

# Συστήματα Επιχειρηματικής Ευφυΐας

**Ενδεικτική επίλυση του προβλήματος school timetabling με PSO**

# Έκτη Διάλεξη - Περιεχόμενα (1)

- Συνοπτική παρουσίαση του προβλήματος school timetabling
  - ❑ Ορισμός του προβλήματος
  - ❑ Συνδιδασκαλίες
  - ❑ Διαθεσιμότητα
  - ❑ Πολυπλοκότητα
  - ❑ Οι μεταβλητές και οντότητες του προβλήματος
- Παρουσίαση της Ελληνικής εκδοχής
  - ❑ Σύντομη αναφορά στην εκδοχή
  - ❑ Οι ανελαστικοί περιορισμοί
  - ❑ Οι ελαστικοί περιορισμοί
  - ❑ Αρχεία δεδομένων της ελληνικής πραγματικότητας

## Έκτη Διάλεξη - Περιεχόμενα (2)

- Η εφαρμογή του PSO στο συγκεκριμένο πρόβλημα
  - ❑ Στοιχεία του κλασικού PSO για συνεχή χώρο
  - ❑ Η αναπαράσταση των λύσεων (κωδικοποίηση particles)
  - ❑ Η εγγενής δυσκολία εφαρμογής
  - ❑ Μια διαφορετική προσέγγιση που επιτρέπει την κίνηση των particles
- Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου
  - ❑ Τα βάρη των περιορισμών και η συνάρτηση αποτίμησης (fitness function)
  - ❑ Οι βασικές λειτουργίες του αλγορίθμου
  - ❑ Η ανεξαρτησία των ελαστικών περιορισμών και ο υβριδισμός του αλγορίθμου
  - ❑ Ο ψευδό-κώδικας (pseudo code) του προτεινόμενου αλγορίθμου

# Συνοπτική παρουσίαση του προβλήματος school timetabling (1)

- ▶ **Ορισμός του προβλήματος:** Στην πιο απλή του μορφή περιλαμβάνει τον προγραμματισμό ενός συνόλου από ζεύγη  $(t, c)$ , όπου  $t \in T$  και  $c \in C$  ( $T$ : το σύνολο των καθηγητών,  $C$ : το σύνολο των τάξεων) με τέτοιο τρόπο ώστε κανένας καθηγητής  $t$  και καμία τάξη  $c$  δεν αντιστοιχεί σε περισσότερα από ένα μάθημα σε συγκεκριμένη ώρα.
- ▶ **Συνδιδασκαλίες:** Πρόκειται για την περίπτωση ανάθεσης δύο καθηγητών στην ίδια τάξη την ίδια ώρα ή την περίπτωση ταυτόχρονης διδασκαλίας σε δύο ή περισσότερες τάξεις από δύο ή περισσότερους συγκεκριμένους καθηγητές.

# Συνοπτική παρουσίαση του προβλήματος school timetabling (2)

- ▶ **Διαθεσιμότητα:** αφορά κάποιον (ή κάποιους) καθηγητή (καθηγητές) που δεν είναι διαθέσιμος για διδασκαλία σε όλες τις ώρες των ημερών της εβδομάδας.
- ▶ **Πολυπλοκότητα:** στην περίπτωση που πρέπει να αντιμετωπιστούν συνδιδασκαλίες ή/και η διαθεσιμότητα των καθηγητών, το πρόβλημα είναι πολύ δύσκολο να αντιμετωπιστεί, καθώς η υπολογιστική του πολυπλοκότητα αυξάνει εκθετικά ή παραγοντικά σε σχέση με την αύξηση του μεγέθους του (π.χ. αύξηση του αριθμού των καθηγητών ή των τάξεων, ή ακόμη αύξηση των συνδιδασκαλιών και των ωρών μη διαθεσιμότητας).

# Συνοπτική παρουσίαση του προβλήματος school timetabling (3)

- ▶ Οι μεταβλητές και οντότητες του προβλήματος:
- ❑ *DaysNo*: το μέγιστο πλήθος ημερών διδασκαλίας.
- ❑ *Days\_Set*: το σύνολο των ημερών διδασκαλίας.
- ❑ *HoursNo*: το μέγιστο πλήθος των ωρών διδασκαλίας σε κάθε ημέρα.
- ❑ *Hours\_Set*: το σύνολο των ωρών διδασκαλίας.
- ❑ *LessonsNo*: το μέγιστο πλήθος μαθημάτων που διδάσκονται στο σχολείο.
- ❑ *Lessons\_Set*: το σύνολο των μαθημάτων.
- ❑ *ClassesNo*: το πλήθος των τάξεων του σχολείου.

# Συνοπτική παρουσίαση του προβλήματος school timetabling (4)

- ❑ *Classes\_Set*: το σύνολο των τάξεων.
- ❑ *TeachersNo*: το πλήθος των καθηγητών του σχολείου.
- ❑ *Teachers\_Set*: το σύνολο των καθηγητών.
- ❑ *Co-teaching\_Hours\_Set*: το σύνολο των διατεταγμένων εξάδων (T1, T2, C1, C2, h, s) που αναφέρεται στις συνδιδασκαλίες. T1 και T2 είναι οι καθηγητές που συν-διδάσκουν στις τάξεις C1, C2 για h ώρες το μάθημα s.
- ❑ *Unavailability\_HoursNo\_i*: το πλήθος των ωρών μη διαθεσιμότητας του καθηγητή i.
- ❑ *Unav\_Hours\_Set\_i*: το σύνολο των ωρών μη διαθεσιμότητας του καθηγητή i.

# Παρουσίαση της Ελληνικής εκδοχής (1)

## ► Σύντομη αναφορά στην εκδοχή:

- ❑ Βασίζεται σε 10 αρχεία εισόδου από πραγματικές καταστάσεις.
- ❑ Περιλαμβάνει περιπτώσεις μη διαθεσιμότητας και συνδιδασκαλίες.
- ❑ Έχει ανελαστικούς περιορισμούς και ελαστικούς περιορισμούς.
- ❑ Έχουν γίνει αρκετές δημοσιεύσεις που αφορούν στην εκδοχή, τόσο από Έλληνες όσο και ξένους ερευνητές.



## Παρουσίαση της Ελληνικής εκδοχής (2)

► Οι ανελαστικοί περιορισμοί

### Ανελαστικοί περιορισμοί τάξεων

- ❑ **Συγκρούσεις τάξεων:** σε κάθε τάξη διδάσκεται το πολύ ένα μάθημα σε δεδομένη διδακτική ώρα. Επίσης, σε κάθε τάξη διδάσκει το πολύ ένας καθηγητής σε δεδομένη διδακτική ώρα, με την εξαίρεση των περιπτώσεων συνδιδασκαλίας.
- ❑ **Αδρανείς ώρες τάξεων:** οι αδρανείς ώρες μιας τάξης, δηλαδή ώρες κατά τις οποίες η τάξη δεν έχει μάθημα, οφείλουν να βρίσκονται στο τέλος του ημερήσιου ωραρίου διδασκαλίας.

## Παρουσίαση της Ελληνικής εκδοχής (3)

### ανελαστικοί περιορισμοί των καθηγητών

- ❑ **Συγκρούσεις καθηγητών:** κάθε καθηγητής, σε δεδομένη διδακτική ώρα, διδάσκει το πολύ σε μια τάξη.
- ❑ **Διαθεσιμότητα καθηγητών:** κάθε καθηγητής πρέπει να ανατίθεται σε διδακτικές ώρες κατά τις οποίες είναι διαθέσιμος στο σχολείο.
- ❑ **Ανάθεση καθηγητή - τάξης - μαθήματος:** ο αριθμός των ωρών και των μαθημάτων που ανατίθενται σε κάθε καθηγητή για διδασκαλία σε κάθε τάξη είναι σταθερός και προκαθορίζεται από τα δεδομένα εισόδου.

## Παρουσίαση της Ελληνικής εκδοχής (4)

### ανελαστικοί περιορισμοί που αφορούν στις συνδιδασκαλίες

- Αν δύο καθηγητές πρέπει να διδάξουν ταυτόχρονα στην ίδια τάξη, τότε πρέπει να ανατεθούν σε αυτήν την τάξη και οι δύο κατά την διάρκεια των διδακτικών ωρών της συνδιδασκαλίας.
- Αν δύο καθηγητές πρέπει να διδάξουν σε δύο διαφορετικές τάξεις ταυτόχρονα, τότε οι διδασκαλίες του ενός στην μια τάξη πρέπει να λαμβάνουν χώρα στις ίδιες διδακτικές ώρες που πραγματοποιούνται οι διδασκαλίες του άλλου καθηγητή στην άλλη τάξη.

## Παρουσίαση της Ελληνικής εκδοχής (5)

### ► Ελαστικοί περιορισμοί

- ❑ **Κατανομή μαθημάτων:** κάθε μάθημα πρέπει να διδάσκεται το πολύ μια φορά σε μια τάξη κατά την διάρκεια μιας ημέρας.
- ❑ **Κατανομή ωραρίου καθηγητών:** κάθε καθηγητής πρέπει να έχει ισορροπημένη κατανομή του ωραρίου του (διδασκαλιών) στις ημέρες που είναι διαθέσιμος.
- ❑ **Αδρανείς ώρες καθηγητών:** κάθε καθηγητής πρέπει να έχει συμπαγές πρόγραμμα διδασκαλιών σε κάθε ημέρα, δηλαδή να μην έχει ώρα αδράνειας μεταξύ δύο διαδοχικών ωρών διδασκαλίας.

# Αρχεία δεδομένων της ελληνικής πραγματικότητας (1)

A/A	Αριθμός καθηγητών	Αριθμός τάξεων	Αριθμός διδακτικών ωρών	Αριθμός καθηγητών εμπλεκόμενων σε συνδιδασκαλίες	Αριθμός συνδιδασκαλιών	Αριθμός καθηγητών με μη διαθεσιμότητα	Αριθμός ωρών μη διαθεσιμότητας
1	34	11	385	9	36	12	224
2	35	11	385	17	67	11	133
3	19	6	210	0	0	8	133
4	19	7	245	6	31	6	98
5	18	6	184	0	0	10	161
7	35	13	455	17	70	6	91
8	11	5	150	0	0	0	0
9	15	6	202	0	0	7	98
10	17	7	210	0	0	0	0
11	21	9	306	0	0	0	0

Πίνακας: Χαρακτηριστικά στοιχεία των 10 αρχείων δεδομένων

## Αρχεία δεδομένων της ελληνικής πραγματικότητας (2)

- ▶ 7 από τα 10 συνολικά περιέχουν το χαρακτηριστικό της μη διαθεσιμότητας καθηγητών, ενώ 4 από τα 6 συνολικά του συνόλου δεδομένων *Beligiannis data set (1 έως 7)* έχουν ταυτόχρονα και το χαρακτηριστικό της μη διαθεσιμότητας καθηγητών και το χαρακτηριστικό των συνδιδασκαλιών.
- ▶ τα αρχεία με τον μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας είναι τα 7, 1, 2 και 4, ενώ τα αρχεία με τον μικρότερο βαθμό δυσκολίας είναι τα 5 και 8.
- ▶ Το πρόβλημα που δηλώνουν τα 10 αρχεία **δεν** επιλύεται με ευθεία εφαρμογή Μεικτού Ακέραιου Προγραμματισμού (ακριβής μέθοδος).

# Η εφαρμογή του PSO στο συγκεκριμένο πρόβλημα (1)

## ► Στοιχεία του κλασικού PSO για συνεχή χώρο

- Εξίσωση ενημέρωσης διανύσματος ταχύτητας:

$$V_k^{t+1} = V_k^t + c1 * rand() * (global\_best^t - X_k^t) + c2 * rand() * (personal\_best_k - X_k^t)$$

- Όπου  $k$  είναι ο κωδικός του particle,
- $t$  είναι ο αριθμός της γενεάς,
- **global\_best** είναι η καλύτερη λύση που έχει βρεθεί από το σύνολο των particles,
- **personal\_best\_k** είναι η καλύτερη λύση που έχει βρει το  $k$  particle,
- **c1** και **c2** πραγματικοί αριθμοί με (συνήθως)  $c1 + c2 \leq 4$ , και
- **rand()** τυχαία ομοιόμορφα επιλεγμένο αριθμό στο διάστημα  $[0, 1]$ .

## Η εφαρμογή του PSO στο συγκεκριμένο πρόβλημα (2)

- Η κίνηση του particle  $X$  με κωδικό  $k$  επιτυγχάνεται με αλλαγή της τιμής των συντεταγμένων του και μάλιστα μέσω της σχέσης:

$$X_k^{t+1} = X_k^t + V_k^{t+1}$$



## Η εφαρμογή του PSO στο συγκεκριμένο πρόβλημα (3)

- ▶ Η αναπαράσταση των λύσεων (κωδικοποίηση particles)

Class	Timeslot 1	Timeslot 2	...	Timeslot 35
1	teacher	teacher		teacher
2	teacher	teacher		teacher
3				
...				
m				

Κωδικοποίηση particle: Αν teacher = -1, τότε υπάρχει κενό.

# Η εφαρμογή του PSO στο συγκεκριμένο πρόβλημα (4)

## ► Η εγγενής δυσκολία εφαρμογής

- ❑ Αν επιχειρήσουμε να παράξουμε τον πίνακα της ταχύτητας, κατ' αντιστοιχία του διανύσματος της ταχύτητας του PSO για συνεχή χώρο, τότε τα στοιχεία του πίνακα, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, δεν θα είναι ακέραιοι, αλλά πραγματικοί αριθμοί.
- ❑ Προσθέτοντας τον πίνακα της ταχύτητας στον πίνακα που αναπαριστά το particle, η πρόσθεση θα έχει ως αποτέλεσμα τα στοιχεία του πίνακα του particle να μην είναι ακέραιοι αλλά πραγματικοί αριθμοί.

## Η εφαρμογή του PSO στο συγκεκριμένο πρόβλημα (5)

- Με βάση τις προηγούμενες παρατηρήσεις, αν επιχειρήσουμε να εφαρμόσουμε αυτούσιο τον PSO για συνεχή χώρο στον διακριτό χώρο του προβλήματος school timetabling, τότε τα περιεχόμενα των κελιών του πίνακα του particle δεν θα είναι ακέραιοι στο διάστημα  $[1, \text{TeachersNo}]$  αλλά πραγματικοί, οι οποίοι δεν θα έχουν έννοια.

## Η εφαρμογή του PSO στο συγκεκριμένο πρόβλημα (6)

- ▶ Μια διαφορετική προσέγγιση που επιτρέπει την κίνηση των particles.
  - Επιλέγεται μια τυχαία στήλη (timeslot) από τον πίνακα `personal_best` του particle και εμφυτεύεται στον πίνακα του particle στην ίδια στήλη.
  - Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται με επιλογή στήλης από το `global_best`.
  - Επιπρόσθετα, αντιμετωπίζουμε τα περιεχόμενα των κελιών δύο τυχαίων στηλών του πίνακα του particle.
- ❖ Οι προηγούμενες 3 διαδικασίες επιτρέπουν και επιβάλλουν την αλλαγή των τιμών των συντεταγμένων του particle και έτσι «μετακινούν» το particle.

## Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (1)

### ► Τα βάρη των περιορισμών και η συνάρτηση αποτίμησης (fitness function)

Τα βάρη που χρησιμοποιούνται είναι:

- Βάρος ανελαστικού περιορισμού (*Hard Constraint Weight* - **HCW**): χρησιμοποιείται προκειμένου να υπάρχει διάκριση μεταξύ εφικτών (feasible) και μη εφικτών ωρολογίων προγραμμάτων. Πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερο από τις τιμές των άλλων βαρών, έτσι ώστε εφικτά αλλά μη ποιοτικά (efficient) ωρολόγια προγράμματα (λύσεις) να έχουν σπανίως μεγαλύτερο συνολικό κόστος από τα μη εφικτά ωρολόγια προγράμματα. Ωστόσο, το βάρος αυτό δεν πρέπει να είναι πάρα πολύ μεγάλο, για να μη περιορίζεται η ποικιλομορφία που παρέχουν τα ανέφικτα ωρολόγια προγράμματα.

## Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (2)

- Βάρος κενών καθηγητή (*Teachers' empty periods weight* - **TEPW**). Το βάρος αυτό σχετίζεται με τα κενά που ενδεχομένως έχει ο καθηγητής κατά τη διάρκεια μιας ημέρας εργασίας.
- Βάρος ιδανικής διασποράς καθηγητών (*Ideal dispersion weight for teachers* - **IDWT**). Το βάρος αυτό σχετίζεται με τη διασπορά των ωρών διδασκαλίας των καθηγητών.
- Βάρος ιδανικής διασποράς τάξεων (*Ideal dispersion weight for classes* - **IDWC**). Το βάρος αυτό σχετίζεται με την ιδανική διασπορά των μαθημάτων στις τάξεις.
- Μια σημαντικότερη παράμετρος είναι επίσης η βάση των χρησιμοποιούμενων δυνάμεων που αναφέρονται στον ορισμό της αντικειμενικής συνάρτησης. Συμβολίζεται με **BASE** και η τιμή της πρέπει είναι ένας πραγματικός αριθμός ανάμεσα στο 2 και το 3.

## Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (3)

- ▶ αναλυτικοί τύποι υπολογισμού του κόστους παραβίασης κάθε περιορισμού.
- Μη διαθεσιμότητα καθηγητή (*Teacher unavailability*): Για κάθε καθηγητή και για κάθε χρονική περίοδο που ο καθηγητής ανατίθεται σε τάξη, ενώ δεν είναι διαθέσιμος την αντίστοιχη ημέρα, προστίθεται το ακόλουθο κόστος:  $HCW * BASE^3$ .
- Παράλληλη διδασκαλία (*Parallel teaching*): Για κάθε καθηγητή και για κάθε χρονική περίοδο κατά την οποία ο καθηγητής ανατίθεται σε περισσότερες από μια τάξεις, έστω σε  $k$  τάξεις, προστίθεται το ακόλουθο κόστος:  $HCW * BASE^k$ .

## Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (4)

- ❑ Κενά τάξεων (*Classes' empty periods*): Για κάθε τάξη που έχει κενό το οποίο δεν είναι η τελευταία ώρα της ημέρας, προστίθεται το ακόλουθο κόστος:  $HCW * (2 * BASE)^{BASE}$
- ❑ Λανθασμένη συνδιδασκαλία (*Wrong co-teaching*): Για κάθε τάξη, η οποία εμπλέκεται σε συνδιδασκαλία και στην οποία έχει ανατεθεί ο αντίστοιχος συζυγής καθηγητής σε μια χρονική περίοδο, ενώ στην συζυγή της τάξη δεν έχει ανατεθεί ο άλλος συζυγής καθηγητής στην ίδια χρονική περίοδο, προστίθεται το ακόλουθο κόστος:  $HCW * (2 * BASE)^{BASE}$



## Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (5)

- Κενά καθηγητών (*Teachers' empty spaces*): Για κάθε καθηγητή, προστίθεται το ακόλουθο κόστος:  $TEPW * HOURS * BASE^{DAYS}$ , όπου  $HOURS$  είναι ο συνολικός αριθμός των κενών στο ωρολόγιο πρόγραμμα του καθηγητή και  $DAYS$  είναι ο συνολικός αριθμός των ημερών όπου εμφανίζονται τα κενά.

## Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (6)

- Διασπορά μαθημάτων καθηγητή (*Teacher lessons' dispersion*): Για κάθε καθηγητή, προστίθεται το ακόλουθο κόστος:  $IDWT * absolute\_error * BASE^{DAYS}$ , όπου *absolute\_error* είναι το άθροισμα των απολύτων τιμών των διαφορών μεταξύ των πραγματικών ωρών που διδάσκει ο καθηγητής σε μια ημέρα και του αριθμού των ωρών που θα έπρεπε να διδάσκει σύμφωνα με την ιδανική κατανομή. Επίσης, *DAYS* είναι ο αριθμός των ημερών στις οποίες παρατηρείται διαφοροποίηση της πραγματικής κατανομής από την ιδανική.

## Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (7)

- Διασπορά μαθημάτων τάξης (*Class lessons' dispersion*): Για κάθε τάξη, προστίθεται το ακόλουθο κόστος:  $IDWC * HOURS * BASE^{DAYS}$ , όπου  $HOURS$  είναι ο αριθμός των φορών που επαναλαμβάνεται η διδασκαλία ενός μαθήματος και  $DAYS$  είναι ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες παρατηρείται η επανάληψη. Για παράδειγμα, εάν σε μια τάξη έχει ανατεθεί ένας καθηγητής για τρεις χρονικές περιόδους κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, ενώ ο καθηγητής διδάσκει μόνο ένα μάθημα στην τάξη αυτή, τότε υπάρχει επανάληψη αυτού του μαθήματος για δύο φορές. Ως εκ τούτου,  $HOURS = 2$ .

# Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (8)

- Τελική μορφή αντικειμενικής συνάρτησης:

$$\begin{aligned} f = & \text{cases\_of\_teacher\_unavailability} * \text{HCW} * \text{BASE}^3 \\ & + \text{cases\_of\_parallel\_teaching} * \text{HCW} * \text{BASE}^k \\ & + \text{cases\_of\_classes\_empty\_spaces} * \text{HCW} * (2 * \text{BASE})^{\text{BASE}} \\ & + \text{cases\_of\_wrong\_coteaching} * \text{HCW} * (2 * \text{BASE})^{\text{BASE}} \\ & + \text{cases\_of\_teachers\_empty\_spaces} * \text{TEPW} * \text{HOURS} * \text{BASE}^{\text{DAYS}} \\ & + \text{cases\_of\_teacher\_lessons\_dispersion} * \text{IDWT} * \text{absolute\_error} * \text{BASE}^{\text{DAYS}} \\ & + \text{cases\_of\_class\_lessons\_dispersion} * \text{IDWC} * \text{HOURS} * \text{BASE}^{\text{DAYS}} \end{aligned}$$

- Για την παραπάνω συνάρτηση  $f$  πρέπει να βρεθεί το ολικό ελάχιστο, δηλαδή να ελαχιστοποιηθεί.

# Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (9)

- ▶ Οι ιδανικές τιμές των συντελεστών βαρών και των υπόλοιπων μεταβλητών του αλγορίθμου
- με πειραματική διαδικασία προσδιορίστηκαν οι εξής τιμές ως βέλτιστες, αν και το θέμα παραμένει ανοικτό:

Παράμετρος	Ερμηνεία	Τιμή
<i>Swarm_Size</i>	Πλήθος <i>particles</i>	50
<i>HCW</i>	Βάρος ανελαστικών περιορισμών	10
<i>BASE</i>	Βάση δυνάμεων	1,3
<i>IDWC</i> (main algorithm)	Βάρος ελαστικού περιορισμού <i>class dispersion</i> (κυρίως αλγόριθμος)	0,95
<i>IDWC</i> (refining schema)	Βάρος ελαστικού περιορισμού <i>class dispersion</i> (φάση εκλέπτυνσης)	0,06
<i>IDWT</i> (main algorithm)	Βάρος ελαστικού περιορισμού <i>teacher dispersion</i> (κυρίως αλγόριθμος)	0,6
<i>IDWT</i> (refining schema)	Βάρος ελαστικού περιορισμού <i>teacher dispersion</i> (φάση εκλέπτυνσης)	0,06

Παράμετρος	Ερμηνεία	Τιμή
<i>TEPW</i> (main algorithm)	Βάρος ελαστικού περιορισμού <i>teacher gaps</i> (κυρίως αλγόριθμος)	0,06
<i>TEPW</i> (refining schema)	Βάρος ελαστικού περιορισμού <i>teacher gaps</i> (φάση εκλέπτυνσης)	1,35
<i>Max_Iter</i>	Αριθμός γενεών εκτέλεσης κυρίως αλγορίθμου	10.000
<i>Exit_Loop_Cycles</i>	Πλήθος κύκλων while loop δυνητικής εξόδου	10
<i>Max_Refine_times</i>	Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων φάσης εκλέπτυνσης	500.000
$r_1$	Πιθανότητα αποδοχής μη έγκυρου <i>swap</i> με <i>hard clash</i>	< 0,022
$r_2$	Πιθανότητα αποδοχής μη έγκυρου <i>swap</i> με αύξηση της <i>soft fitness</i>	< 0,022
$r$	Πιθανότητα πρόωρης εξόδου while loop	< 0,011

# Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (10)

## ► Οι βασικές λειτουργίες του αλγορίθμου

- ❑ *Swap\_with\_probability()* : καταρχήν επιλέγονται δύο *timeslots* όπου η μια να παρουσιάζει *hard clash*. Εκτελούνται τα *swaps* των κελιών των *timeslots*. Οι αντίστοιχες πιθανότητες αποδοχής *invalid swaps* που παρουσιάζουν *hard clash* και *invalid swaps* (δηλ. που αυξάνουν την *soft fitness*) ισούνται με 2,2% και 2,2% αντίστοιχα.
- ❑ *Insert\_Column()* : Εισάγει μια στήλη από το personal ή global best στο particle.

# Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (11)

- While - Loop: πρόκειται για μια δομή επανάληψης (επαναληπτικής εκτέλεσης του ότι εμπεριέχει). Επαναληπτικά εκτελείται η InsertColumn με όρισμα το global best, εφόσον η τιμή της fitness του τρέχοντος particle είναι μεγαλύτερη ή ίση από την fitness του global best. Το loop διακόπτεται δυνητικά κάθε 10 κύκλους με βάση κάποια πιθανότητα, ανεξάρτητα αν ικανοποιήθηκε η συνθήκη του loop.

# Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (12)

- Η ανεξαρτησία των ελαστικών περιορισμών και ο υβριδισμός του αλγορίθμου
- Μια βασική παρατήρηση στην οποία βασίστηκε εν πολλοίς ο αλγόριθμος: οι περιορισμοί που αφορούν την διασπορά μαθημάτων των καθηγητών (workload) και η διασπορά των τάξεων (επανάληψη μαθήματος) είναι ανεξάρτητοι από τα κενά των καθηγητών σε μια ημέρα.
- Έτσι, στον βασικό αλγόριθμο ελαχιστοποιούμε τους 2 ελαστικούς περιορισμούς, αδιαφορώντας για τα κενά των καθηγητών. Στην συνέχεια, στην φάση εκλέπτυνσης, ανά ημέρα, ελαχιστοποιούμε τα κενά των καθηγητών.



# Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (13)

- ▶ Ο ψευδό-κώδικας της φάσης εκλέπτυνσης:

```
[1].   Set new TEPW value
[2].   for each day of the week of g_best
[3].       if fitness of g_best concerning the current day == 0 then proceed to the next day
[4].       for Max_Refine_times
[5].           Pick two different timeslots t1, t2 from current day
[6].           g_best ← Swap_with_probability(t1, t2, g_best)
[7].           If g_best concerning the current day improved and there is no hard clash then
                                   fix g_best
[8].           else restore g_best
[9].       end for
[10].  end for
```

# Παρουσίαση ενός πρωτότυπου αλγορίθμου (14)

► Ο ψευδό-κώδικας (pseudo code) του προτεινόμενου αλγορίθμου

```
[1].   Initialize Swarm_Size particles
[2].   Initialize personal best fitness of each particle and global best fitness to worst possible
[3].   for Max_Iter generations repeat
[4].     for each particle do
[5].       If fitness of current particle < p_best fitness then
[6].         Update the p_best and the p_best fitness
[7].       If fitness of current particle < g_best fitness then
[8].         Update the g_best and the g_best fitness
[9].       Pick a timeslot t1 with hard clash, if it exists, else pick one from 1 to 35 at random
[10].      Pick another timeslot t2, different from t1, from 1 to 35 at random
[11].      current particle ← Swap_with_probability (t1, t2, current particle)
[12].      Pick a timeslot t3 from 1 to 35 at random
[13].      current particle ← Insert_Column(current particle, t3, p_best)
[14].      Pick one timeslot t4 from 1 to 35 at random
[15].      current particle ← Insert_Column(current particle, t4, g_best)
[16].      while fitness of current particle > g_best fitness
[17].        Pick a timeslot t5 from 1 to 35, at random
[18].        current particle ← Insert_Column(current particle, t5, g_best)
[19].        every time a certain number of loop steps is completed exit loop according to
                                         probability
[20].      end while
[21].      if current particle got worse then restore particle and its fitness
[22].    end for
[23].  end for
[24].  Terminate main part and return g_best and g_best fitness
[25].  Execute refining schema
```

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας

