

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΜ&ΜΥ Τεχνητή Νοημοσύνη 1^η Άσκηση Ακ. έτος 2011-2012

Γερακάρης Βασίλης Α.Μ.: 03108092 Λύρας Γρηγόρης Α.Μ.: 03109687

Υλοποίηση αλγορίθμου Α*

1 Παρουσίαση προβλήματος και σκιαγράφηση λύσης

Στην άσκηση αυτή καλούμαστε να υλοποιήσουμε τον αλγόριθμο αναζήτησης Α* με σκοπό να οδηγηθούν με βέλτιστο τρόπο 2 ρομπότ σε ένα προκαθορισμένο σημείο συνάντησης, αποφεύγοντας τις πιθανές συγκρούσεις.

Έχοντας ως δεδομένο ότι τα δύο ρομπότ έχουν γνώση της θέσης και του πλάνου του άλλου ρομπότ, καθώς και πλήρη γνώση της αίθουσας, επιλέξαμε να κάνουμε μια παρατήρηση /παραδοχή που διευκολύνει σημαντικά την δομή του προγράμματός μας:

Αντί τα 2 ρομπότ να πραγματοποιούν τις κινήσεις/επιλογές τους εναλλάξ, θεωρούμε, χωρίς βλάβη της γενικότητας, ότι στις συγκρούσεις το 2ο ρομπότ θα έχει μια 'nice' συμπεριφορά, παραχωρόντας τη βέλτιστη κίνηση στο 1ο ρομπότ. Με τον τρόπο αυτό, μπορούμε να εκτελέσουμε σειριακά τον αλγόριθμο Α*, πρώτα για το 1ο ρομπότ και στη συνέχεια για το 2ο, έχοντας ήδη δεδομένες τις κινήσεις του 1ου.

Ο χώρος των καταστάσεων μας δίνεται ως ένα grid με Ο (στις θέσεις που επιτρέπεται η κίνηση) και Χ (στις θέσεις όπου βρίσκονται εμπόδια). Η βασική ιδέα πίσω από τον αλγόριθμό μας είναι ότι οι θέσεις με Χ κωδικοποιούνται ως '-1', οι θέσεις με Ο με '0', ενώ η θέση στην οποία θα βρίσκεται το 1ο ρομπότ στο k-οστό βήμα με 'k'.

Με τον τρόπο αυτό, μπορούμε να περιορίσουμε τις επιλογές του 2ου ρομπότ σε κάθε βήμα, αναγκάζοντας το να ψάξει εναλλακτικό μονοπάτι ή να μείνει στάσιμο γι'αυτό το βήμα (αν το συμφέρει). Καταφέρνουμε έτσι να αποφύγουμε τις πιθανές συγκρούσεις, ενώ ταυτόχρονα δε θυσιάζουμε τη βελτιστότητα της λύσης μας.

Για την υλοποίηση του παραπάνω αλγορίθμου, επιλέχθηκε ως κατάλληλη γλώσσα η Python, επειδή μας δίνει τη δυνατότητα να επικεντρωθούμε στα πλέον σημαντικά κομμάτια του προβλήματος (αλγόριθμος και στρατηγική αναζήτησης), να γράψουμε πυκνό και ευανάγνωστο κώδικα, ενώ με τη χρήση ενός extension module όπως το Psyco έχουμε αντίστοιχο χρόνο εκτέλεσης όπως αν γράφαμε σε μια γλώσσα χαμηλότερου επιπέδου.

2 Επιλογή Δομών Δεδομένων

Στην υλοποίησή μας επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε λίστες από τούπλες της Python, όπου ο κάθε κόμβος στι λίστα του Α* είχε 4 στοιχεία:

- 1. Το άθροισμα ευριστικής και κόστους (h + c)
- 2. Το κόστος (c)
- 3. Την τετμημένη του σημείου (x)
- 4. Την τεταγμένη του σημείου (y)

Επιπλέον, χρησιμοποιείται ένα λεξικό (dict) προκειμένου να πραγματοποιηθεί η αναδόμηση της επιλεγμένης διαδρομής ενός ρομπότ. Τα dictionaries είναι associative arrays, ένας τύπος αντικειμένων που μοιάζει με λίστα, αλλά όπου σε μοναδικά κλειδιά αντιστοιχίζονται (όχι απαραίτητα μοναδικές) τιμές.

3 Βασικές συναρτήσεις-τελεστές

Οι συναρτήσεις που σχεδιάστηκαν για την υλοποίηση του αλγορίθμου, όπως παρατίθενται στο 8ο κομμάτι της αναφοράς, είναι οι εξής:

3.1 Ανάγνωση εισόδου

- .
- •
- •

3.2 Ευριστικές μέθοδοι

- •
- •

3.3 Κυρίως σώμα του Α*

•

•

•

3.4 Χώρος καταστάσεων

•

•

•

3.5 Controller

•

•

•

4 Ευριστικές μέθοδοι

Δεδομένου ότι δουλεύουμε σε δισδιάστατο χώρο με μόνο οριζόντια και κάθετη κίνηση (όχι διαγώνια), επιλέχθηκε ως πιο έγκυρος και αποδοτικός υποεκτιμητής (admissible heuristic) η απόσταση Manhattan:

$$ManhDist = |x - x_T| + |y - y_T|$$

Η χρήση υποεκτιμητή μας εγγυάται τη βελτιστότητα της λύσης.

• Ένας λειτουργικός υπερεκτιμητής (non-admissible heuristic), είναι το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων από τον προορισμό:

$$SqDist = (x - x_T)^2 + (y - y_T)^2$$

Αν χρησιμοποιήσουμε ένα υπερεκτιμητή, θα επεκτείνουμε πιθανώς πολύ λιγότερους κόμβους κατά την αναζήτηση μας. Το χρονικό κέρδος αυτό όμως αντισταθμίζεται με την πιθανότητα να μην είναι βέλτιστη η λύση που προκύπτει, αφού ορισμένοι βέλτιστοι κόμβοι αποφεύγονται λόγω του αυξημένου συνολικού κόστους που εισάγεται με τον υπερεκτιμητή.

5 Έλεγχος και επίλυση συγκρούσεων

Όπως εξηγήσαμε πριν, ο αλγόριθμός μας εκτελείται πρώτα για το ένα ρομπότ, και στη συνέχεια για το δεύτερο, σε ένα τροποποιημένο grid. Στην περίπτωση που στο μέτωπο αναζήτησης του 2ου για το k-οστό βήμα είναι η θέση που πήγε το 1ο ρομπότ στο k βήμα, ανιχνεύεται πιθανή σύγκρουση. Το 2ο ρομπότ έχει πλέον 2 επιλογές:

- 1. Να περιμένει (wait) για ένα γύρο, επιτρέποντας στο 1ο να προχωρήσει και έπειτα ακολουθώντας το (μιας και οι επιλογές του 1ου είναι εξ'ορισμού βέλτιστες), δίνοντας στο σημείο της σύγκρουσης κόστος c+1
- 2. Να αναζητήσει κάποια εναλλακτική πορεία προς το σημείο συνάντησης.

Από τις 2 αυτές επιλογές, τελικά θα διαλέξει αυτή που έχει το λιγότερο κόστος (σε αριθμό βημάτων)

Εκτελώντας τον αλγόριθμο A* 2 φορές, ώστε στη μία το ρομπότ A να παραχωρεί προτεραιότητα στις συγκρούσεις, ενώ στη 2η το B να παραχωρεί προτεραιότητα και επιλέγοντας αυτό που παράγει μικρότερο αριθμό βημάτων τερματισμού, καταλήγουμε στο τελικά βέλτιστο αποτέλεσμα της αναζήτησης.

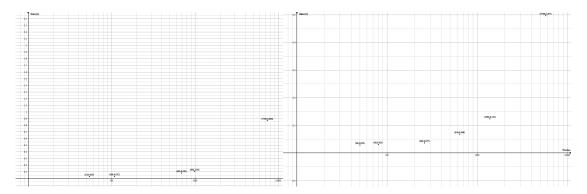
Algorithm 1 Conflict resolution

```
1: procedure resolve(newGrid[x][y], currStep)
        if newGrid[x][y] == currStep then
            cost_1 \leftarrow (len(Astar((x,y),target))+1)
 3:
            path_1 \leftarrow (path(Astar((x,y), target)))
 4:
            newgrid[x][y] \leftarrow Invalid
 5:
            cost_2 \leftarrow len(Astar(currPos, target))
 6:
            path_1 \leftarrow (path(Astar((currPos, target))))
 7:
            if cost_1 < cost_2 then
 8:
 9:
                 cost \leftarrow cost_1
                path \leftarrow path_1
10:
            else
11:
12:
                 cost \leftarrow cost_2
                path \leftarrow path_2
13:
```

6 Χρόνος εκτέλεσης ανά μέγεθος εισόδου

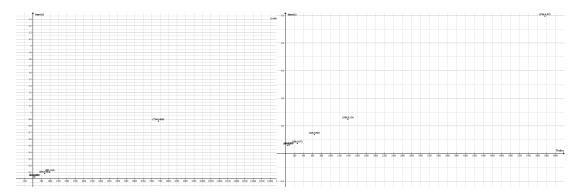
| Testcase | Nodes | Time |
|----------|-------|-------|
| 1 | 54 | 0.029 |
| 2 | 108 | 0.032 |
| 3 | 690 | 0.081 |
| 4 | 992 | 0.105 |
| 5 | 7396 | 0.868 |
| 6 | 14406 | 2.383 |

| Testcase | Nodes | Time |
|----------|-------|-------|
| 1 | 50 | 0.029 |
| 2 | 80 | 0.031 |
| 3 | 260 | 0.037 |
| 4 | 640 | 0.068 |
| 5 | 5760 | 0.497 |
| 6 | 1386 | 0.124 |



Σχήμα 1: Admissible (Σχήμα 7)

Σχήμα 2: Non Admissible (Σχήμα 8)



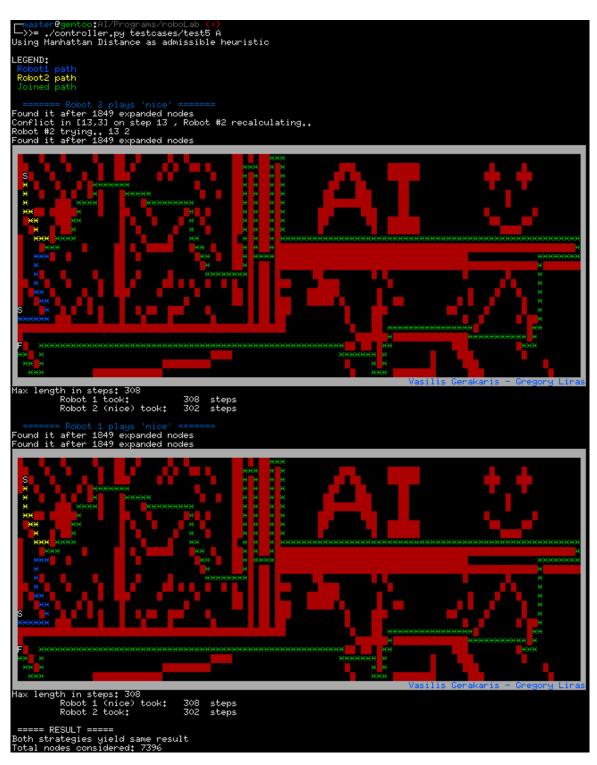
Σχήμα 3: Admissible (Σχήμα 9)

Σχήμα 4: Non Admissible (Σχήμα 10)

7 Εκτύπωση βημάτων-συγκρούσεων-εναλλακτικών δρόμων σε παράδειγμα εκτέλεσης

```
master@gentoo‡AI/Programs/roboLab
->>= ./controller.py testcases/test1 A
Using Manhattan Distance as admissible heuristic
LEGEND:
  Robot1 path
Robot2 path
Joined path
====== Robot 2 plays 'nice' ======
Found it after 13 expanded nodes
Conflict in [4,2] on step 2 , Robot #2 recalculating..
Robot #2 trying.. 5 3
Conflict in [4,3] on step 3 , Robot #2 recalculating..
Robot #2 trying.. 5 4
Conflict in [4,4] on step 4 , Robot #2 recalculating..
Robot #2 trying.. 5 5
Conflict in [4,5] on step 5 , Robot #2 recalculating..
Robot #2 trying.. 4 2
Found it after 14 expanded nodes
      s
      ₩.
Max length in steps: 5
Robot 1 took:
Robot 2 (nice) took:
                                                                   5
                                                                       steps
                                                                   5 steps
======= Robot 1 plays 'nice' ======
Found it after 14 expanded nodes
Conflict in [4,2] on step 2 , Robot #1 recalculating..
Robot #1 trying.. 4 2
Found it after 13 expanded nodes
      s
Max length in steps: 5
Robot 1 (nice) took:
Robot 2 took:
                                                                          steps
                                                                   5
                                                                          steps
  ===== RESULT =====
Both strategies yield same result
Total nodes considered: 54
```

Σχήμα 5: Testcase 1



Σχήμα 6: Testcase 5

8 Πηγαίος κώδικας

• Οι συναρτήσεις που καλούνται για την ανάγνωση της εισόδου:

```
#/* -.-.-.-.-.
2
3
     #* File Name : inparser.py
     ** Purpose : Input parsing of state space
     #* Creation Date : 24-12-2011
     #* Last Modified : Sat 11 Feb 2012 04:15:25 AM EET
10
11
12
     #* Created By : Greg Liras <gregliras@gmail.com>
13
     #* Created By : Vasilis Gerakaris <vgerak@gmail.com>
14
15
16
     import heuristics
18
     \stackrel{\text{-}}{\text{from }} \text{ } \underset{\text{sys}}{\text{sys}} \text{ } \text{import } \text{argv,exit}
19
     def retbools(st):
20
21
         a=[]
22
         for i in st:
              #'X' marks obstacle, 'O' marks open space
23
             if i == 'X':
24
25
                  a.append(-1)
              elif i=='0':
26
                 a.append(0)
27
28
         return a
29
30
     def parseInput(f):
31
         lines = int(f.readline().split()[0])
         robo1_initstate = tuple(map(int,f.readline().split()))
32
         robo2_initstate = tuple(map(int,f.readline().split()))
33
         target = tuple(map(int,f.readline().split()))
34
         text = map(retbools,f.readlines())
35
         return (target,robo1_initstate,robo2_initstate,text)
36
37
     def parseUser():
38
         if len(argv) < 3:</pre>
39
             print "Usage: %s <inputfile> <mode (A/N)>" %argv[0]
40
41
              exit(-1)
         modeCheck = argv[2]
42
          \text{while modeCheck } != \text{"A" and modeCheck } != \text{"N" and modeCheck } != \text{"a" and modeCheck } != \text{"n"} : \\ 
43
44
             print "Wrong mode, choose A for admissible heuristic or N for non-admissible"
             modeCheck = raw_input('Enter A or N --->')
45
         if modeCheck == "A" or modeCheck == 'a':
46
              print "Using Manhattan Distance as admissible heuristic"
47
             heuristic = heuristics.manhattanDist
48
         else:
49
50
             print "Using Square Distances as non-admissible heuristic"
             heuristic = heuristics.squaredDist
51
52
             f=open(argv[1],"r")
53
         except IOError:
54
             print "The file you have entered does not exist"
             exit(-1)
56
         (target,r1,r2,initialfield) = parseInput(f)
57
58
         return (target,r1,r2,initialfield,heuristic)
59
```

• Οι ευριστικές που χρησιμοποιούνται στον αλγόριθμο:

```
11
    #* Created By : Greq Liras <qreqliras@qmail.com>
12
13
     #* Created By : Vasilis Gerakaris <vgerak@gmail.com>
14
15
    #_._._..*/
17
    def manhattanDist(point1,point2):
18
         return abs(point1[0][0]-point2[0])+abs(point1[0][1]-point2[1])
19
20
21
    def squaredDist(point1,point2):
        return (point1[0][0]-point2[0])**2 + (point1[0][1]-point2[1])**2
22
  • Το κυρίως σώμα του Α*:
     #!/usr/bin/python
1
     #/* -.-.-.-.-.
2
     #* File Name : astar.py
4
     #* Purpose : Main body of A* algorithm
    #* Creation Date : 24-12-2011
10
    #* Last Modified : Sat 11 Feb 2012 04:18:25 AM EET
11
     #* Created By : Greg Liras <gregliras@gmail.com>
12
13
14
     #* Created By : Vasilis Gerakaris <vgerak@gmail.com>
15
16
     17
18
    def nextNodes((a,b)):
19
        return [((a-1,b),(a,b)),((a,b-1),(a,b)),((a+1,b),(a,b)),((a,b+1),(a,b))]
20
21
    def astar(startpoint,finishpoint,grid,heuristic,robotID=1):
        ancestors={}
23
         #ancestors is a dictionary which stores the ancestors of each point
24
         #this will be used in the end to rebuild the path
25
        passedlist=[]
26
27
         passedlist.append(startpoint)
         #passedlist contains nodes that have been processed already
28
29
         starque=[]
         #num of rows
30
         sizex=len(grid)
31
32
         #num of columns
33
         sizey=len(grid[0])
         currentCost = 0
34
35
         current = startpoint
36
         while(current!=finishpoint):
37
             #until you find the end
            possible = map(lambda x:(heuristic(x,finishpoint)+currentCost+1,currentCost+1,x),nextNodes(current))
39
40
             #find the next possible list
             for (h,c,((x,y),father)) in possible:
41
                 if x \ge 0 and y \ge 0 and x < sizex and y < sizey and grid[x][y] != -1:
42
43
                     #check what is in possible list, make sure its same
                     if(x,y) not in passedlist:
44
45
                        passedlist.append((x,y))
                         #if I havend passed this so far
                         #then store it and insert the coordinates in ancestors dictionary
47
                         ancestors[(x,y)]=father
48
49
                         starque.append((h,c,(x,y)))
                     #if I have passed this already then I can reach this with a lower cost
50
                     \#so \ i \ don't \ need \ to \ save \ x,y
51
52
             ind = starque.index(min(starque))
53
             (h,c,(x,y)) = starque.pop(ind)
             #Conflict detection for all steps
55
             while (grid[x][y] == c + 1):
56
                print "Conflict in [%d,%d] on step %d , Robot #%d recalculating.." %(x,y,c,robotID)
                 starque.append((h+1,c+1,(x,y)))
58
59
                 ind = starque.index(min(starque))
                 #Consideration of alternative paths
60
                print "Robot #%d trying.." %(robotID),starque[ind][2][0],starque[ind][2][1]
61
```

```
(h,c,(x,y)) = starque.pop(ind)
62
63
             #find index of touple with the lowest heuristic+cost
65
             nxt = (h,c,(x,y))
66
             #remove if from the queue and store it in nxt
             \#nxt = (minh, c, ((x, y), father))
68
             current = nxt[2]
69
             currentCost = nxt[1]
70
             #current cost is the cost so far that is stored in nxt
71
        print "Found it after %d expanded nodes" %len(passedlist)
72
73
        finalists=[]
74
         i =finishpoint
        finalists.append(i)
76
         \#starting from the end build the path list
77
78
         #following the directions in the ancestors dictionary
        while i !=startpoint:
79
80
             i = ancestors[i]
81
             finalists.append(i)
         #reverse the path so it starts from the beginning
82
         finalists.reverse()
         #put it in the queue
84
         return (finalists, len(passedlist))
85
```

• Οι συναρτήσεις που σχετίζονται με την εμφάνιση και τροποποίηση του χώρου καταστάσεων:

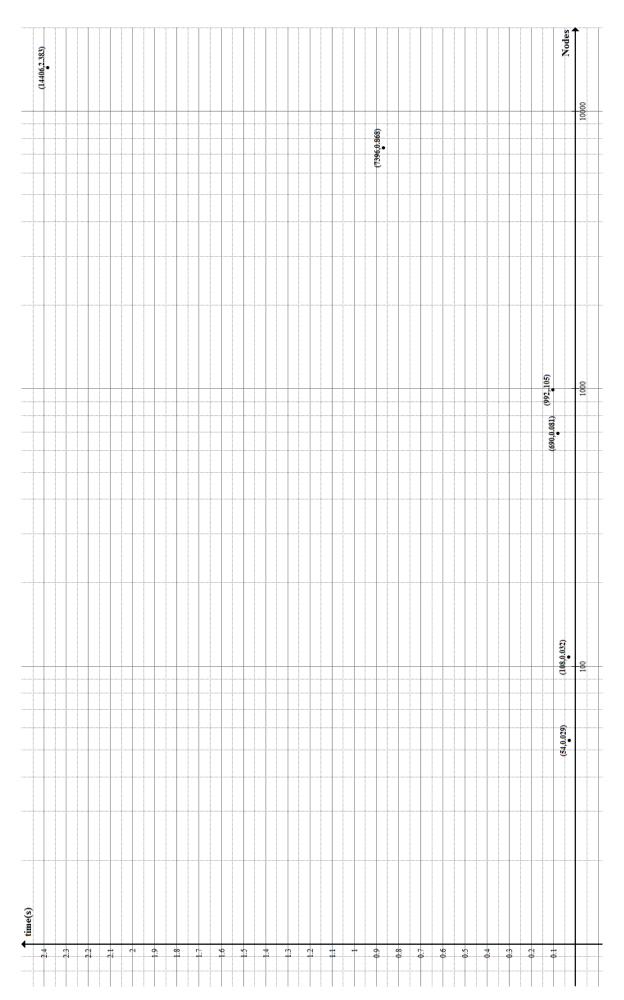
```
#!/usr/bin/python
     #/* -.-.-.
3
4
     #* File Name : grids.py
     \textit{\#* Purpose} \ : \ \textit{Functions} \ \textit{related} \ \textit{with} \ \textit{grid} \ \textit{modifying} \ \textit{\&} \ \textit{output}
6
     #* Creation Date : 24-12-2011
8
     #* Last Modified : Fri 10 Feb 2012 04:17:27 PM EET
11
     #* Created By : Greg Liras <gregliras@gmail.com>
12
13
     #* Created By : Vasilis Gerakaris <vgerak@gmail.com>
14
15
     16
17
     lgrid=[]
18
     blockChar = unichr(0x258A)
19
     joinedColor = "0;32"
20
21
     names = "Vasilis Gerakaris - Gregory Liras"
22
23
     #Choose what will be printed depending on element in position
24
     def revertMap(b):
         if b=="@" or b=="#":
25
             return b
         elif b>=0:
27
            return " "
28
                                           #unused space gets blankspace
         elif b<0:
29
             return "\033[41m \033[0m" #obstacle gets red solid box
30
31
         else:
             return b
32
33
     def flushgrid(grid):
34
        global lgrid
35
36
         lgrid = []
         for i in grid:
37
             lgrid.append(map(revertMap,list(i)))
38
39
     def designpath(color,(sx,sy),(fx,fy),finalists):
40
         global lgrid
41
         for (x,y) in finalists:
             if ( lgrid[x][y].startswith("\033")):
                                                            #if both robots use position, color with green
43
                  lgrid[x][y] = "\033["+joinedColor+"m*\033[0m"]
44
                                                             #else keep designated robot color
45
                 lgrid[x][y]="\033["+color+"m*\033[0m"
46
47
         lgrid[sx][sy]="S"
         lgrid[fx][fy]="F"
48
49
```

```
def printpath():
50
         print "\033[47m"+(" "*(len(lgrid[0])+2))+"\033[0m"
51
         for i in lgrid:
52
            print "\033[47m \033[0m"+"".join(i)+"\033[47m \033[0m"
53
         print "\033[47m\033[1;34m"+(" "*(len(lgrid[0])+2-len(names)))+names+"\033[0m"
54
55
     def printgrid((cx,cy),(fx,fy),grid):
56
         global lgrid
57
         if not lgrid:
58
             for i in grid:
59
60
                 lgrid.append(map(revertMap,i))
         lgrid[cx][cy]="0"
61
         lgrid[fx][fy]="#"
62
63
         for i in lgrid:
64
           print "".join(i)
65
         print "----"
66
67
68
     def modifygrid(finalists,grid):
69
         for (x,y) in finalists:
70
             grid[x][y]=i
                              #robot 1 marks its steps on the grid to
             i+=1
                                  #be unusable (on same turn) by robot 2
72
73
         return grid
```

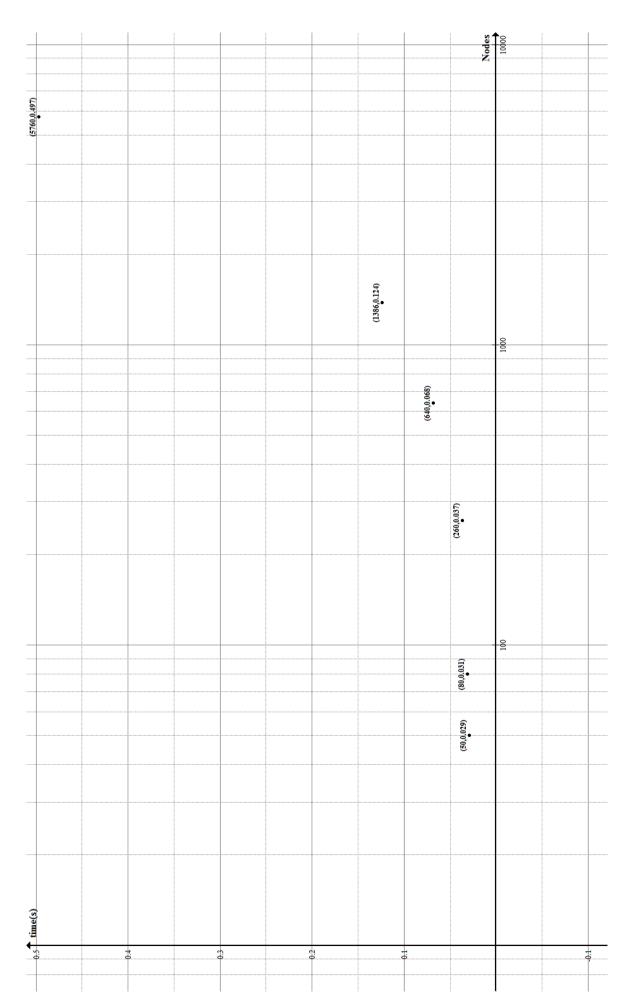
• Ο controller που καλεί τις παραπάνω συναρτήσεις για να παραχθεί το τελικό αποτέλεσμα:

```
#!/usr/bin/python
3
4
     \#* File Name : controler.py
     #* Purpose : 1st assignment in Artificial Intelligence
6
     #* Creation Date : 24-12-2011
8
    #* Last Modified : Sat 11 Feb 2012 04:15:04 AM EET
11
     #* Created By : Greg Liras <gregliras@gmail.com>
12
13
     #* Created By : Vasilis Gerakaris <vgerak@gmail.com>
14
15
     #_._...*/
16
17
    from inparser import parseUser
19
20
    {\tt from} \ {\tt astar} \ {\tt import} \ {\tt astar}
21
     from grids import flushgrid, printpath, designpath, modifygrid
    from sys import argv
22
23
    def main():
24
         (target,r1,r2,initialfield,heuristic) = parseUser()
25
         field = map(list,initialfield)
         print "\nLEGEND:"
27
         print "\033[1;34m Robot1 path \n\033[1;33m Robot2 path \n\033[0;32m Joined path \033[0m"
28
        print "\n \033[0;34m ====== Robot 2 plays 'nice' ====== \033[0m"
29
         (finalists1,nodes) = astar(r1,target,field,heuristic,1)
30
31
         total = nodes
         field = modifygrid(finalists1,field)
32
         (finalists2,nodes) = astar(r2,target,field,heuristic,2)
33
         total += nodes
34
         flushgrid(field)
35
36
         designpath("1;34",r1,target,finalists1)
         designpath("1;33",r2,target,finalists2)
37
         printpath()
38
39
         max1 = max(len(finalists1),len(finalists2))
         print "Max length in steps:", max1-1
40
         print "\t Robot 1 took:\t\t", len(finalists1)-1, " steps"
41
         print "\t Robot 2 (nice) took:\t", len(finalists2)-1, " steps"
42
         flushgrid(field)
43
         print "\n \033[0;34m ====== Robot 1 plays 'nice' ====== \033[0m"
44
         field = map(list,initialfield)
45
         (finalists2,nodes) = astar(r2,target,field,heuristic,2)
46
47
         total += nodes
         field = modifygrid(finalists2,field)
48
         (finalists1,nodes) = astar(r1,target,field,heuristic,1)
49
```

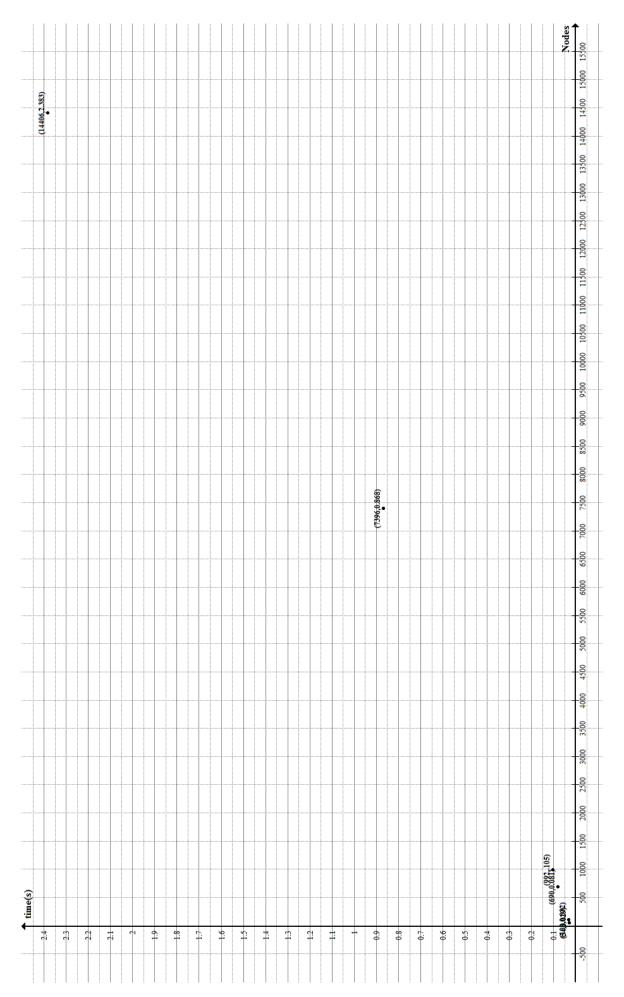
```
total += nodes
50
          flushgrid(field)
51
          designpath("1;34",r1,target,finalists1)
designpath("1;33",r2,target,finalists2)
53
54
          printpath()
          max2 = max(len(finalists1),len(finalists2))
55
          print "Max length in steps:", max2-1
print "\t Robot 1 (nice) took:\t", len(finalists1)-1, " steps"
56
57
          print "\t Robot 2 took:\t\t", len(finalists2)-1, " steps"
58
          print "\n ===== RESULT ====="
59
60
          if max1 < max2:</pre>
              print "1st strategy (Robot 2 plays nice) is optimal"
61
          elif max2 < max1:</pre>
62
              print "2nd strategy (Robot 1 plays nice) is optimal"
63
64
             print "Both strategies yield same result"
65
66
          print "Total nodes considered:", total
67
69
     if __name__=="__main__":
          main()
70
```



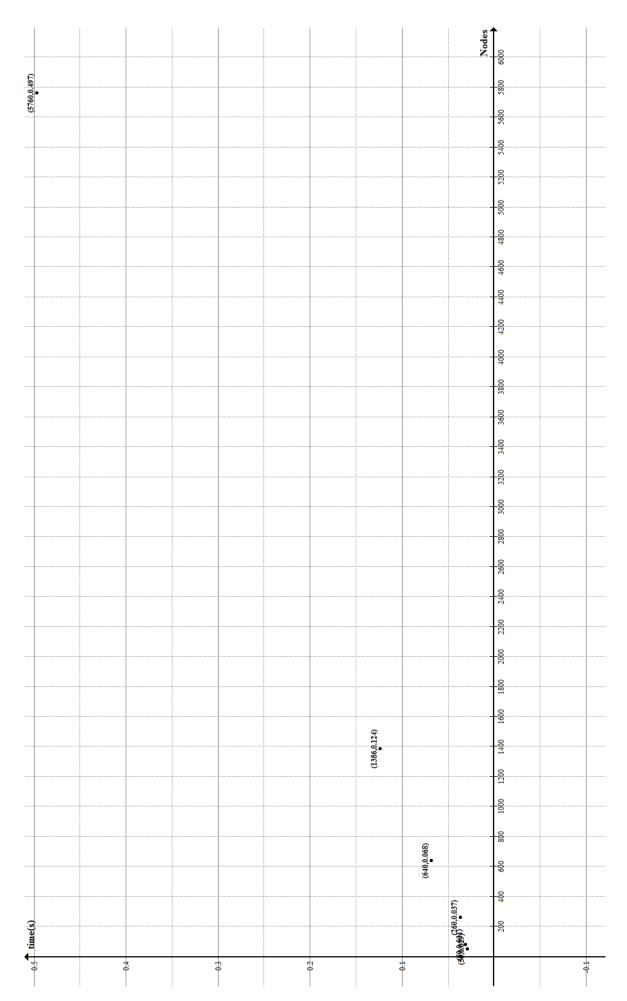
Σχήμα 7: Admissible heuristic 12



Σχήμα 8: Admissible heuristic 13



Σχήμα 9: Admissible heuristic 14



Σχήμα 10: Admissible heuristic 15