



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ**

Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης  
Μαθηματικά των Υπολογιστών και των Αποφάσεων

***ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ***

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΣΟΥΡΛΙΓΚΑ ΣΟΦΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΛΑΓΙΑΝΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2010**

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους εκείνους τους ανθρώπους που συνέβαλαν, ο καθένας με το μοναδικό του τρόπο, στην επίτευξη αυτού του στόχου.

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Πλαγιανάκο Βασίλειο Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική του Πανεπιστημίου Στερεάς Ελλάδος χωρίς τον οποίο δε θα ήταν δυνατή η περάτωση της εργασίας μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τμήματος Μαθηματικού και όσους συμμετέχουν στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα του Διατμηματικού για τις γνώσεις που μου έχουν προσφέρει κατά την διάρκεια όλων αυτών των χρόνων και για αυτή τη μοναδική εμπειρία που μοιραστήκαμε μαζί.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για όλες τις θυσίες που έχουν κάνει για εμένα και για την συμπαράσταση και την εμπιστοσύνη που μου δείχνουν, τον σύντροφό μου Σταθόπουλο Αναστάσιο, τους συμφοιτητές και φίλους μου Σταθοπούλου Δήμητρα, Επιτροπάκη Μιχάλη και Τάγιο Παναγιώτη για την πολύτιμη βοήθεια τους καθώς και όλους τους ανθρώπους με τους οποίους μοιράζομαι τη ζωή μου είτε αυτοί βρίσκονται κοντά μου είτε όχι.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδερφή μου Ράνια, τόσο για την βοήθειά της όσο και γιατί έφερε στη ζωή την πρώτη μου ανιψιά, την Ιωάννα και γέμισε τη δική μου ζωή με ελπίδες, όνειρα και δημιουργικότητα και για το λόγο αυτό της αφιερώνω όλη αυτή την προσπάθεια.

**Αφιέρωση στη μικρή μου ανιψιά**

**Ιωάννα**

## Περιεχόμενα

|  |    |
|--|----|
| Περίληψη .....   | 7  |
| Κεφάλαιο 1 .....   | 9  |
| Εισαγωγή .....   | 9  |
| Κεφάλαιο 2 .....   | 11 |
| Χρονοπρογραμματισμός (Timetabling).....                    | 11 |
| 2.1 Τι είναι ο χρονοπρογραμματισμός.....                   | 11 |
| 2.2 Μέθοδοι που εφαρμόζονται στο χρονοπρογραμματισμό ..... | 12 |
| 2.3 Η προσέγγισή μας.....                                  | 13 |
| Κεφάλαιο 3 .....   | 14 |
| Γενετικοί Αλγόριθμοι .....                                 | 14 |
| 3.1 Εισαγωγή .....   | 14 |
| 3.1.1 Ιστορικά .....                                       | 14 |
| 3.1.2 Βιολογικό υπόβαθρο.....                              | 15 |
| 3.1.2.1 Χρωμόσωμα.....                                     | 15 |
| 3.1.2.2 Αναπαραγωγή (Reproduction).....                    | 16 |
| 3.1.3 Διάστημα αναζήτησης .....                            | 16 |
| 3.1.4 NP-hard/δύσκολα προβλήματα.....                      | 17 |
| 3.2 Γενετικός Αλγόριθμος .....                             | 18 |
| 3.2.1 Βασική περιγραφή .....                               | 18 |
| 3.2.2 Διαδικασία του βασικού Γενετικού Αλγόριθμου.....     | 18 |
| 3.2.3 Τελεστές.....  | 20 |
| 3.2.3.1 Κωδικοποίηση χρωμοσώματος.....                     | 20 |
| 3.2.3.2 Διασταύρωση (Crossover).....                       | 21 |
| 3.2.3.3 Μετάλλαξη (Mutation) .....                         | 21 |
| 3.3 Παράμετροι.....  | 22 |
| 3.3.1 Πιθανότητα διασταύρωσης και μετάλλαξης.....          | 22 |
| 3.3.2 Άλλες παράμετροι.....                                | 23 |
| 3.4 Επιλογή (Selection).....                               | 23 |
| 3.4.1 Επιλογή Ρουλέτας (Roulette Wheel Selection).....     | 23 |
| 3.4.2 Επιλογή Ταξινόμησης (Rank Selection).....            | 24 |

|   |   |    |
|---|---|----|
| 3.4.3   | Tourmanent-based Επιλογή .....  | 25 |
| 3.4.4   | Spatial-oriented Επιλογή.....   | 26 |
| 3.4.5   | Steady-State Επιλογή .....  | 26 |
| 3.4.6   | Ελιτισμός (Elitism) .....   | 26 |
| 3.5   | Κωδικοποίηση (Encoding).....  | 27 |
| 3.5.1   | Εισαγωγή .....  | 27 |
| 3.5.2   | Δυαδική κωδικοποίηση (Binary encoding).....                                       | 27 |
| 3.5.3   | Κωδικοποίηση μετάλλαξης (Permutation encoding).....                               | 28 |
| 3.5.4   | Κωδικοποίηση τιμής (Value encoding) .....   | 28 |
| 3.5.5   | Κωδικοποίηση δέντρων (Tree encoding) .....  | 29 |
| 3.6   | Διασταύρωση και Μετάλλαξη .....   | 30 |
| 3.6.1   | Εισαγωγή .....  | 30 |
| 3.6.2   | Δυαδική κωδικοποίηση.....   | 30 |
| 3.6.3   | Κωδικοποίηση μετάλλαξης (Permutation encoding).....                               | 32 |
| 3.6.4   | Κωδικοποίηση τιμής .....  | 32 |
| 3.6.5   | Κωδικοποίηση δέντρων .....  | 33 |
| Κεφάλαιο 4  | .....   | 34 |
| Γενετικοί αλγόριθμοι στο χρονοπρογραμματισμό εξετάσεων..... |   | 34 |
| 4.1   | Περιγραφή του προβλήματος.....  | 35 |
| 4.2   | Το AI/ CS πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού.....                                      | 36 |
| 4.3   | Εφαρμογή του βασικού Γενετικού Αλγορίθμου στο χρονοπρογραμματισμό εξετάσεων ..... | 37 |
| 4.3.1   | Αντιπροσώπευση .....  | 37 |
| 4.3.2   | Αποκλεισμός υποδοχέων χρόνου.....   | 37 |
| 4.3.3   | Εκτίμηση αιθουσών/χώρου.....  | 39 |
| 4.3.4   | Προκαθορισμένοι υποδοχείς χρόνου .....  | 39 |
| 4.4   | Συγκεκριμένο πλαίσιο εργασίας για το χρονοπρογραμματισμό εξετάσεων.....           | 40 |
| 4.4.1   | Δεδομένα φοιτητών- εξετάσεων .....  | 40 |
| 4.5   | Αξιολογήσεις .....  | 41 |
| 4.6   | Πειράματα.....  | 43 |
| 4.6.1   | Πραγματικό χρονοδιάγραμμα.....  | 43 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.6.2 Συγκρίσεις.....   | 47  |
| 4.7 Συζήτηση.....   | 52  |
| Κεφάλαιο 5 .....  | 54  |
| Γενετικοί αλγόριθμοι στο χρονοπρογραμματισμό διαλέξεων/σεμιναρίων .....                             | 54  |
| 5.1 Περιγραφή του προβλήματος.....  | 54  |
| 5.2 Το AI/CS πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων/σεμιναρίων.....                                | 56  |
| 5.3 Εφαρμογή του βασικού αλγορίθμου για το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων/σεμιναρίων ..... | 57  |
| 5.3.1 Αντιπροσώπευση .....  | 57  |
| 5.3.2 Αρχείο εξωτερικών προδιαγραφών.....   | 58  |
| 5.3.3 Εκτιμήσεις μαθημάτων .....  | 59  |
| 5.3.4 Εκτιμήσεις αιθουσών .....   | 62  |
| 5.3.5 Προκαθορισμένα χρόνος και αίθουσα .....   | 64  |
| 5.4 Συγκεκριμένο πλαίσιο εργασίας για το χρονοπρογραμματισμό διαλέξεων/σεμιναρίων .....             | 65  |
| 5.4.1 Βασικοί περιορισμοί .....   | 65  |
| 5.4.2 Περιορισμοί διάταξης .....  | 67  |
| 5.4.3 Περιορισμοί διασκορπισμού γεγονότων.....  | 69  |
| 5.5 Αξιολογήσεις .....  | 70  |
| 5.6 Πειράματα .....   | 73  |
| 5.6.1 Πραγματικό χρονοδιάγραμμα .....   | 73  |
| 5.6.2 Συγκρίσεις.....   | 80  |
| 5.7 Συζητήσεις .....  | 89  |
| Κεφάλαιο 6 .....  | 90  |
| Πειράματα με τη χρήση του λογισμικού FET .....  | 90  |
| 6.1 Περιγραφή του προβλήματος.....  | 90  |
| Προϋποθέσεις απόκτησης Μ.Δ.Ε. ....  | 91  |
| 6.1.1 Χρονοπρογραμματισμός Χειμερινού Εξαμήνου .....  | 95  |
| 6.1.2 Χρονοπρογραμματισμός Εαρινού Εξαμήνου .....   | 105 |
| Συμπεράσματα .....  | 111 |
| Βιβλιογραφία .....  | 113 |

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη μελέτη του προβλήματος του χρονοπρογραμματισμού γεγονότων, την τοποθέτηση δηλαδή των γεγονότων σε υποδοχείς χρόνου και χώρου, με τη χρήση Γενετικών Αλγορίθμων.

Μελετήσαμε το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού στην Εκπαίδευση και ειδικότερα σε ένα Πανεπιστήμιο, που εμφανίζεται σε δύο εκδοχές: το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων και το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων, καθώς και τα αντίστοιχα πειράματα και τα αποτελέσματα αυτών.

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό FET που βασίζεται στους Γενετικούς Αλγόριθμους κατασκευάσαμε χρονοδιαγράμματα για το ωρολόγιο πρόγραμμα του Μεταπτυχιακού Προγράμματος του Διατμηματικού του Πανεπιστημίου Πατρών "Μαθηματικά των Υπολογιστών και των Αποφάσεων" των τμημάτων Μαθηματικών και Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής και παρουσιάσαμε τα αποτελέσματα αυτών.

**Λέξεις κλειδιά:** *Χρονοπρογραμματισμός (Timetabling), Γενετικός Αλγόριθμος (Genetic Algorithm), Fet*

## **Abstract**

The aim of this paper is the study of the timetabling problem, meaning the allocation of events in time-slots and space-slots, using Genetic Algorithms.

We studied the Education Timetabling problem for a University which appears in two versions, timetabling of exams and timetabling of lectures and its corresponding experiments and results.

Using the open source free software FET which is based on the Genetic Algorithms, we scheduled timetables for the weekly program of Postgraduate Program of University of Patras "Mathematics of Computers and Decision" in which participate two departments, the department of Mathematics and the department of Engineering Computing and Information Technology and we presented the results of those.

**Key Words:** *Timetabling, Genetic Algorithm, Fet*



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Στην καθημερινότητά μας ερχόμαστε συνεχώς αντιμέτωποι με την ανάγκη να δημιουργήσουμε χρονοδιαγράμματα μέσα στα οποία θα εντάξουμε τις πολλαπλές δραστηριότητές μας που αφορούν στην εργασία μας, στις υποχρεώσεις του σπιτιού μας (π.χ. καθαριότητα, εξοπλισμός) και της οικογένειάς μας (π.χ. διάβασμα παιδιών, μεταφορά στο σχολείο), στις κοινωνικές υποχρεώσεις μας, ακόμα και στη διασκέδασή μας. Όλα τα παραπάνω για να διεξαχθούν αρμονικά πρέπει πρώτα να προγραμματιστούν και σίγουρα ένας σωστός προγραμματισμός συμβάλει στην ποιότητα του αποτελέσματος άρα και στην ποιότητα της ζωής μας.

Κατά τον προγραμματισμό μας θα πρέπει να λαμβάνουμε υπ' όψιν μας όχι μόνο τους δικούς μας πόρους αλλά και των ανθρώπων με τους οποίους αλληλεπιδρούμε, τη διαθεσιμότητα των πόρων αυτών και τα πλαίσια μέσα στα οποία αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Έτσι θα καταφέρουμε να οδηγηθούμε στην καλύτερη επιλογή ταιριάσματος των διαθέσιμων πόρων και να εξασφαλίσουμε την ομαλή έκβαση των γεγονότων.

Ένα τέτοιο πρόβλημα αντιμετωπίζεται και στον εκπαιδευτικό χώρο με το χρονοπρογραμματισμό των διαλέξεων ή των εξετάσεων, που οφείλει να ικανοποιεί τόσο τους διδάσκοντες όσο και τους φοιτητές που συμμετέχουν στην παραγωγική αυτή πράξη της εκπαίδευσης και να εξασφαλίσει την αρμονική συνεργασία αυτών.

Έτσι, για παράδειγμα, δε θα πρέπει να δημιουργούνται μεγάλα κενά ανάμεσα τις διαλέξεις ούτε πολλές ώρες συνεχόμενης παρακολούθησης, διότι απωθούν και δυσκολεύουν τους φοιτητές στη συμμετοχή τους στη διαδικασία. Επίσης στις εξετάσεις δε θα πρέπει να προγραμματίζονται πολλά εξεταζόμενα μαθήματα για την ίδια ημέρα ή σε συνεχόμενες ώρες και ούτω καθεξής.

Ας ισχυριστούμε λοιπόν ότι μας ζητήθηκε να φτιάξουμε το πρόγραμμα ενός πανεπιστημίου για το χειμερινό εξάμηνο του έτους με διάρκεια δεκαέξι (16) εβδομάδων. Οι πρώτες μας ενέργειες θα ήταν να βρούμε το πλήθος των μαθημάτων που

υποχρεούνται οι φοιτητές να παρακολουθήσουν στο εκάστοτε εξάμηνο και ποια είναι αυτά, οι καθηγητές που διδάσκουν τα συγκεκριμένα μαθήματα, οι αίθουσες που είναι διαθέσιμες και κατάλληλες, τόσο από χωρητικότητα όσο και αν πρόκειται για εργαστηριακό μάθημα η χρήση ενός εργαστηρίου και πολλά ακόμη.

Στην προσπάθειά μας θα πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί να μην προγραμματίσουμε για παράδειγμα δύο μαθήματα του ίδιου εξαμήνου την ίδια ώρα, είτε να αναθέσουμε στον ίδιο διδάσκοντα δύο παραδόσεις την ίδια χρονική στιγμή ή να προγραμματίσουμε τη διεξαγωγή δύο διαλέξεων στη ίδια αίθουσα την ίδια ώρα. Θα πρέπει να εξασφαλίσουμε την χωρητικότητα των αιθουσών καθώς και την ύπαρξη κατάλληλων αιθουσών εκμάθησης (π.χ. εργαστήρια). Εκτός από αυτούς τους ισχυρούς περιορισμούς έχουμε να λάβουμε υπ' όψιν μας και αρκετούς ακόμα, τους χαλαρούς, που αφορούν για παράδειγμα στο πόσα μαθήματα ημερησίως μπορεί να παρακολουθήσει ένας φοιτητής ή πόσες ημέρες κενό θα πρέπει υπάρχουν ανάμεσα στις διαλέξεις του κάθε μαθήματος.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για ένα πολύπλοκο πρόβλημα το οποίο υπόκειται σε πολλούς περιορισμούς που οφείλουμε να ικανοποιήσουμε και η επίλυση του οποίου απαιτεί τον συνυπολογισμό πολλών παραγόντων και λεπτομερή σχεδιασμό.

## Κεφάλαιο 2

### Χρονοπρογραμματισμός (Timetabling)

#### 2.1 Τι είναι ο χρονοπρογραμματισμός

Σύμφωνα με τον A. Wren [17] : «Ο χρονοπρογραμματισμός είναι η κατανομή δεδομένων γεγονότων σε υποδοχείς χρόνου και χώρου, υπό ορισμένους περιορισμούς, με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότεροι στόχοι».

Μερικά παραδείγματα προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού είναι ο εκπαιδευτικός προγραμματισμός (χρονοδιάγραμμα διαλέξεων ή εξετάσεων), ο προγραμματισμός στο χώρο εργασίας, ο προγραμματισμός αθλητικών γεγονότων, ο προγραμματισμός της λειτουργίας των μεταφορικών μέσων και ούτω καθεξής.

Τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού ορίζουν μια κλάση προβλημάτων βελτιστοποίησης με περιορισμούς, που είναι δύσκολο να λυθούν. Τέτοια προβλήματα είναι κυρίως ταξινομημένα ως προβλήματα ικανοποίησης περιορισμού [3], όπου ο κύριος σκοπός είναι να ικανοποιηθούν όλοι οι περιορισμοί του προβλήματος, παρά η βελτιστοποίηση των στόχων.

Αυτή τη στιγμή, η επιστήμη δεν έχει καμία αναλυτική μέθοδο για την επίλυση όλων των περιπτώσεων προβλημάτων αυτής της κατηγορίας, εκτός από την εξαντλητική αναζήτηση, που δεν μπορεί να εφαρμοστεί παρά μόνο στα προβλήματα προσομοιώσεις, λόγω των εξαιρετικά μεγάλων διαστημάτων αναζήτησης των περιπτώσεων των πραγματικών προβλημάτων.

Ο αυτοματοποιημένος προγραμματισμός, από την άλλη μεριά, είναι ένα ζήτημα μεγάλου ενδιαφέροντος δεδομένου ότι μπορεί να εξοικονομήσει πολλή ανθρώπινη εργασία, σε οργανισμούς και επιχειρήσεις, και να παρέχει βέλτιστες λύσεις στην ικανοποίηση περιορισμού εντός λεπτών, τα οποία μπορούν να ωθήσουν την παραγωγικότητα, την ποιότητα της εκπαίδευσης, την ποιότητα της εξυπηρέτησης και τελικά την ποιότητα ζωής.

Εντούτοις, τα μεγάλης κλίμακας χρονοδιαγράμματα, όπως τα πανεπιστημιακά χρονοδιαγράμματα, μπορεί να χρειαστούν πολύ μεγάλη προσπάθεια και πάρα πολλές ώρες εργασίας, από ένα καταρτισμένο πρόσωπο ή μια ομάδα, προκειμένου να παραχθούν υψηλής ποιότητας χρονοδιαγράμματα που θα παρέχουν τη βέλτιστη ικανοποίηση των περιορισμών και τη βελτιστοποίηση των στόχων του χρονοδιαγράμματος συγχρόνως.

## **2.2 Μέθοδοι που εφαρμόζονται στο χρονοπρογραμματισμό**

Ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών μεθόδων έχει προταθεί ήδη στη λογοτεχνία για την επίλυση των προβλημάτων προγραμματισμού. Αυτές οι μέθοδοι προέρχονται από διάφορους επιστημονικούς κλάδους όπως την Έρευνα Διαδικασιών (Operations Research), την Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence), και την Υπολογιστική Νοημοσύνη (Computational Intelligence) [1, 4, 10, 13, 14, 15] και μπορούν να διαιρεθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- 1) Διαδοχικές μέθοδοι που χειρίζονται τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού ως προβλήματα γραφημάτων. Γενικά, διατάσσουν τα γεγονότα χρησιμοποιώντας ευρετικές μεθόδους (heuristics) και ορίζουν έπειτα τα γεγονότα διαδοχικά στους έγκυρους υποδοχείς χρόνου κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην παραβιάζεται κανένας περιορισμός για κάθε υποδοχέα. [5].
- 2) Μέθοδοι συστάδων, στις οποίες το πρόβλημα διαιρείται σε ένα πλήθος από σύνολα γεγονότων. Κάθε σύνολο ορίζεται έτσι ώστε να ικανοποιεί όλους τους ισχυρούς περιορισμούς και στη συνέχεια, τα σύνολα ορίζονται σε υποδοχείς πραγματικού χρόνου για να ικανοποιήσουν και τους χαλαρούς περιορισμούς [16].
- 3) Μέθοδοι που βασίζονται σε περιορισμούς, σύμφωνα με τους οποίους ένα πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού παίρνει τη μορφή ενός συνόλου μεταβλητών (γεγονότα) στο οποίο οι τιμές (π.χ. καθηγητές, αίθουσες) πρέπει να οριστούν προκειμένου να ικανοποιήσουν ένα πλήθος από περιορισμούς[3].
- 4) Meta-heuristic μέθοδοι, όπως οι Γενετικοί Αλγόριθμοι, Simulated Annealing, Tabu Search, και άλλες ευρετικές (heuristic) προσεγγίσεις, που εμπνέονται συνήθως από τη φύση, και εφαρμόζουν διαδικασίες που μιμούνται τη φύση στις λύσεις ή τους

πληθυσμούς των λύσεων, προκειμένου αυτοί να εξελιχθούν προς τη βελτιστοποίηση [1,2, 8, 10, 13].

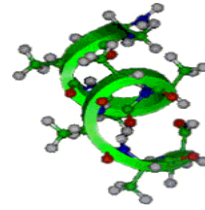
## **2.3 Η προσέγγισή μας**

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίλυση των προβλημάτων προγραμματισμού από το 1990 [8]. Από τότε, η λογοτεχνία έχει φιλοξενήσει έναν μεγάλο αριθμό εγγράφων που παρουσιάζουν τις εξελικτικές μεθόδους και τις εφαρμογές σε τέτοια προβλήματα με σημαντική επιτυχία [6].

Σε αυτή την εργασία επικεντρωνόμαστε στην επίλυση πανεπιστημιακών προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού με τη χρήση των Γενετικών Αλγορίθμων, δηλαδή με το χρονοπρογραμματισμό διεξαγωγής διαλέξεων και το χρονοπρογραμματισμό διεξαγωγής εξετάσεων

## Κεφάλαιο 3

### Γενετικοί Αλγόριθμοι



#### 3.1 Εισαγωγή

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι ένα κομμάτι του εξελικτικού υπολογισμού, ο οποίος είναι ένας γρήγορα αυξανόμενος τομέας της τεχνητής νοημοσύνης. Πρόκειται για μια τυχαία μέθοδο αναζήτησης και βελτιστοποίησης, βασισμένη στις αρχές της εξέλιξης και της φυσικής επιλογής μιας και είναι εμπνευσμένοι από τη θεωρία της εξέλιξης του Δαρβίνου.

Η λύση σε ένα πρόβλημα που λύνεται με τη χρήση των γενετικών αλγορίθμων είναι εξελικτική και ενώ οι περισσότερες στοχαστικές μέθοδοι επαφίενται σε μια μοναδική λύση στα προβλήματα που επιλύονται με το χέρι, οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν εφαρμογή σε ένα πληθυσμό λύσεων.

##### 3.1.1 Ιστορικά

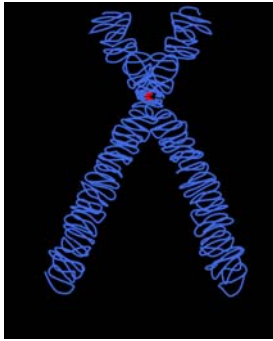
Η ιδέα του εξελικτικού υπολογισμού εισήχθη στη δεκαετία του '60 από τον I.Rechenberg στην εργασία του "Στρατηγικές Εξέλιξης" ("*Evolution strategies*"). Η ιδέα του μετέπειτα αναπτύχθηκε και από άλλους ερευνητές. Οι γενετικοί αλγόριθμοι εφευρέθηκαν από τον John Holland και αναπτύχθηκαν από αυτόν και τους σπουδαστές και τους συναδέλφους του. Αυτό οδήγησε στη συγγραφή του βιβλίου του Holland "Προσαρμογή σε Φυσικά και Τεχνητά Συστήματα" ("*Adaption in Natural and Artificial Systems*") που δημοσιεύτηκε το 1975 [11]. Το 1992 ο John Koza χρησιμοποίησε το γενετικό αλγόριθμο για να εξελίξει τα προγράμματα προς την εκτέλεση ορισμένων στόχων και κάλεσε τη μέθοδό του "γενετικό προγραμματισμό" ("genetic programming").

Η βαθμιαία διαδικασία προσαρμογής των φυσικών χρωμοσωμάτων έχει εμφανιστεί πρώτιστα για να παραγάγει ένα καταλληλότερο άτομο που μπορεί να επιζήσει σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Αυτή η διαδικασία στη φυσική γενετική προσομοιάζεται τεχνητά στους γενετικούς αλγορίθμους για να βρεθεί η βέλτιστη λύση σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Οι γενετικοί αλγόριθμοι εφαρμόζουν μερικούς από τους

φυσικούς μηχανισμούς εξέλιξης όπως η διασταύρωση, η μετάλλαξη και η επιβίωση του ικανότερου στη βελτιστοποίηση και την εκπαίδευση μηχανών.

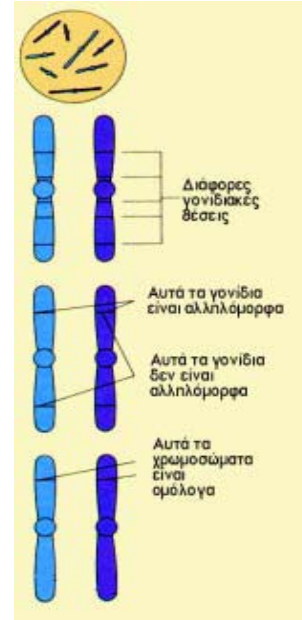
### 3.1.2 Βιολογικό υπόβαθρο

#### 3.1.2.1 Χρωμόσωμα



Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί αποτελούνται από τα κύτταρα. Σε κάθε κύτταρο υπάρχει το ίδιο σύνολο χρωμοσωμάτων, 46 χρωμοσώματα που αποτελούν 23 ζευγάρια. Τα χρωμοσώματα είναι σειρές από DNA και λειτουργούν ως ένα πρότυπο για ολόκληρο τον οργανισμό. Ένα χρωμόσωμα αποτελείται από τα γονίδια δηλαδή τον ένα και μοναδικό παράγοντα κληρονομικότητας που καθορίζει το γενετικό κώδικα. Τα γονίδια είναι τμήματα από DNA και καθένα από αυτά κωδικοποιεί μια συγκεκριμένη πρωτεΐνη. Βασικά μπορεί να ειπωθεί, ότι κάθε γονίδιο κωδικοποιεί ένα γνώρισμα, παραδείγματος χάριν το χρώμα των ματιών.

Οι πιθανές τιμές για ένα γνώρισμα (π.χ. μπλε, καφέ) καλούνται αλληλόμορφα γονίδια. Τα αλληλόμορφα γονίδια βρίσκονται στην ίδια θέση των ομόλογων χρωμοσωμάτων. Το ζευγάρι των αλληλόμορφων συνιστά τον γενότυπο ενώ η έκφραση τους συνιστά τον φαινότυπο. Κάθε γονίδιο έχει τη δική του θέση στο χρωμόσωμα και το πλήρες σύνολο του γενετικού υλικού (όλα τα χρωμοσώματα) καλείται γονιδίωμα.



### 3.1.2.2 Αναπαραγωγή (Reproduction)

Κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής, εμφανίζεται αρχικά ο επανασυνδυασμός, η λεγόμενη διασταύρωση (crossover). Τα γονίδια των γονέων διαμορφώνουν με κάποιο τρόπο ολόκληρο το νέο χρωμόσωμα και ο νέος απόγονος μπορεί έπειτα να μεταλλαχθεί. Κατά τη μετάλλαξη (mutation), τα στοιχεία του DNA αλλάζουν κατά ένα μικρό τμήμα, κατά ένα bit. Αυτές οι αλλαγές προκαλούνται κυρίως από λάθη στην αντιγραφή των γονιδίων από τους γονείς.

Η ικανότητα (fitness) ενός οργανισμού μετριέται από την επιτυχία επιβίωσης του.

### 3.1.3 Διάστημα αναζήτησης

Κατά την επίλυση ενός προβλήματος, αναζητούμε συνήθως μια λύση, η οποία θα είναι η καλύτερη μεταξύ κάποιων άλλων. Το διάστημα όλων των εφικτών λύσεων, δηλαδή, όλες οι λύσεις μεταξύ των οποίων βρίσκεται και η επιθυμητή, καλείται διάστημα αναζήτησης (search space). Κάθε σημείο στο διάστημα αναζήτησης αντιπροσωπεύει μια εφικτή λύση η οποία μπορεί να επισημανθεί από την αξία ή την ικανότητά της για το δεδομένο πρόβλημα. Αναζητούμε λοιπόν μια λύση, η οποία είναι ένα σημείο (ή και περισσότερα) μεταξύ των εφικτών λύσεων και αυτό είναι ένα σημείο στο διάστημα αναζήτησης.

Η αναζήτηση μιας λύσης είναι ισοδύναμη με την αναζήτηση ακραίων όρων (ελάχιστο ή μέγιστο) στο διάστημα αναζήτησης. Το διάστημα αναζήτησης μπορεί να είναι εξ' ολοκλήρου γνωστό κατά την επίλυση ενός προβλήματος, όμως συνήθως γνωρίζουμε μόνο μερικά σημεία από αυτό και παράγουμε άλλα σημεία κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της επίλυσης.

Το πρόβλημα είναι ότι η αναζήτηση μπορεί να είναι πολύ περίπλοκη, διότι δεν υπάρχει σαφής κατεύθυνση αναζήτησης και αρχικοποίησης της. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι, εύρεσης κατάλληλης λύσης (όχι απαραίτητως της βέλτιστης λύσης), παραδείγματος χάριν με hill climbing, tabu search, simulated annealing και με γενετικούς αλγόριθμους. Η λύση που προκύπτει από τις μεθόδους αυτές θεωρείται συνήθως ως μια



καλή λύση, επειδή τις περισσότερες φορές δεν είναι δυνατό να αποδειχθεί ποιο είναι το πραγματικό βέλτιστο.

### 3.1.4 NP-hard/δύσκολα προβλήματα

Παράδειγμα δύσκολων προβλημάτων, τα οποία δεν μπορούν να λυθούν με τον παραδοσιακό τρόπο είναι τα NP προβλήματα. Υπάρχουν πολλά θέματα για τα οποία γνωρίζουμε γρήγορους (πολυωνυμικούς) αλγορίθμους αλλά και πολλά άλλα που δεν είναι δυνατό να λυθούν αλγοριθμικά. Για κάποια προβλήματα δε, έχει αποδειχθεί ότι δεν είναι δυνατό να επιλυθούν σε πολυωνυμικό χρόνο.

Απ' την άλλη μεριά, υπάρχουν πολλά σημαντικά θέματα, για τα οποία είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί μια λύση, αλλά μόλις βρεθεί, είναι εύκολο να ελεγχθεί. Αυτό το γεγονός οδήγησε στα NP-πλήρη προβλήματα (NP-complete). Το NP σημαίνει μη ντετερμινιστικό πολυωνυμικά και δηλώνει ότι είναι δυνατό να μαντέψουμε τη λύση (με κάποιο μη ντετερμινιστικό αλγόριθμο) και να την ελέγξουμε στη συνέχεια, και τα δύο σε πολυωνυμικό χρόνο. Έτσι, εάν είχαμε ένα μηχάνημα που μπορεί να μαντέψει, θα ήμασταν σε θέση να βρούμε μια λύση σε κάποιο λογικό χρόνο.

Η μελέτη των NP-πλήρων προβλημάτων περιορίζεται, χάριν ευκολίας, στα προβλήματα, όπου η απάντηση μπορεί να είναι ναι ή όχι. Επειδή υπάρχουν ζητήματα με περίπλοκα αποτελέσματα, έχει εισαχθεί μια κατηγορία προβλημάτων αποκαλούμενων NP-δύσκολα (NP-hard) προβλήματα, η οποία δεν είναι τόσο περιορισμένη όσο η κατηγορία των NP-πλήρων προβλημάτων.

Γιατί τα NP-προβλήματα είναι χαρακτηριστικό ότι κάποιος απλός αλγόριθμος για τη εύρεση μιας λύσης είναι προφανής, με μια πρώτη ματιά, απλά δοκιμάζοντας όλες τις πιθανές λύσεις. Αυτός όμως ο αλγόριθμος είναι πολύ αργός (συνήθως  $O(2^n)$ ) και ακόμη και για ελάχιστα μεγαλύτερες περιπτώσεις προβλημάτων δεν είναι καθόλου χρήσιμος. Κανένας δεν γνωρίζει εάν υπάρχει κάποιος γρηγορότερος και ακριβής αλγόριθμος οπότε γίνεται αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων. Ένα παράδειγμα τέτοιων μεθόδων είναι οι γενετικοί αλγόριθμοι που μελετάμε.

Παραδείγματα NP προβλημάτων είναι : το πρόβλημα ικανοποίησης (satisfiability problem), το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (travelling salesman problem), το πρόβλημα σακιδίου (knapsack problem).

## 3.2 Γενετικός Αλγόριθμος

### 3.2.1 Βασική περιγραφή

Όπως προαναφέραμε, οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι εμπνευσμένοι από τη θεωρία της εξέλιξης του Δαρβίνου και η λύση σε ένα πρόβλημα που λύνεται με τους γενετικούς αλγορίθμους είναι εξελικτική.

Ο αλγόριθμος αρχίζει με ένα σύνολο λύσεων, που αντιπροσωπεύονται από τα χρωμοσώματα, τον λεγόμενο πληθυσμό. Οι λύσεις ενός πληθυσμού λαμβάνονται και χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση ενός νέου πληθυσμού. Το κίνητρο είναι η ελπίδα, ότι ο νέος πληθυσμός θα είναι καλύτερος από τον παλιό. Οι λύσεις που συμμετέχουν στη διαμόρφωση των νέων, δηλαδή τους απόγονους, επιλέγονται σύμφωνα με την ικανότητά τους (fitness), όσο πιο κατάλληλες είναι τόσο περισσότερες είναι οι πιθανότητες να αναπαραχθούν.

Αυτό επαναλαμβάνεται έως ότου κάποια από τις συνθήκες να ικανοποιείται, για παράδειγμα ο αριθμός των πληθυσμών ή η βελτίωση της καλύτερης λύσης.

### 3.2.2 Διαδικασία του βασικού Γενετικού Αλγόριθμου

1. **[Αρχή]** Παραγωγή τυχαίου πληθυσμού  $n$  χρωμοσωμάτων (κατάλληλες λύσεις του προβλήματος).
2. **[Ικανότητα]** Υπολογισμός της συνάρτησης ικανότητας (fitness  $f(x)$ ) για κάθε χρωμόσωμα  $x$  του πληθυσμού.
3. **[Νέος Πληθυσμός]** Δημιουργία ενός νέου πληθυσμού με επανάληψη των παρακάτω βημάτων έως ότου ο νέος πληθυσμός να είναι πλήρης.
  - 3.1. **[Επιλογή]** Επιλογή δύο γονέων χρωμοσωμάτων από έναν πληθυσμό σύμφωνα με την ικανότητά τους (όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της συνάρτησης ικανότητας τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να επιλεγθούν).

- 3.2. **[Διασταύρωση]** Διασταύρωση των γονέων (με μια πιθανότητα διασταύρωσης) για τη δημιουργία ενός νέου απογόνου (παιδιού). Εάν δεν εκτελεστεί καμία διασταύρωση, ο απόγονος είναι ένα ακριβές αντίγραφο των γονέων.
- 3.3. **[Μετάλλαξη]** Μετάλλαξη του νέου απογόνου (με μια πιθανότητα μετάλλαξης) σε κάθε θέση του χρωμοσώματος.
- 3.4. **[Αποδοχή]** Τοποθέτηση του νέου απογόνου στον νέο πληθυσμό.
4. **[Αντικατάσταση]** Χρήση νέου αρχικού πληθυσμού για επόμενο τρέξιμο του αλγορίθμου.
5. **[Έλεγχος]** Εάν το κριτήριο τερματισμού ικανοποιείται σταματάει ο αλγόριθμος και επιστρέφεται τη βέλτιστη λύση για τον τρέχοντα πληθυσμό.
6. **[Βρόγχος]** Μεταπήδηση στο βήμα 2

## Σχόλια

Παρατηρούμε ότι η διαδικασία του βασικού γενετικού αλγορίθμου είναι πολύ γενική. Ανάλογα λοιπόν με τις απαιτήσεις του κάθε προβλήματος πολλά πράγματα μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικά.

Το πρώτο ερώτημα που γεννάται είναι ποιος τύπος κωδικοποίησης πρέπει να επιλεγεί για τη μορφή του χρωμοσώματος στο κάθε πρόβλημα. Με αυτό είναι συνδεδεμένη η διασταύρωση και η μετάλλαξη, οι δύο βασικοί τελεστές των γενετικών αλγορίθμων.

Μία από τις επόμενες ερωτήσεις είναι πώς να επιλεγθούν οι γονείς για τη διασταύρωση. Αυτό μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους, αλλά η κύρια ιδέα είναι να επιλεγθούν οι καλύτεροι γονείς (με την ελπίδα ότι οι καλύτεροι γονείς θα παραγάγουν τον καλύτερο απόγονο). Μια άλλη σκέψη είναι, ότι η δημιουργία του νέου πληθυσμού μόνο από το νέο απόγονο μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια του καλύτερου χρωμοσώματος από τον τελευταίο πληθυσμό. Επειδή αυτό ισχύει, χρησιμοποιείται συχνά ο αποκαλούμενος ελιτισμός, δηλαδή τουλάχιστον μια από τις καλύτερες λύσεις αντιγράφεται χωρίς αλλαγές στον νέο πληθυσμό, έτσι ώστε η καλύτερη λύση από αυτές

που έχουν ήδη βρεθεί να μπορέσει να επιζήσει ως το τέλος του τρεξίματος του αλγορίθμου.

Το γιατί οι γενετικοί αλγόριθμοι επιτυγχάνουν, μπορεί να εξηγηθεί μερικώς από το Schema Theorem (Holland), αν και πρόκειται για ένα θεώρημα που έχει επικριθεί.

### 3.2.3 Τελεστές

Παρατηρώντας τα βήματα του αλγορίθμου αντιλαμβανόμαστε ότι η διασταύρωση και η μετάλλαξη είναι το σημαντικότερο μέρος του γενετικού αλγορίθμου. Η απόδοση επηρεάζεται κυρίως από αυτούς τους δύο τελεστές. Όμως προτού να εξηγήσουμε περισσότερα για τη διασταύρωση και τη μετάλλαξη, ας δώσουμε κάποιες πληροφορίες για τα χρωμοσώματα.

#### 3.2.3.1 Κωδικοποίηση χρωμοσώματος

Το χρωμόσωμα πρέπει με κάποιο τρόπο να περιέχει τις πληροφορίες για τη λύση που αντιπροσωπεύει. Ο πλέον χρησιμοποιημένος τρόπος κωδικοποίησης είναι μια δυαδική σειρά (binary string). Έτσι το χρωμόσωμα θα έχει την παρακάτω μορφή:

|              |                  |
|--------------|------------------|
| Chromosome 1 | 1101100100110110 |
| Chromosome 2 | 1101111000011110 |

Κάθε χρωμόσωμα είναι μια δυαδική σειρά. Κάθε κομμάτι σε αυτήν την σειρά μπορεί να αντιπροσωπεύσει κάποιο χαρακτηριστικό της λύσης ή ολόκληρη η σειρά μπορεί να αντιπροσωπεύσει έναν αριθμό.

Φυσικά, υπάρχουν πολλοί άλλοι τρόποι κωδικοποίησης και αυτό εξαρτάται κυρίως από το πρόβλημα που επιλύεται. Παραδείγματος χάριν, κάποιος μπορεί να κωδικοποιήσει άμεσα ακέραιους ή πραγματικούς αριθμούς, μερικές φορές είναι χρήσιμη η κωδικοποίηση μερικών μεταλλάξεων και ούτω καθεξής.

### 3.2.3.2 Διασταύρωση (Crossover)

Εφόσον έχουμε αποφασίσει την κωδικοποίηση που θα χρησιμοποιήσουμε, πηγαίνουμε στο επόμενο βήμα που είναι η διασταύρωση. Στη διασταύρωση επιλέγονται τα γονίδια από τα χρωμοσώματα των γονέων και δημιουργείται ένας νέος απόγονος. Ο απλούστερος τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι να επιλεγθεί τυχαία κάποιο σημείο διασταύρωσης και ο πρώτος απόγονος να πάρει το πρώτο κομμάτι από τον πρώτο γονέα και το δεύτερο από τον δεύτερο γονέα, ενώ ο δεύτερος απόγονος αντίστοιχα θα έχει το πρώτο κομμάτι από τον δεύτερο γονέα και το δεύτερο από τον πρώτο γονέα. Ένα παράδειγμα διασταύρωσης είναι το παρακάτω:

|              |                     |
|--------------|---------------------|
| Chromosome 1 | 11011   00100110110 |
| Chromosome 2 | 11011   11000011110 |
| Offspring 1  | 11011   11000011110 |
| Offspring 2  | 11011   00100110110 |

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι διασταύρωσης, όπως για παράδειγμα η χρήση περισσότερων σημείων διασταύρωσης.

Η διασταύρωση μπορεί να είναι πολύ περίπλοκη και εξαρτάται πάρα πολύ από την κωδικοποίηση του χρωμοσώματος. Η διασταύρωση που γίνεται για συγκεκριμένο πρόβλημα μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του γενετικού αλγορίθμου.

### 3.2.3.3 Μετάλλαξη (Mutation)

Μετά την εκτέλεση μιας διασταύρωσης πραγματοποιείται η μετάλλαξη για να αποτραπεί το γεγονός όλες οι λύσεις στον πληθυσμό να συμπέσουν σε ένα τοπικό βέλτιστο του προβλήματος. Η μετάλλαξη αλλάζει τυχαία το νέο απόγονο. Στη δυαδική κωδικοποίηση μεταστρέφονται τυχαία μερικά επιλεγμένα στοιχεία από 1 σε 0 ή από 0 σε 1. Η μετάλλαξη λειτουργεί ως εξής:

|                      |                  |
|----------------------|------------------|
| Original offspring 1 | 1101111000011110 |
| Original offspring 2 | 1101100100110110 |
| Mutated offspring 1  | 1100111000011110 |
| Mutated offspring 2  | 1101101100110110 |

Η μετάλλαξη εξαρτάται από την κωδικοποίηση καθώς επίσης και τη διασταύρωση.

### 3.3 Παράμετροι

#### 3.3.1 Πιθανότητα διασταύρωσης και μετάλλαξης

Υπάρχουν δύο βασικές παράμετροι των γενετικών αλγόριθμων: η πιθανότητα διασταύρωσης και η πιθανότητα μετάλλαξης.

Η πιθανότητα διασταύρωσης υποδηλώνει τη συχνότητα των διασταυρώσεων. Εάν δεν πραγματοποιείται καμία διασταύρωση, ο απόγονος είναι ακριβές αντίγραφο των γονέων. Όταν πραγματοποιείται μια διασταύρωση, ο απόγονος αποτελείται από τμήματα των χρωμοσωμάτων των γονέων. Εάν η πιθανότητα διασταύρωσης είναι 100%, ολόκληρος ο απόγονος γίνεται από τη διασταύρωση. Εάν είναι 0%, ολόκληρη η νέα γενεά γίνεται από τα ακριβή αντίγραφα των χρωμοσωμάτων του παλαιού πληθυσμού (αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι η νέα γενεά είναι η ίδια!).

Η διασταύρωση γίνεται με την ελπίδα τα νέα χρωμοσώματα να έχουν τα καλά μέρη των παλαιών χρωμοσωμάτων και ίσως τα νέα χρωμοσώματα να είναι και καλύτερα. Εντούτοις είναι καλό να αφηθεί κάποιο μέρος του πληθυσμού να επιζεί στην επόμενη γενεά.

Η πιθανότητα μετάλλαξης υποδηλώνει τη συχνότητα της μετάλλαξης των τμημάτων του χρωμοσώματος. Εάν δεν υπάρχει καμία μετάλλαξη, ο απόγονος λαμβάνεται μετά από τη διασταύρωση (ή το αντίγραφο) χωρίς καμία αλλαγή. Όταν η μετάλλαξη πραγματοποιείται, μέρος του χρωμοσώματος αλλάζει. Εάν η πιθανότητα μετάλλαξης είναι 100%, ολόκληρο το χρωμόσωμα αλλάζει, ενώ εάν είναι 0%, δεν υπάρχει καμία αλλαγή.

Η μετάλλαξη γίνεται για να αποτραπεί να περιέλθει ο γενετικός αλγόριθμος στο τοπικό άκρο, αλλά δεν πρέπει να γίνεται πολύ συχνά, επειδή έπειτα ο γενετικός αλγόριθμος θα υποβαθμιστεί σε τυχαία αναζήτηση.

### **3.3.2 Άλλες παράμετροι**

Μία ακόμα σημαντική παράμετρος των γενετικών αλγορίθμων είναι το μέγεθος του πληθυσμού. Το μέγεθος του πληθυσμού αναφέρεται στο πόσα χρωμοσώματα είναι στον πληθυσμό (σε μια γενεά). Εάν υπάρχουν πολύ λίγα χρωμοσώματα, ο γενετικός αλγόριθμος έχει μερικές δυνατότητες να εκτελέσει διασταύρωση και μόνο ένα μικρό μέρος του διαστήματος αναζήτησης εξερευνείται. Απ' την άλλη μεριά, εάν υπάρχουν πάρα πολλά χρωμοσώματα, ο αλγόριθμος επιβραδύνει.

Η έρευνα δείχνει ότι μετά από κάποιο όριο (που εξαρτάται κυρίως από την κωδικοποίηση και το πρόβλημα) δεν είναι χρήσιμο να αυξηθεί το μέγεθος του πληθυσμού, επειδή δεν συνεισφέρει στην ταχύτητα επίλυσης του προβλήματος.

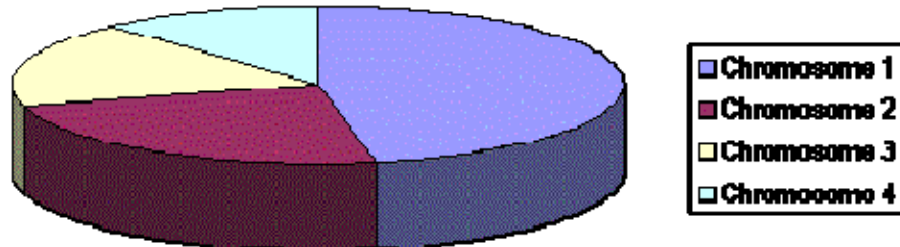
## **3.4 Επιλογή (Selection)**

Όπως έχουμε ήδη δει από τα βήματα του αλγόριθμου, τα χρωμοσώματα επιλέγονται από τον πληθυσμό για να είναι γονείς στη διασταύρωση. Το πρόβλημα είναι στο πώς να επιλεγτούν αυτά τα χρωμοσώματα. Σύμφωνα με τη θεωρία της εξέλιξης του Δαρβίνου (Darwin) τα καλύτερα χρωμοσώματα πρέπει να επιζήσουν και να δημιουργήσουν τον νέο απόγονο. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την επιλογή των καλύτερων χρωμοσωμάτων, παραδείγματος χάριν roulette wheel selection, Boltzman selection, tournament selection, rank selection, steady state selection.

### **3.4.1 Επιλογή Ρουλέτας (Roulette Wheel Selection)**

Οι γονείς επιλέγονται σύμφωνα με την ικανότητά της. Όσο καλύτερα είναι τα χρωμοσώματα τόσες περισσότερες είναι οι πιθανότητες της να επιλεγθούν. Φανταστείτε

μια ρουλέτα όπου τοποθετούνται όλα τα χρωμοσώματα του πληθυσμού, κάθε ένα από τα οποία λαμβάνει τη θέση του σύμφωνα με τη συνάρτηση ικανότητας, της στην ακόλουθη εικόνα. Στη συνέχεια μια μπίλια ρίχνεται εκεί και επιλέγει το χρωμόσωμα. Το χρωμόσωμα με τη μεγαλύτερη ικανότητα θα επιλεγθεί περισσότερες φορές.



Αυτό μπορεί να αναπαρασταθεί από τον παρακάτω αλγόριθμο:

1. **[Άθροιση]** Υπολόγισε το άθροισμα της ικανότητας όλων των χρωμοσωμάτων του πληθυσμού, αυτό είναι το άθροισμα  $S$ .
2. **[Επιλογή]** Επέλεξε τυχαίο αριθμό από το διάστημα  $(0, S)$  έστω το  $r$ .
3. **[Βρόγχος]** Τρέξε τον πληθυσμό και άθροισε της ικανότητες από  $0$  έως το άθροισμα  $S$ . Όταν το άθροισμα γίνει μεγαλύτερο του  $r$ , σταμάτα και επέστρεψε το τρέχον χρωμόσωμα.

Το πρώτο βήμα εκτελείται μόνο μια φορά για κάθε πληθυσμό.

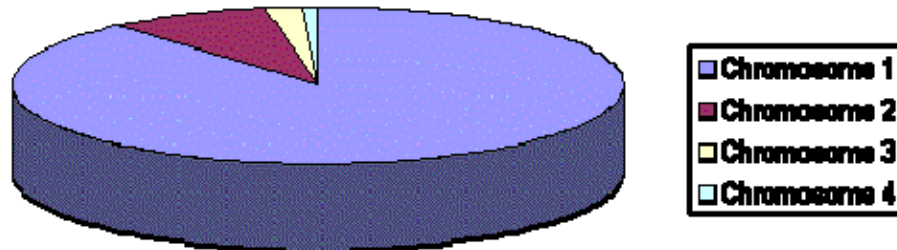
### 3.4.2 Επιλογή Ταξινόμησης (Rank Selection)

Η προηγούμενη επιλογή θα οδηγούσε σε προβλήματα όταν οι τιμές της ικανότητας διαφέρουν πάρα πολύ. Αν για παράδειγμα η καλύτερη ικανότητα χρωμοσωμάτων της ρουλέτας είναι 90%, τότε τα άλλα χρωμοσώματα θα έχουν πολύ λίγες πιθανότητες που επιλεγθούν. Η επιλογή ταξινόμησης, ταξινομεί αρχικά τον πληθυσμό και έπειτα κάθε χρωμόσωμα λαμβάνει την ικανότητα από την ταξινόμηση αυτή. Το χειρότερο χρωμόσωμα θα έχει ικανότητα ίση με 1, το επόμενο χειρότερο τιμή 2 και ούτω καθεξής,

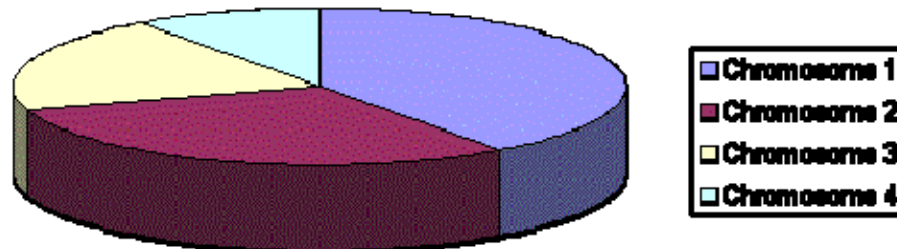


ενώ το καλύτερο θα έχει ικανότητα  $N$  (όσο δηλαδή είναι το πλήθος των χρωμοσωμάτων του πληθυσμού).

Μπορείτε να δείτε στην παρακάτω εικόνα, πώς η κατάσταση αλλάζει όταν διατάσσονται οι τιμές της ικανότητας.



Πριν την διάταξη



Μετά τη διάταξη

Μετά από αυτή τη μετατροπή όλα τα χρωμοσώματα έχουν πιθανότητα να επιλεχθούν. Αλλά αυτή η μέθοδος μπορεί να οδηγήσει σε πιο αργή σύγκλιση, επειδή τα καλύτερα χρωμοσώματα δεν διαφέρουν και τόσο πολύ από τα υπόλοιπα.

### 3.4.3 Tournament-based Επιλογή

Επιλέγει τυχαία  $K$  γονείς και επιστρέφει ως απόγονο τον ικανότερο από τους γονείς. Δύο διαφορετικές εκδοχές της μεθόδου αυτής είναι η Boltzmann tournament επιλογή και η Marriage tournament επιλογή.

Στη Boltzmann tournament επιλογή αρχικοποιείται τυχαία μία υποψήφια λύση στη γειτονιά της τρέχουσας λύσης και επιλέγεται η νέα λύση με λογιστική πιθανότητα. Το βήμα αυτό επαναλαμβάνεται για κάποιο αριθμό δοκιμών. Στη Marriage tournament

επιλογή επιλέγεται τυχαία ένας γονέας, υπάρχουν έως  $K$  προσπάθειες ώσπου να βρεθεί ένας καλύτερος, και σταματά στην πρώτη από αυτές τις προσπάθειες που καταφέρνει να βρει έναν καλύτερο απόγονο. Αν δεν βρεθεί κάποιος καλύτερος από την αρχική επιλογή, επιστρέφει αυτή η ίδια η αρχική επιλογή.

#### **3.4.4 Spatial-oriented Επιλογή**

Πρόκειται για μία μέθοδο τοπικής επιλογής και όχι για μία ολική. Έτσι ο ανταγωνισμός της επιλογής βρίσκεται ανάμεσα σε μικρές γειτονιές χρωμοσωμάτων και όχι στον συνολικό πληθυσμό. Πραγματοποιούνται δύο τυχαία περάσματα μήκους  $N$  ξεκινώντας από μία επιλεγμένη θέση. Τα δύο ικανότερα που προκύπτουν από τα περάσματα αυτά επιλέγονται ως οι γονείς που παράγουν ένα παιδί. Αν το παιδί αυτό είναι ικανότερο από το παιδί που βρίσκεται στην αρχική θέση τότε αυτό αντικαθίσταται.

#### **3.4.5 Steady-State Επιλογή**

Αυτή δεν είναι ιδιαίτερη μέθοδος επιλογής γονέων. Η κύρια ιδέα αυτής της επιλογής είναι ότι μεγάλο μέρος των χρωμοσωμάτων πρέπει να επιζήσει στην επόμενη γενεά.

Ο γενετικός αλγόριθμος σε αυτή τη μέθοδο λειτουργεί με τον ακόλουθο τρόπο. Σε κάθε γενεά επιλέγονται μερικά 'καλά' (με υψηλή ικανότητα) χρωμοσώματα για τη δημιουργία ενός νέου απογόνου. Κατόπιν μερικά 'όχι καλά' (με χαμηλή ικανότητα) χρωμοσώματα αφαιρούνται και ο νέος απόγονος τοποθετείται στην θέση τους. Το υπόλοιπο του πληθυσμού επιζεί στη νέα γενεά.

#### **3.4.6 Ελιτισμός (Elitism)**

Η ιδέα του ελιτισμού έχει εισαχθεί ήδη. Κατά τη δημιουργία του νέου πληθυσμού με διασταύρωση και μετάλλαξη, υπάρχει μια μεγάλη πιθανότητα να χάσουμε το καλύτερο χρωμόσωμα. Ο ελιτισμός είναι μια μέθοδος, η οποία αντιγράφει αρχικά το καλύτερο

χρωμόσωμα (ή μερικά από τα καλύτερα χρωμοσώματα) στο νέο πληθυσμό για να αποφευχθεί η περίπτωση της απώλειας τους. Τα υπόλοιπα γίνονται με τον κλασσικό τρόπο. Ο ελιτισμός μπορεί πολύ γρήγορα να αυξήσει την απόδοση του γενετικού αλγόριθμου, επειδή αποτρέπει την απώλεια της καλύτερης λύσης.

### 3.5 Κωδικοποίηση (Encoding)

#### 3.5.1 Εισαγωγή

Η κωδικοποίηση των χρωμοσωμάτων είναι ένα από τα αρχικά προβλήματα για την επίλυση ενός προβλήματος με τη χρήση γενετικού αλγόριθμου. Η κωδικοποίηση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ίδιο το πρόβλημα.

Μερικές κωδικοποιήσεις, οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί ήδη με κάποια επιτυχία, είναι οι παρακάτω.

#### 3.5.2 Δυαδική κωδικοποίηση (Binary encoding)

Η δυαδική κωδικοποίηση είναι η πιο κοινή, κυρίως επειδή οι πρώτες εργασίες για τους γενετικούς αλγόριθμους χρησιμοποίησαν αυτόν τον τύπο κωδικοποίησης.

Στην δυαδική κωδικοποίηση κάθε χρωμόσωμα είναι μια ακολουθία (string) από ψηφία 0 ή 1. Ένα παράδειγμα φαίνεται παρακάτω.

|              |                          |
|--------------|--------------------------|
| Chromosome A | 101100101100101011100101 |
| Chromosome B | 111111100000110000011111 |

Η δυαδική κωδικοποίηση δίνει πολλά πιθανά χρωμοσώματα ακόμη και με έναν μικρό αριθμό αλληλόμορφων γονιδίων. Απ' την άλλη μεριά, αυτή η κωδικοποίηση πολλές φορές δεν είναι φυσική για κάποια προβλήματα και πρέπει να γίνουν διορθώσεις μετά από τη διασταύρωση ή/και τη μετάλλαξη.

### 3.5.3 Κωδικοποίηση μετάλλαξης (Permutation encoding)

Η κωδικοποίηση μετάλλαξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα διάταξης, όπως το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή. Στην κωδικοποίηση μετάλλαξης, κάθε χρωμόσωμα είναι μια ακολουθία αριθμών, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν μια σειρά.

Ένα παράδειγμα δίδεται παρακάτω.

|              |                   |
|--------------|-------------------|
| Chromosome A | 1 5 3 2 6 4 7 9 8 |
| Chromosome B | 8 5 6 7 2 3 1 4 9 |

Η κωδικοποίηση μετάλλαξης είναι χρήσιμη μόνο για τα προβλήματα διάταξης. Ακόμη και για αυτά τα προβλήματα, για μερικούς τύπους διασταύρωσης και μετάλλαξης, πρέπει να γίνουν διορθώσεις για να αφήσουν το χρωμόσωμα συνεπές (δηλαδή να έχει την πραγματική ακολουθία).

### 3.5.4 Κωδικοποίηση τιμής (Value encoding)

Η άμεση κωδικοποίηση τιμής μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα προβλήματα, όπου κάποια περίπλοκη τιμή, όπως οι πραγματικοί αριθμοί, χρησιμοποιείται. Η χρήση της δυαδικής κωδικοποίησης για αυτόν τον τύπο προβλημάτων θα ήταν πολύ δύσκολη. Στην κωδικοποίηση τιμής, κάθε χρωμόσωμα είναι μια ακολουθία κάποιων τιμών. Πρόκειται για τιμές που μπορεί να μην συνδέονται καν με το πρόβλημα, τυποποιημένοι αριθμοί, πραγματικοί αριθμοί ή χαρακτήρες έως και περίπλοκα αντικείμενα. Ένα παράδειγμα παρατίθεται παρακάτω.

|              |  |
|--------------|--|
| Chromosome A | 1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545         |
| Chromosome B | ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT                  |
| Chromosome C | (back), (back), (right), (forward), (left) |

Η κωδικοποίηση τιμής είναι πολύ καλή για κάποια ιδιαίτερα προβλήματα. Απ' την άλλη μεριά, για αυτήν την κωδικοποίηση είναι συχνά απαραίτητη η ανάπτυξη νέων τύπων διασταύρωσης και μετάλλαξης που απευθύνονται στο εκάστοτε συγκεκριμένο πρόβλημα.

### 3.5.5 Κωδικοποίηση δέντρων (Tree encoding)

Η κωδικοποίηση δέντρων χρησιμοποιείται κυρίως για εξελισσόμενα προγράμματα ή εκφράσεις, του γενετικού προγραμματισμού. Στην κωδικοποίηση δέντρων, κάθε χρωμόσωμα είναι ένα δέντρο αντικειμένων, όπως συναρτήσεις ή διαταγές σε γλώσσα προγραμματισμού.

Ένα παράδειγμα παρατίθεται παρακάτω.

| Chromosome A   | Chromosome B  |
|--|---|
| <pre> graph TD     A((+)) --- B((x))     A --- C((/))     C --- D((5))     C --- E((y))         </pre> | <pre> graph TD     A[do until] --- B[step]     A --- C[wall]         </pre> |
| ( + x ( / 5 y ) )  | ( do_until step wall )  |

Η κωδικοποίηση δέντρων είναι καλή για τα εξελισσόμενα προγράμματα. Η γλώσσα προγραμματισμού LISP χρησιμοποιείται συχνά εδώ, επειδή τα προγράμματα αντιπροσωπεύονται με αυτήν την μορφή και μπορούν να αναλυθούν εύκολα ως δέντρο, έτσι ώστε η διασταύρωση και η μετάλλαξη να μπορούν να γίνουν σχετικά εύκολα.

## 3.6 Διασταύρωση και Μετάλλαξη

### 3.6.1 Εισαγωγή

Η διασταύρωση και η μετάλλαξη είναι δύο βασικοί τελεστές των γενετικών αλγόριθμων. Η απόδοση του αλγόριθμου εξαρτάται επί το πλείστον από αυτούς. Ο τύπος και η εφαρμογή των τελεστών εξαρτώνται από την κωδικοποίηση και από το εκάστοτε πρόβλημα.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι επίτευξης διασταύρωσης και μετάλλαξης. Μερικά παραδείγματα και προτάσεις για διάφορες κωδικοποιήσεις δίνονται παρακάτω.

### 3.6.2 Δυαδική κωδικοποίηση

#### Διασταύρωση

**Διασταύρωση ενός σημείου** – επιλέγεται ένα σημείο διασταύρωσης, η δυαδική ακολουθία από την αρχή του χρωμοσώματος έως το σημείο διασταύρωσης αντιγράφεται από τον ένα γονέα, και το υπόλοιπο αντιγράφεται από τον δεύτερο γονέα.



$$11001011+11011111 = 11001111$$

**Διασταύρωση δύο σημείων** – επιλέγονται δύο σημεία διασταύρωσης, η δυαδική ακολουθία από την αρχή του χρωμοσώματος έως το πρώτο σημείο διασταύρωσης αντιγράφεται από τον ένα γονέα, το κομμάτι από το πρώτο έως το δεύτερο σημείο διασταύρωσης αντιγράφεται από τον δεύτερο γονέα και το υπόλοιπο αντιγράφεται από τον πρώτο γονέα.



$$11001011 + 11011111 = 11011111$$

**Uniform/Ομοιόμορφη- Κανονική Διασταύρωση** – τα ψηφία (κομμάτια) αντιγράφονται τυχαία είτε από τον πρώτο είτε από τον δεύτερο γονέα.



$$11001011 + 11011101 = 11011111$$

**Αριθμητική Διασταύρωση** – κάποιες αριθμητικές συναρτήσεις εκτελούνται για την δημιουργία ενός νέου απόγονου



$$11001011 + 11011111 = 11001001 \text{ (AND)}$$

### Μετάλλαξη

**Αντιστροφή ψηφίων (Bit inversion)** – αντιστρέφονται τα επιλεγμένα ψηφία (από 0 σε 1 και αντίστροφα)



$$11001001 \Rightarrow 10001001$$

### 3.6.3 Κωδικοποίηση μετάλλαξης (Permutation encoding)

#### Διασταύρωση

**Διασταύρωση ενός σημείου** - επιλέγεται ένα σημείο διασταύρωσης, έως το σημείο αυτό η permutation αντιγράφεται από τον πρώτο γονέα, έπειτα σκανάρεται ο δεύτερος γονέας και αν δεν καλύπτεται αριθμητικά ο νέος απόγονος προστίθεται.

Σημείωση: υπάρχουν και άλλοι τρόποι για την παραγωγή του υπολοίπου κομματιού, μετά το σημείο διασταύρωσης.

$$(1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9) + (4\ 5\ 3\ 6\ 8\ 9\ 7\ 2\ 1) = (1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 8\ 9\ 7)$$

#### Μετάλλαξη

**Αλλαγή σειράς** – επιλέγονται δύο αριθμοί και ανταλλάσσονται

$$(1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 8\ 9\ 7) \Rightarrow (1\ 8\ 3\ 4\ 5\ 6\ 2\ 9\ 7)$$

### 3.6.4 Κωδικοποίηση τιμής

#### Διασταύρωση

Όλοι οι τρόποι διασταύρωσης από της δυαδικής αναζήτησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

#### Μετάλλαξη

**Προσθήκη** ενός μικρού αριθμού (για κωδικοποίηση πραγματικής τιμής)- επιλέγονται κάποιες τιμές στις οποίες προστίθεται (ή αφαιρείται) ένας μικρός αριθμός.

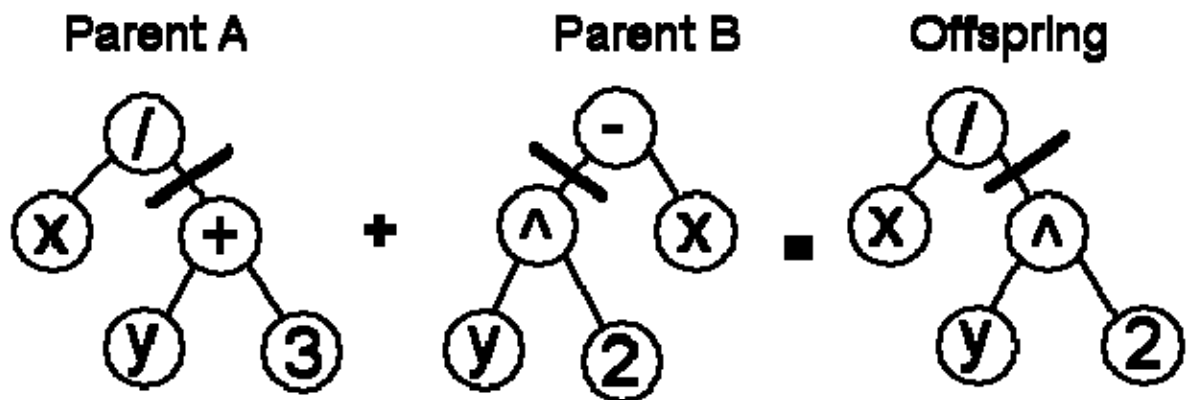
$$(1.29\ 5.68\ 2.86\ 4.11\ 5.55) \Rightarrow (1.29\ 5.68\ 2.73\ 4.22\ 5.55)$$



### 3.6.5 Κωδικοποίηση δέντρων

#### Διασταύρωση

**Διασταύρωση Δέντρων** – επιλέγεται ένα σημείο διασταύρωσης και στους δύο γονείς, οι γονείς χωρίζονται στο σημείο αυτό και ανταλλάσσουν τα τμήματα που βρίσκονται κάτω από το σημείο διασταύρωσης για την παράγωγη ενός νέου απογόνου.



#### Μετάλλαξη

**Αλλαγή τελεστή, αριθμού**- επιλέγονται κόμβοι προς αλλαγή.

## Κεφάλαιο 4

### Γενετικοί αλγόριθμοι στο χρονοπρογραμματισμό εξετάσεων

Εξετάζουμε το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων το οποίο προκύπτει στα πανεπιστήμια που ακολουθούν ένα μεγάλης κλίμακας εκπαιδευτικό πρόγραμμα, όπου κάθε φοιτητής επιλέγει ένα εξατομικευμένο πακέτο εξετάσεων από ένα ευρύ διατμηματικό σύνολο ενοτήτων, πολλές από τις οποίες βρίσκονται εκτός του δεδομένου τμήματος. Τα γεγονότα εδώ είναι τα εξεταζόμενα μαθήματα, οι υποδοχείς χρόνου είναι πιθανές ώρες έναρξης των εκάστοτε εξεταζόμενων μαθημάτων, ισχυρός περιορισμός είναι ότι κανένας φοιτητής δεν μπορεί να βρίσκεται σε πάνω από μία εξέταση κάθε φορά, και στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της πίεσης στους φοιτητές έτσι ώστε όσο το δυνατόν λιγότεροι να έχουν πολλαπλά εξεταζόμενα μαθήματα σε μια ημέρα ή συνεχόμενες ώρες εξέτασης και ούτω καθεξής.

Το πρόβλημα αυτό είναι NP-complete[9] και διασκορπισμένο με τοπικά ελάχιστα που κάνουν ιδιαιτέρως δύσκολη την εφαρμογή ευρετικών τεχνικών αναζήτησης. Η πολυπλοκότητα του γίνεται αισθητή και από το μέγεθος του διαστήματος των λύσεων. Για παράδειγμα αν υπάρχουν  $k$  πιθανές ώρες έναρξης και  $l$  εξεταζόμενα μαθήματα προκύπτουν  $k^l$  πιθανά προγράμματα. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα που μελετάμε, του Πανεπιστημίου του Εδιμβούργου για το ακαδημαϊκό έτος 1991/1992, με 44 εξεταζόμενα μαθήματα και 28 υποδοχείς χρόνου (4 ημερησίως για 7 ημέρες), ήταν  $28^{44}$  ή  $5 \times 10^{63}$  πιθανά προγράμματα. Αυτός ο αριθμός αντιπροσωπεύει το πλήρες σύνολο πιθανών λύσεων, πολλές από τις οποίες δεν θα λαμβάνονταν υπ' όψιν από έναν άνθρωπο που θα έκανε με το χέρι το πρόγραμμα αυτό.

## 4.1 Περιγραφή του προβλήματος

Ένα γενικό πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού είναι αυτό που τοποθετεί ένα πλήθος από γεγονότα ( $e_1, e_2, \dots$ ) σε συγκεκριμένους υποδοχείς χρόνου ( $t_1, t_2, \dots$ ). Σε κάθε τέτοιο πρόβλημα υπάρχουν περιορισμοί για το αν κάποια από τα γεγονότα μπορούν να εμφανιστούν την ίδια στιγμή, σε κοντινά διαστήματα, κλπ. Το Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου έρχεται συνεχώς αντιμέτωπο με ένα ισχυρό πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων καθότι προγραμματίζει τις εξετάσεις του μεγαλύτερου κομματιού από τα τμήματα Artificial Intelligence και Computer Science και κάποια από το τμήμα Cognitive Science και Meteorology. Αυτό αναφέρεται ως το AI/CS πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού.

| <i>TIMETABLE</i> | <i>AM</i>   |             | <i>PM</i>   |             |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                  | 09:30–11:00 | 11:30-13:00 | 14:00-15:30 | 16:00-17:30 |
| Friday           | 0           | 1           | 2           | 3           |
| WEEKEND          |             |             |             |             |
| Monday           | 4           | 5           | 6           | 7           |
| Tuesday          | 8           | 9           | 10          | 11          |
| Wednesday        | 12          | 13          | 14          | 15          |
| Thursday         | 16          | 17          | 18          | 19          |
| Friday           | 20          | 21          | 22          | 23          |
| WEEKEND          |             |             |             |             |
| Monday           | 24          | 25          | 26          | 27          |

Πίνακας 4.1: Τοποθέτηση εξετάσεων σε υποδοχείς χρόνου

Στο AI/CS πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού, τα γεγονότα είναι τα εξεταζόμενα μαθήματα, και υπάρχουν 24 ή 28 διαφορετικοί υποδοχείς χρόνου (4 για κάθε ημέρα για 6 ημέρες στου 1990/1991 και 7 ημέρες στου 1991/1992). Το πλήθος των μαθημάτων και των φοιτητών ήταν 38 και 47 το 1990/1991 και 44 και 93 το 1991/1992 αντίστοιχα. Οι εξετάσεις διεξάγονταν σε δύο διαφορετικές τοποθεσίες, κάποιες στα κτήρια του κέντρου (C) και άλλες στα κτήρια Kings (KB) που βρίσκονται περίπου δύο χιλιόμετρα μακριά από το κέντρο της πόλης.

## 4.2 Το AI/ CS πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού

Υπάρχουν πέντε ημέρες σε κάθε εβδομάδα για τις εξετάσεις, και κάθε ημέρα έχει τέσσερις υποδοχείς χρόνου, δύο το πρωί και δύο το απόγευμα. Όλες οι εξετάσεις έχουν την ίδια διάρκεια. Το διάστημα ανάμεσα στις εξετάσεις του ίδιου μισού της ημέρας είναι μίση ώρα ενώ το διάστημα ανάμεσα στο πρωινό και το απογευματινό είναι μία ώρα. Στην περίπτωση των επτά ημερών για τις εξετάσεις, το πλήθος των υποδοχέων χρόνου γίνεται 28 και απασχολεί τουλάχιστον δύο διαφορετικές εβδομάδες για παράδειγμα, αν η πρώτη ημέρα των εξετάσεων είναι η Παρασκευή της πρώτης εβδομάδας τότε η τελευταία ημέρα πρέπει να είναι η Δευτέρα της τρίτης εβδομάδας). Ο πίνακας 4.1 επεξηγεί ένα παράδειγμα προγράμματος, παρόμοιου με αυτά που χρησιμοποιούνται στο AI/CS πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού.

Περιορισμοί:

### **Ισχυροί περιορισμοί:**

1. Ένας φοιτητής δεν μπορεί να βρίσκεται σε δύο διαφορετικές εξετάσεις ταυτόχρονα. Με άλλα λόγια τα εξεταζόμενα μαθήματα δεν πρέπει να επικαλύπτονται για κάθε φοιτητή.

### **Χαλαροί περιορισμοί:**

1. Προτιμάται ισχυρά να μην υπάρχουν πάνω από δύο μαθήματα ημερησίως για δεδομένο φοιτητή. (περιορισμός διασκορπισμού των γεγονότων)
2. Προτιμάται ισχυρά να μην υπάρχουν συνεχόμενες εξετάσεις στο ίδιο μισό της ημέρας για τον ίδιο φοιτητή. (περιορισμός διασκορπισμού των γεγονότων)
3. Προτιμάται να μην υπάρχουν συνεχόμενες εξετάσεις σε διαφορετικά μισά της ίδιας ημέρας για τον ίδιο φοιτητή. (περιορισμός διασκορπισμού των γεγονότων)
4. Να γίνει προσπάθεια να μην τοποθετηθούν πολλές εξετάσεις στη ίδια υποδοχή χρόνου ώστε να αποφευχθεί ο συνωστισμός στην αίθουσα εξέτασης. (περιορισμός ικανότητας)
5. Υπάρχει προτίμηση των καθηγητών ώστε κάποια μαθήματα να μην τοποθετηθούν σε ορισμένες ημερομηνίες ή απογεύματα λόγω μη δυνατής επιτήρησης. (χρονικός αποκλεισμός)

6. Για την αποσυμφόρηση της πίεσης των φοιτητών, ορισμένοι καθηγητές επιθυμούν να αποκλείσουν την περίπτωση της τοποθέτησης των δύσκολων μαθημάτων στο τέλος της περιόδου των εξετάσεων. (χρονικός αποκλεισμός)

Επίσης οι εξετάσεις του τμήματος AI είναι διαθέσιμες και στους φοιτητές του τμήματος CS και στους προπτυχιακούς φοιτητές του AI/CS. Υπάρχουν ακόμα και φοιτητές της Μετεωρολογίας και άλλων τμημάτων. Επομένως είναι ένα πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων πολλών τμημάτων. Ως εκ τούτου, πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και οι περιορισμοί που προκύπτουν από τις υποχρεώσεις των μη AI φοιτητών.

Παρακάτω περιγράφεται ο χειρισμός των εν λόγω περιορισμών.

### **4.3 Εφαρμογή του βασικού Γενετικού Αλγορίθμου στο χρονοπρογραμματισμό εξετάσεων**

#### **4.3.1 Αντιπροσώπηση**

Το χρωμόσωμα είναι μία λίστα από αριθμούς μήκους  $e$  (ο αριθμός των εξετάσεων που πρέπει να προγραμματιστούν), κάθε στοιχείο από το οποίο είναι από το 1 έως το  $s$  (το πλήθος των διαθέσιμων υποδοχέων χρόνου). Η αντιπροσώπηση αυτή ενός τέτοιου χρωμοσώματος υποδεικνύει ότι αν ο  $n$ -οστός αριθμός στη λίστα είναι  $t$ , τότε η  $n$ -οστή εξέταση είναι προγραμματισμένη να συμβεί στον χρόνο  $t$ .

#### **4.3.2 Αποκλεισμός υποδοχέων χρόνου**

Οι περιορισμοί αποκλεισμού διατηρούνται σε ένα αρχείο κειμένου. Χρησιμοποιώντας αυτή την πληροφορία του αρχείου αποκλεισμού, όλα τα χρωμοσώματα κατευθύνονται στο να έχουν έγκυρους υποδοχείς χρόνου για κάθε γενεά. Ένας τρόπος για να παραχθούν έγκυρα προγράμματα κατά την αρχικοποίηση είναι να συνεχιστεί η παραγωγή αρχικών λύσεων έως ότου να μην παραβιάζονται οι περιορισμοί αποκλεισμού. Ο τρόπος που

ακολουθήθηκε εδώ για την παραγωγή επιτρεπόμενων υποδοχέων χρόνου πιο έξυπνα και πιο αποτελεσματικά, ήταν διαβάζοντας το αρχείο αποκλεισμού και καταγράφοντας το επιτρεπόμενο υποδοχέα χρόνου για κάθε γεγονός, για μεταγενέστερη χρήση, το οποίο δεν παραβιάζει αυτούς τους περιορισμούς. Ύστερα, τυχαία παράγονται κάθε φορά στιγμιότυπα από το σύνολο των επιτρεπόμενων υποδοχέων χρόνου. Με άλλα λόγια, το πρώτο πέρασμα βρίσκει τους επιτρεπόμενους υποδοχείς χρόνου για κάθε γεγονός και στο δεύτερο πέρασμα γίνεται απλά επιλογή ανάμεσα σε αυτά τα στιγμιότυπα. Η διασταύρωση εγγυάται τους επιτρεπόμενους υποδοχείς χρόνου επειδή απλά επανασυνδυάζει τους δύο γονείς με επιτρεπτούς υποδοχείς χρόνου και σαφώς παράγει δύο απογόνους με επιτρεπτούς υποδοχείς χρόνου. Εντούτοις, η μετάλλαξη χρειάζεται και το δεύτερο πέρασμα για να εξασφαλίσει σε κάθε γενεά τη μη παραβίαση του συνόλου των υποδοχέων χρόνου κατά την πληροφορία αποκλεισμού.

Η πληροφορία αποκλεισμού είναι ένας πρακτικός τρόπος να διαπραγματευτούμε με περιορισμούς όπως:

- Μερικοί καθηγητές προτιμούν κάποια μαθήματα να μην τοποθετηθούν σε ορισμένες ημερομηνίες ή απογεύματα που αυτοί δεν είναι διαθέσιμοι να επιτηρήσουν.
- Για την αποσυμφόρηση της πίεσης των φοιτητών, ορισμένοι καθηγητές επιθυμούν να αποκλείσουν την περίπτωση της τοποθέτησης των δύσκολων μαθημάτων στο τέλος της περιόδου των εξετάσεων.

Ένα τμήμα του αρχείου αποκλεισμού για το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού AI/CS του 1992/1993 είναι το ακόλουθο:

conc : 0 1 4 5 6 7 8 9 20 21 24 25 28 29 30 31 32 33 34 35

cvis : 0 1 4 5 8 9 20 21 24 25 28 29 30 31 32 33 34 35

...

όπου “conc” και “cvis” είναι οι συντομογραφίες των μαθημάτων Connectionist Computing και Computational Vision αντίστοιχα. Κάθε αριθμός αντιπροσωπεύει έναν υποδοχέα χρόνου, τα 0-3 αντιπροσωπεύουν τους τέσσερις υποδοχείς χρόνου της πρώτης ημέρας και τα 4-7 αντιπροσωπεύουν τους τέσσερις υποδοχείς χρόνου της δεύτερης ημέρας και ούτω καθεξής. Για παράδειγμα, το μάθημα conc δεν μπορεί να τοποθετηθεί τα πρωινά των πρώτων τριών ημερών, τα απογεύματα της δεύτερης, όγδοης και ένατης ημέρας και σε οποιαδήποτε από τις ημέρες από την έκτη έως την ένατη και ούτω καθεξής.

### **4.3.3 Εκτίμηση αιθουσών/χώρου**

Η κατανομή των φοιτητών στις αίθουσες έχει διευκολυνθεί εξαιρετικά στο συγκεκριμένο πρόβλημα από το γεγονός ότι δύο μεγάλες αίθουσες είναι διαθέσιμες, οι οποίες μπορούν να εξυπηρετήσουν αρκετές εξετάσεις ταυτόχρονα. Ο μόνος περιορισμός που πρέπει να ληφθεί υπ’ όψιν είναι να μην επιτραπεί παραπάνω από ένα δεδομένο πλήθος εξετάσεων να τοποθετηθεί στον ίδιο υποδοχέα χρόνου. Σε αυτό το πρόβλημα, μπορούμε εύκολα να χειριστούμε αυτόν τον περιορισμό χωρίς να προσφύγουμε στην επέκταση της αντιπροσώπευσης στο να ενσωματώσει την ‘γενεά αιθουσών’. Αντ’ αυτού, η συνάρτηση ικανότητας συνδέει απλά μια ποινική ρήτρα με οποιαδήποτε περίπτωση κατά την οποία παραπάνω από μία εξέταση εμφανίζεται στον ίδιο υποδοχέα χρόνου ή όταν υπερβαίνεται η μέγιστη χωρητικότητα της αίθουσας.

### **4.3.4 Προκαθορισμένοι υποδοχείς χρόνου**

Στο πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού AI/CS, υπάρχει η δυνατότητα ο χρήστης να θέσει εκ των προτέρων μια εξέταση σε έναν καθορισμένο υποδοχέα χρόνου διευκρινίζοντας την πληροφορία σε ένα αρχείο. Στο αρχείο αυτό, ένας θετικός ακέραιος αριθμός υποδεικνύει τον υποδοχέα χρόνου όπου το γεγονός πρέπει να πραγματοποιηθεί.

Ένα τμήμα του προκαθορισμένου αρχείου για το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού AI/CS του 1992/1993 είναι το ακόλουθο:

aied : 2

conc : 26

...

Για παράδειγμα τα aied και conc έχουν προκαθοριστεί στους υποδοχείς χρόνου 2 και 26 αντίστοιχα. Το σύστημα θέτει ποινική ρήτρα και αναφέρει οποιασδήποτε μη συμμόρφωση της προκαθορισμένης πληροφορίας χρόνου και της πληροφορίας αποκλεισμού χρόνου.

#### **4.4 Συγκεκριμένο πλαίσιο εργασίας για το χρονοπρογραμματισμό εξετάσεων**

##### **4.4.1 Δεδομένα φοιτητών- εξετάσεων**

Τα δεδομένα φοιτητών-εξετάσεων είναι ένα πλήθος από λίστες, όπου η κάθε λίστα είναι ένα σύνολο από εξετάσεις που πρέπει να δώσει ο εκάστοτε φοιτητής. Περιέχει όλες τις πληροφορίες για τις εξετάσεις όλων των μαθητών, κάθε μαθητής σε μία γραμμή. Το κανονικό πλήρες πρόγραμμα των φοιτητών στο AI ή το CS είναι οκτώ εξετάσεις. Υπάρχουν όμως και φοιτητές μερικής απασχόλησης που δίνουν κάποια από τα οκτώ κάθε έτος. Αυτή η πληροφορία περιορισμών διατηρείται σε ένα αρχείο κειμένου. Ένα μέρος αυτής της καταγραφής για το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού του 1992/1993 των τμημάτων AI /CS είναι το παρακάτω:

student1 : aied conc cvis ias isc

student2 : lisp pro1 kri1 kri2 mvis nlp mthr cvis

student3 : lisp pro1 kri1 kri2 mvis es1 isc nlp

...



Για παράδειγμα ο πρώτος φοιτητής πρέπει να δώσει τα μαθήματα aied, conc, envis, ias και isc, ενώ ο δεύτερος τα lisp, prol, kri1, kri2, mvis, nlp, mthr και envis. Αυτή η πληροφορία είναι εξαιρετικά σημαντική διότι χρησιμοποιείται για τον υπολογισμού διαφόρων περιστατικών παραβίασης περιορισμού.

## 4.5 Αξιολογήσεις

Η συνάρτηση ικανότητας πρέπει να πάρει ένα χρωμόσωμα, μαζί με τα δεδομένα του φοιτητή και να επιστρέψει μια τιμή τιμωρίας για το δεδομένο χρωμόσωμα. Η ικανότητα του χρωμοσώματος μπορεί να θεωρηθεί ως ο αντίστροφος της τιμωρίας (ή για την ακρίβεια  $1/(1 + \text{τιμωρία})$ , για να αποφύγουμε τη διαίρεση με το μηδέν). Η συνάρτηση ικανότητας ενδέχεται να περιλαμβάνει ένα σύνολο από μεμονωμένες συναρτήσεις διαφορετικού βάρους, η κάθε μία από τις οποίες τιμωρεί το χρωμόσωμα από την άποψη μιας ιδιαίτερης τιμωρητέας παράβασης. Στο πρόβλημά μας, τα στοιχεία της συνάρτησης ικανότητας είναι συναρτήσεις που υπολογίζουν αντίστοιχα το πλήθος των περιπτώσεων των παρακάτω παραβάσεων:

### Ισχυροί περιορισμοί:

-clash: ένας φοιτητής δεν μπορεί να βρίσκεται σε δύο διαφορετικές εξετάσεις ταυτόχρονα.

### Χαλαροί περιορισμοί:

-consec\_d: δύο εξετάσεις την ημέρα (διαφορετικό μισό της ημέρας)

-consec: δύο εξετάσεις την ημέρα (ίδιο μισό της ημέρας)

-three: τρεις εξετάσεις την ημέρα

-four: τέσσερις εξετάσεις την ημέρα

-slot: εξέταση που βρίσκεται σε αποκλεισμένο υποδοχέα χρόνου

-large: περισσότερες από μία εξετάσεις σε ένα υποδοχέα χρόνου και η συνολική ικανότητα μεγαλύτερη από το μέγιστο μέγεθος της αίθουσας.

Η συνολική ποιότητα του χρονοδιαγράμματος υπολογίζεται από τη συνάρτηση ικανότητας. Η συνάρτηση προσθέτει όλες τις παραβάσεις των περιορισμών, όπου κάθε περιορισμός έχει το δικό του 'βάρος' ή την 'ποινική ρήτρα'. Για παράδειγμα, ένα απλό clash έχει ποινική ρήτρα 300, ενώ  $n$  clashes έχουν ποινική ρήτρα  $n \times 300$ . Οι απόλυτες τιμές των ποινικών ρητρών έχουν σημασία στην περίπτωση της επιλογής ικανότητας, διότι η ικανότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της μονάδας συν το πλήθος των παραβάσεων, με τις απόλυτες τιμών των rank και tournament να μην έχουν σημασία. Διαφορά ενδέχεται να κάνουν οι αλλαγές στη σχετική ποινική ρήτρα.

Οι ποινικές ρήτρες για κάθε περιορισμό φαίνονται παρακάτω:

```
#define PEN_CLASH      300
#define PEN_FOUR      100
#define PEN_THREE     30
#define PEN_CONSEC    10
#define PEN_SLOT      10
#define PEN_LARGE     3
#define PEN_CONSEC_D  3
```

Παρατηρούμε ότι μία περίπτωση four είναι σαν δύο περιπτώσεις three, άλλα τιμωρείται σαν μία four. Γενικά, μόνο μία από τις consec, consec\_d, three ή four προσμετράτε και όχι όλες. Στο παράδειγμα μας, υπάρχουν τέσσερις υποδοχείς χρόνου για κάθε ημέρα, αλλά οι υποδοχείς είναι χρονικά παρακείμενοι. Υπάρχει τουλάχιστον μισή ώρα ανάμεσα τους, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει προβληματισμός για τον χρόνο κάλυψη της απόστασης όπου διενεργούνται οι εξετάσεις. Η ποινική ρήτρα για τις συνεχόμενες εξετάσεις υπάρχει για να δώσει τη δυνατότητα στους φοιτητές να ξεκουραστούν ανάμεσα στις εξετάσεις, το οποίο είναι διαφορετικό από τις δύο εξετάσεις την ημέρα επειδή το διάστημα ανάμεσα στις εξετάσεις μπορεί να είναι πολύ μεγάλο, για παράδειγμα μία εξέταση στον πρώτο υποδοχέα και η άλλη εξέταση στον τελευταίο της ίδια ημέρας. Επομένως λαμβάνουμε υπ' όψιν τις συνεχόμενες εξετάσεις από τις δύο την ημέρα.

Γενικά, η συνάρτηση ικανότητας για ένα πρόβλημα, όπου  $p$  είναι ένα χρωμόσωμα,  $\{c_1, \dots, c_n\}$  είναι ένα σύνολο συναρτήσεων κάθε μία από τις οποίες υπολογίζει το πλήθος των περιπτώσεων μιας συγκεκριμένης παράβασης, και  $\{w_1, \dots, w_n\}$  είναι τα βάρη αυτών των παραβάσεων, δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$f(p) = 1 / \left( 1 + \sum_{i=1}^n w_i c_i(p) \right)$$

Η αξιολόγηση είναι γενικά η υπολογιστική δυσχέρεια ενός γενετικού αλγορίθμου. Από τα παραπάνω εύκολα καταλαβαίνουμε ότι ο χρόνος αξιολόγησης ενός χρωμοσώματος αυξάνεται γραμμικά με το πλήθος των φοιτητών, τις ενότητες και τους περιορισμούς και ενδέχεται να περιέχει πολλούς υπολογισμούς που βασίζονται στα είδη της τιμωρίας που εξετάζουμε.

| YEAR      | EXAM | STUDENT | DAY |
|-----------|------|---------|-----|
| 1990/1991 | 38   | 47      | 6   |
| 1991/1992 | 44   | 93      | 7   |
| 1992/1993 | 44   | 84      | 9   |
| 1993/1994 | 59   | 200     | 9   |

Πίνακας 4.2: Πληροφορίες προβλήματος εξετάσεων

## 4.6 Πειράματα

### 4.6.1 Πραγματικό χρονοδιάγραμμα

Ο πίνακας 4.2 αναγράφει τα πραγματικά δεδομένα για τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων των AI/CS 90/91, 91/92, 92/93, και UG 93/94. Η στήλη εξέταση (EXAM) αντιπροσωπεύει το πλήθος των εξετάσεων που διεξήχθησαν στο συγκεκριμένο χρόνο και η στήλη φοιτητής (STUDENT) το πλήθος των φοιτητών που έλαβαν μέρος στις εξετάσεις αυτές. Τέλος στη στήλη ημέρα (DAY) αναφέρεται το πλήθος των ημερών ανάμεσα στην πρώτη και την τελευταία εξέταση του δεδομένου έτους.

Τα πραγματικά χρονοδιαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν τα πρώτα δύο έτη δημιουργήθηκαν από διοργανωτές μαθημάτων και αυτά των τελευταίων δύο χρόνων παρήχθησαν με τη χρήση γενετικού αλγόριθμου. Αυτά συνοψίζονται στον πίνακα 4.3. Τα χρονοδιαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν τα τελευταία δύο χρόνια είναι σαφώς πολύ καλύτερα από αυτά των δύο πρώτων ετών. Αυτό διότι, χρησιμοποιώντας τα χρονοδιαγράμματα με τη χρήση γενετικού αλγόριθμου εξοικονομήθηκε πολλή προσωπική εργασία από τους διοργανωτές, αλλά ακόμα πιο σημαντικό το χρονοδιάγραμμα είναι περισσότερο δίκαιο προς τους φοιτητές επειδή πολύ λιγότεροι από αυτούς αναγκάζονται να έχουν συνεχόμενες εξετάσεις ή τρεις εξετάσεις μέσα σε μία ημέρα. Επίσης, τα χρονοδιαγράμματα των πρώτων δύο ετών ήταν αποτέλεσμα ενός αρχικού σχεδιαγράμματος που χρειάστηκε περίπου μία ώρα να φτιαχτεί, ακολουθούμενο από επαναλαμβανόμενες τροφοδοτήσεις, και άλλα σχεδιαγράμματα, λόγω των διαμαρτυριών των φοιτητών και το χρονοδιάγραμμα ήταν υπό αναθεώρηση για ολόκληρες εβδομάδες.

| YEAR      | PENALTY | CONSEC D | CONSEC | THREE | FOUR | LARGE |
|-----------|---------|----------|--------|-------|------|-------|
| 1990/1991 | 122     | 4        | 11     | 0     | 0    | 0     |
| 1991/1992 | 328     | 33       | 16     | 2     | 0    | 3     |
| 1992/1993 | 0       | 0        | 0      | 0     | 0    | 0     |
| 1993/1994 | 16      | 0        | 1      | 0     | 0    | 2     |

Πίνακας 4.3: Ποινικές ρήτρες πραγματικού χρονοδιαγράμματος

#### Πραγματικό χρονοδιάγραμμα 90/91

Το πραγματικό χρονοδιάγραμμα που δημιουργήθηκε από τους διοργανωτές για τα AI/CS του 90/91 φαίνεται στον πίνακα 4.4 με ποινική ρήτρα 122 (consec\_d=4, consec=11, three=0, four=0, large=0). Με άλλα λόγια υπάρχουν τέσσερα περιστατικά με δύο συνεχόμενες εξετάσεις σε διαφορετικό μισό της ίδιας ημέρας και έντεκα περιστατικά με δύο συνεχόμενες εξετάσεις στο ίδιο μισό της ίδιας ημέρας.

#### Πραγματικό χρονοδιάγραμμα 91/92

Το πραγματικό χρονοδιάγραμμα που δημιουργήθηκε από τους διοργανωτές για τα AI/CS του 91/92 φαίνεται στον πίνακα 4.5 με ποινική ρήτρα 328 (consec\_d=33, consec=16, three=2, four=0, large=3). Με άλλα λόγια υπάρχουν τριάντα τρία περιστατικά

με δύο συνεχόμενες εξετάσεις σε διαφορετικό μισό της ίδιας ημέρας και δεκαέξι περιστατικά με δύο συνεχόμενες εξετάσεις στο ίδιο μισό της ίδιας ημέρας. Επίσης, υπάρχουν δύο περιστατικά με τρεις εξετάσεις στην ίδια ημέρα και άλλα τρία με υπερπληθυσμό σε υποδοχέα χρόνου.

#### Πραγματικό χρονοδιάγραμμα 92/93

Το πραγματικό χρονοδιάγραμμα που δημιουργήθηκε από τον γενετικό αλγόριθμο για τα AI/CS του 92/93 φαίνεται στον πίνακα 4.6 με ποινική ρήτρα 0. Με άλλα λόγια, είναι τέλειο όσον αφορά τους επιβληθέντες περιορισμούς.

#### Πραγματικό χρονοδιάγραμμα 93/94

Το πραγματικό χρονοδιάγραμμα που δημιουργήθηκε από τον γενετικό αλγόριθμο για τα AI/CS και UG του 93/94 φαίνεται στον πίνακα 4.7 με ποινική ρήτρα 16 (consec\_d=0, consec=1, three=0, four=0, large=2). Με άλλα λόγια, υπάρχει ένα περιστατικό με δύο συνεχόμενες εξετάσεις στο ίδιο μισό της ίδιας ημέρας. Επίσης, υπάρχουν δύο περιστατικά με υπερπληθυσμό σε υποδοχέα χρόνου.

|           | 09:30-11:00            | 11:30-13:00            | 14:00-15:30                    | 16:00-17:30                    |
|-----------|------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Monday    | its (6)<br>asic (4)    | isc (16)<br>cpin (2)   | clg1 (3)<br>nnet (12)          | mvis (12)<br>cafr (5)          |
| Tuesday   |                        | prol (30)<br>ccomp (2) | spd (4)                        | es (20)<br>acar (13)           |
| Wednesday | lisp (35)<br>bsv (3)   | cad (1)                | lng2 (3)<br>ds (11)            | robs (5)<br>grph (5)           |
| Thursday  | swl (21)<br>algc (1)   | mthr (11)<br>lng1 (3)  |                                | nlp (14)<br>os (8)<br>fprg (3) |
| Friday    | kri1 (35)<br>si (4)    |                        | cvis (8)<br>clg2 (3)<br>db (4) | csys (4)                       |
| Monday    | kri2 (26)<br>ccom (10) | ias (10)               | swt (12)<br>aps (3)            |                                |

Πίνακας 4.4: Πραγματικό χρονοδιάγραμμα λυμένο με το χέρι για το 90/91

|           | 09:30-11:00                       | 11:30-13:00            | 14:00-15:30                    | 16:00-17:30                      |
|-----------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Monday    | cca (21)                          | kri1 (62)<br>ccomp (1) | clg1 (11)<br>spd (5)           | mvis (26)<br>fprg (8)            |
| Tuesday   | cvis (21)<br>fsm1 (2)<br>ssc (14) | cad (5)                | lisp (61)                      | algc (8)                         |
| Wednesday | isc (21)<br>lng1 (11)<br>cp (1)   | grph (15)              | kri2 (53)<br>cafr (10)         | ccom (21)                        |
| Thursday  | aied (20)<br>clg2 (11)            | ds (25)                | db (21)<br>rs1 (1)             | prol (49)<br>lng2 (2)<br>sp1 (1) |
| Friday    | es (38)<br>sp2 (1)                | asic (6)               | os (12)<br>cpin (7)<br>rs2 (1) | ias (12)<br>bsv (6)              |
| Monday    | swl (28)                          | nlp (21)               |                                | nnet (33)                        |
| Tuesday   | essp (2)<br>aps (14)              | cc (11)                | mthr (24)                      | si (11)                          |

Πίνακας 4.5: Πραγματικό χρονοδιάγραμμα λυμένο με το χέρι για το 91/92

|           | 09:30-11:00           | 11:30-13:00          | 14:00-15:30          | 16:00-17:30                       |
|-----------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Monday    | lisp (37)<br>ip2 (9)  | cc (13)<br>os (17)   | aied (28)<br>gis (6) | ci (5)<br>ssc (21)                |
| Tuesday   | es1 (25)              | cad (29)<br>cafr (5) |                      | prol (35)<br>ln2 (3)              |
| Wednesday | kri1 (44)             |                      | nlp (15)<br>lfs1 (4) | bsv (9)<br>rs2 (9)                |
| Thursday  | swp (32)<br>cl2 (6)   | isc (40)             |                      | mvis (23)<br>ppc (16)             |
| Friday    | cvis (26)<br>aps (11) | es2 (15)             |                      | mthr (11)<br>db (14)<br>nnet (17) |
| Monday    | cl1 (6)<br>ip1 (9)    | ds (47)              | ias (31)             | gr (20)<br>ln1 (5)                |
| Tuesday   | kri2 (34)             | asic (17)            | conc (57)            | cca (23)<br>rs1 (9)               |
| Wednesday | si (10)               |                      |                      | com (21)                          |
| Thursday  |                       | cmc (18)             |                      | fpls (6)                          |

Πίνακας 4.6: Πραγματικό χρονοδιάγραμμα με γενετικούς αλγόριθμους για το 92/93

|           | 09:30-11:00                                  | 11:30-13:00                   | 14:00-15:30                       | 16:00-17:30                      |
|-----------|--|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Monday    | c4sp (40)                                    | kri1 (47)<br>gis (2)          | os (12)                           | lisp (40)<br>rs1 (8)             |
| Tuesday   | es2 (23)<br>c4cg (61)<br>swp (25)<br>lp (30) | fp1s (5)<br>cp1 (3)           | cca (17)<br>lo1 (30)              | cvis (28)                        |
| Wednesday | kri2 (43)<br>pl (6)                          | ds (46)                       |                                   | isc (36)<br>ci (10)              |
| Thursday  | prol (51)<br>hci (54)                        | rs2 (8)                       | si (4)                            | conc (29)<br>tnl2 (3)<br>ip2 (9) |
| Friday    | ca (12)<br>gr (11)<br>nnet (17)              |                               | aied (23)<br>cafr (6)<br>ln1 (25) |                                  |
| Monday    | mvis (24)<br>ppc (11)                        | bsv (6)<br>ct (5)<br>smt (33) | es1 (34)                          | ppi (13)<br>aps (9)              |
| Tuesday   | cc (17)                                      | asic (34)                     | ip1 (9)                           | ml (6)<br>mthr (22)              |
| Wednesday | pa (33)                                      | cmc (11)                      | ias (25)                          | atnl (4)<br>com (17)<br>lo2 (16) |
| Thursday  | tnl1 (3)<br>db (19)                          | cad (23)<br>dec (8)           | cl1 (31)                          | inlp (13)<br>ssc (16)            |

Πίνακας 4.7: Πραγματικό χρονοδιάγραμμα με γενετικούς αλγόριθμους για το 93/94

Σημειώνουμε ότι οι αριθμοί μέσα στις παρενθέσεις δίπλα στην εκάστοτε εξέταση στους πίνακες 5.4, 5.5, 5.6 και 5.7 αντιπροσωπεύουν το πλήθος των μαθητών που δίνουν την συγκεκριμένη εξέταση.

#### 4.6.2 Συγκρίσεις

Περιγράφουμε τα αποτελέσματα αρκετών πειραμάτων με τον γενετικό αλγόριθμο κάθε δέκα τρεξίματα χρησιμοποιώντας fitness-based (FIT), rank-based (RANK), spatial-oriented (SPAT) και tournament-based (TOUR) σχήματα επιλογής στα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού AI/CS 90/91, 91/92, 92/93 και UG 93/94. Χρησιμοποιήθηκε επιλογή steady-state και σε κάθε κύκλο διαδραματίστηκαν τα παρακάτω: επιλογή των δύο γονέων με πιθανότητα  $P_c$ , εφαρμογή διασταύρωσης, παραγωγή ενός προσωρινού παιδιού με πιθανότητα  $P_m$ , εφαρμογή μετάλλαξης στο προσωρινό παιδί και εισαγωγή του προκύπτον παιδιού πάλι στον πληθυσμό στην θέση του λιγότερο ικανού. Ο συνδυασμός

των τελεστών που χρησιμοποιήθηκαν είναι: διασταύρωση ενός σημείου (1-pt), δύο σημείων (2-pt) και ομοιόμορφη (UX) όλες με τυχαία μετάλλαξη, και ομοιόμορφη διασταύρωση με smart μετάλλαξη. Όλες οι διασταυρώσεις εγγυώνται επιτρεπούς υποδοχείς χρόνου διότι το σύστημα έχει ήδη αποκλείσει όλους τους μη επιτρεπούς από την αρχική γενεά. Η τυχαία μετάλλαξη που χρησιμοποιήθηκε είναι η τυχαία επιλογή ενός γόνου και η αλλαγή της τιμής του γόνου (υποδοχέας χρόνου) με μία άλλη επιτρεπτή τιμή. Με άλλα λόγια, γίνεται μετάλλαξη σε μία τιμή που δεν παραβιάζει το σύνολο των περιορισμών του αρχείου αποκλεισμού. Οι τελεστές μετάλλαξης που χρησιμοποιήθηκαν είναι: violation-directed mutation (VDM), stochastic violation-directed mutation (SVDM), event-freeing mutation (EFM) και stochastic event-freeing mutation (SEFM). Σε όλα τα τρέξιμα χρησιμοποιείται αρχικό ποσοστό διασταύρωσης 0.8, που μειώνεται βαθμιαία έως το 0.6, και αρχικό ποσοστό μετάλλαξης 0.003 που αυξάνεται βαθμιαία έως το 0.02. Το κατώφλι της rank-based επιλογής είναι 1.5 και το μέγεθος της tournament-based επιλογής καθώς και το μήκος της spatial-oriented επιλογής είναι 2. Επίσης, το μέγεθος του πληθυσμού είναι 50 και κάθε γενεά παράγει ένα παιδί για να αντικαταστήσει τον χειρότερο γονέα και εάν πάνω από 1000 υπολογισμοί δεν μπορούν να βελτιώσουν τη βέλτιστη μέχρι τότε λύση, τότε θεωρούμε ότι υπάρχει σύγκλιση και τερματίζουμε το τρέξιμο. Διαφορετικά, το μέγιστο πλήθος υπολογισμών είναι 10000.

Κάθε ένας από τους πίνακες 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 αποτελείται από τέσσερα μέρη. Το επάνω αριστερά μέρος αναγράφει τα βέλτιστα/χέλριστα αποτελέσματα μετά από δοκιμή δέκα τρεξιμάτων για μία δεδομένη διαμόρφωση του προβλήματος. Για παράδειγμα, ο πίνακας 4.8 δείχνει ότι το βέλτιστο χρονοδιάγραμμα που βρέθηκε με τη χρήση spatial-oriented επιλογής και stochastic violation-directed μετάλλαξης (SVDM) έχει ποινική ρήτρα μηδέν, εμφανίστηκε στις 5 από τις δέκα δοκιμές, και η χέλριστη από τις δέκα SPAT/SVDM δοκιμές είχε ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη ποινική ρήτρα 40. Στο επάνω δεξιά μέρος διακρίνεται ότι το γρηγορότερο από τα χρονοδιαγράμματα εμφανίστηκε με 2899 υπολογισμούς (οι αριθμοί σε αυτό το μέρος αναγράφονται μόνο όταν έχει βρεθεί ένα τέλειο χρονοδιάγραμμα). Στο κάτω αριστερά μισό του πίνακα παρατηρούμε ότι η σταθερή απόκλιση της ποινικής ρήτρας αυτών των δέκα SPAT/SVDM δοκιμών είναι 13.3. Τέλος, το κάτω δεξιά μέρος δείχνει ότι το μέσο αποτέλεσμα της ποινικής ρήτρας αυτών των δέκα δοκιμών ήταν 10.0, και ο μέσος όρος υπολογισμών που απαιτούνται για



την εύρεση του βέλτιστου χρονοδιαγράμματος σε κάθε δοκιμή ήταν 4359 το οποίο μπορεί να σημαίνει είτε ότι βρέθηκε το τέλειο χρονοδιάγραμμα ή ότι δεν υπήρξε δυνατότητα βελτίωσης της λύσης σε 1000 επαναλαμβανόμενους υπολογισμούς, ή ότι το μέγιστο πλήθος των υπολογισμών (10000) έχει ξεπεραστεί.

Αρκετές παρατηρήσεις προκύπτουν από τα αποτελέσματα. Πρώτον, το πρόβλημα του 93/94 είναι το πιο δύσκολο, του 91/92 είναι το αμέσως δυσκολότερο και το 90/91 είναι το ευκολότερο από όλα. Δεύτερον, το όφελος στα χρονοδιαγράμματα που χρησιμοποιούν γενετικό αλγόριθμο είναι ξεκάθαρο. Στις περιπτώσεις 90/91 και 91/92 (όπου τα χρονοδιαγράμματα που δημιουργήθηκαν από τους διοργανωτές είναι διαθέσιμα για σύγκριση με αυτά που δημιουργήθηκαν με τη χρήση γενετικού αλγορίθμου), το μέσο αποτέλεσμα των γενετικών αλγορίθμων είναι καλύτερο από την λύση στο χέρι. Στην περίπτωση 91/92 ακόμα και η χειρότερη απόδοση του γενετικού αλγορίθμου είναι καλύτερη από την ‘ανθρώπινη’ λύση. Τα βέλτιστα αποτελέσματα του γενετικού αλγορίθμου απεικονίζουν εμφανώς καλύτερα χρονοδιαγράμματα από αυτά που έχουν παραχθεί ‘ανθρώπινα’.

Σχόλια επίσης μπορούν αν γίνουν όσον αφορά στην επιλογή των τελεστών και στο σχήμα επιλογής. Ο καλύτερος από όλους τους συνδυασμούς αυτών των δοκιμών, όσον αφορά στο πλήθος των τέλειων χρονοδιαγραμμάτων που βρέθηκαν, φαίνεται να είναι η rank-based επιλογή μαζί με τη SEFM, αλλά είναι εμφανές ότι η επιλογή του τελεστή έχει κάτι παραπάνω από μία επίδραση στην απόδοση από ότι η επιλογή του σχήματος επιλογής. Με κριτήριο το πλήθος των δοκιμών υπό τις οποίες ένα τέλειο χρονοδιάγραμμα προκύπτει (παρά τα όλα προβλήματα), μπορούμε να διατάξουμε τους τελεστές ως εξής: SEFM(33), EFM(27), VDM(15), SVDM(14), 2-pt(4), UX(3) και 1-pt(0). Αυτός ο σύντομος οδηγός προτείνει τον SEFM ως τον καλύτερο, τον EFM αμέσως επόμενο, VDM και SVDM επόμενους καλύτερους (χωρίς ιδιαίτερη διαφορά ανάμεσα στους δύο), ενώ οι τρεις σταθεροί τελεστές είναι οι χειρότεροι. Μια παρόμοια διάταξη όσον αφορά τα σχήματα επιλογής είναι: RANK(31), TOUR(24), SPAT(23) και FIT(18).

Όσον αφορά στην ταχύτητα, η tournament-based επιλογή τείνει να βρει το βέλτιστο γρηγορότερα, ενώ η fitness-based επιλογή φαίνεται πιο αργή. Ο ‘γρηγορότερος’ τελεστής είναι σαφώς ο SEFM, ο οποίος τουλάχιστον μερικώς αποζημιώνει για την πρόσθετη πολυπλοκότητα που περιλαμβάνεται με αυτόν τον τελεστή. Αν και οι VDM και SVDM

είναι υπολογιστικά φθηνότεροι από τους EFM και SEFM αντίστοιχα, EFM και SEFM επιτρέπουν πολύ σημαντική επιτάχυνση όσον αφορά στο πλήθος των συναρτήσεων αξιολόγησης έως την σύγκλιση (ή την εύρεση του βέλτιστου χρονοδιαγράμματος). Περαιτέρω, ο SVDM φαίνεται να εκτελείται καλύτερα από τον VDM και ο SEFM φαίνεται να εκτελείται καλύτερα από τον EFM όσον αφορά στη ποιότητα της μέσης λύσης και στους υπολογισμούς που απαιτούνται. Για παράδειγμα, ο SVDM/TOUR είναι καλύτερος από τον VDM/TOUR και ο SEFM/TOUR καλύτερος από τον EFM/TOUR στο πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού του 90/91 όσον αφορά στην ποιότητα της λύσης με εμπιστοσύνη μεγαλύτερη από 80% και 85% αντίστοιχα σύμφωνα με το t-test του φοιτητή. Ειδικότερα, ο SEFM καταφέρνει να παράγει βέλτιστες λύσεις σε δύο περιπτώσεις του 91/92 ενώ όλες οι άλλες μέθοδοι δεν μπορούν να βρουν ούτε ένα περιστατικό βέλτιστων λύσεων.

| 90/91       | <i>BEST (times) / WORST</i> |             |             |             | <i>LEAST EVALS for perfect timetable</i> |             |             |             |
|-------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|--|-------------|-------------|-------------|
|             | <b>FIT</b>                  | <b>RANK</b> | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>FIT</b>                               | <b>RANK</b> | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>1-pt</b> | 10/124                      | 10/129      | 6/155       | 10/157      | -  | -           | -           | -           |
| <b>2-pt</b> | 0(2)/60                     | 0(1)/109    | 10/79       | 0(1)/50     | 4069                                     | 3616        | -           | 4606        |
| <b>UX</b>   | 10/107                      | 10/134      | 0(2)/110    | 0(1)/80     | -  | -           | 4468        | 3932        |
| <b>VDM</b>  | 0(1)/55                     | 0(4)/140    | 0(2)/84     | 0(4)/81     | 6618                                     | 3310        | 3084        | 2841        |
| <b>SVDM</b> | 10/50                       | 0(4)/50     | 0(5)/40     | 0(2)/50     | -  | 3904        | 2899        | 2491        |
| <b>EFM</b>  | 0(3)/20                     | 0(4)/46     | 0(5)/39     | 0(4)/103    | 1244                                     | 1370        | 943         | 924         |
| <b>SEFM</b> | 0(3)/20                     | 0(6)/40     | 0(4)/40     | 0(5)/40     | 1198                                     | 1500        | 729         | 1221        |
|             | <i>STANDARD DEVIATION</i>   |             |             |             | <i>AVERAGE / EVALS</i>                   |             |             |             |
|             | <b>FIT</b>                  | <b>RANK</b> | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>FIT</b>                               | <b>RANK</b> | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>1-pt</b> | 38.1                        | 39.4        | 48.4        | 49.9        | 43.0/6412                                | 50.5/5702   | 44.3/5716   | 67.7/4886   |
| <b>2-pt</b> | 23.6                        | 35.9        | 22.3        | 15.9        | 31.2/6295                                | 42.5/5754   | 41.3/5530   | 22.4/5835   |
| <b>UX</b>   | 35.6                        | 43.8        | 36.4        | 28.8        | 43.8/6181                                | 45.1/5525   | 42.7/5860   | 34.5/4858   |
| <b>VDM</b>  | 17.9                        | 53.8        | 31.2        | 31.2        | 24.2/5530                                | 39.9/5102   | 35.1/4831   | 25.2/4072   |
| <b>SVDM</b> | 13.2                        | 16.4        | 13.3        | 14.5        | 18.0/5911                                | 14.3/5291   | 10.0/4359   | 14.3/4489   |
| <b>EFM</b>  | 8.3                         | 17.2        | 12.6        | 34.5        | 10.5/2441                                | 14.2/2442   | 8.9/2109    | 24.4/2064   |
| <b>SEFM</b> | 8.2                         | 13.2        | 15.8        | 13.7        | 10.0/2361                                | 8.0/2485    | 15.0/1887   | 11.0/1921   |

Πίνακας 4.8: Συγκρίσεις για το χρονοδιάγραμμα με γενετικούς αλγόριθμους για το 90/91

| 91/92       | <i>BEST (times) / WORST</i> |         |        |         | <i>LEAST EVALS for perfect timetable</i> |            |            |            |
|-------------|-----------------------------|---------|--------|---------|--|------------|------------|------------|
|             | FIT                         | RANK    | SPAT   | TOUR    | FIT                                      | RANK       | SPAT       | TOUR       |
| <b>1-pt</b> | 13/239                      | 39/253  | 43/119 | 62/203  | -  | -          | -          | -          |
| <b>2-pt</b> | 26/140                      | 39/182  | 49/103 | 26/226  | -  | -          | -          | -          |
| <b>UX</b>   | 26/124                      | 16/160  | 36/187 | 29/154  | -  | -          | -          | -          |
| <b>VDM</b>  | 52/146                      | 16/161  | 9/149  | 29/210  | -  | -          | -          | -          |
| <b>SVDM</b> | 23/84                       | 10/80   | 20/79  | 23/83   | -  | -          | -          | -          |
| <b>EFM</b>  | 16/119                      | 6/98    | 19/92  | 19/138  | -  | -          | -          | -          |
| <b>SEFM</b> | 10/63                       | 0(2)/43 | 10/69  | 0(1)/66 | -  | 2220       | -          | 1175       |
|             | <i>STANDARD DEVIATION</i>   |         |        |         | <i>AVERAGE / EVALS</i>                   |            |            |            |
|             | FIT                         | RANK    | SPAT   | TOUR    | FIT                                      | RANK       | SPAT       | TOUR       |
| <b>1-pt</b> | 69.7                        | 78.4    | 27.0   | 41.9    | 104.0/7174                               | 110.1/6964 | 72.9/6955  | 118.1/5228 |
| <b>2-pt</b> | 34.7                        | 40.3    | 16.7   | 65.9    | 73.4/7816                                | 85.6/6862  | 72.2/6924  | 100.3/5914 |
| <b>UX</b>   | 28.8                        | 46.0    | 53.6   | 36.7    | 57.8/7655                                | 90.7/6316  | 113.9/5858 | 81.9/6230  |
| <b>VDM</b>  | 29.0                        | 45.8    | 43.7   | 49.8    | 79.0/7539                                | 72.7/6122  | 67.0/6182  | 86.9/5290  |
| <b>SVDM</b> | 20.6                        | 41.6    | 14.7   | 22.0    | 52.2/8023                                | 41.6/6819  | 47.8/6893  | 42.3/6177  |
| <b>EFM</b>  | 33.3                        | 33.5    | 23.9   | 41.5    | 50.4/4364                                | 46.2/3678  | 46.9/3626  | 65.6/4018  |
| <b>SEFM</b> | 18.4                        | 16.7    | 18.8   | 20.4    | 29.7/3724                                | 18.6/3429  | 34.7/2943  | 30.3/2852  |

Πίνακας 4.9: Συγκρίσεις για το χρονοδιάγραμμα με γενετικούς αλγόριθμους για το 91/92

| 92/93       | <i>BEST (times) / WORST</i> |          |         |         | <i>LEAST EVALS for perfect timetable</i> |           |           |           |
|-------------|-----------------------------|----------|---------|---------|--|-----------|-----------|-----------|
|             | FIT                         | RANK     | SPAT    | TOUR    | FIT                                      | RANK      | SPAT      | TOUR      |
| <b>1-pt</b> | 10/144                      | 20/94    | 10/78   | 23/132  | -  | -         | -         | -         |
| <b>2-pt</b> | 20/80                       | 13/97    | 3/102   | 19/92   | -  | -         | -         | -         |
| <b>UX</b>   | 16/99                       | 9/89     | 16/116  | 16/106  | -  | -         | -         | -         |
| <b>VDM</b>  | 0(1)/57                     | 0(2)/100 | 6/59    | 0(1)/82 | 4715                                     | 4281      | -         | 4141      |
| <b>SVDM</b> | 0(1)/50                     | 10/66    | 0(1)/64 | 0(1)/49 | 4683                                     | -         | 4493      | 4434      |
| <b>EFM</b>  | 0(4)/23                     | 0(3)/39  | 0(1)/46 | 0(3)/82 | 1405                                     | 1372      | 1595      | 1166      |
| <b>SEFM</b> | 0(3)/69                     | 0(5)/23  | 0(3)/36 | 0(1)/30 | 1304                                     | 2072      | 1480      | 1356      |
|             | <i>STANDARD DEVIATION</i>   |          |         |         | <i>AVERAGE / EVALS</i>                   |           |           |           |
|             | FIT                         | RANK     | SPAT    | TOUR    | FIT                                      | RANK      | SPAT      | TOUR      |
| <b>1-pt</b> | 45.9                        | 22.1     | 21.4    | 31.9    | 62.7/3104                                | 45.3/6004 | 51.6/5326 | 53.8/5648 |
| <b>2-pt</b> | 20.3                        | 28.2     | 32.6    | 22.7    | 40.0/6273                                | 42.4/6316 | 46.5/5696 | 40.6/5165 |
| <b>UX</b>   | 30.0                        | 25.6     | 29.5    | 27.3    | 53.7/5806                                | 41.6/6088 | 44.3/5663 | 45.6/4811 |
| <b>VDM</b>  | 22.7                        | 32.2     | 14.7    | 25.5    | 31.8/5531                                | 37.1/5105 | 37.2/4455 | 34.6/3965 |
| <b>SVDM</b> | 17.2                        | 21.4     | 17.6    | 15.0    | 25.9/5430                                | 39.6/5061 | 23.6/4790 | 27.6/5051 |
| <b>EFM</b>  | 9.5                         | 15.7     | 13.2    | 25.7    | 8.8/2980                                 | 17.0/2805 | 18.5/2531 | 22.7/2919 |
| <b>SEFM</b> | 21.9                        | 9.8      | 12.8    | 9.0     | 16.9/2721                                | 7.6/2676  | 15.2/2335 | 13.2/2413 |

Πίνακας 4.10: Συγκρίσεις για το χρονοδιάγραμμα με γενετικούς αλγόριθμους για το 92/93

| 93/94       | <i>BEST (times) / WORST</i> |             |             |             | <i>LEAST EVALS for perfect timetable</i> |             |             |             |
|-------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|--|-------------|-------------|-------------|
|             | <b>FIT</b>                  | <b>RANK</b> | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>FIT</b>                               | <b>RANK</b> | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>1-pt</b> | 25/118                      | 25/279      | 29/182      | 42/217      | -  | -           | -           | -           |
| <b>2-pt</b> | 42/209                      | 52/169      | 52/245      | 55/149      | -  | -           | -           | -           |
| <b>UX</b>   | 35/122                      | 26/139      | 35/145      | 58/225      | -  | -           | -           | -           |
| <b>VDM</b>  | 22/65                       | 22/78       | 29/85       | 29/139      | -  | -           | -           | -           |
| <b>SVDM</b> | 16/182                      | 35/102      | 19/159      | 29/79       | -  | -           | -           | -           |
| <b>EFM</b>  | 29/92                       | 28/205      | 22/292      | 34/132      | -  | -           | -           | -           |
| <b>SEFM</b> | 13/56                       | 16/63       | 13/86       | 13/126      | -  | -           | -           | -           |
|             | <i>STANDARD DEVIATION</i>   |             |             |             | <i>AVERAGE / EVALS</i>                   |             |             |             |
|             | <b>FIT</b>                  | <b>RANK</b> | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>FIT</b>                               | <b>RANK</b> | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>1-pt</b> | 27.2                        | 85.9        | 54.0        | 54.3        | 68.5/8259                                | 118.3/7548  | 80.4/6622   | 95.2/6684   |
| <b>2-pt</b> | 57.2                        | 42.4        | 60.2        | 35.4        | 89.6/7831                                | 96.4/6703   | 92.3/6388   | 97.4/6419   |
| <b>UX</b>   | 28.5                        | 30.5        | 39.0        | 54.0        | 65.2/7308                                | 76.9/7045   | 76.5/6469   | 107.4/5468  |
| <b>VDM</b>  | 14.7                        | 17.0        | 19.8        | 28.4        | 45.6/6403                                | 49.7/6368   | 57.9/7293   | 67.5/5444   |
| <b>SVDM</b> | 17.5                        | 22.4        | 40.0        | 14.6        | 45.5/7108                                | 55.8/5999   | 53.7/5557   | 46.2/5183   |
| <b>EFM</b>  | 21.5                        | 49.8        | 79.2        | 31.1        | 56.0/4139                                | 67.8/4605   | 84.2/4858   | 71.1/4119   |
| <b>SEFM</b> | 11.9                        | 14.4        | 23.7        | 32.4        | 32.7/3993                                | 37.8/3860   | 36.9/3121   | 46.2/3666   |

Πίνακας 4.11: Συγκρίσεις για το χρονοδιάγραμμα με γενετικούς αλγόριθμους για το 93/94

## 4.7 Συζήτηση

Παρόλο που το σύστημα βρίσκει χρονοδιαγράμματα πολύ καλά, μερικές βελτιώσεις και επεκτάσεις είναι πιθανές, για παράδειγμα:

*Πρόσθετες σκέψεις για τις αίθουσες:* Κατά την περίπτωση που υπάρχουν μεγάλες αίθουσες, περισσότερες από δύο εξετάσεις μπορούν να διεξαχθούν στο ίδιο μέρος την ίδια χρονική στιγμή αν η αίθουσα είναι αρκετά μεγάλη και κανένας από τους φοιτητές δεν δίνει τις εξετάσεις αυτές ταυτόχρονα. Παρά την απαίτηση του χρήστη για να διατεθούν οι αίθουσες μόλις παραχθεί το χρονοδιάγραμμα, πρέπει να είναι δυνατό ο γενετικός αλγόριθμος να χειριστεί την κατανομή αιθουσών ταυτόχρονα με την κατανομή υποδοχέων χρόνου.

*Ταξινόμηση περιορισμών:* Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει μία μερική ταξινόμηση των μαθημάτων. Για παράδειγμα, το μάθημα1 θα έπρεπε να είναι πριν το μάθημα2, ενώ το

μάθημα<sup>3</sup> πρέπει να τοποθετηθεί μετά το μάθημα<sup>4</sup>. Στην πραγματικότητα, τέτοιες καταστάσεις συνήθως συμβαίνουν ως εξής: η εξέταση Α προτιμείται/απαιτείται να τεθεί πριν την εξέταση Β επειδή η εξέταση Α περιλαμβάνει περισσότερους φοιτητές άρα πρέπει να δοθεί περισσότερος χρόνος στον καθηγητή για να διορθώσει τα γραπτά, ή και τα δύο μαθήματα διδάσκονται από τον ίδιο καθηγητή και πρέπει να επιτηρήσει και τα δύο αυτά μαθήματα. Για την ώρα, για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών από το γενετικό αλγόριθμο, γίνεται χρήση του αρχείου που περιέχει τα προκαθορισμένα μαθήματα σε συγκεκριμένους υποδοχείς και τους αποκλεισμούς, όποτε απαιτείται μία πιο γενική μέθοδος για την αντιμετώπιση τέτοιων περιορισμών.

*Εξετάσεις με διαφορετική διάρκεια:* Ο γενετικός αλγόριθμος για την επίλυση του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα μεγάλο εύρος προβλημάτων εξετάσεων, με μία κατάλληλη μετατροπή των δεδομένων. Παρόλα αυτά το πλαίσιο εργασίας όπως παρουσιάστηκε μέχρι τώρα υποθέτει ότι όλες οι εξετάσεις έχουν την ίδια διάρκεια. Σε μερικές περιπτώσεις, οι φοιτητές ενδέχεται να έχουν μερικές εξετάσεις των 90 λεπτών και άλλες των δύο ωρών, για παράδειγμα. Υπάρχει δυνατότητα να μετατρέψουμε το σύστημα να το επιτρέπει αυτό εισάγοντας την έννοια της διάρκειας της κάθε εξέτασης. Για παράδειγμα, τα χρωμοσώματα θα παραμένουν τα ίδια, άλλα τα αλληλόμορφα γονίδια θα αντιπροσωπεύουν την ώρα έναρξης κάθε εξέτασης και όχι τον υποδοχέα χρόνου. Με τη χρήση των δεδομένων εισόδου σχετικά με τη διάρκεια κάθε μαθήματος, ο έλεγχος για την παραβίαση ενός ισχυρού περιορισμού ανέρχεται απλά στον έλεγχο του εάν τα δύο γεγονότα επικαλύπτονται εγκαίρως.

## Κεφάλαιο 5

### Γενετικοί αλγόριθμοι στο χρονοπρογραμματισμό διαλέξεων/σεμιναρίων

Επεκτείνουμε την παραπάνω μέθοδο επίλυσης προβλήματος χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων με τρόπο τέτοιο ώστε να χειρίζεται το πιο γενικό πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων/σεμιναρίων το οποίο είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στη διαθεσιμότητα των αιθουσών και την ικανότητα τους. Την πολυπλοκότητα του προβλήματος αυξάνουν οι διαφορετικού μήκους διαλέξεις (ένα γεγονός ενδέχεται να απασχολεί πάνω από έναν υποδοχέα χρόνου) καθώς και οι ποικίλες διατάξεις αυτών είτε λόγω προτίμησης είτε λόγω προτεραιότητας (περιορισμοί διάταξης και διασκορπισμού γεγονότων). Ένα ακόμα πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι ο χρόνος που απαιτείται για την μετακίνηση των φοιτητών από το ένα μάθημα στο άλλο μιας και οι διαλέξεις μέσα σε μία ημέρα μπορεί να είναι αρκετές. Τέλος δύο διαλέξεις δεν μπορούν να διεξαχθούν στην ίδια αίθουσα και την ίδια χρονική περίοδο αν περιλαμβάνουν τους ίδιους φοιτητές.

#### 5.1 Περιγραφή του προβλήματος

Το πρόβλημα στο Information Technology (IT) : το Knowledge Based Systems στο τμήμα του Artificial Intelligence του πανεπιστημίου του Εδιμβούργου είναι ένα δωδεκάμηνο πρόγραμμα που προετοιμάζει τους πτυχιούχους από άλλες ειδικότητες ώστε να γίνουν ενεργά μέλη του πεδίου των Knowledge Based Systems. Έμφαση δίνεται στις πρακτικές τεχνικές για το σχεδιασμό και την κατασκευή των Knowledge Based Systems, επιτρέποντας στους πτυχιούχους να εξελίξουν τις δεξιότητές τους σε ποικίλες τοποθετήσεις. Οι φοιτητές έχουν επίσης τη δυνατότητα να πάρουν μία επαγγελματική

εμπειρία στη συμβατική επιστήμη των υπολογιστών παρακολουθώντας τα ανάλογα μαθήματα.

Το πρόγραμμα στο IT οργανώνεται σε τέσσερις τομείς: Expert Systems (ES), Foundation of Artificial Intelligence (AI), Intelligent Robotics (IR) και Natural Language (NL). Κάθε τομέας περιέχει ένα καθορισμένο συνδυασμό 8 μαθημάτων, κάποια από τα οποία είναι υποχρεωτικά και κάποια άλλα προαιρετικά. Στον παρακάτω πίνακα περιγράφονται τα μαθήματα αναλυτικά.

|    | Μαθήματα   |  |
|----|--|--|
|    | Υποχρεωτικά  | Επιλογής   |
| ES | Knowledge Representation and Inference 1<br>Knowledge Representation and Inference 2<br>Programming in Lisp<br>Programming in Prolog<br>Expert Systems 1<br>Expert Systems 2               | AI and Education<br>Connectionist Computing<br>Database Systems<br>Natural Language Processing<br>Neural Networks              |
| AI | Knowledge Representation and Inference 1<br>Knowledge Representation and Inference 2<br>Programming in Lisp<br>Programming in Prolog   | Computational Vision<br>Connectionist Computing<br>Mathematical Reasoning<br>Natural Language Processing<br>Neural Networks    |
| IR | Knowledge Representation and Inference 1<br>Machine Vision<br>Programming in Lisp<br>Intelligent Assembly Systems<br>Intelligent Sensing and Control                                       | Computational Vision<br>Connectionist Computing<br>Neural Networks<br>Programming in Prolog<br>Software for Parallel Computers |
| NL | Knowledge Representation and Inference 1<br>Knowledge Representation and Inference 2<br>Programming in Lisp<br>Linguistics 1<br>Computational Linguistics 1<br>Computational Linguistics 2 | Logic and Formal Semantics 1<br>Logic and Formal Semantics 2<br>AI and Education<br>Linguistics 2                              |

Πίνακας 5.1: IT 1992/1993

## 5.2 Το AI/CS πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων/σεμιναρίων.

Υπάρχουν πέντε ημέρες σε κάθε εβδομάδα για διαλέξεις/σεμινάρια, και κάθε ημέρα έχει οκτώ υποδοχείς χρόνου, τέσσερις το πρωί και τέσσερις το απόγευμα. Κάθε υποδοχέας χρόνου έχει διάρκεια μία ώρα. Το συνολικό πλήθος των υποδοχέων χρόνου από Δευτέρα μέχρι Παρασκευή είναι 40.

Ο πίνακας 5.2 επεξηγεί τα παραπάνω.

|           | 9-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Monday    | 0    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
| Tuesday   | 8    | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
| Wednesday | 16   | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    |
| Thursday  | 24   | 25    | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    | 31    |
| Friday    | 32   | 33    | 34    | 35    | 36    | 37    | 38    | 39    |

Πίνακας 5.2: Κατανομή διαλέξεων/σεμιναρίων στους υποδοχείς χρόνου

Οι περιορισμοί του προβλήματος είναι οι εξής:

1. Οι διαλέξεις του μαθήματος Computer Science (CS) πρέπει να γίνονται το πρωί και του Artificial Intelligence (AI) το απόγευμα (συμφωνία του τμήματος). Τα σεμινάρια μπορούν να γίνουν σε οποιαδήποτε χρονική περίοδο. (χρονικοί αποκλεισμοί)
2. Οι διαλέξεις που βρίσκονται από τη 1μμ ως τις 2μμ πρέπει να αποφεύγονται όσο είναι δυνατό διότι εκείνη την ώρα οι περισσότεροι άνθρωποι προτιμούν να έχουν το μεσημεριανό τους γεύμα. (ποινική ρήτρα για το μεσημέρι)
3. Κάθε μαθητής θα πρέπει να έχει στη διάθεσή του μισή ώρα για να μεταβεί από το KB, όπου πραγματοποιούνται όλα τα γεγονότα CS, στο κέντρο όπου πραγματοποιούνται όλα τα AI γεγονότα και αντίστροφα. (εκτιμήσεις τοποθεσίας/αίθουσας)



4. Κάθε μάθημα μπορεί να έχει ένα πλήθος 1-4 διαλέξεων την εβδομάδα, που πρέπει κάθε μαθητής που επιλέγει αυτό το μάθημα να παρακολουθήσει. (εκτιμήσεις διάρκειας και περιορισμοί διασκορπισμού των γεγονότων)
5. Κάθε μάθημα πρέπει να έχει μία ομάδα σεμιναρίων για κάθε N φοιτητές και ένας φοιτητής χρειάζεται αν παρακολουθήσει μόνο μία περίπτωση αυτών την εβδομάδα. Ενδέχεται να υπάρχουν προγραμματισμένα πολλαπλά σεμινάρια την ίδια χρονική στιγμή. (εκτιμήσεις σεμιναρίων)
6. Μία τάξη μπορεί να ξεκινάει αντί στο ακριβώς της ώρα στο 'και μισή' και να διαρκεί μισή, μία, μιάμιση, δύο ή δύομιση ώρες. (εκτιμήσεις διάρκειας)
7. Το μέγεθος της αίθουσας πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να χωράει το μέγιστο πλήθος φοιτητών που θέλουν να παρακολουθήσουν την εκάστοτε διάλεξη. (συνυπολογισμοί αίθουσας)
8. Το προσωπικό του τμήματος δεν είναι διαθέσιμο συνεχώς, για παράδειγμα οι διαλέξεις IR δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν τις Τρίτες 10:30-13:00. (χρονικοί αποκλεισμοί)
9. Σε μία αίθουσα μπορεί να πραγματοποιείται μόνο ένα μάθημα κάθε φορά. Γεννάται έτσι η ανάγκη ύπαρξης μίας λίστας πληροφορίας των αιθουσών. (εκτιμήσεις αίθουσας/ ισχυροί περιορισμοί)
10. Οι λέκτορες επιθυμούν κάποιο από τα σεμινάρια ή κάποιο εργαστήριο να τοποθετείται ύστερα από την πρώτη διάλεξη της εβδομάδας. (περιορισμοί διάταξης)

### **5.3 Εφαρμογή του βασικού αλγορίθμου για το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων/σεμιναρίων**

#### **5.3.1 Αντιπροσώπηση**

Η αντιπροσώπηση που χρησιμοποιείται εδώ είναι ένα χρωμόσωμα μήκους  $2e$ , όπου  $e$  είναι το πλήθος των γεγονότων που πρέπει να προγραμματιστούν. Τα  $e$  από αυτά παριστάνουν υποδοχείς χρόνου και τα υπόλοιπα  $e$  τις αίθουσες των  $e$  γεγονότων. Η ερμηνεία της αντιπροσώπησης αυτής είναι ότι αν το  $n$ -ιοστό ψηφίο της λίστας είναι το  $t$

και το  $(n+e)$ -ιστό είναι το  $r$ , τότε το μάθημα  $n$  έχει προγραμματιστεί να πραγματοποιηθεί στην αίθουσα  $r$  σε χρόνο  $t$ .

Εισάγουμε εδώ την έννοια της μη σταθερής διάρκειας μιας διάλεξης ή ενός σεμιναρίου. Η διαφορά εδώ είναι ότι η διάρκεια των γεγονότων πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψιν ως ισχυρός περιορισμός. Στο πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων, η διάρκεια μιας εξέτασης είναι μία σταθερά που δεσμεύει έναν υποδοχέα χρόνου, οπότε δεν μας απασχολούν τα προβλήματα που προκύπτουν από την ποικιλότητα των διαρκειών. Στο πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων/σεμιναρίων όμως πρέπει να ασχοληθούμε με τέτοιου είδους προβλήματα, μιας και υπάρχουν γεγονότα με διαφορετικές διάρκειες. Για παράδειγμα, υπάρχουν εκτενής διαλέξεις που καλύπτουν πάνω από έναν υποδοχέα χρόνου, όπου οφείλεται να μην χρησιμοποιηθεί η ίδια αίθουσα την ίδια χρονική περίοδο και επίσης δεν είναι επιτρεπτό μία διάλεξη να ξεπερνάει το χρονικό όριο της ημέρας.

### 5.3.2 Αρχείο εξωτερικών προδιαγραφών

Οι προδιαγραφές των περιορισμών στο συγκεκριμένο πρόβλημα ποικίλουν και είναι πιο περίπλοκοι από ό,τι έχουμε συναντήσει μέχρι τώρα. Ένα παράδειγμα τέτοιου αρχείου για το AI/CS του 1992/1993 είναι το παρακάτω.

Υποχρεωτικός τομέας:

- Τομέας μαθημάτων
- Τομέας αιθουσών

Προαιρετικός τομέας:

- Τομέας περιορισμών διαλέξεων
- Τομέας περιορισμών σεμιναρίων
- Τομέας προτεραιότητας
- Τομέας προτίμησης
- Τομέας συγχρονισμού
- Τομέας διαφορετικής ημέρας
- Τομέας προκαθορισμένων

Οι χρήστες μπορούν να προσθέσουν επιπλέον προαιρετικούς τομείς με τον ίδιο τρόπο. Περιγράφονται παρακάτω λεπτομερώς οι τομείς και οι περιορισμοί τους.

### 5.3.3 Εκτιμήσεις μαθημάτων

Ο τομέας των μαθημάτων περιέχει όλες τις πληροφορίες για το κάθε μάθημα ξεχωριστά, δηλαδή το πλήθος των φοιτητών κάθε διάλεξης, των φροντιστηρίων και των σεμιναρίων που σχετίζονται με αυτό το μάθημα, τη διάρκεια της διάλεξης και των αντίστοιχων φροντιστηρίων και σεμιναρίων καθώς και τους αποκλεισμούς ή τις προτιμήσεις για αίθουσες ή τους υποδοχείς χρόνου για το συγκεκριμένο μάθημα.

Ένα παράδειγμα φαίνεται παρακάτω:

...

aied\_2 ## AI and Education

duration 120

room SB-F10

exclusion 0 1 2 3 8 9 10 11 16 17 18 19 24 25 26 27 32 33 34 35

@aied-sem ## AI and Education-Seminars

size 23

unit 10

duration 120

room SB-A10

exclusion 19

@es1\_tut ## Expert Systems 1-tutorials

size 30

room SB-A10 SB-C10 SB-C11 SB-C5

exclusion 19

...

Η διάρκεια των διαλέξεων του aied\_2 και όλων των σεμιναρίων του aied είναι 120 λεπτά ενώ η διάρκεια όλων των φροντιστηρίων es\_1 είναι 60 λεπτά (προεπιλεγμένη τιμή). Το πλήθος των φοιτητών της διάλεξης aied είναι 23 και το κάθε σεμινάριο αυτού είναι μεγέθους 10, οπότε χρειαζόμαστε τρία σεμινάρια του aied κάθε εβδομάδα. Το πλήθος των φοιτητών της διάλεξης es\_1 είναι 30 και τα φροντιστήρια του είναι μεγέθους 12 (προεπιλεγμένη τιμή), οπότε χρειαζόμαστε επίσης τρία φροντιστήρια κάθε εβδομάδα για το es\_1. Για το aied\_2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο η αίθουσα F10 του South Bridge και για όλα τα σεμινάρια του aied μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο η αίθουσα A10 του South Bridge. Για όλα τα φροντιστήρια του es1 μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αίθουσες A10, C10, C11 ή C5 του South Bridge. Τέλος, το aied\_2 δεν μπορεί να τοποθετηθεί τα πρωινά (υποδοχείς χρόνου 0-3, 8-11,...) ή τις Τετάρτες 12:00-13:00 (υποδοχέας χρόνου 19). Όλα τα σεμινάρια του aied και όλα τα φροντιστήρια του es1 μπορούν να εμφανιστούν οποιαδήποτε στιγμή εκτός από τον υποδοχέα χρόνου 19. Αυτοί οι αποκλεισμοί έχουν να κάνουν με τους περιορισμούς 1 και 8 της παραγράφου 5.2.

- 1 Οι διαλέξεις του μαθήματος Computer Science (CS) πρέπει να γίνονται το πρωί και του Artificial Intelligence (AI) το απόγευμα (συμφωνία του τμήματος). Τα σεμινάρια μπορούν να γίνουν σε οποιαδήποτε χρονική περίοδο. ( Χρονικοί Αποκλεισμοί)
- 8 Το προσωπικό του τμήματος δεν είναι διαθέσιμο συνεχώς, για παράδειγμα οι διαλέξεις IR δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν τις Τρίτες 10:30-13:00. (Χρονικοί Αποκλεισμοί)

Υποθέτουμε ότι κάθε διάλεξη καταναλώνει έναν ή περισσότερους ολοκληρωμένους υποδοχείς χρόνου μίας ώρας. Οι περισσότερες διαλέξεις διαρκούν 60 λεπτά, οπότε αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα. Είναι πιθανό να παραχθούν μη επιτρεπτά χρωμοσώματα για κάποιες διαλέξεις που ξεπερνούν τον χρόνο της μίας ώρας. Για παράδειγμα, μία διάλεξη μεγάλης διάρκειας που μπορεί να ξεπεράσει το χρονικό όριο μίας ημέρας ή να επικαλύψει έναν αποκλεισμένο υποδοχέα χρόνου. Ένας τρόπος να εξασφαλίσουμε ότι μία διάλεξη μακράς διάρκειας δεν θα ξεπεράσει το τέλος μίας ημέρας είναι να τις μετατοπίσουμε για όσο το δυνατόν πιο πριν ώστε να

αποφύγουμε την επικάλυψη ή στην αρχή της επόμενης ημέρας. Για κάθε μετατόπιση, πρέπει να διαλέξουμε την καλύτερη από τις δύο αυτές επιλογές. Ένας πιο απλός τρόπος που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι να υπολογίσουμε τις μη επιτρεπτές ώρες έναρξης για κάθε μάθημα σύμφωνα με την διάρκεια των απαιτούμενων διαλέξεων και τους αντίστοιχους αποκλεισμούς υποδοχέων χρόνου. Έτσι αυτές οι ώρες έναρξης εξαιρούνται για το συγκεκριμένο μάθημα και σαν αποτέλεσμα η αρχικοποίηση εγγυάται τον αποκλεισμό των μη επιτρεπτών υποδοχέων χρόνου και το ίδιο κάνουν και η διασταύρωση και η μετάλλαξη στη συνέχεια.

Για παράδειγμα, στον πίνακα 5.3, η διάρκεια του μαθήματος A ξεπερνάει τα 60 λεπτά, οπότε αυτόματα αποκλείουμε τους τελευταίους υποδοχείς χρόνου (σήμανση με X) κάθε ημέρας για το μάθημα A. Στην περίπτωση που η διάρκεια ξεπερνάει τα 120 λεπτά, πρέπει να αποκλείσουμε και τους προτελευταίους υποδοχείς χρόνου (σήμανση με x) κάθε ημέρας και ούτω καθεξής. Ένα άλλο παράδειγμα αυτόματου αποκλεισμού φαίνεται στον πίνακα 5.4 όπου το μάθημα A αποκλείεται από τον υποδοχέα χρόνου 19. Δεν υπάρχει πρόβλημα αν η διάρκεια του A είναι ως 60 λεπτά, αν όμως τα ξεπερνάει δεν μπορεί να επιτραπεί η έναρξη στον υποδοχέα 18 (σήμανση με X) διότι έρχεται σε σύγκρουση με τον εξ' αρχής αποκλεισμό του υποδοχέα χρόνου 19 στο δεύτερο μισό της διάρκειας του. Επίσης, αν η διάρκεια του A ξεπερνάει τα 120 λεπτά, και ο υποδοχέας 17 (σήμανση με x) πρέπει να αποκλειστεί και ούτω καθεξής.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν την πληροφορία των αποκλεισμών, ο αρχικός πληθυσμός των χρωμοσωμάτων αναγκάζεται να παράγει μόνο έγκυρα αλληλόμορφα γονίδια για κάθε γενεά. Οπότε διαβάζουμε την πληροφορία αποκλεισμού και δημιουργούμε αρχείο για τους επιτρεπτούς υποδοχείς χρόνου για κάθε γεγονός, έτσι ώστε να μην παραβιάζονται οι περιορισμοί. Στη συνέχεια, παράγουμε τυχαία περιπτώσεις από το σύνολο των επιτρεπτών υποδοχέων χρόνου. Με άλλα λόγια, το πρώτο πέρασμα βρίσκει τους επιτρεπτούς υποδοχείς χρόνου για κάθε γεγονός και το δεύτερο πέρασμα επιλέγει ανάμεσα σε αυτές τις περιπτώσεις.

|           | 9-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Monday    |      |       |       |       |       |       | x     | X     |
| Tuesday   |      |       |       |       |       |       | x     | X     |
| Wednesday |      |       |       |       |       |       | x     | X     |
| Thursday  |      |       |       |       |       |       | x     | X     |
| Friday    |      |       |       |       |       |       | x     | X     |

Πίνακας 5.3: Αποκλεισμοί υποδοχέων χρόνου που υπερβαίνουν το χρονικό όριο μίας ημέρας για γεγονότα μεγάλης διάρκειας

|           | 9-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Monday    |      |       |       |       |       |       |       |       |
| Tuesday   |      |       |       |       |       |       |       |       |
| Wednesday |      | x     | X     | E(19) |       |       |       |       |
| Thursday  |      |       |       |       |       |       |       |       |
| Friday    |      |       |       |       |       |       |       |       |

Πίνακας 5.4: Αποκλεισμοί υποδοχέων χρόνου που υπερβαίνουν το χρονικό όριο μίας ημέρας για γεγονότα μεγάλης διάρκειας που εξαρτώνται από τη διάρκειά τους

### 5.3.4 Εκτιμήσεις αιθουσών

Ο τρόπος για να παράγουμε επιτρεπτές αίθουσες πιο έξυπνα και αποτελεσματικά είναι παρόμοιος με αυτός του αποκλεισμού των υποδοχέων χρόνου. Το πρώτο πέρασμα δημιουργεί αρχείο με τις επιτρεπτές αίθουσες για κάθε γεγονός όταν διαβάζει για πρώτη φορά την πληροφορία αποκλεισμού αιθουσών και το δεύτερο πέρασμα παράγει τυχαίες περιπτώσεις από το σύνολο των επιτρεπτών για μετέπειτα αρχικοποίηση και μετάλλαξη. Η διασταύρωση εγγυάται επιτρεπτούς υποδοχείς αιθουσών διότι συνδυάζει δύο γονείς με επιτρεπτούς υποδοχείς και σίγουρα παράγει δύο παιδιά με επιτρεπτούς υποδοχείς αιθουσών. Εντούτοις η μετάλλαξη απαιτεί το δεύτερο πέρασμα για να εγυηθεί ότι η κάθε γενεά δεν παραβιάζει το σύνολο των περιορισμών.

Ένα άλλο υποχρεωτικό τμήμα, το τμήμα αιθουσών, περιέχει τις συντμήσεις και τις πλήρεις ονομασίες όλων των αιθουσών και των κωδικών της τοποθεσίας τους το οποίο

χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των ποινικών ρητρών για δύο συνεχόμενα μαθήματα που διεξάγονται σε διαφορετικές περιοχές.

Ένα παράδειγμα κωδικών περιοχής είναι το παρακάτω:

- 1- Centre of Edinburgh (C)
- 2- King's Building (KB)

Στο πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου τα τμήματα Artificial Intelligence και Cognitive Science Centre στεγάζονται στο κέντρο της πόλης ενώ τα τμήματα Computer Science και Meteorology στεγάζονται στα King κτήρια τα οποία είναι περίπου δύο χιλιόμετρα μακριά από το κέντρο. Έτσι χρησιμοποιούμε διαφορετικούς κωδικούς για να ενημερώσουμε το σύστημα ότι η απόσταση ανάμεσά τους είναι υπολογίσιμη.

Ένα παράδειγμα φαίνεται παρακάτω:

SB-A10 : 1 ## south bridge room A10

...

AT-LT3 : 1 ## Appleton tower lecture theatre 2

...

CSSR : 1 ## Cog. Sci. Seminar Room at 1 Buccleuch Place

...

4310 : 2 ## JCML room 4310

...

Οι αίθουσες SB-A10, AT-LT3 και CSSR χρησιμοποιούν τον ίδιο κωδικό επειδή ανήκουν στην ίδια περιοχή, ενώ η αίθουσα 4310 βρίσκεται στα King κτήρια. Μπορούμε να αποτρέψουμε τη διεξαγωγή διαδοχικών μαθημάτων σε διαφορετικές περιοχές, αν κρίνεται απαραίτητο, δίνοντας ποινική ρήτρα στα μαθήματα που είναι συνεχόμενα αλλά σε διαφορετικές περιοχές. Τελικά διαπιστώνουμε ότι το πρόβλημα αυτό συμβαίνει σπάνια διότι όλες οι διαλέξεις CS γίνονται τα πρωινά και οι διαλέξεις AI τα απογεύματα και αποφεύγεται το 13:00-14:00. Αυτό συσχετίζεται με τον περιορισμό:

- Κάθε μαθητής θα πρέπει να έχει στη διάθεσή του μισή ώρα για να μεταβεί από το KB, όπου πραγματοποιούνται όλα τα γεγονότα CS, στο κέντρο όπου

πραγματοποιούνται όλα τα ΑΙ γεγονότα και αντίστροφα. (Εκτιμήσεις Τοποθεσίας/Αίθουσας)

Τα φροντιστήρια διαφέρουν από τις διαλέξεις κατά ένα σημαντικό τρόπο. Σε αντίθεση με τις διαλέξεις, τα φροντιστήρια ανατίθενται στους φοιτητές όταν το πρόγραμμα έχει ήδη τελειώσει και βρίσκεται σε χρήση. Μία λογική δυνατότητα που υπάρχει ώστε να λυθεί το πρόβλημα είναι να μη ληφθούν καθόλου υπ' όψιν τα φροντιστήρια και να προγραμματιστούν όταν οι διαλέξεις έχουν ήδη αποφασιστεί. Είναι απίθανο ότι ένας φοιτητής από το τμήμα ΑΙ θα πάρει περισσότερα από 1-2 μαθήματα CS, έτσι εάν υπάρχουν διάφορα φροντιστήρια που σχεδιάζονται, είναι πιθανό ότι κάποιο θα είναι διαθέσιμο. Επίσης είναι πολύ πιθανό να χρειαστεί να αφαιρεθούν κάποια φροντιστήρια διότι κανείς δεν γνωρίζει από την αρχή από πόσους φοιτητές μπορεί να παρακολουθηθούν και ενδέχεται να υπάρχει μηδενική συμμετοχή.

Το σύστημα θα τιμωρήσει μία περίπτωση όπου δύο ή περισσότερα μαθήματα διεξάγονται στον ίδιο χρόνο και στην ίδια αίθουσα, και φυσικά οι διαλέξεις μεγάλου μήκους πρέπει να απασχολούν τις αίθουσες διαδοχικά. Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι το σύστημα πρέπει να λάβει υπ' όψιν περιορισμούς όπως:

- Δεν επιτρέπεται να υπάρχουν περισσότεροι από όσους φοιτητές χωρούν σε μία αίθουσα
- Διεξαγωγή μόνο ενός μαθήματος σε μία αίθουσα σε δεδομένο χρόνο. Αυτό σημαίνει ανάγκη ύπαρξης λίστας για πληροφορίες αιθουσών.

### 5.3.5 Προκαθορισμένα χρόνος και αίθουσα

Σε αρκετές περιπτώσεις κρίνεται χρήσιμο να προκαθορίσουμε είτε μόνο υποδοχέα χρόνου, είτε υποδοχέα χρόνου και αίθουσα μαζί. Κάποιες από αυτές είναι:

1. Κάποια γεγονότα πρέπει να προγραμματιστούν σε συγκεκριμένο υποδοχέα χρόνου, διότι παρακολουθούνται από φοιτητές των οποίων το πρόγραμμα είχε διαμορφωθεί πρωτύτερα.
2. Ορισμένοι καθηγητές επιθυμούν το γεγονός τους να προγραμματιστεί σε συγκεκριμένο υποδοχέα χρόνου ή συγκεκριμένη αίθουσα.



3. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ρυθμίσει ένα υπάρχον χρονοδιάγραμμα διορθώνοντας τους υποδοχείς χρόνου, δηλαδή επαναπρογραμματισμός.
4. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει την ποιότητα ενός υπάρχοντος χρονοδιαγράμματος, για παράδειγμα, να ελέγξει ένα προηγούμενο πραγματικό χρονοδιάγραμμα διορθώνοντας όλους τους υποδοχείς χρόνου ή τις αίθουσες.

Ένα παράδειγμα προκαθορισμού χρόνου ή αίθουσας φαίνεται παρακάτω:

```
es1_1 7  
lisp_1 22 AT-LT2
```

...

Το es1\_1 είναι προκαθορισμένο να διεξαχθεί στον υποδοχέα χρόνου 7 ενώ το lisp\_1 στον 22 και στην αίθουσα AT-LT2. Το σύστημα θα τιμωρήσει και θα αναφέρει τις συγκρούσεις ανάμεσα στην πληροφορία προκαθορισμένων υποδοχέων χρόνου και αίθουσας και στην πληροφορία αποκλεισμού αυτών.

## **5.4 Συγκεκριμένο πλαίσιο εργασίας για το χρονοπρογραμματισμό διαλέξεων/σεμιναρίων**

### **5.4.1 Βασικοί περιορισμοί**

Το τμήμα αποκλεισμού διαλέξεων περιέχει τα υποχρεωτικά μαθήματα και τα μαθήματα επιλογής για κάθε θέμα, που είναι η κύρια πληροφορία περιορισμού για το χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/σεμιναρίων. Το σύστημα εγγυάται ότι σε θα υπάρχει επικάλυψη των υποχρεωτικών μαθημάτων και των μαθημάτων επιλογής, ώστε να δοθεί η ελεύθερη επιλογή αυτών από τους φοιτητές.

Σε αντίθεση με τον χρονοπρογραμματισμό εξετάσεων, κατά τη διάρκεια του προγραμματισμού των διαλέξεων και των φροντιστηρίων δεν γνωρίζουμε ακριβώς ποια μαθήματα θα επιλέξει κάθε φοιτητής, μπορούμε μόνο να το προβλέψουμε σύμφωνα με την πληροφορία για το θέμα (αποκλεισμοί διαλέξεων). Επομένως, αυτά είναι τα

δεδομένα που έχουμε στη διάθεσή μας για να ελέγξουμε την ποιότητα του χρονοδιαγράμματος.

Ένα παράδειγμα αποκλεισμού διαλέξεων φαίνεται παρακάτω:

```
lisp_1 lisp_2 kri1_1 kri1_2 es1_1 es_2 aied_1 aied_2  
lisp_1 lisp_2 kri1_1 kri1_2  
lisp_1 lisp_2 kri1_1 kri1_2 ias_1 ias_2 mvis_1 mvis_2 ...  
lisp_1 lisp_2 kri1_1 kri1_2 cl1_1 cl1_2 ln1_1 ln1_2 lfs_1 lfs1_2 ...
```

Για παράδειγμα τα lisp\_1, lisp\_2, kri1\_1, kri1\_2, es1\_1, es1\_2, aied\_1 και aied\_1 είναι τα πιο πιθανά προς επιλογή μαθήματα για τους φοιτητές της πρώτης ομάδας. Επιπλέον, τα lisp και kri1 περιέχονται και στις τέσσερις ομάδες το οποίο σημαίνει ότι είναι περισσότερο σημαντικά από τα υπόλοιπα μαθήματα στους βασικούς περιορισμούς.

Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός είναι ότι κάθε μάθημα πρέπει να έχει ένα φροντιστήριο για κάθε N φοιτητές (N=12 για παράδειγμα) και κάθε φοιτητής πρέπει να παρακολουθήσει ένα από αυτά κάθε εβδομάδα. Επομένως, μπορεί να υπάρχουν πολλαπλά φροντιστήρια προγραμματισμένα την ίδια στιγμή. Ο χειρισμός αυτού του περιορισμού γίνεται με την χρήση του τμήματος αποκλεισμού φροντιστηρίων. Το τμήμα αυτό περιέχει όλα τα φροντιστήρια, τα εργαστήρια και τα σεμινάρια. Οι χρήστες δεν χρειάζεται να προσδιορίσουν το πλήθος αυτών διότι συνάγονται από την πληροφορία του μεγέθους της διάλεξης και του συσχετιζόμενου φροντιστηρίου, σεμιναρίου ή εργαστηρίου.

Από τη στιγμή που αυτά τα μαθήματα έχουν πολλαπλές εμφανίσεις, το σύστημα πρέπει να εγγυηθεί ότι κάθε φροντιστήριο (στα αριστερά της στήλης) δε θα επικαλυφθεί με τις αντίστοιχες τους διαλέξεις και τις υποχρεωτικές διαλέξεις του θέματος αυτού (στα δεξιά της στήλης).

Για να παραχθεί ένα έγκυρο χρονοδιάγραμμα όλα τα φροντιστήρια, τα εργαστήρια και τα σεμινάρια δεν πρέπει να επικαλύπτονται με τις αντίστοιχες δικές τους διαλέξεις ή με κάποιες από τις υποχρεωτικές διαλέξεις του ίδιου θέματος. Επομένως, αυτό είναι ένα ακόμη είδος βασικού περιορισμού.

Ένα παράδειγμα αποκλεισμού φροντιστηρίων δίνεται παρακάτω:

@aied-sem @aied-lab : aied\_1 lisp\_1 lisp\_2 kri1\_1 kri1\_2  
@es1-tut : es1\_1 es1\_2 lisp\_1 lisp\_2 kri1\_1 kri1\_2  
@ias-lab : ias\_1 ias\_2 mvis\_1 mvis\_2 lisp\_1 lisp\_2 kri1\_1 kri1\_2  
...

Το φροντιστήριο, το σεμινάριο και το εργαστήριο ξεκινά με @ για να δηλώσει στο σύστημα ότι αντιπροσωπεύει όλα τα συσχετιζόμενα φροντιστήρια, τα σεμινάρια και τα εργαστήρια. Για παράδειγμα τα σεμινάρια και τα εργαστήρια των AI και Education δεν μπορούν να επικαλύπτονται με τα aied\_1, lisp και kri1 και τα φροντιστήρια των Expert Systems 1 δεν μπορούν να επικαλύπτονται μες όλες τις διαλέξεις es\_1, lisp, kri1.

Δεν υπάρχει αναγκαιότητα εγγύησης ότι τα φροντιστήρια των ίδιων διαλέξεων δε θα επικαλύπτονται μεταξύ τους διότι υπάρχουν πολλά διαφορετικά από αυτά και κάθε φοιτητής χρειάζεται να παρακολουθήσει μόνο ένα από αυτά. Παραμένει ένα έγκυρο χρονοδιάγραμμα παρόλο που κάποια από τα φροντιστήρια επικαλύπτονται μεταξύ τους. Οι χρήστες μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν την πληροφορία διαφορετικής-ημέρας, εάν το επιθυμούν, από το τμήμα διαφορετικής-ημέρας που θα περιγράψουμε παρακάτω, για να εξασφαλίσουν ότι τα φροντιστήρια του ίδιου μαθήματος δε θα προγραμματιστούν την ίδια ημέρα ώστε να διασπαρθούν και οι φοιτητές να έχουν την δυνατότητα να επιλέξουν ανάμεσα από περισσότερους διαφορετικούς υποδοχείς χρόνου.

#### 5.4.2 Περιορισμοί διάταξης

Ένα παράδειγμα ισχυρού περιορισμού διάταξης είναι ότι οι καθηγητές ζητούν τα εργαστήρια/σεμινάρια να πραγματοποιηθούν ύστερα από την πρώτη διάλεξη της εβδομάδας. Ο χειρισμός του περιορισμού αυτού γίνεται με την πληροφορία του τμήματος προτεραιότητας. Ένα παράδειγμα του τμήματος αυτού ακολουθεί:

aied\_1 : @aied-sem @aied-lab  
ias\_1 : @ias-lab

Το τμήμα προτεραιότητας περιέχει όλες τις πληροφορίες προτεραιότητας, για παράδειγμα, το aied\_1 πρέπει να διεξαχθεί πριν από όλα τα σεμινάρια και τα εργαστήρια

του και το `ias_1` πρέπει να γίνει πριν από όλα τα εργαστήριά του. Σε κάθε σειρά αυτού του τμήματος, το μάθημα που βρίσκεται στα αριστερά της στήλης θα ξεκινήσει πριν από αυτά που βρίσκονται στα δεξιά της στήλης. Πρόκειται για έναν ισχυρό περιορισμό, επομένως χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε μεγάλη ποινή για να αποτρέψουμε ή τουλάχιστον να αποθαρρύνουμε τις παραβιάσεις.

Ορισμένες φορές δεν είναι ζωτικής σημασίας η εξασφάλιση προτεραιότητας μαθημάτων, οπότε και μπορούν να αντιμετωπιστούν ως χαλαροί περιορισμοί διάταξης. Για παράδειγμα, οι καθηγητές προτιμούν αλλά δεν απαιτούν το φροντιστήριο να είναι μετά την πρώτη διάλεξη της εβδομάδας. Σε μια τέτοια κατάσταση, το σύστημα απλά θα προσπαθήσει να ικανοποιήσει αυτό τον περιορισμό. Πρόκειται για ένα είδος περιορισμού διάταξης ο οποίος χειρίζεται από την πληροφορία του τμήματος προτεραιότητας.

Η μορφή αυτού του τμήματος είναι παρόμοια με αυτή του τμήματος προτεραιότητας. Ένα παράδειγμα του τμήματος προτεραιότητας φαίνεται παρακάτω:

`es1_1 : @es1-tut`

`kri1_1 : @kri1-tut`

...

Το τμήμα αυτό περιέχει όλη την πληροφορία για την προτεραιότητα, για παράδειγμα, τα `es_1` και `kri_1` προτιμώνται να προγραμματιστούν πριν από όλα τα φροντιστήρια τους. Επιπλέον, είναι ένα είδος χαλαρού περιορισμού, επομένως χρειαζόμαστε μικρή ποινή διότι μπορεί να παραβιαστεί αν κρίνεται αδύνατο να αποφευχθεί.

Ένα άλλο παράδειγμα περιορισμού διάταξης είναι να επιτρέψουμε όλα τα ορισμένα μαθήματα να διελεγχθούν στον ίδιο υποδοχέα χρόνου. Το τμήμα ταυτοχρόνων περιέχει όλα τα δεδομένα που πρέπει να διεξαχθούν την ίδια στιγμή διότι δε θα μοιράζονται τους ίδιους φοιτητές ή άλλους παράγοντες. Για παράδειγμα, μπορούμε να επιτρέψουμε στα `aied_2` και `aied-sem_1` να διεξαχθούν στον ίδιο χρόνο διότι το `aied_2` διεξάγεται κατά την πρώτη, δεύτερη και ένατη εβδομάδα ενώ το `aied-sem_1` ανάμεσα στην Τρίτη έως και την όγδοη εβδομάδα. Με άλλα λόγια, υπάρχει εγγύηση ότι δεν θα προγραμματιστούν την ίδια εβδομάδα, οπότε μπορούμε να τα θεωρήσουμε ως ξεχωριστά μαθήματα και να τα

προγραμματίσουμε στον ίδιο υποδοχέα χρόνου ώστε να μειώσουμε το μέγεθος των συνολικών μαθημάτων. Ένα παράδειγμα του τμήματος ταυτοχρόνων δίνεται παρακάτω:

aied\_2 aied-sem\_1

Το σύστημα αναθέτει τον υποδοχέα χρόνου του πρώτου μαθήματος στα υπόλοιπα μαθήματα της ίδιας γραμμής. Επιπλέον, το σύστημα τιμωρεί και αναφέρει τις συγκρούσεις ανάμεσα στις πληροφορίες των τμημάτων ταυτοχρόνων και αποκλεισμών υποδοχέων χρόνου/αιθουσών όπως και στην περίπτωση προκαθορισμένου υποδοχέα χρόνου/αίθουσας.

### 5.4.3 Περιορισμοί διασκορπισμού γεγονότων

Επειδή κάθε διάλεξη έχει πολλαπλές εμφανίσεις κάθε εβδομάδα και κάθε φοιτητής ενδέχεται να πρέπει να τις παρακολουθήσει όλες, χρειάζεται να τις προγραμματίσουμε να διεξάγονται σε διαφορετικές ημέρες ώστε να έχουν οι φοιτητές το χρόνο να προετοιμάσουν ή να αφομοιώσουν το μάθημα. Άλλη μία περίπτωση αφορά στα εργαστήρια που ίσως να μην μπορούν να προγραμματιστούν την ίδια ημέρα για να δοθεί απαραίτητος χρόνος για τον καθαρισμό του εργαστηρίου και την προετοιμασία του κατάλληλου εξοπλισμού για το επόμενο μάθημα. Επομένως, χρειαζόμαστε έναν διαφορετικό περιορισμό για να διασκορπίσουμε. Αυτό είναι ένα είδος διασκορπισμού γεγονότων και περιέχεται στο τμήμα διαφορετική-ημέρα.

Ένα παράδειγμα του τμήματος διαφορετική-ημέρα παρατίθεται:

aied\_1 aied\_2

@ias\_lab

...

Από τα παραπάνω, γνωρίζουμε ότι οι διάλεξη του AI και οι δύο διαλέξεις του Education διεξάγονται σε διαφορετικές ημέρες και όλα τα εργαστήρια του Intelligent Assembly System διεξάγονται επίσης σε διαφορετικές ημέρες.

Άλλοι περιορισμοί διασκορπισμού γεγονότων αφορούν στο να μην επιτραπεί στους φοιτητές να παρακολουθήσουν πολλά μαθήματα κάθε ημέρα. Επιλύουμε αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιώντας ποικίλα βάρη ποινών που μοιάζουν με αυτά του χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων. Επειδή το πλήθος των συνολικών υποδοχέων χρόνου είναι προκαθορισμένο, 40 για πέντε ημέρες, ένας φοιτητής έχει την υποχρέωση να παρακολουθεί δύο με τρεις διαλέξεις ημερησίως. Επομένως δεν χρειάζεται να τιμωρήσουμε τέτοιες περιπτώσεις. Εντούτοις, εξακολουθούμε να μην θέλουμε ένας φοιτητής να παρακολουθεί πολλά μαθήματα σε μία ημέρα, οπότε χρησιμοποιούμε βάρη για να τιμωρήσουμε τις παραβιάσεις περιορισμών διασκορπισμού γεγονότων.

## **5.5 Αξιολογήσεις**

Στα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων, γνωρίζουμε εξ αρχής την πληροφορία για τους φοιτητές και τα εξεταζόμενα τους μαθήματα. Επομένως, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα αυτά για να υπολογίσουμε τις παραβάσεις των βασικών περιορισμών. Στον χρονοπρογραμματισμό διαλέξεων/φροντιστηρίων όμως, πρέπει να προγραμματίσουμε το χρονοδιάγραμμα από πριν. Με άλλα λόγια, κατά τη στιγμή που προγραμματίζουμε τις διαλέξεις και τα φροντιστήρια, δεν γνωρίζουμε το πλήθος των φοιτητών και τα μαθήματα που ο καθένας από αυτούς θα παρακολουθήσει αν και μπορούμε να υπερεκτιμήσουμε το πλήθος αυτό. Η προσέγγιση αυτή κάνει χρήση της πληροφορίας των ομάδων τομέων για να κατηγοριοποιήσει τους τομείς διαλέξεων/φροντιστηρίων για τους φοιτητές, χρησιμοποιεί την πληροφορία αυτή για να υπολογίσει τις παραβάσεις των βασικών περιορισμών και χρησιμοποιεί τα υπόλοιπα δεδομένα για να υπολογίσει άλλου είδους παραβάσεις, για παράδειγμα, περιορισμούς διάταξης ή διασκορπισμού γεγονότων.

Η συνάρτηση ικανότητας είναι παρόμοια με του χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων, άλλα με περισσότερες συνθήκες που πρέπει να ελεγχθούν. Επιπλέον, κάθε μάθημα μπορεί να έχει διαφορετική διάρκεια, κάτι που περιπλέκει τη συνάρτηση ικανότητας.

Γενικά, η συνάρτηση ικανότητας για ένα πρόβλημα, όπου  $p$  είναι ένα χρωμόσωμα,  $\{c_1, \dots, c_n\}$  είναι ένα σύνολο συναρτήσεων κάθε μία από τις οποίες υπολογίζει το πλήθος των περιπτώσεων μιας συγκεκριμένης παράβασης, και  $\{w_1, \dots, w_n\}$  είναι τα βάρη αυτών των παραβάσεων, δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$f(p) = 1 / \left( 1 + \sum_{i=1}^n w_i c_i(p) \right)$$

Στο πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων/φροντιστηρίων τα στοιχεία της συνάρτησης ικανότητας είναι συναρτήσεις που υπολογίζουν αντίστοιχα το πλήθος των εμφανίσεων των ακόλουθων παραβάσεων:

### **Ισχυροί περιορισμοί:**

-clash: όπως περιγράφηκε στο τμήμα αποκλεισμών διαλέξεων και φροντιστηρίων

-large: δύο μαθήματα χρησιμοποιούν την ίδια αίθουσα την ίδια χρονική στιγμή

-precedence: έλεγχος παραβίασης περιορισμού προτεραιότητας ή όχι

-differentday: έλεγχος παραβίασης περιορισμού διαφορετική-ημέρα ή όχι

### **Χαλαροί περιορισμοί:**

-two: δύο μαθήματα την ημέρα

-three: τρία μαθήματα την ημέρα

-four: τέσσερα μαθήματα την ημέρα

-five: πέντε μαθήματα την ημέρα

-six: έξι μαθήματα την ημέρα

-seven: επτά μαθήματα την ημέρα

-slot: έλεγχος για τυχόν σύγκρουση ή όχι

-larger than seven: περισσότερα από επτά μαθήματα την ημέρα

-far: δύο συνεχόμενα μαθήματα σε διαφορετικές περιοχές

-noon: μεταξύ 13:00 και 14:00

-preference: έλεγχος παραβίασης περιορισμού προτίμησης ή όχι

Οι ποινικές ρήτρες για κάθε περιορισμό αναφέρονται παρακάτω:

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| #define PEN_CLASH        | 500 |
| #define PEN_DIFFERENTDAY | 500 |
| #define PEN_LARGE        | 300 |
| #define PEN_PRECEDENCE   | 300 |
| #define PEN_EIGHT+       | 200 |
| #define PEN_SEVEN        | 100 |
| #define PEN_PREFERENCE   | 30  |
| #define PEN_NOON         | 30  |
| #define PEN_SIX          | 20  |
| #define PEN_SLOT         | 10  |
| #define PEN_FIVE         | 5   |
| #define PEN_FOUR         | 1   |
| #define PEN_FAR          | 1   |
| #define PEN_THREE        | 0   |
| #define PEN_TWO          | 0   |

Η τιμωρία για το large χρησιμοποιείται για να διαχειριστεί τον παρακάτω περιορισμό:

- Σε κάθε αίθουσα επιτρέπεται να διεξάγεται μόνο ένα μάθημα σε δεδομένη στιγμή. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ανάγκη ύπαρξης πληροφορίας της λίστας των αιθουσών.

Το σύστημα θα γνωρίζει πόσες περιπτώσεις συμβαίνουν την ίδια χρονική στιγμή και χρησιμοποιούν την ίδια αίθουσα και θα χρησιμοποιήσει την ποινή large για να τις τιμωρήσει ώστε να απαλλαχθεί από την κατάσταση αυτή.

Παρακάτω περιγράφεται η σύγκριση ανάμεσα στα πραγματικά χρονοδιαγράμματα που παρήχθησαν από ειδικούς (ανθρώπινη λύση) και τα χρονοδιαγράμματα που παρήχθησαν από το σύστημα.



| <b>YEAR-TERM</b> | <b>LECT</b> | <b>TUT</b> | <b>SEM</b> | <b>LAB</b> | <b>TOTAL</b> |
|------------------|-------------|------------|------------|------------|--------------|
| 1992/1993-1      | 48          | 21         | 3          | 4          | 76           |
| 1992/1993-2      | 46          | 24         | 0          | 3          | 73           |
| 1993/1994-1      | 51          | 31         | 0          | 0          | 82           |
| 1993/1994-2      | 50          | 22         | 1          | 0          | 73           |

Πίνακας 5.5: Πληροφορίες του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων/σεμιναρίων

## 5.6 Πειράματα

### 5.6.1 Πραγματικό χρονοδιάγραμμα

Στον πίνακα 5.5 αναγράφονται οι πληροφορίες που αναφέρονται στα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων του AI/CS των ετών 92/93 και 93/94. Και τα δύο ακαδημαϊκά έτη περιέχουν από δύο εξάμηνα, όποτε πρόκειται για συνολικά τέσσερα προβλήματα. Η στήλη YEAR-TERM αντιπροσωπεύει τον αριθμό του εξαμήνου του ακαδημαϊκού έτους που ξεκινά τον Οκτώβριο του έτους πριν την κάθετο και τελειώνει το Σεπτέμβριο του έτους μετά την κάθετο. Τα LECT, TUT, SEM και LAB αντιπροσωπεύουν το πλήθος των διαλέξεων, των φροντιστηρίων, των σεμιναρίων και των εργαστηρίων που διεξάγονται κάθε εβδομάδα στο δεδομένο εξάμηνο του δεδομένου έτους.

Τα πραγματικά χρονοδιαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν στα τέσσερα αυτά προβλήματα παρήχθησαν από διοργανωτές μαθημάτων και συνοψίζονται στον πίνακα 5.6. Κάθε ένα από αυτά είναι αποτέλεσμα ενός αρχικού σχεδιασμού που ακολουθήθηκε από επαναλαμβανόμενες ανατροφοδοτήσεις από αρκετούς καθηγητές διαφορετικών τμημάτων.

Χάριν ευκολίας θα αναλύσουμε την ποιότητα των χρονοδιαγραμμάτων διαλέξεων χρησιμοποιώντας ένα διάνυσμα  $V = \{f, d_4, d_5, e, l, s_d, s_i, c\}$ . Τα στοιχεία του διανύσματος υποδεικνύουν παραβάσεις των περιορισμών μεγάλη απόσταση (far), περιπτώσεις όπου ένας εικονικός φοιτητής χειρίζεται τέσσερα γεγονότα σε μία ημέρα, περιπτώσεις όπου

ένας εικονικός φοιτητής χειρίζεται πέντε γεγονότα σε μία ημέρα, περιορισμούς αποκλεισμού υποδοχέων, περιορισμούς μεσημεριανού γεύματος (lunchtime), περιορισμούς διάταξης γεγονότων λόγω επιθυμίας (desire) (προτίμηση), περιορισμούς διασκορπισμού σημαντικών (important) γεγονότων (προτεραιότητα) και σύγκρουση βασικών περιορισμών (clash) αντίστοιχα. Οι παραβάσεις όλων των υπολοίπων περιορισμών που αναφέρθηκαν παραπάνω όπως για παράδειγμα περιορισμοί αιθουσών, περιορισμοί ικανότητας και περιπτώσεις όπου ένας φοιτητής χειρίζεται περισσότερα από πέντε γεγονότα σε μία ημέρα δεν αναφέρονται, λόγω του ότι ικανοποιούνταν πλήρως σε κάθε περίπτωση.

| <b>YEAR-TERM<br/>unit penalty</b> | <b>f<br/>(1)</b> | <b>d<sub>4</sub><br/>(1)</b> | <b>d<sub>5</sub><br/>(5)</b> | <b>e<br/>(10)</b> | <b>l<br/>(30)</b> | <b>s<sub>d</sub><br/>(30)</b> | <b>s<sub>i</sub><br/>(300)</b> | <b>c<br/>(500)</b> | <b>TOTAL<br/>N/A</b> |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|
| 1992/1993-1                       | 65               | 2                            | 0                            | 14                | 4                 | 4                             | 0                              | 0                  | 447                  |
| 1992/1993-2                       | 49               | 3                            | 1                            | 5                 | 2                 | 9                             | 1                              | 0                  | 737                  |
| 1993/1994-1                       | 84               | 2                            | 0                            | 7                 | 5                 | 0                             | 0                              | 0                  | 306                  |
| 1993/1994-2                       | 50               | 0                            | 0                            | 1                 | 3                 | 3                             | 0                              | 0                  | 240                  |

Πίνακας 5.6: Ποινικές ρήτρες πραγματικού χρονοδιαγράμματος  
διαλέξεων/φροντιστηρίων

#### Πραγματικό χρονοδιάγραμμα 92/93-1

Το πραγματικό χρονοδιάγραμμα που δημιουργήθηκε από τους διοργανωτές για τα AI/CS του πρώτου εξαμήνου του 92/93 φαίνεται στον πίνακα 5.7 με  $V=\{65,2,0,14,4,4,0,0\}$  και συνολική ποινική ρήτρα 447. Με άλλα λόγια υπάρχουν 65 παραβάσεις περιορισμού μεγάλης απόστασης, 2 περιπτώσεις όπου ένας εικονικός φοιτητής χειρίζεται τέσσερα γεγονότα σε μία ημέρα, 14 παραβάσεις περιορισμού αποκλεισμού υποδοχέων, 4 παραβάσεις περιορισμού μεσημεριανού και 4 παραβάσεις περιορισμού προτίμησης.

#### Πραγματικό χρονοδιάγραμμα 92/93-2

Το πραγματικό χρονοδιάγραμμα που δημιουργήθηκε από τους διοργανωτές για τα AI/CS του δεύτερου εξαμήνου του 92/93 φαίνεται στον πίνακα 5.8 με

$V=\{49,3,1,5,2,9,1,0\}$  και συνολική ποινική ρήτρα 737. Με άλλα λόγια υπάρχουν 49 παραβάσεις περιορισμού μεγάλης απόστασης, 3 περιπτώσεις όπου ένας εικονικός φοιτητής χειρίζεται τέσσερα γεγονότα σε μία ημέρα, 1 περίπτωση όπου ένας εικονικός φοιτητής χειρίζεται πέντε γεγονότα σε μία ημέρα, 5 παραβάσεις περιορισμού αποκλεισμού υποδοχέων, 2 παραβάσεις περιορισμού μεσημεριανού 9 παραβάσεις περιορισμού προτίμησης και 1 παράβαση περιορισμού προτεραιότητας.

#### Πραγματικό χρονοδιάγραμμα 93/94-1

Το πραγματικό χρονοδιάγραμμα που δημιουργήθηκε από τους διοργανωτές για τα AI/CS του πρώτου εξαμήνου του 93/94 φαίνεται στον πίνακα 5.9 με  $V=\{84,2,0,7,5,0,0,0\}$  και συνολική ποινική ρήτρα 306. Με άλλα λόγια υπάρχουν 84 παραβάσεις περιορισμού μεγάλης απόστασης, 2 περιπτώσεις όπου ένας εικονικός φοιτητής χειρίζεται τέσσερα γεγονότα σε μία ημέρα, 7 παραβάσεις περιορισμού αποκλεισμού υποδοχέων και 5 παραβάσεις περιορισμού μεσημεριανού.

#### Πραγματικό χρονοδιάγραμμα 93/94-2

Το πραγματικό χρονοδιάγραμμα που δημιουργήθηκε από τους διοργανωτές για τα AI/CS του δεύτερου εξαμήνου του 93/94 φαίνεται στον πίνακα 5.10 με  $V=\{50,0,0,1,3,3,0,0\}$  και συνολική ποινική ρήτρα 240. Με άλλα λόγια υπάρχουν 50 παραβάσεις περιορισμού μεγάλης απόστασης, 1 παράβαση περιορισμού αποκλεισμού υποδοχέων, 3 παραβάσεις περιορισμού μεσημεριανού και 3 παραβάσεις περιορισμού προτίμησης.

|      | 9-10   | 10-11   | 11-12  | 12-13  | 13-14                                    | 14-15   | 15-16  | 16-17            |
|------|--|---|--|--|--|---|--|------------------|
| Mon  | cl1<br>(DHT7.01)                                   | cl1<br>(DHT7.01)<br>mvis<br>(SB-F10)<br>os<br>(TH-B)                                | asic<br>(3317)<br>ln1<br>(DHT7.01)   | ln1<br>(DHT7.01)<br>cc<br>(3317)<br>os-tut<br>(3315)   |  | aied<br>(SB-F10)<br>si<br>(4310)<br>lisp-tut<br>(SB-A10)<br>lisp-tut<br>(SB-C11)  | ias<br>(SB-F10)<br>fpls<br>(6224)<br>kri1-tut<br>(SB-A10)<br>kri1-tut<br>(SB-C5)                     | kri1<br>(AT-LT2) |
| Tues | lisp<br>(AT-LT3)<br>aps<br>(3315)<br>rs1<br>(8216) | cca<br>(5327)<br>ias-lab<br>(IAS-LAB)   | cp1<br>(DHT7.01)   | cp1<br>(DHT7.01)<br>ci<br>(TH-A)   | aied-sem<br>(SB-A10)                     | aied-sem<br>(SB-A10)<br>si<br>(4310)<br>lfs1<br>(DHT7.01)   | lfs1<br>(DHT7.01)<br>ssc<br>(6206)<br>aied-lab<br>(SB-C1)<br>ias-lab<br>(IAS-LAB)<br>mvis<br>(FH-B9) | es1<br>(AT-LT2)  |
| Wed  | mvis<br>(SB-F10)<br>com<br>(6324)                  | cmc<br>(3317)<br>aied-sem<br>(SB-A10)<br>aps-tut<br>(3315)                          | aied-sem<br>(SB-A10)<br>asic<br>(3317)<br>es1-tut<br>(SB-C10)                  | scsai<br>(SB-F10)<br>slcs<br>(TH-A)<br>ip1<br>(8216)   |  |   |  | kri1<br>(AT-LT2) |
| Thur | ci<br>(TH-C)<br>ln1<br>(DHT7.01)                   | ln1<br>(DHT7.01)<br>os<br>(TH-B)<br>mvis-tut<br>(FH-B9)                             | lisp<br>(AT-LT3)<br>aps<br>(3218)  | cc<br>(3317)<br>cp1<br>(DHT7.01)<br>lisp-tut<br>(AT-2C)<br>mvis-tut<br>(FH-B9)<br>ci-tut<br>(3315) | cp1<br>(DHT7.01)                         | ias<br>(SB-F10)<br>lfs1<br>(DHT7.01)<br>kri1-tut<br>(SB-A10)  | lfs1<br>(DHT7.01)  | ssc<br>(6206)    |
| Fri  |  | es1<br>(AT-LT3)<br>lisp-tut<br>(SB-A10)<br>lisp-tut<br>(SB-C5)<br>aps-tut<br>(3315) | cmc<br>(3317)<br>cl1<br>(DHT7.01)<br>es1-tut<br>(SB-A10)<br>es1-tut<br>(SB-C5) | cl1<br>(DHT7.01)<br>fpls<br>(6224)<br>rs1<br>(8216)  | aied<br>(SB-F10)<br>aied-sem<br>(SB-F10) | aied<br>(SB-F10)<br>aied-sem<br>(SB-F10)<br>cca<br>(3218)<br>ip1<br>(8216)<br>aied-lab<br>(SB-C1)<br>kri1-tut<br>(SB-A10) | com<br>(6324)<br>kri1-tut<br>(SB-C5)<br>kri1-tut<br>(SB-C10)   |                  |

Πίνακας 5.7: Πραγματικό χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων που παράχθηκε από άνθρωπο για το 92/93-1

|      | 9-10                           | 10-11  | 11-12  | 12-13  | 13-14              | 14-15   | 15-16                              | 16-17                                    |
|------|--------------------------------|--|--|--|--------------------|---|------------------------------------|--|
| Mon  | db<br>(TH-C)<br>ln2<br>(CSSR)  | ln2<br>(CSSR)<br>bsv<br>(3315)<br>nlp-tut<br>(SB-C11)  | gr<br>(TH-A)<br>db-tut<br>(3218)   | rs2<br>(8216)  | nnet<br>(FR-S)     | cvis<br>(AT-Rm8)<br>conc-tut<br>(SB-C11)                  | conc<br>(AT-LT5)<br>cafr<br>(6311) | es2<br>(AT-LT2)<br>conc-tut<br>(SB-C11)  |
| Tues | cl2<br>(Rm-17)                 | cl2<br>(Rm-17)<br>ppc<br>(3218)<br>isc-lab<br>(ISC-LAB)<br>kri2-tut<br>(SB-C5)<br>kri2-tut<br>(SB-C10) | swp<br>(6203)<br>es2-tut<br>(SB-C11)   | ds<br>(3317)<br>prol-tut<br>(SB-C10)<br>prol-tut<br>(SB-C11)         |                    | isc<br>(AT-LT5)<br>lfs2<br>(CSSR)<br>mthr-tut<br>(SB-C10) | lfs2<br>(CSSR)<br>nlp<br>(AT-LT5)  | es2<br>(AT-LT2)<br>cvis-tut<br>(SB-C10)  |
| Wed  | nnet-tut<br>(CSSR)             | cafr<br>(3315)<br>kri2-tut<br>(SB-C10)<br>kri2-tut<br>(SB-C11)   | mthr<br>(SB-F10)<br>ds<br>(3317)<br>isc-lab<br>(ISC-LAB)                     | ai-sw<br>(SB-F10)<br>cad<br>(3317)                                   |                    | prol<br>(AT-LT2)  | conc-tut<br>(SB-C11)               | kri2<br>(AT-LT2)<br>conc-tut<br>(SB-C10) |
| Thur | swp<br>(6203)<br>ln2<br>(CSSR) | ln2<br>(CSSR)<br>db<br>(TH-C)  | ds<br>(3317)<br>mthr-tut<br>(SB-C11)<br>nnet-tut<br>(CSSR)                   | ip2<br>(8216)<br>isc-lab<br>(ISC-LAB)<br>nlp-tut<br>(SB-C11)         | nnet-tut<br>(FR-N) | nlp<br>(AT-LT5)<br>lfs2<br>(CSSR)<br>cvis-tut<br>(SB-A10) | lfs2<br>(CSSR)<br>conc<br>(AT-LT5) | prol<br>(AT-LT2)                         |
| Fri  | gr<br>(3218)                   | bsv<br>(3315)<br>prol-tut<br>(SB-C5)<br>prol-tut<br>(SB-C10)   | ppc<br>(3218)<br>cl2<br>(Rm-14)<br>es2-tut<br>(SB-C5)<br>es2-tut<br>(SB-C10) | cl2<br>(Rm-14)<br>mthr<br>(SB-F10)<br>cad<br>(3317)<br>rs2<br>(8216) |                    | isc<br>(AT-LT4)<br>ip2<br>(8216)                          | cvis<br>(AT-LT4)                   | kri2<br>(AT-LT2)                         |

Πίνακας 5.8: Πραγματικό χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων που παράχθηκε από άνθρωπο για το 92/93-2

|      | 9-10  | 10-11  | 11-12   | 12-13   | 13-14                          | 14-15  | 15-16                            | 16-17                 |
|------|---|--|---|---|--------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------|
| Mon  | ad<br>(3317)<br>ln1<br>(CSSR)                   | ln1<br>(CSSR)<br>os<br>(LT-B)  | cc<br>(3317)<br>cl1<br>(AFBG17)   | ssc<br>(3317)   | aied<br>(SB-F10)               | aied<br>(SB-F10)<br>lfm1<br>(CSSR)                                       | kri1<br>(AT5)                    | es1<br>(AT4)          |
| Tues | aps<br>(3317)<br>cp1<br>(CSSR)<br>rs1<br>(8216) | cp1<br>(CSSR)<br>cca<br>(6301)<br>aied-tut<br>(SB-C5)<br>kri1-tut<br>(SB-A10)                    | ppc<br>(3218)<br>es1-tut<br>(SB-C5)<br>kri1-tut<br>(SB-A10)                       | ci<br>(LT-A)<br>es1-tut<br>(SB-C5)<br>kri1-tut<br>(SB-A10)  | inlp<br>(SB-F10)               | ias<br>(SB-F10)<br>aps-tut<br>(3315)                                     | mv<br>(AT3)<br>bsv<br>(3315)     | tnlp<br>(SB-A10)      |
| Wed  |   | cmc<br>(3317)<br>aied-tut<br>(SB-C5)<br>inlp-tut<br>(SB-A10)                                     | ad<br>(3317)<br>es1-tut<br>(SB-A10)<br>ias-tut<br>(SB-C5)<br>tnlp-tut<br>(SB-A18) | slcs<br>(3218)<br>ip1<br>(8216)<br>es1-tut<br>(SB-C5)<br>inlp-tut<br>(SB-A10)                             |                                | prolog<br>(AT4)  | ind-sem<br>(AT4)                 | ind-sem<br>(AT4)      |
| Thur | ci<br>(LT-A)<br>ln1<br>(CSSR)<br>gis<br>(DS107) | ln1<br>(CSSR)<br>gis<br>(DS107)<br>os<br>(LT-B)<br>inlp-tut<br>(SB-A10)<br>prolog-tut<br>(SB-C5) | cc<br>(3317)<br>cl1<br>(AFBG17)<br>kri1-tut<br>(SB-A10)<br>prolog-tut<br>(SB-C5)  | aps<br>(6206)<br>prolog-tut<br>(SB-C5)<br>tnlp1-tut<br>(SB-A10)<br>ci-tut<br>(3315)                       | kri1<br>(AT5)<br>ppc<br>(5326) | mv<br>(AT3)<br>lfm1<br>(CSSR)<br>aps-tut<br>(3315)<br>gis-tut<br>(DS107) | ias<br>(SB-F10)<br>bsv<br>(3315) | tnlp1-tut<br>(SB-A10) |
| Fri  | ssc<br>(3317)<br>cp1<br>(CSSR)                  | cp1<br>(CSSR)<br>cca<br>(5326)<br>mv-tut<br>(FH-B9)<br>prolog-tut<br>(SB-A10)                    | inlp<br>(SB-F10)<br>cmc<br>(3317)<br>ias-tut<br>(SB-C5)<br>kri1-tut<br>(SB-A10)   | rs1<br>(8216)<br>mv-tut<br>(FH-B9)<br>prolog-tut<br>(SB-A10)<br>tnlp1-tut<br>(SB-A18)<br>os-tut<br>(3315) | aied<br>(SB-F10)               | aied<br>(SB-F10)<br>ip1<br>(8216)  | es1<br>(AT4)                     | prolog<br>(AT4)       |

Πίνακας 5.9: Πραγματικό χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων που παράχθηκε από άνθρωπο για το 93/94-1

|      | 9-10                              | 10-11   | 11-12  | 12-13   | 13-14           | 14-15   | 15-16   | 16-17                             |
|------|-----------------------------------|---|--|---|-----------------|---|---|-----------------------------------|
| Mon  | db<br>(3218)<br>ln2b<br>(CSSR)    | ln2b<br>(CSSR)<br>gr<br>(LT-B)<br>cl2<br>(CSSR)                               | cl2<br>(CSSR)<br>si<br>(6206)<br>rs2<br>(8216)<br>db-tut<br>(3218)   | rs2<br>(8216)<br>fppls<br>(5325)  | nnet<br>(DHT-S) | cv<br>(SB-F10)<br>lmf2<br>(CSSR)                  | lmf2<br>(CSSR)<br>mr<br>(SB-F10)<br>tnlp2<br>(SB-A10) | ccon<br>(AT4)                     |
| Tues | swp<br>(3317)                     | ccon-tut<br>(SB-C5)<br>tnlp2-tut<br>(SB-A10)                                  | com<br>(LT-B)<br>mr-tut<br>(SB-C5)   | ds<br>(3317)  | kri2<br>(AT4)   | isc<br>(SB-F10)                                   | mr<br>(SB-F10)  | atnlp<br>(SB-F10)<br>es2<br>(AT4) |
| Wed  | ln2a<br>(CSSR)                    | ln2a<br>(CSSR)<br>cafr<br>(3315)<br>cv-tut<br>(SB-C5)<br>kri2-tut<br>(SB-A10) | ccon-tut<br>(SB-C5)<br>kri2-tut<br>(SB-A10)  | cad<br>(3317)<br>ccon-tut<br>(SB-C5)<br>kri2-tut<br>(SB-A10)                  |                 | ind-sem<br>(AT4)                                  | ind-sem<br>(AT4)                                      | kri2<br>(AT2)                     |
| Thur | fppls<br>(3317)<br>ln2b<br>(CSSR) | ln2b<br>(CSSR)<br>db<br>(3218)<br>cl2<br>(CSSR)<br>lisp-tut<br>(SB-A10)       | cl2<br>(CSSR)<br>ds<br>(3317)<br>ip2<br>(8216)<br>cv-tut<br>(SB-A18)<br>es2-tut<br>(SB-C5)<br>lisp-tut<br>(SB-A10) | ip2<br>(8216)<br>gr<br>(6206)<br>atnlp-tut<br>(SB-C5)<br>lisp-tut<br>(SB-A10) | nnet<br>(DHT-N) | isc<br>(SB-F10)<br>si<br>(6206)<br>lfm2<br>(CSSR) | lfm2<br>(CSSR)<br>cv<br>(SB-F10)<br>tnlp2<br>(SB-A10) | lisp<br>(AT2)                     |
| Fri  | swp<br>(3317)<br>ln2a<br>(CSSR)   | ln2a<br>(CSSR)<br>cafr<br>(3315)<br>lisp-tut<br>(SB-A10)<br>mr-tut<br>(SB-C5) | com<br>(LT-A)<br>kri2-tut<br>(SB-C5)<br>lisp-tut<br>(SB-A10)   | cad<br>(3317)<br>ip2<br>(8216)<br>es2-tut<br>(SB-A10)<br>kri2-tut<br>(SB-C5)  |                 | lisp<br>(AT4)<br>rs2<br>(8216)                    | ccon<br>(AT4)   | atnlp<br>(SB-F10)<br>es2<br>(AT4) |

Πίνακας 5.10: Πραγματικό χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων που παράχθηκε από άνθρωπο για το 93/94-2

Σημειώνουμε ότι οι αριθμοί μέσα στις παρενθέσεις κάτω από το κάθε γεγονός στους πίνακες 5.7, 5.8, 5.9 και 5.10 αντιπροσωπεύουν την ονομασία της αίθουσας που διεξάγεται το γεγονός.

## 5.6.2 Συγκρίσεις

Πραγματοποιήθηκαν 15 πειράματα για το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων των ακαδημαϊκών ετών 92/93 και 93/94, με τη χρήση όλων των συνδυασμών των τριών διαφορετικών σχημάτων επιλογής και των πέντε διαφορετικών τελεστών μετάλλαξης. Σε όλα τα τρεξίματα χρησιμοποιείται αρχικό ποσοστό διασταύρωσης 0.8, που μειώνεται βαθμιαία έως το 0.6, και αρχικό ποσοστό μετάλλαξης 0.003 που αυξάνεται βαθμιαία έως το 0.02. Οι τελεστές μετάλλαξης που χρησιμοποιούνται είναι μετάλλαξη γόνων (genem), violation-directed mutation (VDM), stochastic violation-directed mutation (SVDM), event-freeing mutation (EFM) και stochastic event-freeing mutation (SEFM). Το μέγεθος του πληθυσμού είναι 50, το κατώφλι της rank-based επιλογής είναι 2.0 και τόσο το μέγεθος της tournament-based επιλογής όσο και το μήκος της spatial-oriented επιλογής είναι 5.

Η steady-state αναπαραγωγή χρησιμοποιήθηκε και κάθε δοκιμή τερματιζόταν όταν δεν υπήρχε καμία βελτίωση στο ικανότερο χρωμόσωμα που βρέθηκε στους 1000 υπολογισμούς, ή όταν έχουν πραγματοποιηθεί 10000 υπολογισμοί.

Κάθε ένας από τους πίνακες 5.11, 5.12, 5.13, 5.14 αποτελείται από τέσσερα μέρη. Το επάνω αριστερά μέρος αναγράφει τα βέλτιστα/χείριστα αποτελέσματα μετά από δοκιμή δέκα τρεξιμάτων για μία δεδομένη διαμόρφωση του προβλήματος. Για παράδειγμα, ο πίνακας 5.11 δείχνει ότι το βέλτιστο χρονοδιάγραμμα που βρέθηκε με τη χρήση rank-based επιλογής και stochastic event-freeing μετάλλαξης (SEFM) έχει ποινική ρήτρα μηδέν, εμφανίστηκε στις 4 από τις δέκα δοκιμές, και η χείριστη από τις δέκα RANK/SEFM δοκιμές είχε ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη ποινική ρήτρα 91. Στο επάνω δεξιά μέρος διακρίνεται ότι το γρηγορότερο από τα χρονοδιαγράμματα εμφανίστηκε με 1855 υπολογισμούς (οι αριθμοί σε αυτό το μέρος αναγράφονται μόνο όταν έχει βρεθεί ένα τέλειο χρονοδιάγραμμα). Στο κάτω αριστερά μισό του πίνακα παρατηρούμε ότι η



σταθερή απόκλιση της ποινικής ρήτρας αυτών των δέκα RANK/SEFM δοκιμών είναι 30.6. Τέλος, το κάτω δεξιά μέρος δείχνει ότι το μέσο αποτέλεσμα της ποινικής ρήτρας αυτών των δέκα δοκιμών ήταν 28.7, και ο μέσος όρος υπολογισμών που απαιτούνται για την εύρεση του βέλτιστου χρονοδιαγράμματος σε κάθε δοκιμή ήταν 3210.

Αρκετές παρατηρήσεις προκύπτουν από τα αποτελέσματα. Οι περισσότερες από τις χειρότερες λύσεις που παρήχθησαν από το γενετικό αλγόριθμο είναι καλύτερες από αυτές που παρήχθησαν από τα πραγματικά 'ανθρώπινα' χρονοδιαγράμματα. Είναι φανερό ότι τα αποτελέσματα εδώ κατά προσέγγιση συμπίπτουν με αυτά που βρέθηκαν στα πειράματα του χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων του 4.6. Με κριτήριο το πλήθος των δοκιμών υπό τις οποίες ένα τέλειο χρονοδιάγραμμα προκύπτει (παρά τα όλα προβλήματα), μπορούμε να διατάξουμε τους τελεστές ως εξής: SEFM(38), SVDM(30), VDM(23), EFM(21), genem(2). Γενικά, οι τέσσερις smart τελεστές μετάλλαξης μπορούν να παράγουν καλύτερες λύσεις στις βέλτιστες, χειρίστες και στις μέτριες λύσεις από ότι η gene μετάλλαξη. Όπως και πριν, η SEFM είναι εμφανώς καλύτερη από όλες τις υπόλοιπες επιλογές τελεστών μετάλλαξης τόσο όσον αφορά στην ταχύτητα όσο και στην ποιότητα των λύσεων. Για παράδειγμα, η SEFM/RANK παράγει καλύτερες λύσεις από την EFM/RANK στο πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού διαλέξεων/φροντιστηρίων του 93/93-2 σύμφωνα με το Student's t-test. Με ένα διάστημα εμπιστοσύνης 95%, αυτή η βελτίωση βρίσκεται μεταξύ 1.3 και 39.9 ποινικής ρήτρας. Επίσης, η RANK φαίνεται να είναι η καλύτερη όσον αφορά στο πλήθος των τέλειων χρονοδιαγραμμάτων που παράγονται, όμως η TOUR δείχνει ταχύτερη όσον αφορά στο μέσο πλήθος των υπολογισμών που απαιτούνται. Παρ' όλα αυτά είναι πολύ δύσκολο να κρίνουμε ποια μέθοδος είναι η βέλτιστη διότι το βέλτιστο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Εάν κρίνεται εξαιρετικά σημαντικό να βρούμε το βέλτιστο χρονοδιάγραμμα που είναι δυνατό, αλλά έχουμε στη διάθεσή μας αρκετό χρόνο, τότε ενδέχεται να προτιμήσουμε τη RANK από την TOUR διότι η RANK φαίνεται λίγο καλύτερη από την TOUR στην εύρεση του βέλτιστου, όμως φαίνεται να χρειάζεται περισσότερο χρόνο. Απ' την άλλη μεριά, αν χρειαζόμαστε πολύ γρήγορα άλλα και καλά αποτελέσματα, πιθανόν να προτιμήσουμε την TOUR. Στην πράξη, μία λογική στρατηγική θα ήταν να επιλέξουμε το καλύτερο αποτέλεσμα των 10 πρώτων τρεξιμάτων.

| 92/93-1      | <i>BEST (times) / WORST</i> |             |             | <i>LEAST EVALS for perfect timetable</i> |             |             |
|--------------|-----------------------------|-------------|-------------|--|-------------|-------------|
|              | <b>RANK</b>                 | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>RANK</b>                              | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>genem</b> | 1/213                       | 1/484       | 1/692       | -  | -           | -           |
| <b>VDM</b>   | 0(1)/97                     | 0(1)/94     | 32/125      | 5260                                     | 2663        | -           |
| <b>SVDM</b>  | 0(3)/93                     | 1/92        | 0(1)/90     | 2982                                     | -           | 2185        |
| <b>EFM</b>   | 1/92                        | 0(1)/66     | 1/365       | -  | 5370        | -           |
| <b>SEFM</b>  | 0(4)/91                     | 0(1)/42     | 0(2)/62     | 1855                                     | 1258        | 1130        |
|              | <i>STANDARD DEVIATION</i>   |             |             | <i>AVERAGE / EVALS</i>                   |             |             |
|              | <b>RANK</b>                 | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>RANK</b>                              | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>genem</b> | 76.6                        | 168.7       | 214.5       | 79.7/6447                                | 167.5/5646  | 200.3/5735  |
| <b>VDM</b>   | 38.9                        | 31.8        | 31.9        | 45.8/6091                                | 42.7/6283   | 63.0/7170   |
| <b>SVDM</b>  | 32.5                        | 32.3        | 25.6        | 22.2/4486                                | 49.0/4358   | 43.5/4236   |
| <b>EFM</b>   | 28.6                        | 22.7        | 105.9       | 44.2/5934                                | 36.7/6236   | 83.2/6316   |
| <b>SEFM</b>  | 30.6                        | 14.7        | 20.0        | 28.7/3210                                | 26.8/2946   | 20.9/2667   |

Πίνακας 5.11: Συγκρίσεις για το χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων με γενετικό αλγόριθμο του 92/93-1

| 92/93-2      | <i>BEST (times) / WORST</i> |             |             | <i>LEAST EVALS for perfect timetable</i> |             |             |
|--------------|-----------------------------|-------------|-------------|--|-------------|-------------|
|              | <b>RANK</b>                 | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>RANK</b>                              | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>genem</b> | 0(1)/152                    | 2/151       | 1/155       | 5260                                     | -           | -           |
| <b>VDM</b>   | 0(7)/95                     | 0(5)/96     | 0(1)/66     | 3738                                     | 3916        | 4317        |
| <b>SVDM</b>  | 0(8)/31                     | 0(5)/91     | 0(5)/60     | 2321                                     | 1925        | 1993        |
| <b>EFM</b>   | 0(7)/33                     | 0(3)/37     | 0(2)/65     | 1427                                     | 937         | 1421        |
| <b>SEFM</b>  | 0(6)/30                     | 0(4)/30     | 0(5)/33     | 1720                                     | 1086        | 898         |
|              | <i>STANDARD DEVIATION</i>   |             |             | <i>AVERAGE / EVALS</i>                   |             |             |
|              | <b>RANK</b>                 | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>RANK</b>                              | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>genem</b> | 49.2                        | 50.8        | 46.1        | 52.5/6210                                | 61.2/5343   | 49.9/6118   |
| <b>VDM</b>   | 30.6                        | 33.7        | 22.4        | 13.7/5587                                | 22.8/5220   | 21.1/5126   |
| <b>SVDM</b>  | 9.8                         | 29.3        | 21.0        | 3.2/3701                                 | 18.6/3478   | 12.4/3409   |
| <b>EFM</b>   | 15.9                        | 17.1        | 25.3        | 9.9/4034                                 | 20.0/5159   | 27.5/4271   |
| <b>SEFM</b>  | 9.3                         | 12.4        | 13.2        | 3.6/2414                                 | 6.6/2048    | 7.0/1771    |

Πίνακας 5.12: Συγκρίσεις για το χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων με γενετικό αλγόριθμο του 92/93-2

| 93/94-1      | <i>BEST (times) / WORST</i> |             |             | <i>LEAST EVALS for perfect timetable</i> |             |             |
|--------------|-----------------------------|-------------|-------------|--|-------------|-------------|
|              | <b>RANK</b>                 | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>RANK</b>                              | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>genem</b> | 33/304                      | 60/272      | 33/183      | -  | -           | -           |
| <b>VDM</b>   | 30/154                      | 73/215      | 32/156      | -  | -           | -           |
| <b>SVDM</b>  | 30/121                      | 30/94       | 0(2)/124    | -  | -           | 2473        |
| <b>EFM</b>   | 0(1)/211                    | 32/128      | 0(2)/186    | 2107                                     | -           | 4534        |
| <b>SEFM</b>  | 30/92                       | 0(1)/151    | 0(1)/122    | -  | 1505        | 1172        |
|              | <i>STANDARD DEVIATION</i>   |             |             | <i>AVERAGE / EVALS</i>                   |             |             |
|              | <b>RANK</b>                 | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>RANK</b>                              | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>genem</b> | 75.5                        | 64.1        | 47.3        | 139.9/7452                               | 107.2/6982  | 104.8/6724  |
| <b>VDM</b>   | 37.6                        | 44.0        | 43.5        | 87.5/9094                                | 122.0/7885  | 88.2/7345   |
| <b>SVDM</b>  | 28.3                        | 24.3        | 40.9        | 66.9/6411                                | 67.4/5018   | 60.9/4759   |
| <b>EFM</b>   | 68.0                        | 35.3        | 58.2        | 93.6/6272                                | 76.2/6884   | 87.0/6530   |
| <b>SEFM</b>  | 20.3                        | 41.2        | 32.0        | 60.7/3859                                | 63.4/3319   | 60.3/3129   |

Πίνακας 5.13: Συγκρίσεις για το χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων με γενετικό αλγόριθμο του 93/94-1

| 93/94-2      | <i>BEST (times) / WORST</i> |             |             | <i>LEAST EVALS for perfect timetable</i> |             |             |
|--------------|-----------------------------|-------------|-------------|--|-------------|-------------|
|              | <b>RANK</b>                 | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>RANK</b>                              | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>genem</b> | 2/120                       | 1/212       | 0(1)/124    | -  | -           | 4983        |
| <b>VDM</b>   | 0(4)/91                     | 0(2)/66     | 0(2)/91     | 3272                                     | 3458        | 1566        |
| <b>SVDM</b>  | 0(2)/91                     | 0(2)/61     | 0(2)/62     | 3235                                     | 3554        | 2923        |
| <b>EFM</b>   | 0(1)/65                     | 0(1)/69     | 0(3)/182    | 2308                                     | 2584        | 2824        |
| <b>SEFM</b>  | 0(4)/61                     | 0(6)/60     | 0(4)/91     | 1735                                     | 1015        | 1078        |
|              | <i>STANDARD DEVIATION</i>   |             |             | <i>AVERAGE / EVALS</i>                   |             |             |
|              | <b>RANK</b>                 | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> | <b>RANK</b>                              | <b>SPAT</b> | <b>TOUR</b> |
| <b>genem</b> | 42.1                        | 58.5        | 36.8        | 61.2/6567                                | 70.3/5819   | 58.3/5847   |
| <b>VDM</b>   | 30.4                        | 27.6        | 28.5        | 28.1/6192                                | 29.2/5527   | 32.2/5492   |
| <b>SVDM</b>  | 26.6                        | 20.4        | 24.6        | 33.3/4643                                | 31.0/4127   | 30.7/4003   |
| <b>EFM</b>   | 19.9                        | 27.7        | 59.0        | 38.8/6012                                | 36.2/5208   | 45.5/4464   |
| <b>SEFM</b>  | 21.1                        | 25.3        | 30.3        | 18.2/3032                                | 18.0/2082   | 27.3/2273   |

Πίνακας 5.14: Συγκρίσεις για το χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων με γενετικό αλγόριθμο του 93/94-2

Αναλυτικότερες πληροφορίες για τη βέλτιστη και τη χειρίστη ποιμή αυτών των πειραμάτων φαίνονται στους πίνακες 5.15, 5.16, 5.17 και 5.18. Για κάθε διαμόρφωση του προβλήματος με τη χρήση του γενετικού αλγόριθμου, αυτοί οι πίνακες δίνουν τη

βέλτιστη και τη χειρίστη τιμή των στοιχείων του  $V$ . Για ευκολία στη σύγκριση, κάθε πίνακας παρουσιάζει και το  $V$  του αντίστοιχου πραγματικού ‘ανθρώπινου’ χρονοδιαγράμματος. Οι πίνακες αυτοί δίνουν μια άποψη των διαφορών στην ποιότητα των χρονοδιαγραμμάτων ανάμεσα στις ‘ανθρώπινες’ προσπάθειες και τα αποτελέσματα του γενετικού αλγόριθμου. Η πιο εντυπωσιακή πτυχή είναι η ικανότητα του γενετικού αλγόριθμου να ελαχιστοποιεί επιτυχώς πέρα από κάποιες περιπτώσεις τα  $f$ , ενώ συγχρόνως χειρίζεται αποτελεσματικά όλους τους υπόλοιπους περιορισμούς, για παράδειγμα το μεσημεριανό, όταν κάθε ‘ανθρώπινο’ χρονοδιάγραμμα φαίνεται να είναι το αποτέλεσμα μιας παραίτησης σε αυτούς τους περιορισμούς λόγω της αντιμετώπισης μεγάλης δυσκολίας στο χειρισμό των υπολοίπων. Γενικότερα, τα αποτελέσματα υποστηρίζουν με θέρμη ότι ο γενετικός αλγόριθμος χειρίζεται αποτελεσματικά τα προβλήματα με πολλαπλούς περιορισμούς. Πιο συγκεκριμένα, όταν συνδυάστηκε με τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν στο τμήμα 4.6, είναι φανερό ότι το πλαίσιο εργασίας που παρουσιάστηκε εδώ παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες για χρήση σε αυθαίρετα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού.

Συνοπτικά, οι αλγόριθμοι και οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα μπορούν εύκολα να μετατραπούν για παρόμοια είδη προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού (για παράδειγμα χρονοπρογραμματισμός αθλητικών γεγονότων ή χρονοπρογραμματισμός συνεδρίων).

| 92/93-1<br>unit penalty | f<br>(1) | d <sub>4</sub><br>(1) | d <sub>5</sub><br>(5) | e<br>(10) | l<br>(30) | s <sub>d</sub><br>(30) | s <sub>i</sub><br>(300) | c<br>(500) | TOTAL<br>N/A |
|-------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|------------|--------------|
| actual                  | 65       | 2                     | 0                     | 14        | 4         | 4                      | 0                       | 0          | 447          |
| RANK(mean)              | 1.1      | 0.6                   | 0                     | 0         | 1.4       | 1.2                    | 0                       | 0          | 79.7         |
| RANK/VDM(mean)          | 2.8      | 1.0                   | 0                     | 0         | 1.4       | 0                      | 0                       | 0          | 45.8         |
| RANK/SVDM(mean)         | 0.6      | 0.6                   | 0                     | 0         | 0.7       | 0                      | 0                       | 0          | 22.2         |
| RANK/EFM(mean)          | 3.4      | 0.8                   | 0                     | 0.1       | 1.3       | 0                      | 0                       | 0          | 44.2         |
| RANK/SEFM(mean)         | 0.3      | 0.4                   | 0                     | 0.1       | 0.9       | 0                      | 0                       | 0          | 28.7         |
| SPAT(mean)              | 2.0      | 0.5                   | 0                     | 0         | 2.2       | 0.3                    | 0.3                     | 0          | 167.5        |
| SPAT/VDM(mean)          | 3.2      | 0.5                   | 0                     | 0         | 1.2       | 0.1                    | 0                       | 0          | 42.7         |
| SPAT/SVDM(mean)         | 0.7      | 0.3                   | 0                     | 0         | 1.6       | 0                      | 0                       | 0          | 49.0         |
| SPAT/EFM(mean)          | 2.1      | 0.6                   | 0                     | 0.1       | 1.1       | 0                      | 0                       | 0          | 36.7         |
| SPAT/SEFM(mean)         | 0.4      | 0.4                   | 0                     | 0.5       | 0.7       | 0                      | 0                       | 0          | 26.8         |
| TOUR(mean)              | 2.0      | 0.4                   | 0                     | 0         | 2.0       | 0.6                    | 0.4                     | 0          | 200.3        |
| TOUR/VDM(mean)          | 2.4      | 0.6                   | 0                     | 0         | 2.0       | 0                      | 0                       | 0          | 63.0         |
| TOUR/SVDM(mean)         | 1.2      | 0.3                   | 0                     | 0         | 1.4       | 0                      | 0                       | 0          | 43.5         |
| TOUR/EFM(mean)          | 3.8      | 0.4                   | 0                     | 0.1       | 1.6       | 0                      | 0.1                     | 0          | 83.2         |
| TOUR/SEFM(mean)         | 0.1      | 0.8                   | 0                     | 0.2       | 0.6       | 0                      | 0                       | 0          | 20.9         |
| RANK(best)              | 0        | 1                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 1            |
| RANK/VDM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| RANK/SVDM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| RANK/EFM(best)          | 0        | 1                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 1            |
| RANK/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| SPAT(best)              | 1        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 1            |
| SPAT/VDM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| SPAT/SVDM(best)         | 0        | 1                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 1            |
| SPAT/EFM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| SPAT/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR(best)              | 1        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 1            |
| TOUR/VDM(best)          | 2        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 32           |
| TOUR/SVDM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR/EFM(best)          | 1        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 1            |
| TOUR/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |

Πίνακας 5.15: Ποινικές ρήτρες για το χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων με γενετικό αλγόριθμο έναντι πραγματικού για το 92/93-1

| 92/93-2<br>unit penalty | f<br>(1) | d <sub>4</sub><br>(1) | d <sub>5</sub><br>(5) | e<br>(10) | l<br>(30) | s <sub>d</sub><br>(30) | s <sub>i</sub><br>(300) | c<br>(500) | TOTAL<br>N/A |
|-------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|------------|--------------|
| actual                  | 49       | 3                     | 1                     | 5         | 2         | 9                      | 1                       | 0          | 737          |
| RANK(mean)              | 0.6      | 0.9                   | 0                     | 0         | 1.1       | 0.6                    | 0                       | 0          | 52.5         |
| RANK/VDM(mean)          | 1.0      | 0.2                   | 0.1                   | 0         | 0.2       | 0.2                    | 0                       | 0          | 13.7         |
| RANK/SVDM(mean)         | 0        | 0.2                   | 0                     | 0         | 0.1       | 0                      | 0                       | 0          | 3.2          |
| RANK/EFM(mean)          | 0.4      | 0.5                   | 0                     | 0         | 0.3       | 0                      | 0                       | 0          | 9.9          |
| RANK/SEFM(mean)         | 0        | 0.6                   | 0                     | 0         | 0.1       | 0                      | 0                       | 0          | 3.6          |
| SPAT(mean)              | 0.5      | 0.7                   | 0                     | 0         | 1.4       | 0.6                    | 0                       | 0          | 61.2         |
| SPAT/VDM(mean)          | 0.9      | 0.9                   | 0                     | 0         | 0.7       | 0                      | 0                       | 0          | 22.8         |
| SPAT/SVDM(mean)         | 0.1      | 0.5                   | 0                     | 0         | 0.6       | 0                      | 0                       | 0          | 18.6         |
| SPAT/EFM(mean)          | 0.3      | 1.7                   | 0                     | 0         | 0.6       | 0                      | 0                       | 0          | 20.0         |
| SPAT/SEFM(mean)         | 0        | 0.6                   | 0                     | 0         | 0.2       | 0                      | 0                       | 0          | 6.6          |
| TOUR(mean)              | 0.7      | 1.2                   | 0                     | 0         | 0.8       | 0.8                    | 0                       | 0          | 49.9         |
| TOUR/VDM(mean)          | 1.3      | 1.8                   | 0                     | 0         | 0.6       | 0                      | 0                       | 0          | 21.1         |
| TOUR/SVDM(mean)         | 0.1      | 0.3                   | 0                     | 0         | 0.4       | 0                      | 0                       | 0          | 12.4         |
| TOUR/EFM(mean)          | 1.9      | 1.6                   | 0                     | 0         | 0.7       | 0.1                    | 0                       | 0          | 27.5         |
| TOUR/SEFM(mean)         | 0        | 1.0                   | 0                     | 0         | 0.2       | 0                      | 0                       | 0          | 7.0          |
| RANK(best)              | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| RANK/VDM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| RANK/SVDM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| RANK/EFM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| RANK/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| SPAT(best)              | 1        | 1                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 2            |
| SPAT/VDM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| SPAT/SVDM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| SPAT/EFM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| SPAT/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR(best)              | 0        | 1                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 1            |
| TOUR/VDM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR/SVDM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR/EFM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |

Πίνακας 5.16: Ποινικές ρήτρες για το χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων με γενετικό αλγόριθμο έναντι πραγματικού για το 92/93-2

| 93/94-1<br>unit penalty | f<br>(1) | d <sub>4</sub><br>(1) | d <sub>5</sub><br>(5) | e<br>(10) | l<br>(30) | s <sub>d</sub><br>(30) | s <sub>i</sub><br>(300) | c<br>(500) | TOTAL<br>N/A |
|-------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|------------|--------------|
| actual                  | 84       | 2                     | 0                     | 7         | 5         | 0                      | 0                       | 0          | 306          |
| RANK(mean)              | 1.7      | 0.2                   | 0                     | 0         | 2.2       | 2.2                    | 0                       | 0          | 133.9        |
| RANK/VDM(mean)          | 3.3      | 0.2                   | 0                     | 0         | 2.1       | 0.7                    | 0                       | 0          | 87.5         |
| RANK/SVDM(mean)         | 0.9      | 0                     | 0                     | 0         | 1.9       | 0.3                    | 0                       | 0          | 66.9         |
| RANK/EFM(mean)          | 3.4      | 0.2                   | 0                     | 0         | 2.3       | 0.7                    | 0                       | 0          | 93.6         |
| RANK/SEFM(mean)         | 0.5      | 0.2                   | 0                     | 0         | 1.9       | 0.1                    | 0                       | 0          | 60.7         |
| SPAT(mean)              | 1.5      | 0.7                   | 0                     | 0         | 2.5       | 1.0                    | 0                       | 0          | 107.2        |
| SPAT/VDM(mean)          | 3.9      | 1.1                   | 0                     | 0         | 2.9       | 1.0                    | 0                       | 0          | 122.0        |
| SPAT/SVDM(mean)         | 1.1      | 0.3                   | 0                     | 0         | 2.1       | 0.1                    | 0                       | 0          | 67.4         |
| SPAT/EFM(mean)          | 3.4      | 0.8                   | 0                     | 0         | 2.0       | 0.4                    | 0                       | 0          | 76.2         |
| SPAT/SEFM(mean)         | 0.3      | 0.1                   | 0                     | 0         | 1.6       | 0.5                    | 0                       | 0          | 63.4         |
| TOUR(mean)              | 2.2      | 0.6                   | 0                     | 0         | 2.2       | 1.2                    | 0                       | 0          | 104.8        |
| TOUR/VDM(mean)          | 3.6      | 0.6                   | 0                     | 0         | 2.2       | 0.6                    | 0                       | 0          | 88.2         |
| TOUR/SVDM(mean)         | 0.5      | 0.4                   | 0                     | 0         | 1.6       | 0.4                    | 0                       | 0          | 60.9         |
| TOUR/EFM(mean)          | 2.6      | 0.4                   | 0                     | 0         | 2.0       | 0.8                    | 0                       | 0          | 87.0         |
| TOUR/SEFM(mean)         | 0.3      | 0                     | 0                     | 0         | 1.8       | 0.2                    | 0                       | 0          | 60.3         |
| RANK(best)              | 3        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 33           |
| RANK/VDM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 30           |
| RANK/SVDM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 30           |
| RANK/EFM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| RANK/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 30           |
| SPAT(best)              | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 2                      | 0                       | 0          | 60           |
| SPAT/VDM(best)          | 13       | 0                     | 0                     | 0         | 2         | 0                      | 0                       | 0          | 73           |
| SPAT/SVDM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 30           |
| SPAT/EFM(best)          | 0        | 1                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 32           |
| SPAT/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR(best)              | 2        | 1                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 33           |
| TOUR/VDM(best)          | 2        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 32           |
| TOUR/SVDM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR/EFM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |

Πίνακας 5.17: Ποινικές ρήτρες για το χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων με γενετικό αλγόριθμο έναντι πραγματικού για το 93/94-1

| 93/94-1<br>unit penalty | f<br>(1) | d <sub>4</sub><br>(1) | d <sub>5</sub><br>(5) | e<br>(10) | l<br>(30) | s <sub>d</sub><br>(30) | s <sub>i</sub><br>(300) | c<br>(500) | TOTAL<br>N/A |
|-------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|------------|--------------|
| actual                  | 84       | 2                     | 0                     | 7         | 5         | 0                      | 0                       | 0          | 306          |
| RANK(mean)              | 1.7      | 0.2                   | 0                     | 0         | 2.2       | 2.2                    | 0                       | 0          | 133.9        |
| RANK/VDM(mean)          | 3.3      | 0.2                   | 0                     | 0         | 2.1       | 0.7                    | 0                       | 0          | 87.5         |
| RANK/SVDM(mean)         | 0.9      | 0                     | 0                     | 0         | 1.9       | 0.3                    | 0                       | 0          | 66.9         |
| RANK/EFM(mean)          | 3.4      | 0.2                   | 0                     | 0         | 2.3       | 0.7                    | 0                       | 0          | 93.6         |
| RANK/SEFM(mean)         | 0.5      | 0.2                   | 0                     | 0         | 1.9       | 0.1                    | 0                       | 0          | 60.7         |
| SPAT(mean)              | 1.5      | 0.7                   | 0                     | 0         | 2.5       | 1.0                    | 0                       | 0          | 107.2        |
| SPAT/VDM(mean)          | 3.9      | 1.1                   | 0                     | 0         | 2.9       | 1.0                    | 0                       | 0          | 122.0        |
| SPAT/SVDM(mean)         | 1.1      | 0.3                   | 0                     | 0         | 2.1       | 0.1                    | 0                       | 0          | 67.4         |
| SPAT/EFM(mean)          | 3.4      | 0.8                   | 0                     | 0         | 2.0       | 0.4                    | 0                       | 0          | 76.2         |
| SPAT/SEFM(mean)         | 0.3      | 0.1                   | 0                     | 0         | 1.6       | 0.5                    | 0                       | 0          | 63.4         |
| TOUR(mean)              | 2.2      | 0.6                   | 0                     | 0         | 2.2       | 1.2                    | 0                       | 0          | 104.8        |
| TOUR/VDM(mean)          | 3.6      | 0.6                   | 0                     | 0         | 2.2       | 0.6                    | 0                       | 0          | 88.2         |
| TOUR/SVDM(mean)         | 0.5      | 0.4                   | 0                     | 0         | 1.6       | 0.4                    | 0                       | 0          | 60.9         |
| TOUR/EFM(mean)          | 2.6      | 0.4                   | 0                     | 0         | 2.0       | 0.8                    | 0                       | 0          | 87.0         |
| TOUR/SEFM(mean)         | 0.3      | 0                     | 0                     | 0         | 1.8       | 0.2                    | 0                       | 0          | 60.3         |
| RANK(best)              | 3        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 33           |
| RANK/VDM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 30           |
| RANK/SVDM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 30           |
| RANK/EFM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| RANK/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 30           |
| SPAT(best)              | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 2                      | 0                       | 0          | 60           |
| SPAT/VDM(best)          | 13       | 0                     | 0                     | 0         | 2         | 0                      | 0                       | 0          | 73           |
| SPAT/SVDM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 30           |
| SPAT/EFM(best)          | 0        | 1                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 32           |
| SPAT/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR(best)              | 2        | 1                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 33           |
| TOUR/VDM(best)          | 2        | 0                     | 0                     | 0         | 1         | 0                      | 0                       | 0          | 32           |
| TOUR/SVDM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR/EFM(best)          | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |
| TOUR/SEFM(best)         | 0        | 0                     | 0                     | 0         | 0         | 0                      | 0                       | 0          | 0            |

Πίνακας 5.18: Ποινικές ρήτρες για το χρονοδιάγραμμα διαλέξεων/φροντιστηρίων με γενετικό αλγόριθμο έναντι πραγματικού για το 93/94-2



## 5.7 Συζητήσεις

Το πλαίσιο εργασίας του γενετικού αλγόριθμου για την επίλυση προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού που παρουσιάστηκε φαίνεται επιτυχές και χρήσιμο σε ένα πλήθος μέτριου μεγέθους πραγματικών προβλημάτων. Τα κλειδιά της επιτυχίας της προσέγγισης αυτής είναι η χρήση της άμεσης αντιπροσώπευσης του χρωμοσώματος, μαζί με την stochastic event-freeing μετάλλαξη, που εκμεταλλεύεται την αμεσότητα της αντιπροσώπευσης.

Υπάρχουν παρ' όλα αυτά σαφείς λόγοι για τους οποίους το συγκεκριμένο πλαίσιο εργασίας δεν μπορεί να επεκταθεί ικανοποιητικά για άλλα είδη προβλημάτων προγραμματισμού. Στον χρονοπρογραμματισμό, μας δίνεται σχεδόν πάντα (ειδικά στις διαλέξεις) ένα δεδομένο σύνολο από υποδοχείς χρόνου στους οποίους τοποθετούμε γεγονότα. Αυτό μας επιτρέπει να θέσουμε μια δεδομένη σειρά αλληλόμορφων γονιδίων για κάθε γενεά. Επίσης, κάθε μεμονωμένος περιορισμός ανάμεσα σε ένα ζεύγος γεγονότων, ή σε ένα γεγονός, τείνει να αποκλείσει μόνο ένα μικρό υποσύνολο των πιθανών ζευγαριών των αναθέσεων για εκείνα τα γεγονότα. Για παράδειγμα, εάν έχουμε 30 υποδοχείς χρόνου και υπάρχει ένας βασικός περιορισμός ανάμεσα στα γεγονότα  $e_1$  και  $e_2$  τότε αυτός ο περιορισμός αποκλείει μόνο 30 από τα 900 πιθανά ζευγάρια που ανατίθενται στα  $e_1$  και  $e_2$ . Στον προγραμματισμό εργασιών και σε άλλα είδη προγραμματισμού, η δομή του συνόλου  $V$  και η φύση των περιορισμών που εφαρμόζονται είναι σημαντικά διαφορετικά. Ο χρόνος διαχειρίζεται με συνεχή τρόπο, υπάρχουν περισσότεροι υποδοχείς χρόνου, το διάστημα ανάμεσα στους υποδοχείς είναι μικρότερο και δεν υπάρχει καθορισμένο πλήθος αυτών. Οι περιορισμοί είναι κυρίως ισχυρής προτεραιότητας από ότι βασικοί περιορισμοί, το οποίο περιορίζει αρκετά τον αριθμό των πιθανών αναθέσεων οποιουδήποτε ζευγαριού των γεγονότων περιορισμού. Για παράδειγμα, εάν έχουμε 30 υποδοχείς χρόνου και υπάρχει ένας περιορισμός το γεγονός  $e_1$  να πραγματοποιηθεί πριν το γεγονός  $e_2$  τότε αποκλείονται 465 από τα 900 πιθανά ζευγάρια που ανατίθενται στα  $e_1$  και  $e_2$ .



## **Κεφάλαιο 6**

### **Πειράματα με τη χρήση του λογισμικού FET**

Το FET (Free Timetabling Software), είναι ένα δωρεάν λογισμικό για τον σχεδιασμό χρονοδιαγραμμάτων, όπως για παράδειγμα σε ένα σχολείο ή ένα πανεπιστήμιο. Χρησιμοποιεί έναν γρήγορο και αποδοτικό αλγόριθμο προγραμματισμού που έχει ως βάση τους Γενετικούς Αλγόριθμους που περιγράψαμε παραπάνω. Το FET λύνει ένα περίπλοκο χρονοδιάγραμμα σε μέγιστο χρόνο 5 έως 20 λεπτά, ενώ για τα απλούστερα χρονοδιαγράμματα ενδέχεται να κάνει ελάχιστα δευτερόλεπτα. Τέλος για εξαιρετικά δύσκολα προβλήματα ο χρόνος επίλυσης μπορεί να είναι αρκετά μεγάλος, ίσως και μερικές ώρες.

#### **6.1 Περιγραφή του προβλήματος**

Με τη χρήση του FET θα σχεδιάσουμε ένα χρονοδιάγραμμα για το ωρολόγιο πρόγραμμα του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού του Πανεπιστημίου Πατρών "Μαθηματικά των Υπολογιστών και των Αποφάσεων" των τμημάτων Μαθηματικών και Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής.

## Προϋποθέσεις απόκτησης Μ.Δ.Ε.

Οι υποψήφιοι για απόκτηση Μ.Δ.Ε. έχουν υποχρέωση να παρακολουθήσουν και να εξεταστούν επιτυχώς σε δώδεκα (12) μαθήματα και να εκπονήσουν μια διπλωματική εργασία μέσα σε διάστημα δύο (2) ακαδημαϊκών ετών, τεσσάρων (4) δηλαδή εξαμήνων.

Τα μαθήματα τα οποία υποχρεούνται να παρακολουθήσουν οι φοιτητές χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

1. *Υποχρεωτικά μαθήματα κορμού.* Τα μαθήματα αυτά είναι επτά (7) και είναι κοινά για τους φοιτητές όλων των κατευθύνσεων.
2. *Υποχρεωτικά μαθήματα κατεύθυνσης.* Τα μαθήματα αυτά είναι τρία (3) σε κάθε κατεύθυνση και είναι υποχρεωτικά για τους φοιτητές αυτής της κατεύθυνσης.
3. *Μαθήματα ελεύθερης επιλογής.* Τα μαθήματα ελεύθερης επιλογής που υποχρεούται να παρακολουθήσει κάθε φοιτητής είναι δύο (2).

Οι φοιτητές, κατά το πρώτο ακαδημαϊκό εξάμηνο της φοίτησής τους, υποχρεούνται να παρακολουθήσουν μαθήματα μόνο της πρώτης κατηγορίας. Στη συνέχεια θα πρέπει, κατά το δυνατό, να παρακολουθήσουν τα υποχρεωτικά μαθήματα πριν από τα μαθήματα επιλογής. Ο μέγιστος αριθμός δηλούμενων μαθημάτων ανά ακαδημαϊκό εξάμηνο είναι ο αριθμός πέντε (5) και οι ώρες διδασκαλίας του κάθε μαθήματος είναι τρεις (3) εβδομαδιαίως.

## **ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ**

### **Υποχρεωτικά Μαθήματα Κορμού (ΥΚ)**

1. Θεωρία Αλγορίθμων Ι
2. Τεχνητή Νοημοσύνη
3. Στατιστική Ι
4. Επιχειρησιακή Έρευνα
5. Αριθμητική Ανάλυση
6. Θεωρία Αποφάσεων
7. Μελέτη Περιπτώσεων στην Λήψη Αποφάσεων

### **Υποχρεωτικά Μαθήματα Κατεύθυνσης Α (ΥΚΑ)**

1. Υπολογιστική Πολυπλοκότητα Ι
2. Ευφυή συστήματα αποφάσεων
3. Ανεύρεση γνώσης σε βάσεις δεδομένων (Data Mining in databases)

### **Υποχρεωτικά Μαθήματα Κατεύθυνσης Β (ΥΚΒ)**

1. Γραμμικά Μοντέλα
2. Στοχαστικές Διαδικασίες
3. Στατιστική ΙΙ

### **Υποχρεωτικά Μαθήματα Κατεύθυνσης Γ (ΥΚΓ)**

1. Υπολογιστική Γραμμική Άλγεβρα
2. Υπολογιστική Νοημοσύνη Ι
3. Εφαρμογές Υπολογιστικών Μαθηματικών (στην Οικονομία, τη Διοίκηση και τη Βιομηχανία)

### **Μαθήματα Ελεύθερης Επιλογής (ΕΕ)**

1. Εργαστήριο σε Θέματα Υπολογιστικής Νοημοσύνης
2. Διακριτά Μαθηματικά
3. Θεωρία Αξιοπιστίας
4. Αριθμητικές Μέθοδοι Βελτιστοποίησης
5. Οικονομική Ανάλυση
6. Εργαστήριο σε Θέματα Στατιστικής
7. Επιστημονικός Υπολογισμός
8. Ανάλυση Διαστημάτων

**ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΕΣ ΚΑΤΑ ΤΟ  
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2010-2011**

***Χειμερινό εξάμηνο***

**Υποχρεωτικά Μαθήματα Κορμού**

Θεωρία Αλγορίθμων  
Τεχνητή Νοημοσύνη  
Στατιστική I  
Αριθμητική Ανάλυση  
Θεωρία Αποφάσεων

Π. Αλεβίζος  
Ι. Χατζηλυγερούδης  
Κ. Πετρόπουλος  
Μ. Βραχάτης  
Σ. Λυκοθανάσης

**Υποχρεωτικά Μαθήματα Κατευθύνσεων**

Γραμμικά Μοντέλα (B)

Φ. Αλεβίζος

**Μαθήματα Ελεύθερης Επιλογής**

Διακριτά Μαθηματικά  
Αριθμητικές Μέθοδοι Βελτιστοποίησης  
Επιστημονικός Υπολογισμός  
Ανάλυση Διαστημάτων

Δ. Καββαδίας  
Κ. Παρσόπουλος  
Ε. Γαλλόπουλος  
Θ. Γράψα

***Εαρινό εξάμηνο***

**Υποχρεωτικά Μαθήματα Κορμού**

Επιχειρησιακή Έρευνα  
Μελέτη Περιπτώσεων στη Λήψη Αποφάσεων

Ν. Τσάντας  
(Σειρά Σεμιναρίων)

**Υποχρεωτικά Μαθήματα Κατευθύνσεων**

Υπολογιστική Πολυπλοκότητα I (A)  
Ευφυή Συστήματα Αποφάσεων (A)  
Ανέυρεση Γνώσης σε Βάσεις Δεδομένων (A)  
Στοχαστικές Διαδικασίες (B)  
Στατιστική II (B)  
Υπολογιστική Γραμμική Άλγεβρα (Γ)  
Υπολογιστική Νοημοσύνη I (Γ)  
Εφαρμογές Υπολογιστικών Μαθηματικών (Γ)

Δ. Καββαδίας  
Ι. Χατζηλυγερούδης  
Β. Μεγαλοοικονόμου  
Β. Παπακωσταντίνου  
Β. Πιπερίγκου  
Ε. Γαλλόπουλος  
Σ. Κοτσιαντής  
Ο. Ράγγος

**Μαθήματα Ελεύθερης Επιλογής**

Εργαστήριο σε Θέματα Υπολογιστικής Νοημοσύνης  
Θεωρία Αξιοπιστίας  
Οικονομική Ανάλυση  
Εργαστήριο σε Θέματα Στατιστικής

Μ. Βραχάτης  
Ε. Μακρή  
Ν. Ζαγούρας  
Β. Πιπερίγκου

Οι περιορισμοί του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού είναι οι εξής:

1. Κάθε μάθημα μπορεί να έχει ένα πλήθος 1-2 διαλέξεων την εβδομάδα, που πρέπει κάθε φοιτητής που επιλέγει αυτό το μάθημα να παρακολουθήσει. (εκτιμήσεις διάρκειας και περιορισμοί διασκορπισμού των γεγονότων)
2. Το μέγεθος της αίθουσας πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να χωράει το μέγιστο πλήθος φοιτητών που θέλουν να παρακολουθήσουν την εκάστοτε διάλεξη. (συνυπολογισμοί αίθουσας)
3. Σε μία αίθουσα μπορεί να πραγματοποιείται μόνο ένα μάθημα κάθε φορά. Γεννάται έτσι η ανάγκη ύπαρξης μίας λίστας πληροφορίας των αιθουσών. (εκτιμήσεις αίθουσας/ισχυροί περιορισμοί)
4. Για κάθε καθηγητή οφείλεται να προγραμματίζεται μόνο μία διάλεξη σε κάθε χρονική στιγμή. (ισχυρός περιορισμός)
5. Ορισμένοι διδάσκοντες επιθυμούν το γεγονός τους να προγραμματιστεί σε συγκεκριμένο υποδοχέα χρόνου ή συγκεκριμένη αίθουσα. (προκαθορισμένα γεγονότα)
6. Επειδή κάθε διάλεξη έχει πολλαπλές εμφανίσεις κάθε εβδομάδα και κάθε φοιτητής ενδέχεται να πρέπει να τις παρακολουθήσει όλες, χρειάζεται να τις προγραμματίσουμε να διεξάγονται σε διαφορετικές ημέρες ώστε να έχουν οι φοιτητές το χρόνο να προετοιμάσουν ή να αφομοιώσουν το μάθημα. (περιορισμοί διασκορπισμού γεγονότων)

Στο πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού είτε χειμερινού είτε εαρινού εξαμήνου υπάρχουν πέντε ημέρες σε κάθε εβδομάδα για διαλέξεις, κάθε ημέρα έχει δέκα υποδοχείς χρόνου και κάθε υποδοχέας χρόνου έχει διάρκεια μία ώρα. Δηλαδή οι διαλέξεις διεξάγονται από τις 9:00 το πρωί ως τις 19:00 το απόγευμα και το συνολικό πλήθος των υποδοχέων χρόνου από Δευτέρα μέχρι Παρασκευή είναι 50.

#### **Παραδοχές:**

- 1) περιοριστήκαμε στα 8 από τα 30 μαθήματα ελεύθερης επιλογής (διαλέγοντας μαθήματα επιλογής από διάφορους τομείς)

- 2) οι ώρες παρακολούθησης είναι 3 εβδομαδιαίως για κάθε μάθημα (μερικοί καθηγητές επιλέγουν να κάνουν τέσσερις ώρες)
- 3) οι είκοσι (20) φοιτητές που συμμετέχουν στο Διατμηματικό χωρίζονται στις τρεις κατευθύνσεις με τον εξής τρόπο: έξι (6) στην κατεύθυνση Α, οκτώ (8) στην κατεύθυνση Β και έξι (6) στην κατεύθυνση Γ
- 4) οι είκοσι (20) φοιτητές που συμμετέχουν στο Διατμηματικό χωρίζονται στα τέσσερα (4) μαθήματα ελεύθερης επιλογής με ομοιόμορφο τρόπο, πέντε (5) φοιτητές ανά μάθημα
- 5) μερικά από τα δεδομένα είναι τυχαία διότι δεν θα μπορούσαμε να γνωρίζουμε ορισμένες τόσο λεπτομερείς πληροφορίες (για παράδειγμα οι ώρες που κάποιος καθηγητής δεν μπορεί να συμμετέχει σε διδασκαλία)

### **6.1.1 Χρονοπρογραμματισμός Χειμερινού Εξαμήνου**

Στο χειμερινό εξάμηνο διατίθενται δέκα (10) μαθήματα προς παρακολούθηση από τα οποία τα πέντε (5) είναι υποχρεωτικά κορμού, ένα (1) υποχρεωτικό της κατεύθυνσης Β και τέσσερα (4) ελεύθερης επιλογής. Συμμετέχουν δέκα (10) διαφορετικοί καθηγητές στη διεξαγωγή αυτών των δέκα (10) μαθημάτων και οι φοιτητές που λαμβάνουν μέρος στο μεταπτυχιακό είναι είκοσι (20) στο πλήθος. Οι αίθουσες που διατίθενται είναι πέντε (5) στο σύνολο τέσσερις (4) από αυτές στο κτήριο του Μαθηματικού και μία (1) στο κτήριο των Μηχανικών Η/Υ. Οι αίθουσες που εδράζονται στο κτήριο του Μαθηματικού είναι οι Μ1, Μ2, Μ3 και η ΕΡΓ με μέγιστη χωρητικότητα 30, 30, 15, 20 αντίστοιχα. Η αίθουσα ΕΡΓ είναι εργαστήριο και η αίθουσα του κτηρίου των Μηχανικών Η/Υ είναι η Η1 με χωρητικότητα 30 ατόμων.

Οι περιορισμοί του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού του χειμερινού εξαμήνου είναι οι εξής:

- 1) Επιλέγουμε, εκτός από εξαιρέσεις, το τρίωρο της διδασκαλίας να χωρίζεται σε ένα δίωρο και σε ένα μονόωρο και οι διαλέξεις αυτές να διεξάγονται σε διαφορετικές ημέρες με κενό μίας τουλάχιστον ημέρας.
- 2) Επιλέγουμε οι διαλέξεις των υποχρεωτικών μαθημάτων κορμού Θεωρία Αλγορίθμων (Π.Αλεβίζος) και Στατιστική Ι (Κ. Πετρόπουλος) να γίνονται την ίδια

ημέρα σε συνεχόμενες ώρες, αφού πρέπει να τις παρακολουθήσουν όλοι οι φοιτητές.

- 3) Επίσης οι διαλέξεις του υποχρεωτικού μαθήματος κορμού Αριθμητική Ανάλυση (Μ. Βραχάτης) και του υποχρεωτικού της κατεύθυνσης Β, Γραμμικά Μοντέλα (Φ. Αλεβίζος) να γίνονται την ίδια ημέρα σε συνεχόμενες ώρες, για να διευκολύνουν τους φοιτητές της κατεύθυνσης Β αφού είναι υποχρεωτικά μαθήματα κορμού και κατεύθυνσης Β αντίστοιχα.
- 4) Οι διαλέξεις του υποχρεωτικού μαθήματος κορμού Τεχνητή Νοημοσύνη (Ι. Χατζηλυγερούδης) και του μαθήματος ελεύθερης επιλογής Επιστημονικός Υπολογισμός (Ε. Γαλλόπουλος) να γίνονται την ίδια ημέρα σε συνεχόμενες ώρες, προς ελαχιστοποίηση των αποστάσεων, μιας και πραγματοποιούνται στο ίδιο κτήριο (των Μηχανικών Η/Υ).
- 5) Η τρίωρη διάλεξη του υποχρεωτικού μαθήματος κορμού Θεωρία Αποφάσεων (Σ. Λυκοθανάσης) και η μονόωρη διάλεξη του υποχρεωτικού μαθήματος κορμού Τεχνητή Νοημοσύνη (Ι. Χατζηλυγερούδης) να γίνονται την ίδια ημέρα σε συνεχόμενες ώρες προς διευκόλυνση της διεξαγωγής των υποχρεωτικών μαθημάτων κορμού.
- 6) Οι διαλέξεις του υποχρεωτικού μαθήματος κορμού Αριθμητική Ανάλυση (Μ.Βραχάτης) πρέπει να γίνονται το πρωί της Τετάρτης και να είναι συνεχόμενο τρίωρο από τις 9:00 μέχρι τις 12:00.
- 7) Οι διαλέξεις του υποχρεωτικού μαθήματος κορμού Θεωρία Αποφάσεων (Σ. Λυκοθανάσης) πρέπει να γίνονται το πρωί της Τρίτης και να είναι συνεχόμενο τρίωρο από τις 9:00 μέχρι τις 12:00.
- 8) Η μονόωρη διάλεξη του υποχρεωτικού μαθήματος κορμού Θεωρία Αλγορίθμων (Π.Αλεβίζος) θέλουμε να ξεκινά στις 9:00 τη Δευτέρα.
- 9) Το μάθημα Θεωρία Αλγορίθμων προτιμάται να πραγματοποιείται στην αίθουσα Μ1 καθώς και το Στατιστική Ι μιας και είναι και συνεχόμενα.
- 10) Το μάθημα Αριθμητική Ανάλυση προτιμάται να πραγματοποιείται στην αίθουσα ΕΡΓ.
- 11) Το Γραμμικά Μοντέλα καθώς και το Ανάλυση Διαστημάτων προτιμάται να διεξάγονται στην αίθουσα Μ2



- 12) Το Τεχνητή Νοημοσύνη, το Επιστημονικός Υπολογισμός και το Θεωρία Αποφάσεων πρέπει να διεξάγονται στο κτήριο των Μηχανικών Η/Υ δηλαδή στην αίθουσα Η1, διότι οι διδάσκοντες αυτών είναι από το εν λόγω τμήμα.
- 13) Τέλος το Διακριτά Μαθηματικά και το Αριθμητικές Μέθοδοι Βελτιστοποίησης προτιμάται να διεξάγονται στην αίθουσα Μ3, αφού σαν ελεύθερης επιλογής ικανοποιούνται με τη χωρητικότητα 15 της αίθουσας αυτής.
- 14) Τα μαθήματα ελεύθερης επιλογής δεν πρέπει να επικαλύπτονται με τα υποχρεωτικά ώστε κάθε φοιτητής να έχει το δικαίωμα επιλογής οποιουδήποτε μαθήματος.
- 15) Οι ώρες που ο κάθε διδάσκων δεν είναι διαθέσιμος φαίνονται παρακάτω:

## **Π. Αλεβίζος**

Τρίτη 09:00; Τρίτη 10:00; Τετάρτη 11:00; Τετάρτη 12:00; Τετάρτη 18:00; Πέμπτη 18:00;  
Παρασκευή 09:00; Παρασκευή 10:00; Παρασκευή 17:00; Παρασκευή 18:00

## **Ι. Χατζηλυγερούδης**

Δευτέρα 13:00; Δευτέρα 14:00; Δευτέρα 15:00; Τρίτη 09:00; Τρίτη 10:00; Τετάρτη 13:00; Τετάρτη 14:00; Τετάρτη 15:00; Πέμπτη 09:00; Παρασκευή 15:00; Παρασκευή 16:00; Παρασκευή 17:00

## **Κ. Πετρόπουλος**

Παρασκευή 09:00; Παρασκευή 10:00; Παρασκευή 11:00; Παρασκευή 12:00; Παρασκευή 13:00; Παρασκευή 14:00; Παρασκευή 15:00; Παρασκευή 16:00; Παρασκευή 17:00;  
Παρασκευή 18:00

## **Μ. Βραχάτης**

Δευτέρα 09:00; Δευτέρα 10:00; Δευτέρα 11:00; Δευτέρα 12:00; Δευτέρα 13:00; Δευτέρα 14:00; Τρίτη 09:00; Τρίτη 10:00; Τρίτη 11:00; Τρίτη 12:00; Τρίτη 13:00; Τρίτη 14:00; Τρίτη 15:00; Τρίτη 16:00; Τρίτη 17:00; Τρίτη 18:00; Πέμπτη 09:00; Πέμπτη 10:00; Πέμπτη 11:00; Πέμπτη 12:00; Πέμπτη 13:00; Πέμπτη 14:00; Πέμπτη 15:00; Πέμπτη 16:00; Πέμπτη 17:00; Πέμπτη 18:00; Παρασκευή 15:00; Παρασκευή 16:00; Παρασκευή 17:00; Παρασκευή 18:00

## **Σ. Λυκοθανάσης**

Δευτέρα 09:00; Δευτέρα 10:00; Τετάρτη 09:00; Τετάρτη 10:00; Τετάρτη 11:00

#### **Φ. Αλεβίζος**

Δευτέρα 09:00; Δευτέρα 10:00; Δευτέρα 11:00; Δευτέρα 12:00; Δευτέρα 13:00; Δευτέρα 14:00; Δευτέρα 15:00; Δευτέρα 16:00; Δευτέρα 17:00; Δευτέρα 18:00

#### **Λ. Καββαδίας**

Δευτέρα 17:00; Δευτέρα 18:00; Τρίτη 15:00; Τρίτη 16:00; Τετάρτη 13:00; Τετάρτη 14:00; Πέμπτη 11:00; Πέμπτη 12:00; Παρασκευή 09:00; Παρασκευή 10:00; Παρασκευή 11:00; Παρασκευή 12:00; Παρασκευή 13:00; Παρασκευή 14:00

#### **Κ. Παρσόπουλος**

Δευτέρα 09:00; Δευτέρα 10:00; Παρασκευή 09:00; Παρασκευή 10:00

#### **Ε. Γαλλόπουλος**

Δευτέρα 13:00; Δευτέρα 14:00; Δευτέρα 15:00; Δευτέρα 16:00; Δευτέρα 17:00; Δευτέρα 18:00; Τρίτη 09:00; Τρίτη 10:00; Τρίτη 11:00; Τρίτη 18:00; Τετάρτη 09:00; Τετάρτη 10:00; Τετάρτη 11:00; Τετάρτη 12:00; Τετάρτη 16:00; Τετάρτη 17:00; Τετάρτη 18:00; Πέμπτη 09:00; Πέμπτη 11:00; Πέμπτη 13:00; Πέμπτη 14:00; Πέμπτη 16:00; Πέμπτη 17:00; Πέμπτη 18:00; Παρασκευή 09:00; Παρασκευή 13:00; Παρασκευή 14:00; Παρασκευή 15:00; Παρασκευή 16:00; Παρασκευή 17:00; Παρασκευή 18:00

#### **Θ. Γράψα**

Δευτέρα 09:00; Δευτέρα 10:00; Τρίτη 11:00; Τρίτη 12:00; Τετάρτη 13:00; Τετάρτη 14:00; Πέμπτη 15:00; Πέμπτη 16:00; Παρασκευή 17:00; Παρασκευή 18:00

Τα διαφορετικά χρονοδιαγράμματα που προκύπτουν από τα παραπάνω δεδομένα για την επίλυση του προβλήματος είναι αρκετά και η τοποθέτηση των γεγονότων στους υποδοχείς χρόνου ποικίλει. Όλα τα χρονοδιαγράμματα πληρούν τις προϋποθέσεις και ικανοποιούν τους περιορισμούς που έχουμε θέσει, όμως η επιλογή του βέλτιστου χρονοδιαγράμματος είναι λίγο υποκειμενική και έχει να κάνει με τις προτιμήσεις τόσο των διδασκόντων όσο και των φοιτητών, κάποια από τα οποία θα μπορούσαμε να έχουμε συμπεριλάβει στους περιορισμούς μας και να έχουμε καθοδηγήσει ακόμα περισσότερο το χρονοδιάγραμμά μας προς την καλύτερη λύση.

Το πρώτο χρονοδιάγραμμα που επιλέγουμε να παρουσιάσουμε είναι το παρακάτω. Παράχθηκε σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο και με μηδενική παραβίαση περιορισμών.

| Διατηρηματικό             |  |  |  |  |   |
|---------------------------|--|--|--|--|---|
| Χειμερινό Εξάμηνο 2010-11 |  |  |  |  |   |
|                           | Δευτέρα  | Τρίτη  | Τετάρτη  | Πέμπτη   | Παρασκευή                                       |
| 09:00                     | ΥΚ<br>Θεωρία Αλγορίθμων Ι<br>Π. Αλεβίζος<br>Μ1                       | ΥΚ<br>Θεωρία Αποφάσεων<br>Σ. Λυκοθανάσης<br>Η1             | ΥΚ<br>Αριθμητική Ανάλυση<br>Μ. Βραχάτης<br>ΕΡΓ                       | ---  | ---   |
| 10:00                     | ΥΚ<br>Στατιστική Ι<br>Κ. Πετρόπουλος<br>Μ1                           | ΥΚ<br>Θεωρία Αποφάσεων<br>Σ. Λυκοθανάσης<br>Η1             | ΥΚ<br>Αριθμητική Ανάλυση<br>Μ. Βραχάτης<br>ΕΡΓ                       | ΥΚ<br>Στατιστική Ι<br>Κ. Πετρόπουλος<br>Μ1                 | ---   |
| 11:00                     | ΥΚ<br>Στατιστική Ι<br>Κ. Πετρόπουλος<br>Μ1                           | ΥΚ<br>Θεωρία Αποφάσεων<br>Σ. Λυκοθανάσης<br>Η1             | ΥΚ<br>Αριθμητική Ανάλυση<br>Μ. Βραχάτης<br>ΕΡΓ                       | ΥΚ<br>Θεωρία Αλγορίθμων Ι<br>Π. Αλεβίζος<br>Μ1             | ---   |
| 12:00                     | ---  | ΥΚ<br>Τεχνητή Νοημοσύνη<br>Ι. Χατζηλυγερούδης<br>Η1        | ΥΚΒ<br>Γραμμικά Μοντέλα<br>Φ. Αλεβίζος<br>Μ2                         | ΥΚ<br>Θεωρία Αλγορίθμων Ι<br>Π. Αλεβίζος<br>Μ1             | ---   |
| 13:00                     | ---  | ΕΕ<br>Επιστημονικός<br>Υπολογισμός<br>Ε. Γαλλόπουλος<br>Η1 | ΥΚΒ<br>Γραμμικά Μοντέλα<br>Φ. Αλεβίζος<br>Μ2                         | ΥΚ<br>Τεχνητή Νοημοσύνη<br>Ι. Χατζηλυγερούδης<br>Η1        | ---   |
| 14:00                     | ---  | ΕΕ<br>Επιστημονικός<br>Υπολογισμός<br>Ε. Γαλλόπουλος<br>Η1 | ΕΕ<br>Αριθμητικές Μέθοδοι<br>Βελτιστοποίησης<br>Κ. Παρσόπουλος<br>Μ3 | ΥΚ<br>Τεχνητή Νοημοσύνη<br>Ι. Χατζηλυγερούδης<br>Η1        | ΥΚΒ<br>Γραμμικά<br>Μοντέλα<br>Φ. Αλεβίζος<br>Μ2 |
| 15:00                     | ΕΕ<br>Αριθμητικές Μέθοδοι<br>Βελτιστοποίησης<br>Κ. Παρσόπουλος<br>Μ3 | ---  | ΕΕ<br>Αριθμητικές Μέθοδοι<br>Βελτιστοποίησης<br>Κ. Παρσόπουλος<br>Μ3 | ΕΕ<br>Επιστημονικός<br>Υπολογισμός<br>Ε. Γαλλόπουλος<br>Η1 | ---   |
|                           |  |  |  |  | ΕΕ<br>Ανάλυση<br>Διαστημάτων<br>Θ. Γράβα<br>ΕΡΓ |

| Διατμηματικό              |  |       |   |        |  |
|---------------------------|--|-------|---|--------|--|
| Χειμερινό Εξάμηνο 2010-11 |  |       |   |        |  |
|                           | Δευτέρα                                      | Τρίτη | Τετάρτη   | Πέμπτη | Παρασκευή  |
| 16:00                     | EE<br>Ανάλυση Διαστημάτων<br>Θ. Γράψα<br>EPΓ | ---   | EE<br>Διακριτά Μαθηματικά<br>Δ. Καββαδίας<br>M3 | ---    | EE<br>Διακριτά<br>Μαθηματικά<br>Δ. Καββαδίας<br>M3 |
| 17:00                     | EE<br>Ανάλυση Διαστημάτων<br>Θ. Γράψα<br>EPΓ | ---   | ---   | ---    | EE<br>Διακριτά<br>Μαθηματικά<br>Δ. Καββαδίας<br>M3 |
| 18:00                     | ---  | ---   | ---   | ---    | ---  |

Θεωρούμε ότι πρόκειται για ένα λειτουργικό χρονοδιάγραμμα, σκεπτόμενοι ότι τα υποχρεωτικά μαθήματα κορμού θα πρέπει να διεξάγονται τις πρωινές ώρες ενώ τα ελεύθερης επιλογής μπορούν να μεταφερθούν το απόγευμα ίσως και με την προσθήκη ορισμένων κενών ανάμεσα στα υποχρεωτικά και τα ελεύθερης επιλογής.

Από τους κανονισμούς του Πανεπιστημίου οι φοιτητές οφείλουν να παρακολουθήσουν κατά το 1<sup>ο</sup> εξάμηνο μόνο υποχρεωτικά μαθήματα κορμού οπότε εξασφαλίζουμε την καταλληλότερη διεξαγωγή αυτών κατά προτεραιότητα. Έτσι φροντίζουμε τα υποχρεωτικά κορμού να γίνονται όσο είναι δυνατό σε πρωινές ώρες και να είναι συνεχόμενα, χωρίς όμως στο σύνολο τους οι ώρες παρακολούθησης να ξεπερνούν ένα λογικό όριο (π.χ. 5ώρες).

Αφήνουμε με τον τρόπο αυτό τα μαθήματα ελεύθερης επιλογής να διεξάγονται σε απογευματινές ώρες συνήθως με την προσθήκη ορισμένων κενών ώστε να προλάβουν οι φοιτητές να κάνουν ένα διάλειμμα και να πάρουν το μεσημεριανό τους γεύμα. Φυσικά όπως προκύπτει από τους κανονισμούς τα μαθήματα ελεύθερης επιλογής επιλέγονται κατά το 3<sup>ο</sup> εξάμηνο, όποτε για τους φοιτητές που έχουν διεκπεραιώσει τις υποχρεώσεις των υποχρεωτικών κορμού του 1<sup>ου</sup> εξαμήνου δε τίθεται κανένα ζήτημα, απλά επιλέγουν ένα ή δύο ελεύθερης επιλογής και προσέρχονται μονό για αυτά. Επομένως η τακτοποίηση των μαθημάτων ελεύθερης επιλογής είτε σε συνεχόμενες ώρες είτε με κενά

με τα υποχρεωτικά κορμού αφορά κυρίως όσους αναγκάζονται να επαναλάβουν την παρακολούθηση σε κάποιο από τα μαθήματα του κορμού.

Αν θα θέλαμε να αποφύγουμε τα πολλά κενά ανάμεσα στα μαθήματα και να εξασφαλίσουμε ένα πιο συγκεντρωμένο χρονοδιάγραμμα θα μπορούσε να χρησιμοποιήσουμε την επιλογή των μέγιστων κενών. Στο παρακάτω χρονοδιάγραμμα που παρουσιάζουμε επιλέξαμε η τιμή για το μέγιστο πλήθος κενών ανάμεσα σε όλα τα μαθήματα να είναι 1.

| Διατμηματικό              |  |  |   |  |  |
|---------------------------|--|--|---|--|--|
| Χειμερινό Εξάμηνο 2010-11 |  |  |   |  |  |
|                           | Δευτέρα  | Τρίτη  | Τετάρτη   | Πέμπτη   | Παρασκευή  |
| 09:00                     | ΥΚ<br>Θεωρία Αλγορίθμων Ι<br>Π. Αλεβίζος<br>Μ1                       | ΥΚ<br>Θεωρία Αποφάσεων<br>Σ. Λυκοθανάσης<br>Η1             | ΥΚ<br>Αριθμητική<br>Ανάλυση<br>Μ. Βραχάτης<br>ΕΡΓ | ---  | ΥΚ<br>Τεχνητή Νοημοσύνη<br>Ι. Χατζηλυγερούδης<br>Η1                  |
| 10:00                     | ΥΚ<br>Στατιστική Ι<br>Κ. Πετρόπουλος<br>Μ1                           | ΥΚ<br>Θεωρία Αποφάσεων<br>Σ. Λυκοθανάσης<br>Η1             | ΥΚ<br>Αριθμητική<br>Ανάλυση<br>Μ. Βραχάτης<br>ΕΡΓ | ---  | ΥΚ<br>Τεχνητή Νοημοσύνη<br>Ι. Χατζηλυγερούδης<br>Η1                  |
| 11:00                     | ΥΚ<br>Στατιστική Ι<br>Κ. Πετρόπουλος<br>Μ1                           | ΥΚ<br>Θεωρία Αποφάσεων<br>Σ. Λυκοθανάσης<br>Η1             | ΥΚ<br>Αριθμητική<br>Ανάλυση<br>Μ. Βραχάτης<br>ΕΡΓ | ---  | ΕΕ<br>Επιστημονικός<br>Υπολογισμός<br>Ε. Γαλλόπουλος<br>Η1           |
| 12:00                     | ΕΕ<br>Αριθμητικές Μέθοδοι<br>Βελτιστοποίησης<br>Κ. Παρσόπουλος<br>Μ3 | ΥΚ<br>Τεχνητή Νοημοσύνη<br>Ι. Χατζηλυγερούδης<br>Η1        | ΥΚΒ<br>Γραμμικά<br>Μοντέλα<br>Φ. Αλεβίζος<br>Μ2   | ΥΚ<br>Θεωρία<br>Αλγορίθμων Ι<br>Π. Αλεβίζος<br>Μ1  | ΥΚΒ<br>Γραμμικά Μοντέλα<br>Φ. Αλεβίζος<br>Μ2                         |
| 13:00                     | ΕΕ<br>Αριθμητικές Μέθοδοι<br>Βελτιστοποίησης<br>Κ. Παρσόπουλος<br>Μ3 | ΕΕ<br>Επιστημονικός<br>Υπολογισμός<br>Ε. Γαλλόπουλος<br>Η1 | ΥΚΒ<br>Γραμμικά<br>Μοντέλα<br>Φ. Αλεβίζος<br>Μ2   | ΥΚ<br>Θεωρία<br>Αλγορίθμων Ι<br>Π. Αλεβίζος<br>Μ1  | ΕΕ<br>Αριθμητικές Μέθοδοι<br>Βελτιστοποίησης<br>Κ. Παρσόπουλος<br>Μ3 |
| 14:00                     | ΕΕ<br>Διακριτά Μαθηματικά<br>Δ. Καββαδίας<br>Μ3                      | ΕΕ<br>Επιστημονικός<br>Υπολογισμός<br>Ε. Γαλλόπουλος<br>Η1 | ---   | ΥΚ<br>Στατιστική Ι<br>Κ. Πετρόπουλος<br>Μ1         | ΕΕ<br>Ανάλυση Διαστημάτων<br>Θ. Γράψα<br>ΕΡΓ                         |
| 15:00                     | ΕΕ<br>Διακριτά Μαθηματικά<br>Δ. Καββαδίας<br>Μ3                      | ΕΕ<br>Ανάλυση<br>Διαστημάτων<br>Θ. Γράψα<br>ΕΡΓ            | ---   | ΕΕ<br>Διακριτά<br>Μαθηματικά<br>Δ. Καββαδίας<br>Μ3 | ΕΕ<br>Ανάλυση Διαστημάτων<br>Θ. Γράψα<br>ΕΡΓ                         |
| 16:00                     | ---  | ---  | ---   | ---  | ---  |
| 17:00                     | ---  | ---  | ---   | ---  | ---  |
| 18:00                     | ---  | ---  | ---   | ---  | ---  |

Πάλι δίνουμε μια προτεραιότητα στα υποχρεωτικά κορμού και η διαφορά έγκειται στην τοποθέτηση των μαθημάτων ελεύθερης επιλογής χωρίς κενά με τα υποχρεωτικά.

Παρατηρούμε ότι τις τέσσερις από τις πέντε ημέρες τα μαθήματα τελειώνουν αρκετά νωρίς, στις 16:00 το απόγευμα. Ακόμα και με αυτόν τον τρόπο όμως, δημιουργούνται και πάλι κενά ανάμεσα στα μαθήματα, αν σκεφτούμε ότι ένας φοιτητής συνήθως δεν παρακολουθεί όλα τα μαθήματα επιλογής που είναι συνεχόμενα σε μία ημέρα.

Έτσι μία ακόμα προσέγγιση που θα προτείναμε είναι η παρακάτω, όπου παρεμβάλουμε όπου είναι δυνατό τα υποχρεωτικά μαθήματα κορμού ανάμεσα στα ελεύθερης επιλογής, με σκοπό κάθε φοιτητής να έχει συνεχόμενα με τα υποχρεωτικά κορμού τα ελεύθερης επιλογής που επιθυμεί και όχι τα ελεύθερης επιλογής να συσσωρεύονται στο τέλος της ημέρας.

| Διατμηματικό              |  |  |   |  |  |
|---------------------------|--|--|---|--|--|
| Χειμερινό Εξάμηνο 2010-11 |  |  |   |  |  |
|                           | Δευτέρα  | Τρίτη  | Τετάρτη   | Πέμπτη   | Παρασκευή  |
| 09:00                     | ΥΚ<br>Θεωρία Αλγορίθμων Ι<br>Π. Αλεβίζος<br>Μ1                       | ΥΚ<br>Θεωρία Αποφάσεων<br>Σ. Λυκοθανάσης<br>Η1             | ΥΚ<br>Αριθμητική<br>Ανάλυση<br>Μ. Βραχάτης<br>ΕΡΓ | ---  | ΕΕ<br>Ανάλυση<br>Διαστημάτων<br>Θ. Γράμα<br>ΕΡΓ            |
| 10:00                     | ΥΚ<br>Στατιστική Ι<br>Κ. Πετρόπουλος<br>Μ1                           | ΥΚ<br>Θεωρία Αποφάσεων<br>Σ. Λυκοθανάσης<br>Η1             | ΥΚ<br>Αριθμητική<br>Ανάλυση<br>Μ. Βραχάτης<br>ΕΡΓ | ---  | ΕΕ<br>Ανάλυση<br>Διαστημάτων<br>Θ. Γράμα<br>ΕΡΓ            |
| 11:00                     | ΥΚ<br>Στατιστική Ι<br>Κ. Πετρόπουλος<br>Μ1                           | ΥΚ<br>Θεωρία Αποφάσεων<br>Σ. Λυκοθανάσης<br>Η1             | ΥΚ<br>Αριθμητική<br>Ανάλυση<br>Μ. Βραχάτης<br>ΕΡΓ | ΕΕ<br>Αριθμητικές Μέθοδοι<br>Βελτιστοποίησης<br>Κ. Παρσόπουλος<br>Μ3 | ---  |
| 12:00                     | ΕΕ<br>Αριθμητικές Μέθοδοι<br>Βελτιστοποίησης<br>Κ. Παρσόπουλος<br>Μ3 | ΥΚ<br>Τεχνητή Νοημοσύνη<br>Ι. Χατζηλυγερούδης<br>Η1        | ΥΚΒ<br>Γραμμικά<br>Μοντέλα<br>Φ. Αλεβίζος<br>Μ2   | ΕΕ<br>Αριθμητικές Μέθοδοι<br>Βελτιστοποίησης<br>Κ. Παρσόπουλος<br>Μ3 | ΕΕ<br>Επιστημονικός<br>Υπολογισμός<br>Ε. Γαλλόπουλος<br>Η1 |
| 13:00                     | ΕΕ<br>Ανάλυση Διαστημάτων<br>Θ. Γράμα<br>ΕΡΓ                         | ΕΕ<br>Επιστημονικός<br>Υπολογισμός<br>Ε. Γαλλόπουλος<br>Η1 | ΥΚΒ<br>Γραμμικά<br>Μοντέλα<br>Φ. Αλεβίζος<br>Μ2   | ΥΚ<br>Στατιστική Ι<br>Κ. Πετρόπουλος<br>Μ1                           | ΥΚ<br>Τεχνητή Νοημοσύνη<br>Ι. Χατζηλυγερούδης<br>Η1        |
| 14:00                     | ΕΕ<br>Διακριτά Μαθηματικά<br>Δ. Καβαδιάς<br>Μ3                       | ΕΕ<br>Επιστημονικός<br>Υπολογισμός<br>Ε. Γαλλόπουλος<br>Η1 | ---   | ΥΚ<br>Θεωρία Αλγορίθμων Ι<br>Π. Αλεβίζος<br>Μ1                       | ΥΚ<br>Τεχνητή Νοημοσύνη<br>Ι. Χατζηλυγερούδης<br>Η1        |
| 15:00                     | ---  | ---  | ---   | ΥΚ<br>Θεωρία Αλγορίθμων Ι<br>Π. Αλεβίζος                             | ΥΚΒ<br>Γραμμικά Μοντέλα<br>Φ. Αλεβίζος                     |



| Διατμηματικό              |         |       |         |   |           |
|---------------------------|---------|-------|---------|---|-----------|
| Χειμερινό Εξάμηνο 2010-11 |         |       |         |   |           |
|                           | Δευτέρα | Τρίτη | Τετάρτη | Πέμπτη  | Παρασκευή |
|                           |         |       |         | M1  | M2        |
| 16:00                     | ---     | ---   | ---     | ΕΕ<br>Διακριτά Μαθηματικά<br>Δ. Καββαδίας<br>M3 | ---       |
| 17:00                     | ---     | ---   | ---     | ΕΕ<br>Διακριτά Μαθηματικά<br>Δ. Καββαδίας<br>M3 | ---       |
| 18:00                     | ---     | ---   | ---     | ---   | ---       |

Ένας ακόμη τρόπος για τον περιορισμό των κενών ανάμεσα στα μαθήματα θα ήταν να προγραμματίσουμε μαθήματα ελεύθερης επιλογής που γνωρίζουμε από την εμπειρία μας ότι ανήκουν σε διαφορετικές κατευθύνσεις ή ότι προτιμώνται από διαφορετική ομάδα φοιτητών να διεξάγονται την ίδια χρονική στιγμή. Γίνεται σαφές ότι η εκ των προτέρων γνώση των δηλωθέντων μαθημάτων διευκολύνει και τον προγραμματισμό της διεξαγωγής αυτών. Με άλλα λόγια, αν γνωρίζουμε ποιοι φοιτητές έχουν δηλώσει το κάθε μάθημα ελεύθερης επιλογής μπορούμε να επιτρέψουμε κάποια μαθήματα να γίνονται τις ίδιες ώρες ώστε να μην υπάρχουν κενά ανάμεσα στα υποχρεωτικά και τα επιλεγμένα ελεύθερης επιλογής.

### 6.1.2 Χρονοπρογραμματισμός Εαρινού Εξαμήνου

Στο εαρινό εξάμηνο διατίθενται δεκατέσσερα (14) μαθήματα προς παρακολούθηση από τα οποία τα δύο (2) είναι υποχρεωτικά κορμού, τρία (3) υποχρεωτικά της κατεύθυνσης Α, δύο (2) υποχρεωτικά της κατεύθυνσης Β, τρία (3) υποχρεωτικά της κατεύθυνσης Γ και τέσσερα (4) ελεύθερης επιλογής. Συμμετέχουν δώδεκα (12)

διαφορετικοί καθηγητές στη διεξαγωγή αυτών των δεκατεσσάρων (14) μαθημάτων και οι φοιτητές που λαμβάνουν μέρος στο μεταπτυχιακό είναι είκοσι (20) στο πλήθος. Οι αίθουσες που διατίθενται είναι πέντε (5) στο σύνολο τέσσερις (4) από αυτές στο κτήριο του Μαθηματικού και μία (1) στο κτήριο των Μηχανικών Η/Υ. Οι αίθουσες που εδράζονται στο κτήριο του Μαθηματικού είναι οι Μ1, Μ2, Μ3 και η ΕΡΓ. με μέγιστη χωρητικότητα 30, 30, 15, 20 αντίστοιχα. Η αίθουσα ΕΡΓ. είναι εργαστήριο και η αίθουσα του κτηρίου των Μηχανικών Η/Υ είναι η Η1 με χωρητικότητα 30 ατόμων.

Οι περιορισμοί του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού του εαρινού εξαμήνου είναι οι εξής:

1. Επιλέγουμε, εκτός από εξαιρέσεις, το τρίωρο της διδασκαλίας να χωρίζεται σε ένα δίωρο και σε ένα μονόωρο και οι διαλέξεις αυτές να διεξάγονται σε διαφορετικές ημέρες με κενό μίας τουλάχιστον ημέρας.
2. Επιλέγουμε οι διαλέξεις των υποχρεωτικών μαθημάτων κατεύθυνσης Α Ευφυή Συστήματα Αποφάσεων (Ι.Χατζηλυγερούδης) και Ανεύρεση Γνώσης σε Β.Δ. (Β. Μεγαλοοικονόμου) να γίνονται την ίδια ημέρα σε συνεχόμενες ώρες.
3. Επίσης οι διαλέξεις των υποχρεωτικών μαθημάτων κατεύθυνσης Β Στοχαστικές Διαδικασίες (Β.Παπακωνσταντίνου) και Στατιστική ΙΙ (Β. Πιπερίγκου) να γίνονται την ίδια ημέρα σε συνεχόμενες ώρες.
4. Οι διαλέξεις των υποχρεωτικών μαθημάτων κατεύθυνσης Γ Υπολογιστική Νοημοσύνη Ι (Σ. Κοτσιαντής) και Εφαρμογές Υπολογιστικών Μαθηματικών (Ο. Ράγγος) να γίνονται την ίδια ημέρα σε συνεχόμενες ώρες.
5. Οι διαλέξεις του υποχρεωτικού μαθήματος κορμού Μελέτη Περιπτώσεων στη Λήψη Αποφάσεων (Ν. Ζαγούρας) πρέπει να γίνονται το πρωί της Τρίτης και να είναι συνεχόμενο τρίωρο από τις 9:00 μέχρι τις 12:00.
6. Οι διαλέξεις του μαθήματος ελεύθερης επιλογής Εργαστήριο σε θέματα Υπολογιστικής Νοημοσύνης (Μ. Βραχάτης) πρέπει να γίνονται την Παρασκευή και να είναι συνεχόμενο τρίωρο από τις 12:00 μέχρι τις 15:00.
7. Η τρίωρη διάλεξη του Μελέτη Περιπτώσεων στη Λήψη Αποφάσεων (Ν. Ζαγούρας) και η μονόωρη διάλεξη του Επιχειρησιακή Έρευνα (Ν. Τσάντας) προτιμάται να γίνονται την ίδια ημέρα σε συνεχόμενες ώρες ως υποχρεωτικά μαθήματα κορμού.

8. Τα μαθήματα Επιχειρησιακή Έρευνα, Μελέτη Περιπτώσεων στη Λήψη Αποφάσεων και Υπολογιστική Πολυπλοκότητα I (Δ. Καββαδίας) προτιμάται να πραγματοποιούνται στην αίθουσα M1.
9. Τα μαθήματα Στοχαστικές Διαδικασίες, Στατιστική II, Θεωρία Αξιοπιστίας και Οικονομική Ανάλυση προτιμάται να πραγματοποιούνται στην αίθουσα M2.
10. Τα μαθήματα Υπολογιστική Νοημοσύνη I και Εφαρμογές Υπολογιστικών Μαθηματικών προτιμάται να πραγματοποιούνται στην αίθουσα M3.
11. Τα μαθήματα Ευφυή Συστήματα Αποφάσεων, Ανεύρεση Γνώσης σε Β.Δ. και Υπολογιστική Γραμμική Άλγεβρα προτιμάται να πραγματοποιούνται στην αίθουσα H1, διότι οι διδάσκοντες αυτών είναι από το εν λόγω τμήμα.
12. Τα μαθήματα Εργαστήριο σε Θέματα Υπολογιστικής Νοημοσύνης και το Εργαστήριο σε θέματα Στατιστικής προτιμάται να πραγματοποιούνται στην αίθουσα ΕΡΓ.
13. Τα μαθήματα ελεύθερης επιλογής δεν πρέπει να επικαλύπτονται με τα υποχρεωτικά ώστε κάθε φοιτητής να έχει το δικαίωμα επιλογής οποιουδήποτε μαθήματος.
14. Οι ώρες που ο κάθε διδάσκων δεν είναι διαθέσιμος φαίνονται παρακάτω:

#### **N. Τσάντας**

Δευτέρα 18:00; Τρίτη 15:00; Τρίτη 16:00; Πέμπτη 12:00; Πέμπτη 13:00;

Παρασκευή 18:00

#### **N. Ζαγούρας**

Δευτέρα 17:00; Δευτέρα 18:00; Παρασκευή 17:00; Παρασκευή 18:00

#### **Δ. Καββαδίας**

Δευτέρα 16:00; Δευτέρα 17:00; Δευτέρα 18:00; Πέμπτη 16:00; Πέμπτη 17:00; Πέμπτη 18:00

#### **I. Χατζηλυγερούδης**

Δευτέρα 12:00; Δευτέρα 13:00; Πέμπτη 16:00; Πέμπτη 17:00; Παρασκευή 09:00;

Παρασκευή 10:00

#### **B. Μεγαλοοικονόμου**

Τρίτη 13:00; Τρίτη 14:00; Πέμπτη 13:00; Πέμπτη 14:00

**B. Παπακωνσταντίνου**

Δευτέρα 17:00; Δευτέρα 18:00; Τρίτη 17:00; Τρίτη 18:00; Τετάρτη 17:00; Τετάρτη 18:00; Πέμπτη 17:00; Πέμπτη 18:00; Παρασκευή 17:00; Παρασκευή 18:00

**B.Πιπερίγκου**

Δευτέρα 09:00; Τρίτη 09:00; Τετάρτη 09:00; Πέμπτη 09:00; Παρασκευή 09:00

**E. Γαλλόπουλος**

Δευτέρα 09:00; Δευτέρα 10:00; Δευτέρα 14:00; Δευτέρα 15:00; Τετάρτη 09:00; Τετάρτη 10:00; Τετάρτη 17:00; Τετάρτη 18:00; Πέμπτη 09:00; Πέμπτη 10:00; Παρασκευή 14:00; Παρασκευή 15:00

**Σ. Κοτσιαντής**

Δευτέρα 17:00; Δευτέρα 18:00; Πέμπτη 09:00; Πέμπτη 10:00

**O. Ράγγος**

Δευτέρα 12:00; Δευτέρα 13:00; Πέμπτη 14:00; Πέμπτη 15:00; Παρασκευή 09:00; Παρασκευή 10:00

**M. Βραχάτης**

Δευτέρα 09:00; Δευτέρα 10:00; Δευτέρα 11:00; Δευτέρα 12:00; Δευτέρα 13:00; Δευτέρα 14:00; Δευτέρα 15:00; Δευτέρα 16:00; Δευτέρα 17:00; Δευτέρα 18:00; Τρίτη 09:00; Τρίτη 10:00; Τρίτη 11:00; Τρίτη 12:00; Τρίτη 13:00; Τρίτη 14:00; Τρίτη 15:00; Τρίτη 16:00; Τρίτη 17:00; Τρίτη 18:00; Πέμπτη 09:00; Πέμπτη 10:00; Πέμπτη 11:00; Πέμπτη 12:00; Πέμπτη 13:00; Πέμπτη 14:00; Πέμπτη 15:00; Πέμπτη 16:00; Πέμπτη 17:00; Πέμπτη 18:00;

**E. Μακρή**

Παρασκευή 17:00; Παρασκευή 18:00

Το χρονοδιάγραμμα που επιλέγουμε να παρουσιάσουμε είναι το κάτωθι. Έχει ενεργοποιημένη την επιλογή μέγιστου πλήθους κενών ανάμεσα σε όλα τα μαθήματα με τιμή 1 και παράχθηκε σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο χωρίς καμία παραβίαση περιορισμού.

| Διατμηματικό           |   |   |   |   |   |   |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Εαρινό Εξάμηνο 2010-11 |   |   |   |   |   |   |
|                        | Δευτέρα   |   | Τρίτη   | Τετάρτη   | Πέμπτη  | Παρασκευή   |
| 09:00                  | ΥΚΑ<br>Υπολογιστική<br>Πολυπλοκότητα I<br>Δ. Καββαδίας<br>M1              | ΥΚΓ<br>Υπολογιστική<br>Νοημοσύνη I<br>Σ. Κοτσιαντής<br>M3                 | ΥΚ<br>Μελέτη<br>Περιπτώσεων<br>στη<br>Λήψη<br>Αποφάσεων<br>N.<br>Ζαγούρας<br>M1 | ΥΚΒ<br>Στοχαστικές<br>Διαδικασίες<br>B.<br>Παπακωνσταντίνου<br>M2               | ΕΕ<br>Οικονομική Ανάλυση<br>N. Ζαγούρας<br>M2                               | ---   |
| 10:00                  | ΥΚΑ<br>Ευφυή Συστήματα<br>Αποφάσεων<br>I.<br>Χατζηλυγερούδης<br>H1        | ΥΚΓ<br>Εφαρμογές<br>Υπολογιστικών<br>Μαθηματικών<br>O. Ράγγος<br>M3       | ΥΚ<br>Μελέτη<br>Περιπτώσεων<br>στη<br>Λήψη<br>Αποφάσεων<br>N.<br>Ζαγούρας<br>M1 | ΥΚΒ<br>Στοχαστικές<br>Διαδικασίες<br>B.<br>Παπακωνσταντίνου<br>M2               | ΥΚ<br>Επιχειρησιακή Έρευνα<br>N. Τσάντας<br>M1                              | ΥΚΓ<br>Υπολογιστική<br>Γραμμική<br>Άλγεβρα<br>E.<br>Γαλλόπουλος<br>H1 |
| 11:00                  | ΥΚΑ<br>Ευφυή<br>Συστήματα<br>Αποφάσεων<br>I.<br>Χατζηλυγερού<br>δης<br>H1 | ΥΚΒ<br>Στατιστική II<br>B.<br>Πιπερίγκου<br>M2                            | ΥΚΓ<br>Εφαρμογές<br>Υπολογιστικών<br>Μαθηματικών<br>O. Ράγγος<br>M3             | ΥΚ<br>Μελέτη<br>Περιπτώσεων<br>στη<br>Λήψη<br>Αποφάσεων<br>N.<br>Ζαγούρας<br>M1 | ΥΚΒ<br>ΥΚΓ<br>Υπολογιστική<br>Γραμμική<br>Άλγεβρα<br>B.<br>Πιπερίγκου<br>M2 | ΥΚΓ<br>Επιχειρησιακή Έρευνα<br>N. Τσάντας<br>M1                       |
| 12:00                  | ΥΚΑ<br>Ανεύρεση Γνώσης σε<br>Βάσεις Δεδομένων<br>B. Μεγαλοοικονόμου<br>H1 | ΥΚΒ<br>Στατιστική II<br>B.<br>Πιπερίγκου<br>M2                            | ΥΚ<br>Επιχειρησιακή Έρευνα<br>N. Τσάντας<br>M1                                  | ΥΚΓ<br>Υπολογιστική<br>Γραμμική Άλγεβρα<br>E. Γαλλόπουλος<br>H1                 | ΥΚΑ<br>ΥΚΓ<br>Υπολογιστική<br>Πολυπλοκότητα I<br>Δ.<br>Καββαδίας<br>M1      | ΥΚΓ<br>Εφαρμογές<br>Υπολογιστικών<br>Μαθηματικών<br>O. Ράγγος<br>M3   |
| 13:00                  | ΥΚΒ<br>Στοχαστικές Διαδικασίες<br>B. Παπακωνσταντίνου<br>M2               | ΥΚΑ<br>Υπολογιστική<br>Πολυπλοκότητα I<br>Δ. Καββαδίας<br>M1              | ΥΚΓ<br>Υπολογιστική<br>Γραμμική Άλγεβρα<br>E. Γαλλόπουλος<br>H1                 | ΥΚΑ<br>Υπολογιστική<br>Πολυπλοκότητα I<br>Δ. Καββαδίας<br>M1                    | ΥΚΓ<br>Υπολογιστική<br>Νοημοσύνη I<br>Σ.<br>Κοτσιαντής<br>M3                | ΕΕ<br>Εργαστήριο<br>Υπολογιστικής<br>Νοημοσύνης<br>M. Βραχάτης<br>ΕΡΓ |
| 14:00                  | ΕΕ<br>Εργαστήριο Στατιστικής<br>B. Πιπερίγκου<br>ΕΡΓ                      | ΥΚΑ<br>Ανεύρεση Γνώσης σε<br>Βάσεις Δεδομένων<br>B. Μεγαλοοικονόμου<br>H1 | ΕΕ<br>Θεωρία<br>Αξιοπιστίας<br>E. Μακρή<br>M2                                   | ΥΚΑ<br>Ανεύρεση Γνώσης σε<br>Βάσεις Δεδομένων<br>B. Μεγαλοοικονόμου<br>H1       | ΥΚΓ<br>Υπολογιστική<br>Νοημοσύνη I<br>Σ.<br>Κοτσιαντής<br>M3                | ΕΕ<br>Εργαστήριο<br>Υπολογιστικής<br>Νοημοσύνης<br>M. Βραχάτης<br>ΕΡΓ |

| Διατμηματικό           |         |   |   |        |  |
|------------------------|---------|---|---|--------|--|
| Εαρινό Εξάμηνο 2010-11 |         |   |   |        |  |
|                        | Δευτέρα | Τρίτη   | Τετάρτη   | Πέμπτη | Παρασκευή  |
| 15:00                  | ---     | ΕΕ<br>Οικονομική<br>Ανάλυση<br>Ν.<br>Ζαγούρας<br>Μ2 | ΥΚΑ<br>Ανεύρεση Γνώσης σε<br>Βάσεις Δεδομένων<br>Β. Μεγαλοοικονόμου<br>Η1 | ---    | ΕΕ<br>Θεωρία<br>Αξιοπιστίας<br>Ε. Μακρή<br>Μ2              |
| 16:00                  | ---     | ΕΕ<br>Οικονομική<br>Ανάλυση<br>Ν.<br>Ζαγούρας<br>Μ2 | ---   | ---    | ---  |
| 17:00                  | ---     | ---   | ---   | ---    | ΕΕ<br>Εργαστήριο<br>Στατιστικής<br>Β.<br>Πιπερίγκου<br>ΕΡΓ |
| 18:00                  | ---     | ---   | ---   | ---    | ΕΕ<br>Εργαστήριο<br>Στατιστικής<br>Β.<br>Πιπερίγκου<br>ΕΡΓ |

Θεωρούμε ότι πρόκειται για ένα λειτουργικό χρονοδιάγραμμα και παρατηρούμε την προτεραιότητα που έχει δοθεί στα υποχρεωτικά μαθήματα κορμού και στα υποχρεωτικά των κατευθύνσεων, όσον αφορά στη διεξαγωγή τους κατά τις πρωινές ώρες ενώ τα ελεύθερης επιλογής προγραμματίζονται για τις απογευματινές ώρες. Εδώ τα πράγματα είναι λίγο πιο εύκολα μιας και οι φοιτητές χωρίζονται στις τρεις κατευθύνσεις και τα μαθήματα των διαφορετικών κατευθύνσεων επιτρέπεται να διεξάγονται ταυτόχρονα σε διαφορετικές φυσικά αίθουσες. Τα μαθήματα ελεύθερης επιλογής ακολουθούν τα υποχρεωτικά και συγκεντρώνουν φοιτητές από όλες τις κατευθύνσεις μετά την παρακολούθηση των αντίστοιχων υποχρεωτικών τους. Επίσης η επιλογή της διεξαγωγής των υποχρεωτικών μαθημάτων της εκάστοτε κατεύθυνσης σε συνεχόμενες ώρες καθώς και στις ίδιες αίθουσες είναι μια τακτική που διευκολύνει την επίλυση του προβλήματος μας.

Σε μερικές περιπτώσεις τα κενά που εμφανίζονται ανάμεσα στα μαθήματα είναι επιτρεπτά αφού από την εμπειρία μας γνωρίζουμε ότι οι ίδιοι φοιτητές δεν επιλέγουν τα συγκεκριμένα μαθήματα (για π.χ. ένας φοιτητής της Γ κατεύθυνσης που έχει υποχρεωτικό το Υπολογιστική Γραμμική Άλγεβρα συνήθως δεν επιλέγει Εργαστήριο Στατιστικής ή Θεωρία Αξιοπιστίας). Παρόλα αυτά θα μπορούσαν να εφαρμοστούν διαφορετικές προσεγγίσεις που να ικανοποιούν περισσότερο τους χρήστες καθώς και διόρθωση του χρονοδιαγράμματος στην περίπτωση επικάλυψης μαθημάτων. Φυσικά αν χρονοπρογραμματίζουμε με δεδομένα τα δηλωθέντα μαθήματα, η επίλυση του προβλήματος είναι ακόμα πιο ευνοϊκή και αποφεύγονται οι διορθώσεις.

Οι τακτικές που εφαρμόστηκαν στον χρονοπρογραμματισμό του χειμερινού εξαμήνου μπορούν να εφαρμοστούν και εδώ ώσπου να καταλήξουμε σε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Εμείς αρκούμαστε στο παραπάνω αποτέλεσμα και αφήνουμε στην ευχέρεια του κάθε χρήστη την επιλογή του καταλληλότερου χρονοδιαγράμματος.

## **Συμπεράσματα**

Από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι το FET είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο στην επίλυση του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού. Διαφαίνεται η δυναμική των γενετικών αλγορίθμων που το FET χρησιμοποιεί στην επίλυση ενός αρκετά πολύπλοκου προβλήματος που συχνά απαιτεί υπερβολική ανθρώπινη προσπάθεια. Ο χρόνος επίλυσης δε, είναι αξιοσημείωτα μικρός αν σκεφτούμε ότι όλα τα χρονοδιαγράμματα μας παράχθηκαν σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο.

Η επιτυχία του FET έγκειται και σε ένα ακόμη σημείο. Μας παρέχει πολλά διαφορετικά χρονοδιαγράμματα ανάμεσα από τα οποία μπορούμε να επιλέξουμε αυτό που ταιριάζει περισσότερο στις απαιτήσεις μας. Μπορούμε να συμβάλουμε ουσιαστικά στην τελειοποίηση μιας λύσης βασιζόμενοι στην εμπειρία των προηγούμενων ετών και σφυγμομετρώντας τις προτιμήσεις των χρηστών του χρονοδιαγράμματος αυτού. Ο μικρός χρόνος απόκρισης είναι σύμμαχος στην προσπάθεια αυτή, μιας και μπορούμε να κάνουμε μετατροπές, να λαμβάνουμε και να επεξεργαζόμαστε τα αποτελέσματα αυτών σε ελάχιστα δευτερόλεπτα.

Σε πιο δύσκολα προβλήματα, για παράδειγμα μη διαθεσιμότητα πολλών αιθουσών ή πάρα πολλές μη επιτρεπτές ώρες για τους διδάσκοντες, το τρέξιμο ενδέχεται να κρατήσει πολύ περισσότερο και να μη καταφέρνει να δώσει λύση. Αν έχουμε εξαντλήσει όλες τις εναλλακτικές και δε μπορούμε να συμβιβαστούμε σε κάτι διαφορετικό μπορούμε να το αφήσουμε να εξελιχθεί. Παρ' όλα αυτά, τα προβλήματα που διαχειριστήκαμε εδώ δεν οδήγησαν σε τέτοιες καταστάσεις και είχαν μηδενική παραβίαση των περιορισμών.

Καταλήγοντας διαπιστώνουμε ότι η επιλογή του βέλτιστου χρονοδιαγράμματος είναι μια περίπλοκη διαδικασία που προκύπτει από τη συμπερίληψη πολλαπλών παραγόντων. Ο ανθρώπινος παράγοντας σε καμία περίπτωση δεν αναιρείται άλλα είναι καθοριστικός, όμως η διαθεσιμότητα των λύσεων κάνει την επιλογή πιο εύκολη και πιο ποιοτική.



## Βιβλιογραφία

- [1] D. Abramson, “Constructing school timetables using simulated annealing: sequential and parallel algorithms”, *Management Science*, 37(1), January 1991, pp. 98-113
- [2] P. Adamidis and P. Arapakis, “Evolutionary Algorithms in Lecture Timetabling”, *Proceedings of the 1999 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC '99)*, IEEE, 1999, pp. 1145-1151
- [3] S.C. Brailsford, C.N. Potts and B.M. Smith, “Constraint Satisfaction Problems: Algorithms and Applications”, *European Journal of Operational Research*, vol 119, 1999, pp. 557-581
- [4] E. K. Burke and J. P. Newall, "A New Adaptive Heuristic Framework for Examination Timetabling Problems", University of Nottingham, Working Group on Automated Timetabling, TR-2002-1
- [5] M.W. Carter, “A Survey of Practical Applications of Examination Timetabling Algorithms”, *Operations Research* vol. 34, 1986, pp.193-202
- [6] M.W. Carter and G. Laporte, “Recent Developments in Practical Course Timetabling”, In: Burke, E., Carter, M. (Eds.), *The Practice and Theory of Automated Timetabling II: Selected Papers from the 2nd Int'l Conf. on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Springer Lecture Notes in Computer Science Series, Vol. 1408, 1998, pp. 3-19
- [7] Hsiao-Lan Fang, “Genetic Algorithms in Timetabling and Scheduling”, University of Edinburgh, 1994
- [8] A. Colomi, M. Dorigo, and V. Maniezzo. “Genetic algorithms – A new approach to the timetable problem”, In *Lecture Notes in Computer Science - NATO ASI Series*, Vol. F82, Combinatorial Optimization, (Akgul et al eds), Springer-Verlag, 1990, pp. 235-239
- [9] M.Garey & D. Johnson, “Computers and Intractability: a guide to the theory of NP-Completeness”, Freeman 1979
- [10] A. Hertz, “Tabu search for large scale timetabling problems”, *European journal of operations research*, vol. 54, 1991, pp. 39-47
- [11] Holland J.H., “Adaptation in natural and artificial system”, Ann Arbor, The University of Michigan Press, 1975
- [12] Marek Obitko, Tutorial to Genetic Algorithms, Czech Technical University (University of Applied Sciences), 1998

- [13] B. Paechter, A. Cumming, M.G.Norman, and H. Luchian, "Extensions to a memetic timetabling system", In E.K. Burke and P.M. Ross, eds., *Proceedings of the 1st International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, 1995
- [14] A. Schaerf, "A Survey of Automated Timetabling", *Artificial Intelligence Review*, vol 13 (2), 1999, 87-127
- [15] Arabinda Tripathy, "A lagrangian relaxation approach to course timetabling", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 31, 1980, pp. 599-603
- [16] G.M. White and P.W. Chan, "Towards the Construction of Optimal Examination Timetables", *INFOR 17*, 1979, p.p. 219-229
- [17] A. Wren, "Scheduling, Timetabling and Rostering – A Special Relationship?", in *The Practice and Theory of Automated Timetabling: Selected Papers from the 1st Int'l Conf. on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Burke, E., Ross, P. (Eds.) Springer Lecture Notes in Computer Science Series, Vol. 1153, 1996, pp. 46-75

