

# Τεχνητή Νοημοσύνη

## 2ο Προγραμματιστικό Θέμα

### Αναφορά Εργασίας

Ακ. Έτος 2018-2019

#### Μέλη ομάδας (αλφαβητικά)

Εμμανουήλ Παναγιώτου (03115079) – e115079@mail.ntua.gr

Μάριος Παπαχρήστου (03115101) – papachristoumarios@gmail.com

---

*"It's going to be interesting to see how society deals with artificial intelligence, but it will definitely be cool". –Colin Angle*

## 1 Σκοπός Εργασίας

Σε αυτή την εργασία υλοποιούμε το βασικό κορμό μιας ευφυούς υπηρεσίας εξυπηρέτησης πελατών ταξί. Συγκεκριμένα, θεωρούμε ότι υπάρχει ένας πελάτης που βρίσκεται σε μια ορισμένη τοποθεσία, ο οποίος διαθέτει κινητό τηλέφωνο με GPS και επιθυμεί να καλέσει ένα ταξί. Η υπηρεσία διαθέτει μια βάση δεδομένων με όλα τα διαθέσιμα ταξί και τη γεωγραφική θέση στην οποία βρίσκονται κάθε χρονική στιγμή, η οποία θεωρητικά θα πρέπει να ανανεώνεται συνεχώς. Η υπηρεσία θα πρέπει να εντοπίζει και να ειδοποιεί το ταξί που μπορεί να μεταβεί πιο γρήγορα στη θέση του πελάτη ώστε να τον εξυπηρετήσει. Ο χάρτης δίνεται απο δειγματοληπτημένα σημεία οδών από την πόλη της Αθήνας και ο τρόπος εύρεσης της βέλτιστης επιλογής γίνεται με τη χρήση του αλγορίθμου  $A^*$  με τη δυνατότητα επιλογής πολλών εναλλακτικών διαδρομών (similar ETA). Στη συνέχεια ο πελάτης πρέπει να μετακινηθεί βέλτιστα στον προορισμό του.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα παρέχεται ένας πυρήνας σε Java με τις κύριες λειτουργίες του αλγορίθμου, ενώ όλη η γνώση των πρακτόρων προέρχεται από κατηγορήματα σε γλώσσα Prolog. Για την διασύνδεση Java και Prolog έχει χρησιμοποιηθεί η βιβλιοθήκη JIProlog.

## 2 Οργάνωση και Διάρθρωση Γνώσης για τον Κόσμο

Θεωρώντας ότι τα ταξί και οι πελάτες ζουν σε ένα κόσμο με κάποιες ιδιότητες, μπορούμε να ορίσουμε μια σειρά από κατηγορήματα σε Prolog που αναπαριστούν όλα αυτά τα σενάρια. Συγκεκριμένα, θεωρούμε ότι ο χάρτης αναπαρίσταται από ένα κατευθυνόμενο γράφημα  $G(V, E)$  όπου το κατηγορήμα `node/8` αναφέρεται σε ένα κόμβο του γραφήματος, το κατηγορήμα `lines/20` σε οδούς στο δρόμο, το κατηγορήμα `taxis/10` στα ταξί, το κατηγορήμα `client/9` στους πελάτες και το κατηγορήμα `traffic/5` στην κίνηση της εκάστοτε οδού. Τα κατηγορήματα αυτά κατασκευάζονται από τα αρχεία CSV που μας παρέχονται και την κλάση FactGenerator. Παραθέτουμε μερικά παραδείγματα

```

nodes(146,23.7931365,37.9718818,5209488,1021379754,nil,mask,mask).
traffic(5203817,mask,[09:00-11:00=high,13:00-15:00=medium,17:00-19:00=high], mask,
mask).
lines(5203828,residential,mask,yes,nil,nil,nil,nil,nil,nil,nil,nil,nil,nil,nil,
nil,nil,mask,mask).
client(0,23.733912,37.975687,23.772518,38.012301,20:00,3,greek,1).
taxis(23.789114,38.032908,130,no,1-4,[greek,english],8.3,yes,subcompact,mask).

```

όπου έχουμε χρησιμοποιήσει το άτομο `mask` για τους χαρακτήρες που δεν είναι ASCII και το άτομο `nil` για τα σημεία που δεν υπάρχει πληροφορία.

Στη συνέχεια ορίζουμε κατηγορήματα που αφορούν μεταβάσεις και λοιπές πληροφορίες για τον κόσμο στο αρχείο `world.pl` όπως φαίνεται παρακάτω και στο οποίο κάνουμε `consult` όλη τη βάση γνώσης.

```

% Global Imports
:- [nodes,
    lines,
    client,
    taxis,
    traffic].

% Node belongs to line L
belongsTo(X, Y, L) :-
    nodes(_, X, Y, L, _, _, _, _).

% Line is directed same as nodes
directed(L) :-
    lines(L, _, _, yes, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _).

% True when line is directed opposite
oppositeDirected(L) :-
    lines(L, _, _, -1, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _).

% True when line is undirected
undirected(L) :-
    lines(L, _, _, no, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _, _).

% Computes A = |Y - X|
abs(X, Y, A) :-
    X >= Y -> A is X - Y;
    A is Y - X.

% Get adjacent nodes based on graph
nextWithLine(X, Y, U, V, L) :-
    belongsTo(X, Y, L),
    belongsTo(U, V, L),
    nodes(I, X, Y, L, _, _, _, _),
    nodes(J, U, V, L, _, _, _, _),
    I \= J,
    (
        directed(L) -> J is I + 1;
        oppositeDirected(L) -> J is I - 1;
        abs(J, I, 1)
    ).

% Next without line
next(X, Y, U, V) :- nextWithLine(X, Y, U, V, _).

% Get adjacent nodes avoiding certain types of traffic
% Example nextAvoidingTraffic(23.7611292,37.9863578, U, V, 0, [high, medium])
nextAvoidingTraffic(X, Y, U, V, ClientId, TrafficToAvoid) :-
    nextWithLine(X, Y, U, V, L),

```

```

client(ClientId, _, _, _, H:M, _, _, _),
traffic(L,_,Traffics,_,_),
avoidsTrafficTypes(Traffics, H:M, TrafficToAvoid).

% Get all goals
goal(ClientId, TaxiId) :-
    client(ClientId, _, _, _, Capacity, ClientLanguages, Luggage),
    taxis(X, Y, TaxiId, yes, Min-Max, TaxiLanguages, _, _, Type, _),
    between(Min, Max, Capacity),
    fitsLuggage(Type, Luggage),
    ssubset(ClientLanguages, TaxiLanguages).

% Get all goals for a client
goals(ClientId, Taxis) :-
    findall(T, goal(ClientId, T), Taxis).

% Check if sets are not disjoint
doesIntersect(X,Y) :-
    intersection(X,Y,Z),
    dif(Z, []).

% Checks if Source is ssubset of Target
ssubset(Source, Target) :-
    (
        Source = [_ | _], Target = [_ | _] -> doesIntersect(Source, Target);
        Target = [_ | _] -> member(Source, Target);
        Source = Target
    ).

% Check is H3:M3 is in interval
betweenHours(H1:M1, H2:M2, H3:M3) :-
    X1 is 60 * H1 + M1,
    X2 is 60 * H2 + M2,
    X3 is 60 * H3 + M3,
    between(X1, X2, X3).

% Avoid Traffic
hasTraffic(Traffics, H:M, Type) :-
    member(H1:M1-H2:M2-Type, Traffics),
    betweenHours(H1:M1, H2:M2, H:M).

% Avoid certain types of traffic
avoidsTrafficTypes(_, _, []).
avoidsTrafficTypes(_, _, nil).
avoidsTrafficTypes(Traffics, H:M, [Type | Rest]) :-
    \+hasTraffic(Traffics, H:M, Type),
    avoidsTrafficTypes(Traffics, H:M, Rest).

% Fits luggage if any
fitsLuggage(Type, Luggage) :-
    (
        Luggage = 1 -> member(Type, [large, subcompact]);
        true
    ).

% Default getters
getPoint(I, U, V) :- nodes(I, U, V, _, _, _, _, _).
getClient(I, X, Y, U, V) :- client(I, X, Y, U, V, _, _, _).

```

Εδώ παρατηρούμε ότι μπορούμε να επιτελέσουμε διάφορες λειτουργίες, όπως να βρούμε τα υποψήφια ταξί στόχους, να βρούμε γείτονες κόμβους που η μετάβαση δεν έχει συνωστισμό μια συγκεκριμένη

ώρα κτλ. Στη συνέχεια, δημιουργούμε έναν wrapper μεταξύ του `world.pl` και της Java λειτουργικότητας μέσω της βιβλιοθήκης JProlog στην κλάση `Prolog.java`.

### 3 Αντικειμενοστραφής Σχεδιασμός

Η παρούσα εργασία αναπτύχθηκε σε γλώσσα Java, με γνώμονα τον αντικειμενοστραφή σχεδιασμό. Χρησιμοποιήθηκαν κλάσεις για τα Ταξί (Taxi), τους Πελάτες (Client), τις Κορυφές (Node), τις ακμές (Edge), τους εκτιμητές για τον A\* (Estimator) και τον συνολικό γράφο (Graph). Το parsing των κορυφών γίνεται μέσω της κλήσης των κατάλληλων μεθόδων του wrapper. Τέλος χρησιμοποιήθηκε μια κλάση (Visual) για την παραγωγή των αρχείων KML ώστε να γίνεται η απεικόνιση των αποτελεσμάτων στον χάρτη. Για τις δομές δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν επίσης κλάσεις των standard βιβλιοθηκών της Java.

### 4 Δημιουργία Γραφήματος

Ο γράφος χτίζεται on-line με τη χρήση των κατάλληλων κατηγορημάτων που υπάρχουν στο `world.pl` για την λήψη των adjacent κόμβων ενός κόμβου  $u$  μέσω της κλήσης της μεθόδου `next`. Το μήκος κάθε ακμής  $\{u, v\} \in E$  τίθεται ίσο με την γεωγραφική απόσταση σε km δηλαδή

$$w(u, v) = \text{geo}(u, v) = 111.18957696 \times \arccos [\sin \phi_u \sin \phi_v + \cos \phi_u \cos \phi_v \cos(\theta_u - \theta_v)]$$

### 5 Αλγόριθμος A\*

#### 5.1 Περιγραφή Αλγορίθμου

Για την υλοποίηση του A\* χρησιμοποιήθηκαν δύο hashtables για να κρατήσουμε τις  $f(v)$  και  $g(v)$ . Επίσης χρησιμοποιήθηκε ένα HashSet για τη διατήρηση του κλειστού συνόλου και μια ουρά προτεραιότητας `PriorityQueue<Estimator>` στην οποία τηρούνταν το μέτωπο αναζήτησης (ανοικτό σύνολο). Κάθε φορά, από το μέτωπο αναζήτησης αφαιρούνταν ο κόμβος με την ελάχιστη τιμή

$$f(v) = g(v) + h(v)$$

όπου  $h(v)$  η ευριστική συνάρτηση. Αν ο  $v$  ήταν στόχος τότε η αναζήτηση τερματίζει. Σε κάθε άλλη περίπτωση ο αλγόριθμος έκανε relax στις κορυφές στις οποίες βελτιώνονταν το  $g(v)$ .

#### 5.2 Ευριστική Συνάρτηση

Δεδομένης της γεωμετρίας της πόλης, η ευριστική συνάρτηση που διαλέξαμε είναι η Νόρμα Ταξί  $L_1$  από τον κοντινότερο στόχο με τύπο

$$h(v) = \min_{g \in G} h_g(v)$$

όπου  $G = \{g \in V \mid g \text{ στόχος}\}$  με

$$h_g(v) = \lambda \text{geo}(v, g) \quad \lambda \leq 1$$

Στη δική μας υλοποίηση θέσαμε  $\lambda = 0.9$ . Για να επιστρέψει σωστά αποτελέσματα ο A\* θα πρέπει η ευριστική συνάρτηση να υποεκτιμά το πραγματικό κόστος προς το στόχο.

### 5.3 Αποθήκευση Διαδρομών

Για να τηρήσουμε τις διαδρομές χρησιμοποιούμε ένα `Hashtable<Node, ArrayList<Pair>>` και σε κάθε relaxation προσθέτουμε στη λίστα την τιμή που βρίσκουμε (η οποία μικραίνει συνεχώς). Ο πίνακας κατακερματισμού θα χρησιμεύσει στην εκτύπωση των συντομότερων διαδρομών. Ο κατευθυνόμενος υπολειμματικός γράφος  $H$  είναι DAG. Κάνοντας μια αναζήτηση από την κορυφή-στόχο στην αρχή μπορούμε να φτιάξουμε το γράφημα των ισοδύναμων βέλτιστων διαδρομών για τις τιμές των εκτιμήσεων της πραγματικής απόστασης του κάθε κόμβου σε κάθε χρονική στιγμή με τη βέλτιστη (συγκλίνουσα) εκτίμηση. Για τις ισοδύναμες διαδρομές έχουμε επιτρέψει κάποιο tolerance  $\epsilon$  (της τάξης των 0.001km).

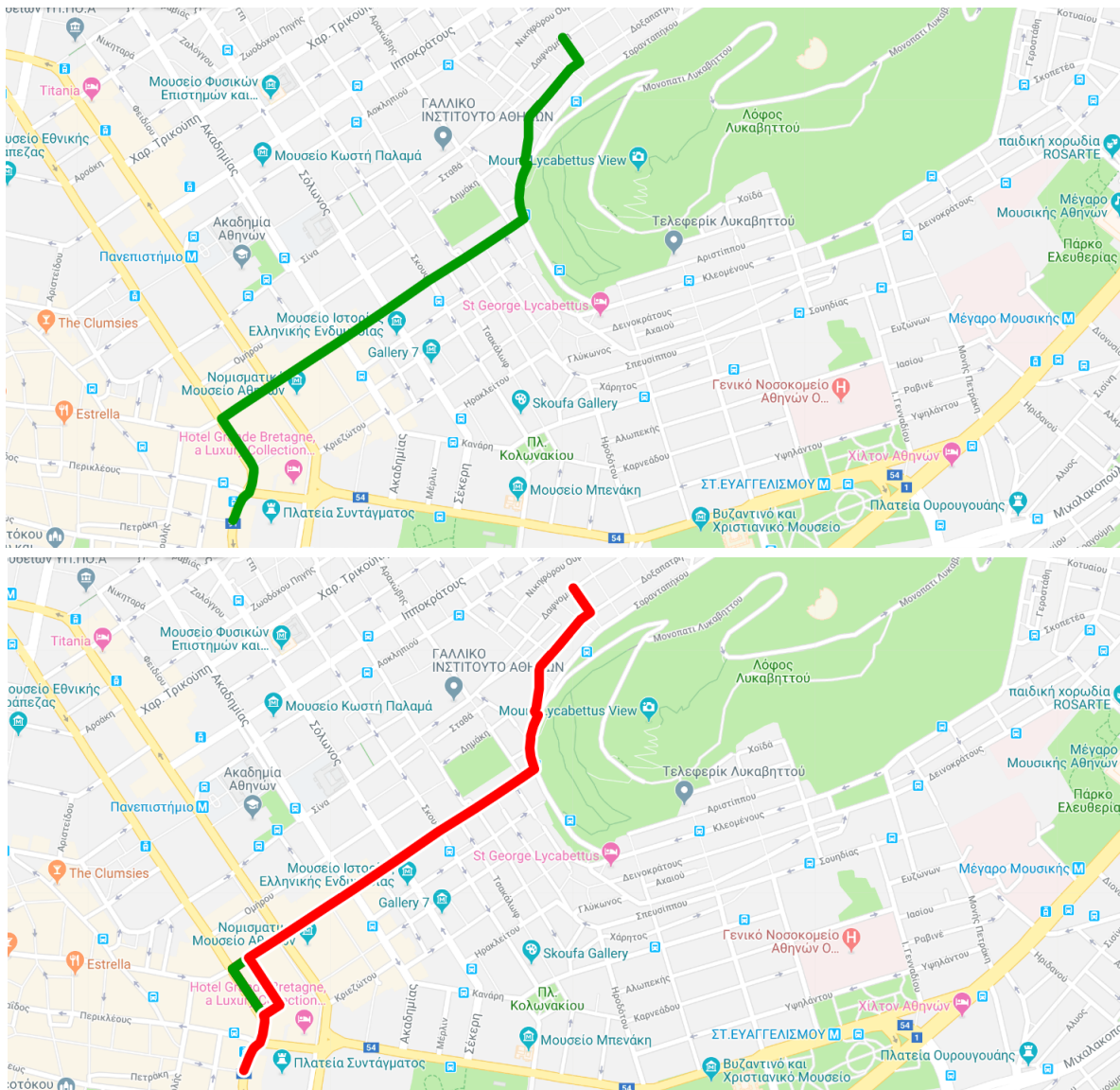
### 5.4 Αξιολόγηση Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος  $A^*$  βρίσκει τη βέλτιστη λύση αν η ευριστική συνάρτηση  $h(v)$  **υποεκτιμά το πραγματικό κόστος προς τον κοντινότερο στόχο-ταξί**. Ο πίνακας κατακερματισμού για τους γονείς (parent) επιτρέπει σε κάθε έναν κόμβο να έχει γονείς εντός μιας ακρίβειας  $\epsilon$  από τη βέλτιστη τιμή  $g(v)$ . Το συγκεκριμένο πρόβλημα πληροί τις προϋποθέσεις για να προτείνει ισοδύναμες ελάχιστες διαδρομές. Θέτοντας  $\epsilon = 0$  λαμβάνουμε την πραγματική ελάχιστη διαδρομή. Οι ισοδύναμες διαδρομές βρίσκονται εντός κάποιας τιμής ακρίβειας από την πραγματική βέλτιστη. Στην πράξη, οι χάρτες προτείνουν "υπο"-βέλτιστες διαδρομές με παρόμοιο ETA.

## 6 Αποτελέσματα

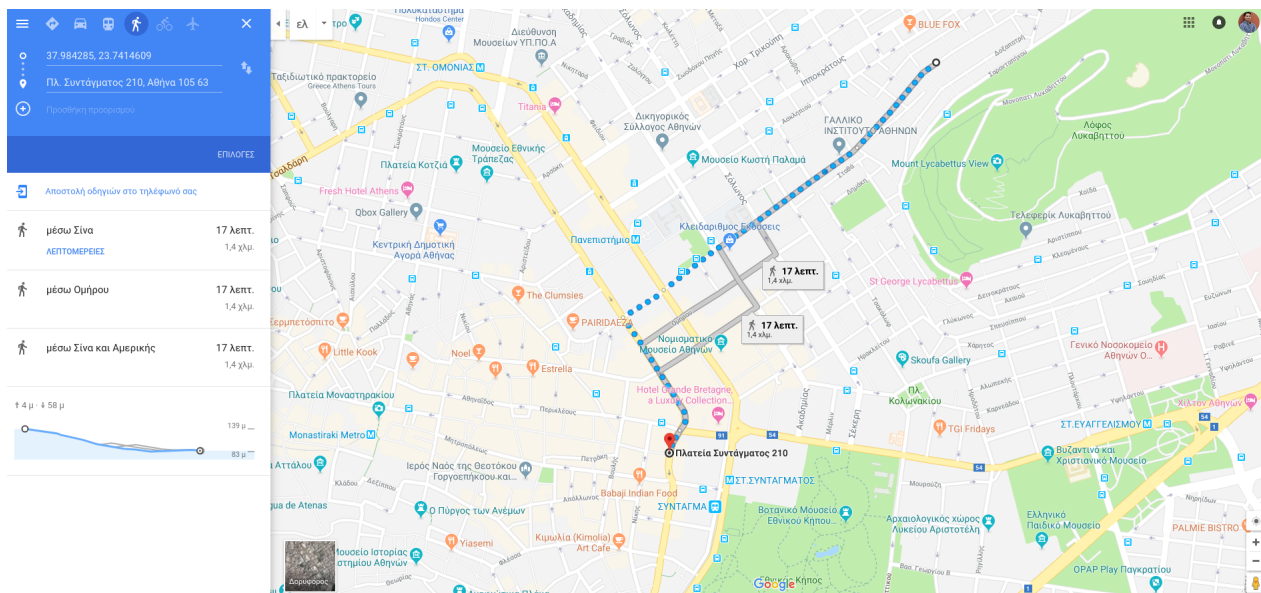
Ο χάρτης για την αποτίμηση των αποτελεσμάτων βρίσκεται εδώ: <https://drive.google.com/open?id=1YxWn5TfQ8e8Q4oBy8Nv1UeZeGt0heg1Z&usp=sharing>

Το αποτέλεσμα για το παράδειγμα βρίσκεται παρακάτω



Σχήμα 1: Αποτέλεσμα για το παράδειγμα από το KML. Βέλτιστη διαδρομή (πάνω). Ισοδύναμη διαδρομή με tolerance 0.001km (κάτω)

Από το Google Maps αναζητήσαμε την ίδια διαδρομή και λάβαμε το ίδιο αποτέλεσμα



Σχήμα 2: Αποτέλεσμα για το παράδειγμα από Google Maps

Το μήκος της διαδρομής είναι 1.3696755979043929 km όπως και στην διαδρομή που προτείνει το Google Maps. Τα KML βρίσκονται στη src/results ενώ τα δεδομένα στην διαδρομή resources/data.

## Αναφορές

- [1] Russell, Stuart J., and Peter Norvig. Artificial intelligence: a modern approach. Malaysia; Pearson Education Limited,, 2016.
- [2] Στάμου Γ., Τεχνητή Νοημοσύνη, Διαφάνειες