

# i-student trip

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ  
ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ  
ΜΑΘΗΤΩΝ

Μεθοδολογική προσέγγιση και  
απαιτήσεις για την ανάπτυξη των  
αλγορίθμων δρομολόγησης

*Χρυσοχόου Ευαγγελία  
Επιστημονικός Συνεργάτης IMET*

Ινστιτούτο Βιώσιμης Κινητικότητας και Δικτύων Μεταφορών (IMET)  
Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)

# Εισαγωγή

- Το πρόβλημα της δρομολόγησης σχολικών λεωφορείων (School Bus Routing Problem, SBRT) μελετήθηκε αρχικά από τους Newton & Thomas το 1969.
- Σε αρκετά πρόσφατη βιβλιογραφική ανασκόπηση των Park & Kim (2010) το πρόβλημα της δρομολόγησης σχολικών λεωφορείων ορίζεται ως το πρόβλημα της **σχεδίασης του αποδοτικότερου χρονοπρογραμματισμού** ενός στόλου σχολικών λεωφορείων όπου κάθε λεωφορείο παραλαμβάνει τους μαθητές από διάφορες στάσεις και στην συνέχεια τους μεταφέρει στην σχολική μονάδα.
- Διάφοροι περιορισμοί θα πρέπει να ικανοποιηθούν όπως:
  - Μέγιστη χωρητικότητα σχολικών λεωφορείων
  - Μέγιστος χρόνος παραμονής του μαθητή στο σχολικό λεωφορείο
  - Χρονικοί περιορισμοί που σχετίζονται με την ώρα προσέλευσης των μαθητών

# Ανάλυση του προβλήματος

- Σύμφωνα με τους Desrosiers et al. (1983) το πρόβλημα διαχωρίζεται στα ακόλουθα στάδια:
  - Προετοιμασίας δεδομένων ( **Date preparation** )
  - Επιλογή των στάσεων ( **Bus stop selection** )
  - Δημιουργία των δρομολογίων ( **Route generation** )
  - Αναπροσαρμογή της ώρας έναρξης των μαθημάτων ( **School Bell Adjustment** )
  - Χρονοπρογραμματισμός των δρομολογίων ( **Bus Scheduling** )

# Προετοιμασία Δεδομένων

- **Συλλογή** και **επεξεργασία** όλης της πρωτογενής πληροφορία που απαιτείται για την επίλυση των επιμέρους υπό-προβλημάτων σχολικής δρομολόγησης.
- Οι πληροφορίες κατηγοριοποιούνται :
  - σε πληροφορίες **μαθητών** (διεύθυνση κατοικίας και σχολικής μονάδας στην οποία ανήκει ο μαθητής, ιδιαίτερες απαιτήσεις σχετικά με την προσέλευση και αναχώρησή τους),
  - πληροφορίες **σχολικών μονάδων** (ακριβής διεύθυνση , έναρξη και λήξη μαθημάτων, μέγιστη χρονική διάρκεια παραμονής μαθητών μέσα σε σχολικό λεωφορείο, ειδικές απαιτήσεις),
  - πληροφορίες σχολικών οχημάτων (**χωρητικότητα, σύνθεση στόλου**) και
  - **Μητρώο Προέλευσης – Προορισμού** (συντομότερη απόσταση, συντομότερος χρόνος μεταξύ δύο σημείων π.χ. ανάμεσα σε σχολείο και κατοικία μαθητή)

*Για τον υπολογισμό των ΠΠ πινάκων απαιτείται ανάπτυξη αλγοριθμικής διαδικασία ελάχιστου μονοπατιού που θα εφαρμοστεί στο εκάστοτε δίκτυο ανάθεσης*

# Εντοπισμός Στάσεων

- Στην περίπτωση της σχολικής μετακίνησης νηπίων και πρώτων τάξεων του δημοτικού (Α & Β) οι στάσεις θα είναι η διεύθυνση κατοικίας των μαθητών.
- Ενώ στην περίπτωση μετακίνησης μεγαλύτερων παιδιών θα χρειαστεί να δημιουργηθεί μια **αλγοριθμική διαδικασία** ώστε να γίνεται ανάθεση των παιδιών σε στάσεις.
- Ανάλογα με την πυκνότητα των μαθητών στις περιοχές θα χρειαστεί να οριστούν το πλήθος των στάσεων και η θέση τους.

*Στην περίπτωση των **αστικών περιοχών** οι θέσεις των λεωφορείων τείνουν να καλυφθούν έπειτα από μικρό αριθμό στάσεων, ενώ στην περίπτωση **εκτός αστικού δικτύου** θα χρειαστεί να ληφθούν υπόψη και οι περιορισμοί της απόστασης και του χρόνου μετακίνησης.*

# Δημιουργία δρομολογίων (μονοπατιού)

- Δύο προσεγγίσεις μπορούν να ακολουθηθούν :
  - **Δημιουργία διαδρομής και κατανομή μαθητών** (route first, cluster second).
  - **Ομαδοποίηση μαθητών και δημιουργία διαδρομής** (cluster first, route second)

Και στις δύο προσεγγίσεις εμπεριέχεται το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή το οποίο είναι NP – hard (υψηλής υπολογιστικής πολυπλοκότητας).

# Χρονοπρογραμματισμός των δρομολογίων

- Οι **Bodin** και **Berman** (1979), υπέθεσαν πως τα χρονικά περιθώρια-παράθυρα των σχολείων μπορούν να χωριστούν σε διακριτές χρονικές περιόδους έτσι ώστε η δρομολόγηση να λυθεί ανά χρονική περίοδο και η τελική διαδρομή να προκύψει στη συνέχεια.
- Οι **Li** και **Fu** (2002), αντιμετώπισαν τον χρονοπρογραμματισμό των δρομολογίων δημιουργώντας αρχικά **μια ενιαία διαδρομή** και μεταθέτοντας στη συνέχεια στάσεις από τη διαδρομή αυτή σε μικρότερες διαδρομές.

# Υπολογιστική διαδικασία

Σαφώς το πρόβλημα δεν επιλύεται με κάποιο γνωστό ακριβή αλγόριθμο αφού ανήκει στην κατηγορία των προβλημάτων μεγάλης υπολογιστικής πολυπλοκότητας.

Παραδοσιακά υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση προβλημάτων μεγάλης υπολογιστικής πολυπλοκότητας:

- Χρήση αλγορίθμων υπολογισμού ακριβείς λύσης (exact methods) η οποία μπορεί να υπολογιστεί γρήγορα μόνο για μικρά υπό – προβλήματα.
- Χρήση ευρετικών διαδικασιών που υπολογίζουν σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα λύσεις που προσεγγίζουν τα βέλτιστα που όμως δεν μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι βέλτιστη
- Εύρεση ειδικών υπό – προβλημάτων στις οποίες και πάλι υπάρχει δυνατότητα χρήσης ακριβών αλγορίθμων.



# Μεθοδολογική προσέγγιση

## Προετοιμασία Δεδομένων

- Τυποποιημένη Έκθεση Παρακολούθησης δεδομένων
- Αλγοριθμική διαδικασία υπολογισμού του Πίνακα ΠΠ.
- Διαδικασία ομαδοποίησης μαθητών ανά περιοχή, χρονικές απαιτήσεις, βαθμίδα εκπαίδευσης

## Εντοπισμός Στάσεων

- Διαδικασία δημιουργίας υπό – ομάδων μαθητών για τον εντοπισμό στάσεων (K Means Clustering, Προσδιορισμός κεντροειδούς)
- *Πεζή μετακίνηση Μαθητού στην στάση.*

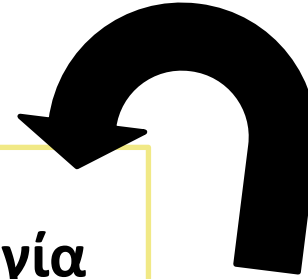
## Δημιουργία Δρομολογίων

- Διαδικασία επίλυσης TSP
- *Υποψήφιες προσεγγίσεις:*
- *Brute Force Search*
- *Branch & Bound Algorithm*
- Nearest Neighbor algorithm

## Χρόνο - προγραμματισμός Δρομολογίων

- Διαδικασία προσδιορισμού των χρονικών παραθύρων
- *Διαδικασία Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων*
- Διαδικασία Επαναπροσδιορισμού Υπό - ομάδων

KPIs



# Δρομολόγηση

*Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος της δρομολόγησης ως πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού*

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij}$$

*Subject to*

$$\sum_{\substack{i=0, \\ i \neq j}}^n x_{ij} = 1 \quad j = 0, \dots, n$$

$$\sum_{\substack{j=0, \\ j \neq i}}^n x_{ij} = 1 \quad i = 0, \dots, n$$

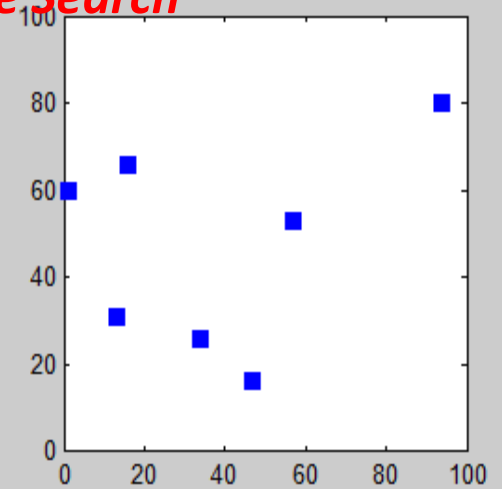
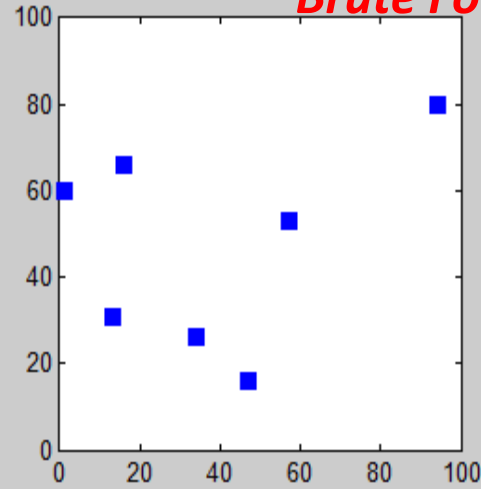
$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad 1 \leq$$

$x_{ij}$  Binary

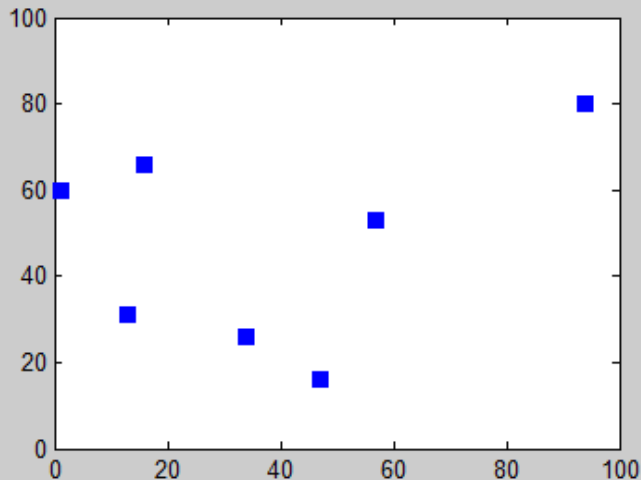
# Επίλυση

**Επίλυση του προβλήματος  
για 7 σημεία με τις τρεις  
εναλλακτικές**

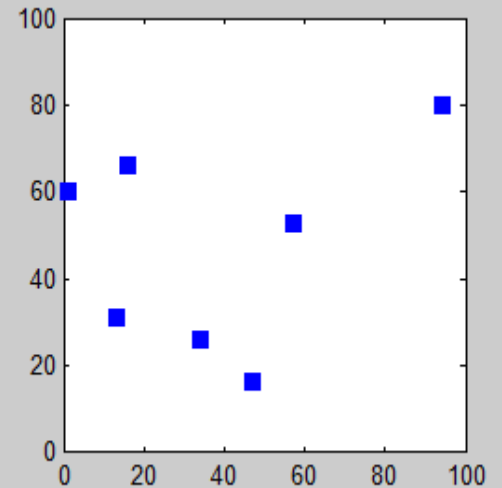
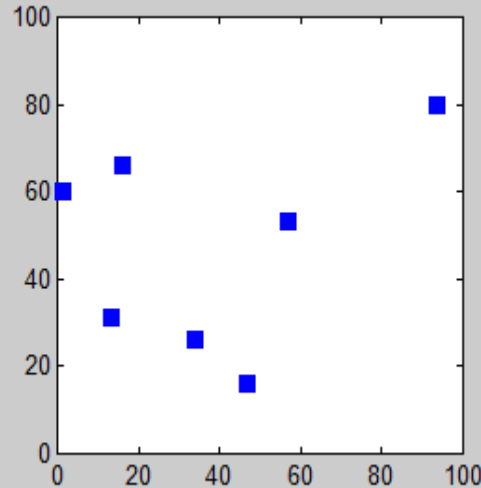
**Brute Force Search**



**Nearest Neighbor algorithm**



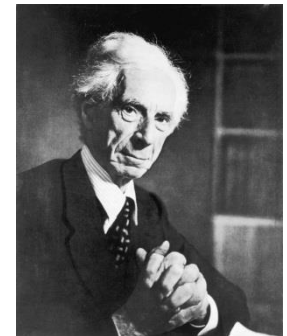
**Branch & Bound Algorithm**



«Τα μαθηματικά, αν ιδωθούν σωστά, περιέχουν όχι μόνο αλήθεια, αλλά υπέρτατη ομορφιά – μια ομορφιά ψυχρή και λιτή, χωρίς τα υπέροχα στολίδια της ζωγραφικής ή της μουσικής»

Ρήση του Μπέρτραντ Ράσελ

<http://vimeo.com/77330591>





ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΒΙΩΣΙΜΗΣ  
ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ &  
ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ  
ΕΚΕΤΑ/ΙΜΕΤ



i-student trip



ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ  
ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

# Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας

**Χρυσόχου Ευαγγελία**

MSc Statistics & Operational Research

*Mathematician – Research Associate*

Τηλέφωνο Επικοινωνίας: 2310 498481

Email: [echryso@certh.gr](mailto:echryso@certh.gr)



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΙΟ  
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



η περιφέρεια στο επίκεντρο της ανάπτυξης



# Παραπομπές

- Newton, R. M. and Thomas W. H. (1969). “Design of school bus routes by computer”. *Socio Economic Planning Sciences*, vol. 3, No. 1, pp. 75-85.
- Park, J. and Kim, B.-I. (2010). “The school bus routing problem: A review”. *European Journal of Operational Research*, vol. 202, No. 2 (April), pp. 311-319.