πακέτου javax.swing είναι ο ενιαίος καθορισμός της εμφάνισης και της αίσθησης της εφαρμογής (look and feel) ανάλογα με την πλατφόρμα εκτέλεσης ή των προσωπικών προτιμήσεων του προγραμματιστή.

Η εφαρμογή περιέχει πλήρες γραφικό εργαλείο για την εγκατάστασή της, όπου ο χρήστης μπορεί να εγκαταστήσει τις προαπαιτούμενες ρυθμίσεις και το λογισμικό από το μενού της εφαρμογής Manage Program. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι αξιοποιήσαμε τη μέθοδο silent install για την εγκατάσταση της βάσης δεδομένων, εκμηδενίζοντας την ανάγκη του χρήστη να γνωρίζει ασήμαντες τεχνικές λεπτομέρειες που ζητά η PostgreSQL κατά την εγκατάσταση. Τέλος, έχουμε ελαχιστοποιήσει το ενδεχόμενο λάθους εισαγωγής τιμών ή παραμέτρων από το χρήστη χειρίζοντας γραφικά όλες τις εξαιρέσεις που παράγει η εφαρμογή κατά την εκτέλεσή της.

## 7. Δοκιμές και αποτελέσματα της χρονοδρομολόγηση

Για τις δοκιμές μας χρησιμοποιήσαμε ένα εβδομαδιαίο τηλεοπτικό πρόγραμμα και τον τιμοκατάλογο του σταθμού ALPHA Channel της περιόδου 1-7 Νοεμβρίου του 2007. Μετά την αυτόματη παραγωγή των διαθέσιμων διαφημιστικών διαλειμμάτων καταλήξαμε σε 329 διακοπές από τις οποίες οι 122 είναι διαλείμματα και οι 207 είναι σφήνες. Τις αιτήσεις για διαφήμιση τις δημιουργήσαμε αυτόματα με το πλήρως παραμετροποιήσιμο εργαλείο Create Random Ads, και τελικά καταλήξαμε στην παραγωγή 300 διαφημίσεων επιλέγοντας τις εξής παραμέτρους:

1. Το 57% των αιτήσεων επιθυμούν να δρομολογηθούν σε σφήνες και το 43% σε κανονικά διαλείμματα
2. Η μικρότερη διάρκεια διαφήμισης είναι 10 δευτερόλεπτα και η μεγαλύτερη 40
3. Οι λιγότερες φορές προβολής μίας διαφήμισης στη διάρκεια μιας εβδομάδας είναι 7 και οι περισσότερες 32
4. Οι διαφημιστικές ζώνες για προβολή δίνονται τυχαία σε κάθε αίτηση
5. Το 10% των αιτήσεων είναι πελάτες με υψηλή ποιότητα

Τελικά θα έχουμε:

	Συνολικός Τηλεοπτικός Χρόνος (λεπτά)	Διαλείμματα (λεπτά)	Σφήνες (λεπτά)
<b>329 Διακοπές τηλεοπτικού προγράμματος</b>	2340	1242	1098
<b>300 Αιτήσεις διαφημίσεων</b>	2322	1237	1084

Εφόσον τα δεδομένα μας είναι τυχαία αρχικοποιημένα είναι λογικό να υπάρχει περιθώριο σφάλματος κατά τη χρονοδρομολόγηση. Άλλωστε, αν γνωρίζαμε από την αρχή τα δεδομένα που θα παράγουν τα καλύτερα αποτελέσματα, δεν θα είχε νόημα η κατασκευή της εφαρμογής.

Για τις δοκιμές χρησιμοποιήσαμε έναν επιτραπέζιο υπολογιστή με επεξεργαστική ισχύ 3GHz, μνήμη 512 Mb και λειτουργικό σύστημα Windows XP Professional SP2. Για τη μεγιστοποίηση της επεξεργαστικής ισχύος κατά την εκτέλεση της εφαρμογής σταματήσαμε όλες τις πλεονάζουσες διεργασίες που εκτελούνται στο παρασκήνιο από την διαχείριση των υπηρεσιών των Windows.

Προσπαθήσαμε να εξετάσουμε τη συμπεριφορά και την επίδοση του αλγορίθμου σε σχέση με την εφαρμογή των περιορισμών των χρονοπλάνων και των διαφορετικών ρυθμίσεων και παραμέτρων του εξελικτικού αλγορίθμου. Οι περιορισμοί αφορούν : 1) την επιτυχία των διαφημίσεων στα διαλείμματα ή στις σφήνες, 2) την επιτυχία των διαφημίσεων στη σωστή τηλεοπτική ζώνη προβολής, 3) την τήρηση των χρονικών περιορισμών του τηλεοπτικού προγράμματος.

Για τις εκτελέσεις του εξελικτικού αλγορίθμου δοκιμάσαμε διάφορες τιμές παραμετροποίησης για τον πληθυσμό, τις γενιές της εξέλιξης, την πιθανότητα και τα σημεία μετάλλαξης, τα σημεία του ανασυνδυασμού και τη μέθοδο της επιλογής των ατόμων. Επιπλέον, βελτιώσαμε την επίδοση του αλγορίθμου με την εφαρμογή ενός κανόνα για τη μετάλλαξη. Στον πίνακα των αποτελεσμάτων, όπου εφαρμόζεται ο κανόνας μετάλλαξης, τα σημεία μετάλλαξης καθώς και η πιθανότητα μετάλλαξης αυξάνονται κατά 25% και 35% αντίστοιχα μετά το πέρας του 70% της εξέλιξης. Οι αρχικές ρυθμίσεις που αφορούν στην μετάλλαξη επαναφέρονται όταν η διαδικασία την εξέλιξης φτάσει το 90%.

Στον παρακάτω πίνακα έχουμε συνοψίσει όλες τις διαφορετικές εκτελέσεις για χρονοδρομολόγηση με τη χρήση του εξελικτικού αλγορίθμου με διάφορες παραμέτρους.

## Αποτελέσματα της χρονοδρομολόγησης

Επιτυχία	Πληθυσμός	Γενεές	Πιθανότητα μετάλλαξης	Τυχαία σημεία μετάλλαξης	Σταθερά σημεία μετάλλαξης	Ένα σημείο ανασυνδασμού	Τυχαία σημεία ανασυνδασμού	Κανόνας μετάλλαξης	Μέθοδος Επιλογής	Περιορισμοί
<b>32%</b>	200	10000	10%	Όχι	80	Όχι	150	Όχι	Τροχός ρουλέτας	1,2,3
<b>56%</b>	200	50000	12%	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Τουρνοά 12 ατόμων	1,2,3
<b>61%</b>	220	10000	8%	Όχι	100	Όχι	200	Όχι	Τουρνοά 12 ατόμων	1,2,3
<b>78%</b>	250	50000	8%	Όχι	70	Όχι	180	Όχι	Τουρνοά 15 ατόμων	1,2,3
<b>66%</b>	200	50000	6%	Όχι	150	Όχι	250	Όχι	Τουρνοά 20 ατόμων	1,2,3
<b>75%</b>	300	50000	12%	Όχι	100	Όχι	100	Όχι	Τουρνοά 15 ατόμων	1,2,3
<b>83%</b>	250	50000	7%	Όχι	80	Όχι	200	Ναι	Τουρνοά 12 ατόμων	1,2,3
<b>81%</b>	200	50000	10%	Όχι	100	Όχι	150	Ναι	Τουρνοά 20 ατόμων	1,2,3

Χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων με εξελικτικούς αλγορίθμους

<b>85%</b>	220	50000	10%	Όχι	60	Όχι	150	Ναι	Τουρνοά 12 ατόμων	1,2,3
<b>85%</b>	220	50000	10%	Όχι	80	Όχι	180	Ναι	Τουρνοά 12 ατόμων	1,2,3
<b>88%</b>	220	10000	8%	Όχι	100	Όχι	200	Όχι	Τουρνοά 12 ατόμων	1,2
<b>86%</b>	220	10000	10%	Όχι	80	Όχι	180	Ναι	Τουρνοά 12 ατόμων	1,2
<b>95%</b>	220	10000	8%	Όχι	100	Όχι	200	Όχι	Τουρνοά 12 ατόμων	1
<b>93%</b>	220	10000	8%	Όχι	100	Όχι	200	Όχι	Τουρνοά 12 ατόμων	2
<b>99%</b>	220	10000	8%	Όχι	100	Όχι	200	Όχι	Τουρνοά 12 ατόμων	3
<b>90%</b>	220	50000	8%	Όχι	100	Όχι	150	Ναι	Τουρνοά 12 ατόμων	1,3
<b>87%</b>	220	50000	8%	Όχι	100	Όχι	150	Ναι	Τουρνοά 12 ατόμων	2,3

Χρονοπρογραμματισμός διαφημίσεων με εξελικτικούς αλγορίθμους



Παρατηρήθηκε ότι η εφαρμογή ενός ή δύο περιορισμών κατά τη χρονοδρομολόγηση απέφερε ικανοποιητικά αποτελέσματα στα παραγόμενα χρονοπρογράμματα, με επιτυχία της τάξης του 85% με 99%. Η εφαρμογή και των τριών περιορισμών είχε ως συνέπεια τη μεγένθυση του εύρους αναζήτησης του αλγορίθμου, που έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση της σύγκλισης, συνεπώς αυξήσαμε τον αριθμό των γενιών της εξέλιξης. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι ο περιορισμός 3 ικανοποιείται σε ποσοστό 95% με 99% στις πρώτες 500 με 1000 γενιές, ενώ οι υπόλοιποι περιορισμοί ικανοποιούνται με αργούς ρυθμούς. Όταν η επιτυχία του περιορισμού 3 σταθεροποιηθεί στην συνέχεια οι υπόλοιποι περιορισμοί αυξάνουν την επιτυχία τους με αργούς, αλλά σταθερούς ρυθμούς. Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης ο περιορισμός 3 μπορεί να ελαττωθεί κατά 3% έως 7%, όταν οι τιμές των υπόλοιπων περιορισμών ικανοποιηθούν πάνω από 65%.

Η χρήση του τροχού της ρουλέτας ως μεθόδου επιλογής αποδείχθηκε ότι δε λειτουργεί για αυτό το πρόβλημα, καθώς κατά τη διάρκεια της εξέλιξης η συνολική ποιότητα του πληθυσμού παρέμεινε σταθερή. Αυτό συνέβη διότι οι ποιότητες του κάθε ατόμου του πληθυσμού δεν έχουν μεγάλη διασπορά, έτσι ο τροχός της ρουλέτας στην πράξη έχει χωριστεί σε πολλά σχεδόν ίσα κομμάτια με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πίεση για την επιλογή των καλύτερων ατόμων ως γονείς.

Η διαδικασία της εξέλιξης κατάφερε να επιτύχει ποσοστό επιτυχίας 85% για χρονοδρομολόγηση με τρεις περιορισμούς, αυτό σημαίνει ότι εάν ένα εβδομαδιαίο χρονοπρόγραμμα έχει 5000 διαφημίσεις, οι 4250 θα δρομολογηθούν στις σωστές χρονοθυρίδες. Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει την ορθή λειτουργία του εξελικτικού αλγορίθμου σε πολυκριτηριακό περιβάλλον βελτιστοποίησης. Βέβαια το αποτέλεσμα της χρονοδρομολόγησης μπορεί να διαφέρει από εκτέλεση σε εκτέλεση, αφού η συνολική επιτυχία είναι ο μέσος όρος της επιτυχίας των τριών περιορισμών, αυτό σημαίνει ότι μπορεί άλλος περιορισμός να ικανοποιείται περισσότερο και άλλος λιγότερο. Αυτή η κατάσταση είναι αναπόφευκτη διότι η συνάρτηση ποιότητας του εξελικτικού αλγορίθμου περιγράφει μονοσήμαντα την ποιότητα κάθε ατόμου με μια αριθμητική τιμή.

Τα ποσοστά επιτυχίας μπορεί να ήταν μεγαλύτερα, εάν οι αιτήσεις για χρονοδρομολόγηση δεν ήταν αρχικοποιημένες με στατιστικά στοιχεία επί του υπάρχοντος τηλεοπτικού προγράμματος, αλλά με πραγματικές αιτήσεις των

διαφημιζομένων. Στην πραγματικότητα ένα αυτόματο σύστημα χρονοδρομολόγησης διαφημίσεων θα έχει μεγαλύτερη επιτυχία, εάν οι αιτήσεις για χρονοδρομολόγηση έχουν μελετηθεί από το τμήμα μάρκετινγκ για καλύτερη συμβατότητα και εφαρμογή πριν την διαδικασία της χρονοδρομολόγησης.

## 8. Συμπεράσματα και προοπτικές

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία υλοποιήσαμε ένα αυτόματο σύστημα χρονοδρομολόγησης αναλύοντας τις απαιτήσεις του συστήματος με τους ίδιους τους ανθρώπους του μάρκετινγκ και της τηλεόρασης. Παρουσιάσαμε μια σειρά πειραμάτων με όσο το δυνατό πιο ρεαλιστικά δεδομένα και με διαφορετικές ρυθμίσεις του εξελικτικού αλγορίθμου, για να συγκρίνουμε την επίδοση και την απόδοση της χρονοδρομολόγησης. Η εφαρμογή EnoAds έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα και έδειξε να ανταποκρίνεται σταθερά στις διάφορες εκτελέσεις. Είναι σίγουρο ότι τα αποτελέσματα θα ήταν πολύ καλύτερα εάν το σενάριο εκτέλεσης περιείχε πραγματικές αιτήσεις για διαφήμιση.

Ο χρόνος εκτέλεσης της εφαρμογής είναι ίσως το κομμάτι που θα έπρεπε να δοθεί έμφαση για περαιτέρω βελτιστοποίηση. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί αλλάζοντας την αναπαράσταση του ατόμου και επινοώντας νέες μεθόδους για τη λειτουργία της συνάρτησης ποιότητας. Ένας άλλος παράγοντας που ίσως καθυστερεί την εκτέλεση της χρονοδρομολόγησης είναι οι πολλαπλές αντιστοιχίες των γονιδίων των ατόμων στους διάφορους πίνακες δεδομένων. Μια καλή λύση για την αύξηση της ταχύτητας θα ήταν η χρήση πινάκων κατακερματισμού για τους πληθυσμούς των ατόμων, έτσι δεν θα ήταν αναγκαίο κάθε φορά που η συνάρτηση επιλογής διαλέγει ένα άτομο για αναπαραγωγή, να σαρώνεται ολόκληρος ο πίνακας του πληθυσμού. Οι πίνακες κατακερματισμού θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για άλλους πίνακες του προβλήματος που δεν μας ενδιαφέρει η σειρά με την οποία είναι ταξινομημένα τα δεδομένα.

Επιπλέον η εφαρμογή EnoAds θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εύκολα ως εργαλείο χρονοδρομολόγησης για την προπώληση τηλεοπτικού χρόνου, όπως συνήθως γίνεται στους μεγάλους τηλεοπτικούς σταθμούς (γνωστό ως up-front market). Θα ήταν πολύ χρήσιμο για τους σταθμούς να πωλούν ομοιόμορφα στη διάρκεια της τηλεοπτικής σεζόν χρονοθυρίδες με τέτοιο τρόπο, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του σταθμού και του πελάτη. Η χρονοδρομολόγηση

για ορισμένο χρόνο θα μπορούσε να διαφοροποιηθεί και να λαμβάνει υπόψη της τον ήδη προπωλημένο τηλεοπτικό χρόνο.

Μεγάλο ενδιαφέρον για την αυτόματη χρονοδρομολόγηση διαφημίσεων υπάρχει σε όλους του τηλεοπτικούς σταθμούς της Ελλάδας, αλλά και του εξωτερικού. Υπάρχουν προγράμματα χρονοδρομολόγησης διαφημίσεων με συμβατικές ευρετικές μεθόδους όπως το Media Manager, Air Waves και Jazzler. Η χρήση γενετικών αλγορίθμων για χρονοδρομολόγηση δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε εμπορικές εφαρμογές διαχείρισης του τηλεοπτικού χρόνου, αν και η τάση της εποχής είναι η σύνδεση διαφορετικών επιστημών, όπως η επιχειρησιακή έρευνα και η τεχνητή νοημοσύνη για την ανάπτυξη καλύτερων προγραμμάτων για τις επιχειρήσεις. Ένα σύστημα αυτόματης χρονοδρομολόγησης με ευρετικές μεθόδους όπως έχει περιγραφεί στο [31] απέφερε στον εν λόγω τηλεοπτικό σταθμό ετήσια οικονομικά οφέλη 50 εκατομμυρίων δολλαρίων. Ανάλογη μελέτη και υλοποίηση με εξελικτικούς αλγορίθμους θα μπορούσε να επιφέρει σημαντικά κέρδη στους Ελληνικούς τηλεοπτικούς σταθμούς, ελατώνοντας την επίπονη εργασία των χρονοπρογραμματιστών και διευκολύνοντας το τμήμα μάρκετινγκ να επιτυγχάνει καλύτερες συμφωνίες με τους διαφημιζόμενους.

## Βιβλιογραφία

- [1] Emma Hart, Peter Ross (2004), *Evolutionary scheduling: A review*. Napier University, UK
- [2] Sieuwert Van Otterloo (2002), *Evolutionary algorithms and scheduling problems*.
- [3] Matthew Bartschi Wall (1996), *A genetic algorithm for resource constrained scheduling*. Massachusetts Institute of Technology
- [4] H.Aytug, M.Khouja and F.E. Vergara (2003), *Use of GA to solve production and Operations management problems: A review*
- [5] Hsiao-Lan Fang (1994), *GA in timetabling and scheduling*. The University of Edinburgh
- [7] S.Hurley, L.Mutinho, N.M Stephens (1994), *Solving marketing optimization problems using GA*. European Journal of Marketing
- [8] Keshav P. Dahal, Kay Chen Tan, Peter I. Cowling (2007), *Evolutionary Scheduling - Studies in Computational Intelligence*. Springer
- [9] Α. Κάστωρ, Κ. Συρακούλης, Β. Χ. Γερογιάννης, *Προβλήματα Δρομολόγησης Έργων με Περιορισμούς Πόρων*. Τμήμα Διοίκησης και Διαχείρισης Έργων, ΤΕΙ Λάρισας
- [10] John R. Koza (1998), *Genetic programming*. Mit Press
- [11] Melanie Mitchell (1998), *An introduction to genetic algorithms*. Mit Press
- [12] Zbignien Michalewicz (1996), *GA + Data structures = Evolution programs*. Springer
- [13] Lance D. Chambers (1999), *Practical Handbook of genetic Algorithms*. CRC Press
- [14] S. French (1982), *Sequencing and Scheduling*. John Wiley New York
- [15] R. Cheng, M. Gen, and Y. Tsujimura (1996), A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 30
- [16] C. Reeves and T. Yamada (1998), Genetic algorithms, path-relinking and the flowshop sequencing problem, *Evolutionary Computation*, vol. 6
- [17] E. Nowicki and C. Smutnicki, A fast tabu search algorithm for the permutation flowshop problem, *European Journal of OR*, Elsevier, vol. 91
- [18] S. Esquivel, G. Leguizamón, F. Zuppa, and R. Gallard (2002), *A performance comparison of alternative heuristics for fsp*. Springer, Berlin

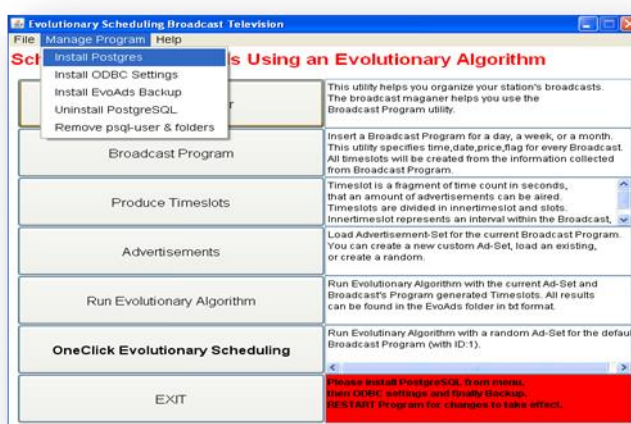
- [19]H.-L. Fang, P. Ross, and D. Corne (1994), *A promising hybrid ga/heuristic approach to open-shop scheduling problems* στο: Wiley (Ed.)
- [20] R. Bruns (1993), *Direct chromosome representation and advanced genetic algorithms for production scheduling*.Kaufmann: San Mateo
- [21] P. Husbands and F. Mill (1991) *Simulated co-evolution as the mechanism for emergent planning and scheduling* στο: Booker (Eds.), Morgan Kaufmann: San Mateo
- [22]P. Husbands, F. Mill, and S.Warrington (1990), *Genetic algorithms, production planning optimisation and scheduling: Notes in Computer Science*. Springer
- [23] H. M. Cartwright and A. L. Tuson (1994), Genetic algorithms and flowshop scheduling: Towards the development of a real-time process control system στο: T. C. Fogarty (Ed.), *Lecture Notes in Computer Science No. 865*, Springer Verlag,
- [25]H.-L. Fang, P. Ross, and D. Corne (1994), *A promising hybrid ga/heuristic approach to open-shop scheduling problems*, στο: Wiley(Ed.)
- [26] E. Ramat, G.Venturini, C. Lente, and M. Simane (1997), Solving the multiple resource constrained project scheduling problem with a hybrid genetic algorithm, στο: T. Back (Ed.), Morgan Kaufmann,
- [27]K. R. Ryu, J. Hwang, H. R. Choi, and K. K. Cho (1997), *A genetic algorithm hybrid for hierarchical reactive scheduling*.Morgan Kaufmann
- [29]L. Davis (1985), *Job shop scheduling with genetic algorithms*, στο: J. J. Grefenstette (Ed.), Morgan Kaufmann: San Mateo
- [30] Bollapragada, *Scheduling commercials videotapes in broadcast TV*
- [31] Bollapragada and S. Mallik, *A mathematical programming based approach to scheduling commercials in broadcast TV*
- [32] Bollapragada, *NBC's optimization systems increase its revenges and productivity*
- [33]Alf Kimms and Michael Muller-Bungart (2007), *Revenue management for broadcasting commercials: The channel's problem of selecting and scheduling the Ads to be aired*. Mercator School of management, Germany
- [34] Ru Bai, Jinxing Xie (2006), *Heuristic algorithms for simultaneously accepting and scheduling advertisements on broadcast TV*. China
- [35]Balachandra, R. (1977), *A simulation model for predicting the effect of advertisement schedules*. Gaitersburg, Vol. 2,
- [36]Hägele, K., Dúnlaing, C. and Riis, S. (2000),*The complexity of scheduling TV commercials Technical report*, Trinity College, Dublin,
- [37]J.J Merelo, A.Prieto (1997), *Designing advertising strategies using a genetic algorithm*. Department de Electronica: Spain

## Παράρτημα Α' - Εγκατάσταση του EvoAds

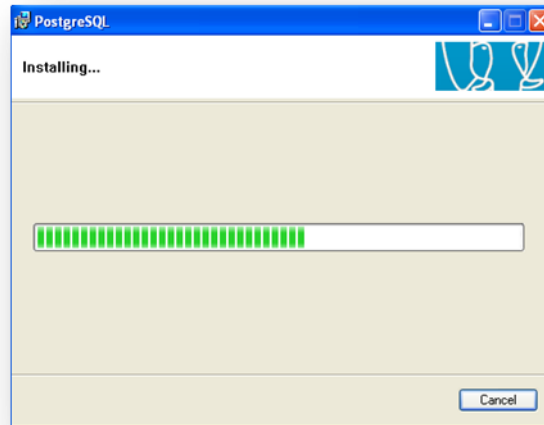
Για την εγκατάσταση της εφαρμογής EvoAds είναι απαραίτητος ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής με λειτουργικό σύστημα Windows XP HOME ή Windows XP Professional, με επεξεργαστική ισχύ τουλάχιστον 1 Ghz και τουλάχιστον 512 MB μνήμη RAM. Οι απαιτήσεις χώρου στον δίσκο είναι ελάχιστες αφού τα εκτελέσιμα αρχεία καθώς και τα αρχεία πηγαίου κώδικα της εφαρμογής που περιλαμβάνονται, έχουν συνολικό μέγεθος 27,5 MB. Το σημαντικότερο προαπαιτούμενο για την εκτέλεση του προγράμματος είναι η τελευταία έκδοση της εικονικής μηχανής της java που μπορείτε να την βρείτε στην παρακάτω διεύθυνση <http://java.sun.com/javase/downloads/index.jsp> .

Αφού μεταφέρεται τον φάκελο της εφαρμογής από τον οπτικό δίσκο στον υπολογιστή σας ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα:

1. Πατήστε Έναρξη-> Εκτέλεση και πληκτρολογήστε cmd. Πατήστε το κουμπί OK και θα σας εμφανιστεί η κονσόλα εντολών των Windows.
2. Εκεί επιλέξτε την διαδρομή στον δίσκο όπου βρίσκετε ο φάκελος της εφαρμογής EvoAds. Για παράδειγμα, εάν την εφαρμογή σας την αντιγράψατε στον φάκελο Program Files θα εκτελέσετε την εντολή `cd %homedrive%\Program Files\EvoAds`.
3. Τέλος εκτελέστε την εντολή: `java EvoAdsWindow`. Το κεντρικό παράθυρο της εφαρμογής εμφανίζεται όπως παρακάτω.

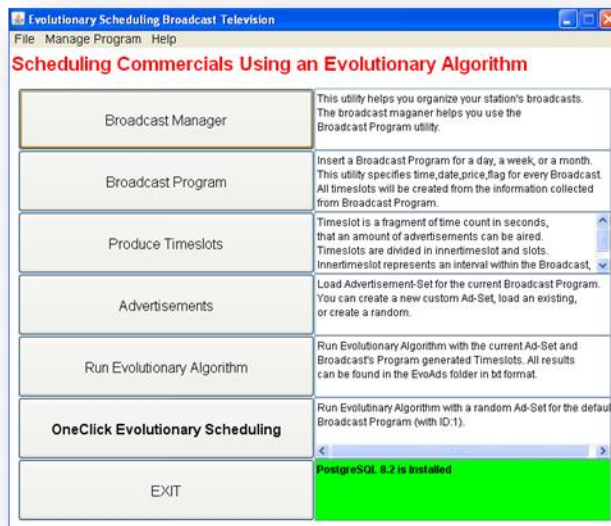


4. Κάτω δεξιά στο κόκκινο κουτί η εφαρμογή έχει κάνει τον αρχικό έλεγχο και σας προτρέπει να εγκαταστήσετε την βάση δεδομένων καθώς και τις απαραίτητες ρυθμίσεις. Επιλέξτε από το μενού διαδοχικά Manage Program-> Install Postgres, Install ODBC Settings, Install EvoAds BACKUP. ΠΡΟΣΟΧΗ: κάθε διαδικασία πρέπει να ολοκληρωθεί πριν εκτελέσετε την επόμενη.



#### Η διαδικασία εγκατάσταση της PostgreSQL.

5. Μετά από αυτή τη διαδικασία εκκινήστε ξανά την εφαρμογή και τώρα θα έχετε το παρακάτω παράθυρο. Η εφαρμογή EvoAds είναι έτοιμη για χρήση.

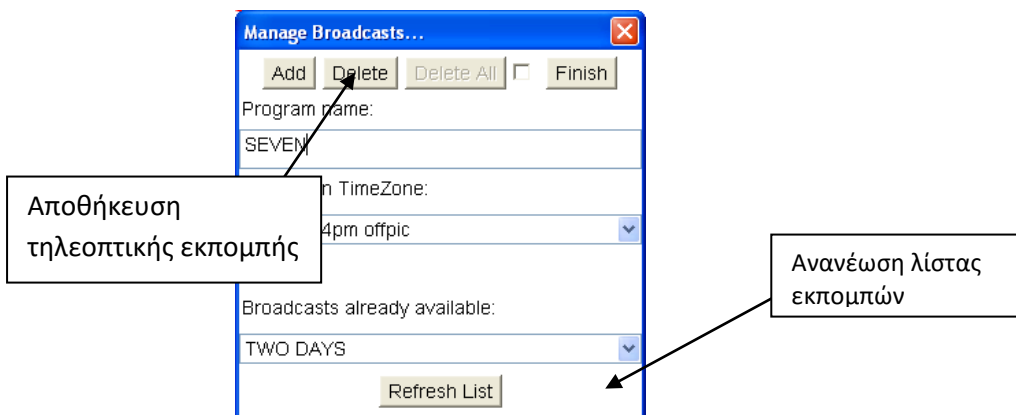




# Παράρτημα Β' - Εγχειρίδιο χρήσης του EvoAds

## Broadcast Manager

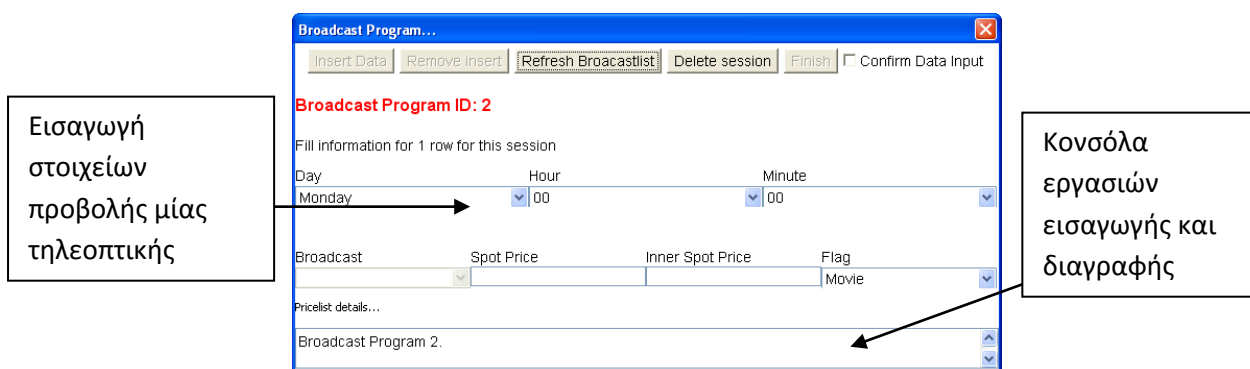
Διαχείριση και αποθήκευση του αρχείου των τηλεοπτικών εκπομπων.



- Εισαγωγή τηλεοπτικής εκπομπής για μια συγκεκριμένη τηλεοπτική ζώνη. Εισάγουμε το όνομα του προγράμματος στο πεδίο Program name έπειτα επιλέγουμε την διαφημιστική ζώνη προβολή και πατούμε το κουμπί Add. Το σύστημα μας ενημερώνει για την επιτυχεί εισαγωγή.
- Η διαγραφή τηλεοπτική εκπομπής γίνεται επιλέγοντας την εκπομπή από την λίστα των διαθέσιμων εκπομπών και πατάμε το κουμπί Delete.
- Για την διαγραφή όλων των εκπομπών μαρκάρουμε το checkbox και έπειτα πατάμε το κουμπί Delete All.

## Broadcast Program

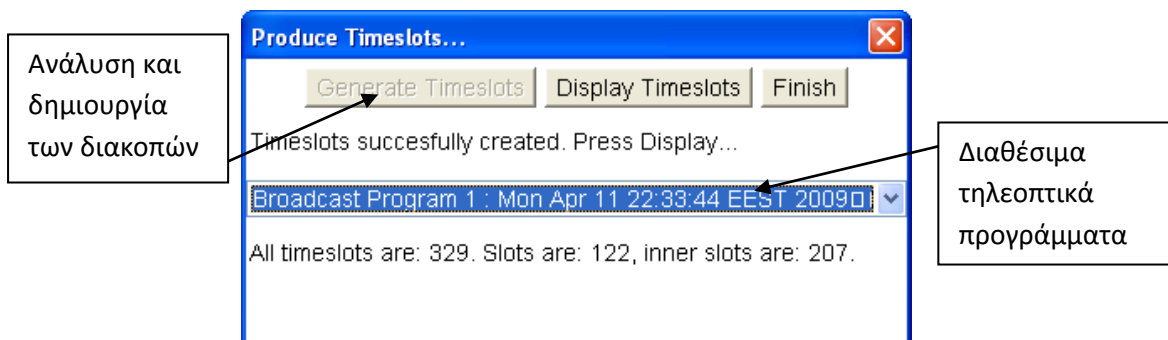
Διαχείριση και αποθήκευση τηλεοπτικών προγραμμάτων ορισμένης διάρκειας.



- Εισαγωγή στοιχείων προβολής για ένα τηλεοπτικό πρόγραμμα. Κάτω από τη ετικέτα “Fill information for # row for this session” εισάγεται όλες τις πληροφορίες για την προβολή μιας εκπομπής όπως: την μέρα και την ώρα προβολής, το όνομα της εκπομπής (από το αρχείο του Broadcast Manager) την τιμή της διαφήμισης για τα διαλείμματα και τις σφήνες και μια ετικέτα χαρακτηρισμού της εκπομπής. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν ο χρήστης εισάγει όλες τις εκπομπές. Η αποθήκευση γίνεται μαρκάροντας το check box επιβεβαίωσης της εισαγωγής των δεδομένων και πατώντας Finish.
- Για την διαγραφή μίας συνεδρίας εισαγωγής τηλεοπτικού προγράμματος πατάμε το κουμπί Delete Session. Όλες οι εγγραφές τις τρέχουσας συνεδρίας έχουν διαγραφεί και κλείνει ο διάλογός Broadcast Program.

## Produce Timeslots

Ανάλυση και δημιουργία των διακοπών (διαλείμματα και σφήνες) για τα διαθέσιμα τηλεοπτικά προγράμματα που έχουν δημιουργηθεί από το Broadcast Program.

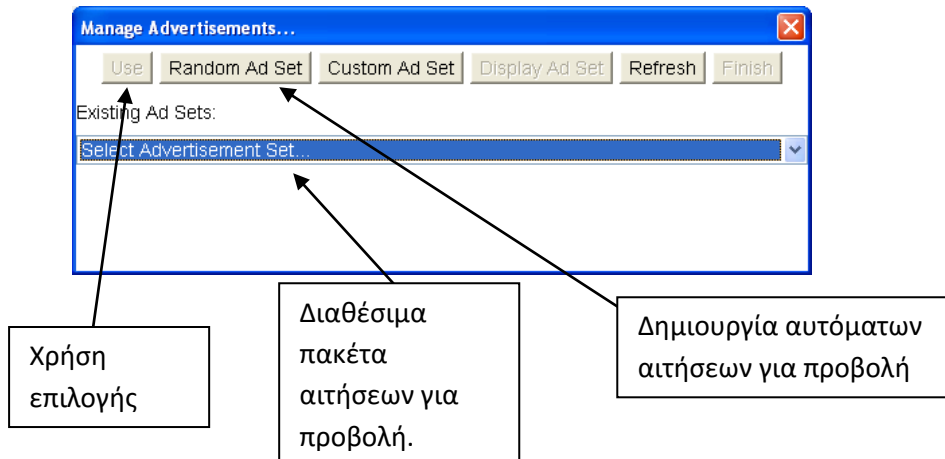


- Για την ανάλυση και την δημιουργία των διακοπών επιλέγουμε από τα διαθέσιμα προγράμματα και πατούμε το κουμπί Generate Timeslots.
- Για την προβολή των δεδομένων επιλέγουμε Display Timeslots.

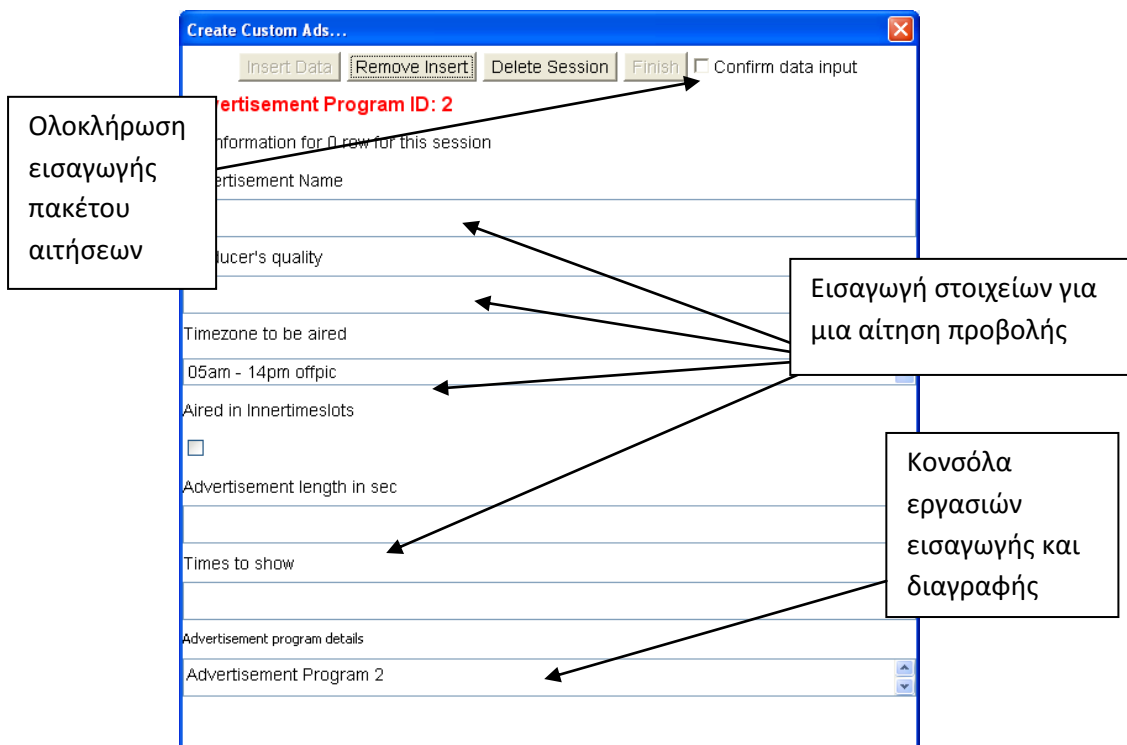


## Advertisements

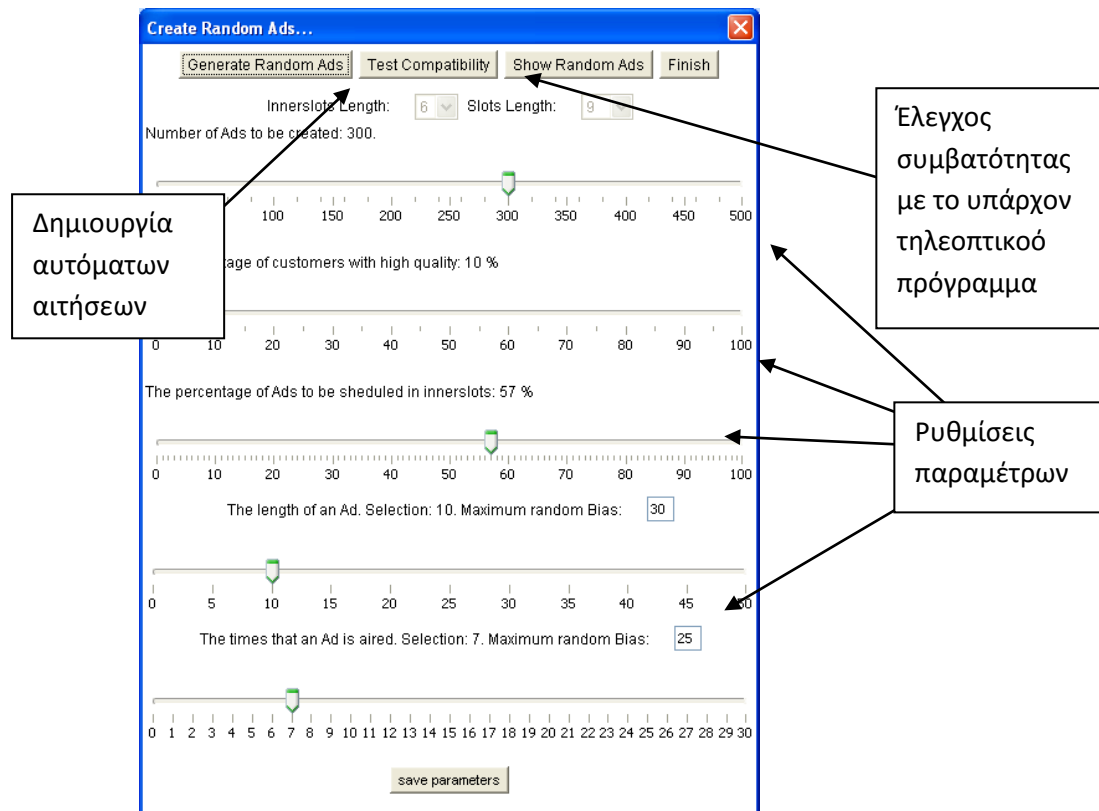
Διαχείριση των αιτήσεων για διαφημιστική προβολή.



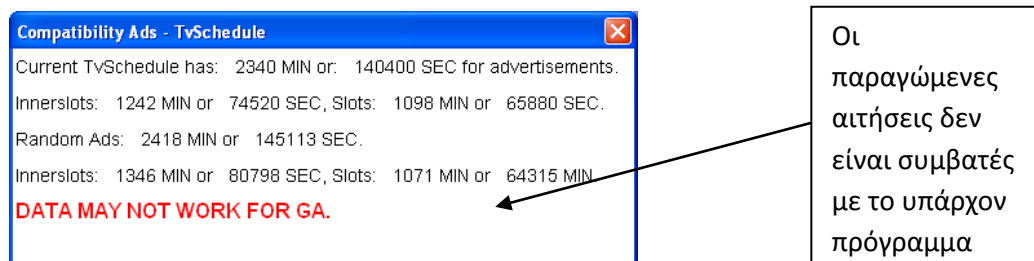
- Πατώντας το κουμπί Custom Ad Set δημιουργούμε ένα πακέτο αιτήσεων για προβολή. Κάθε πακέτο είναι διαθέσιμο για χρήση από ComboBox "Existing Ad Sets". Κάθε επιλογή πακέτου αιτήσεων φορτώνεται πατώντας το κουμπί Use.



- Για να δημιουργήσουμε αυτόματα ένα πακέτο αιτήσεων για διαφήμιση θα πατήσουμε στο κουμπί Random Ad Set, στην επόμενη οθόνη θα επιλέξουμε τις επιθυμητές παραμέτρους. Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας πατούμε το κουμπί Finish. Στην οθόνη “Manage Advertisements” θα δουμε ότι έχουν φορτωθεί οι αυτόματες αιτήσεις.



- Για την δημιουργία έγκυρων αιτήσεων που ανταποκρίνονται στο υπάρχον τηλεοπτικό πρόγραμμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο ελέγχου συμβατότητας πατώντας “Test Compatibility”.



## Run Evolutionary Algorithm

Στον διάλογο της χρονοδρομολόγησης έχουν φορτωθεί όλες οι πληροφορίες που επιλέξαμε στις προηγούμενες οθόνες της εφαρμογής. Για την εκτέλεση της χρονοδρομολόγησης ο χρήστης πρέπει να έχει δημιουργήσει τις διακοπές προγράμματος από τον διάλογο “Produce Timeslots” και να έχει φορτώσει ένα πακέτο αιτήσεων για διαφήμιση από τον διάλογο “Advertisements”. Στην περίπτωση που ο χρήστης δεν έχει τις προϋποθέσεις για την εκτέλεση του εξελικτικού αλγόριθμου το σύστημα δεν του επιτρέπει να ανοίξει τον διάλογο “Run Evolutionary Algorithm” διαφορετικά το παρακάτω παράθυρο εμφανίζεται.

Evolutionary Algorithm for Scheduling...

Run EA Parameters Constraints Results Data Pool Operators Demonstration

Start Evolution Stop GA Finish Clear console Save console ReleaseScrollBar

Έναρξη και τερματισμός της διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού

Ep>11	BestQuality: 2747 / 40%	Worse : 2321	PopFitness: 709149	1-2Con.: 670.0 / 9%	3Con.: 4855.0 / 72%
Ep>12	BestQuality: 2796 / 41%	Worse : 2355	PopFitness: 721998	1-2Con.: 663.0 / 9%	3Con.: 4990.0 / 74%
Ep>13	BestQuality: 2835 / 42%	Worse : 2462	PopFitness: 736207	1-2Con.: 665.0 / 9%	3Con.: 5027.0 / 74%
Ep>14	BestQuality: 2867 / 42%	Worse : 2438	PopFitness: 742743	1-2Con.: 659.0 / 9%	3Con.: 5125.0 / 76%
Ep>15	BestQuality: 2853 / 42%	Worse : 2475	PopFitness: 753609	1-2Con.: 663.0 / 9%	3Con.: 5075.0 / 75%
Ep>16	BestQuality: 2919 / 43%	Worse : 2552	PopFitness: 766407	1-2Con.: 654.0 / 9%	3Con.: 5197.0 / 77%
Ep>17	BestQuality: 2974 / 44%	Worse : 2547	PopFitness: 783263	1-2Con.: 659.0 / 9%	3Con.: 5308.0 / 78%
Ep>18	BestQuality: 2981 / 44%	Worse : 2642	PopFitness: 793939	1-2Con.: 652.0 / 9%	3Con.: 5341.0 / 79%
Ep>19	BestQuality: 3044 / 45%	Worse : 2702	PopFitness: 807033	1-2Con.: 657.0 / 9%	3Con.: 5457.0 / 81%
Ep>20	BestQuality: 3062 / 45%	Worse : 2805	PopFitness: 822199	1-2Con.: 656.0 / 9%	3Con.: 5489.0 / 81%

processing...

Η κονσόλα του εξελικτικού αλγόριθμου

Η διαδικασία προόδου της εξελικτικής διαδικασίας

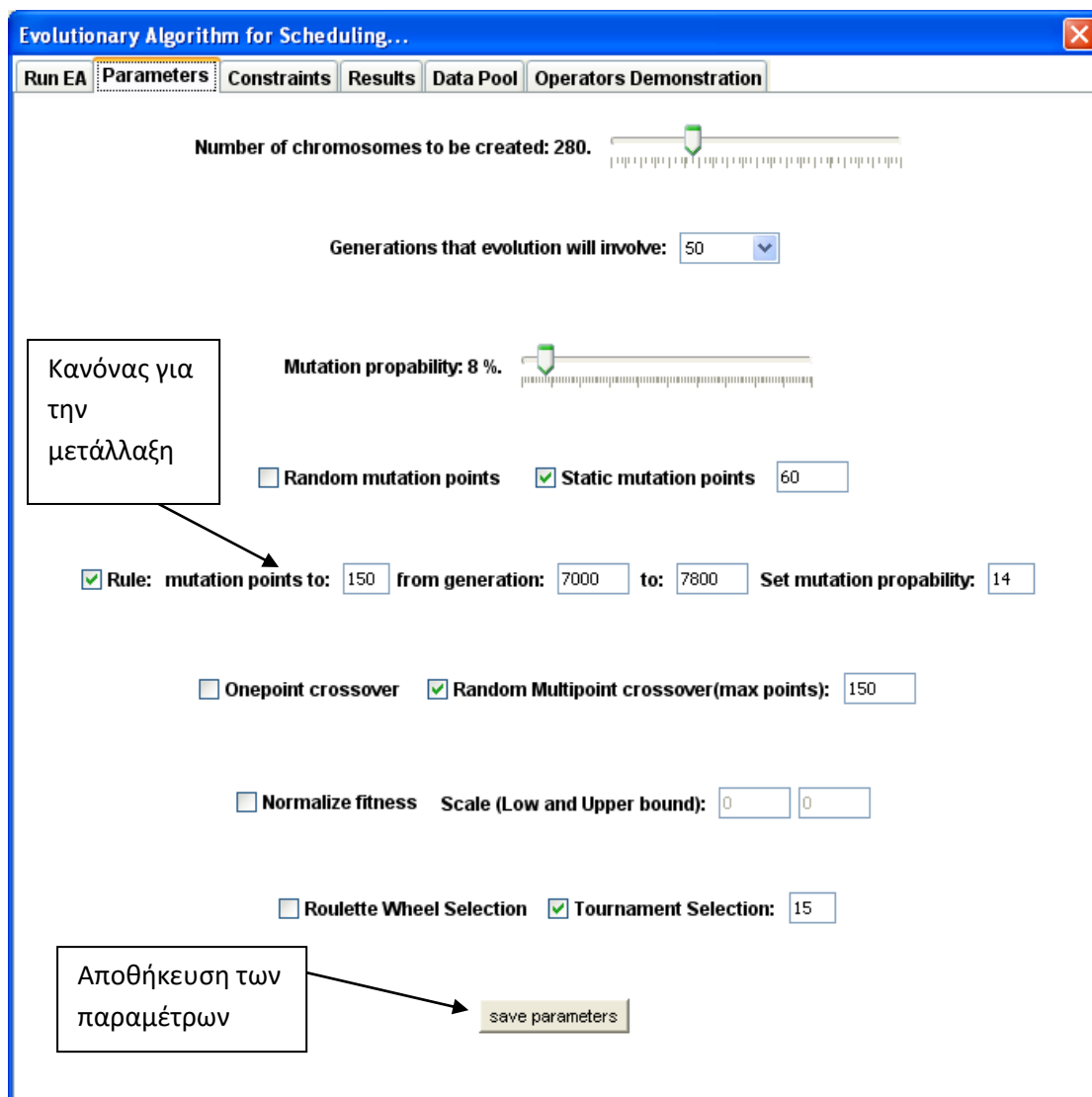
Ο διάλογος “Run Evolutionary Algorithm” περιέχει 6 καρτέλες όπου ο χειριστής μπορεί να πλοηγηθεί.

❖ Καρτέλα Run EA:

- Έναρξη και τερματισμός της διαδικασίας χρονοδρομολόγησης
- Κοσόλα εξελικτικού αλγορίθμου
- Καθαρισμός και αποθήκευση της κοσόλας

❖ Καρτέλα Parameters:

- Ρύθμιση και αποθήκευση όλων των παραμέτρων του εξελικτικού αλγόριθμου.



❖ Καρτέλα Constraints:

- Επιλογή των περιορισμών που αφορούν την διαδικασία παραγωγής των χρονοπρογραμμάτων.
- Έκδοση προτεραιοτήτων προβολής για την χρονοδρομολογημένες αιτήσεις διαφημίσεων για κάθε τηλεοπτική διακοπή.

❖ Καρτέλα Results:

- Παραγωγή των αποτελεσμάτων της χρονοδρομολόγησης
- Αποθήκευση των αποτελεσμάτων σε αρχείο στον προκαθορισμένα φάκελο RESULTS που βρίσκετε στον φάκελο της εφαρμογής.

Evolutionary Algorithm for Scheduling...

Run EA Parameters Constraints Results Data Pool Operators Demonstration

Generate results Save results Results Folder

Semeiology X:Y+ indicates in which timeslot an advertisement is scheduled. P indicates the priority of the advertisement.

Symbol "\*" (asterisk) specifies successful scheduling as

Διαφημιστικό διάλειμμα

Advertisement\Slot>	Slot : 1(1)	Slot : 1(2)	Slot : 1(3)	Slot : 1(4)	Slot : 1(5)	Slot : 1(6)
207						
208		208 : 1(2) + P: 19				208 : 1(6) + P: 15
209	209 : 1(1) +* P: 5	209 : 1(2) +* P: 5			209 : 1(5) +* P: ...	
210						
211						
212						
213						
214	214 : 1(1) + P: 11	214 : 1(2) + P: 12				
215	215 : 1(1) + P: 9					
216						
217						217 : 1(6) + P: 10
218						
219						
220					220 : 1(5) + P: 0	
221						
222						
223				223 : 1(4) +* P: 7		
224						
225			225 : 1(3) +* P: 6			
226						
227						
228						
229			229 : 1(3) + P: 11		229 : 1(5) + P: 9	
230						
231						
232						
233					233 : 1(4) +* P: 4	
234	234 : 1(1) + P: 13					
235	235 : 1(1) + P: 8		235 : 1(3) + P: 8			

Αριθμός της αίτησης για διαφημιστική προβολή

- Για κάθε διαφημιστικό διάλειμμα της μορφής Slot : X(Y), όπου X ο αύξων αριθμός του τηλεοπτικού προγράμματος και Y ο αύξων αριθμός της σφήνας. Διαφορετικά στην περίπτωση της μορφής Slot : Z ο αύξων αριθμός του διαλείμματος.

- Για κάθε επιτυχή δρομολόγηση μίας αίτησης διαφήμισης σε μια διακοπή προσθήεται το συμβολο “+\*” διαφορετικά το σύμβολο “+”.
- Η προτεραιότητα της διαφήμισης ορίζεται ως  $P : A$ , όπου A η σειρά προβολής της τρέχουσας διαφήμισης στο τηλεοπτικό διάλειμμα.
- ❖ Καρτέλα Operators Demonstration
  - Εργαλείο για την καλύτερη κατανόηση και περιγραφή των γενετικών τελεστών όπως ο ανασυνδυασμός, η μετάλλαξη και η επιλογή.

**Evolutionary Algorithm for Scheduling...**

Run EA Parameters Constraints Results Data Pool **Operators Demonstration**

OnePoint Crossover Multipoint Crossover Mutation Roulette Wheel **Tournament** Reset

Επιλογή γενετικού τελεστή

Dataset1(original): 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Dataset2(original): 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

Αποτελέσματα γενετικής τροποποίησης

Dataset1(modified): 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 crossovered

Dataset2(modified): 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 crossovered

Sample population fitnesses: 5.0 10.0 30.0 50.0 70.0 90.0 100.0 120.0 300.0 400.0

Δείγμα ποιότητων 10 ατόμων για επιλογή

Winner index: 9