



# **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΣΧΟΛΗ ΗΜ&ΜΥ  
Τεχνητή Νοημοσύνη  
1<sup>η</sup> Άσκηση  
Ακ. έτος 2011-2012

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

10 Φεβρουαρίου 2012

# Υλοποίηση αλγορίθμου A\*

## 1.1 Παρουσίαση προβλήματος και σκιαγράφηση λύσης

Στην άσκηση αυτή καλούμαστε να υλοποιήσουμε τον αλγόριθμο αναζήτησης A\* 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, παραχωρώντας τη βέλτιστη κίνηση στο 1ο ρομπότ. Με τον τρόπο αυτό, μπορούμε να εκτελέσουμε σειριακά τον αλγόριθμο A\*, 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 O (στις θέσεις που επιτρέπεται η κίνηση) και X (στις θέσεις όπου βρίσκονται εμπόδια). Η βασική ιδέα πίσω από τον αλγόριθμό μας είναι ότι οι θέσεις με X κωδικοποιούνται ως '-1', οι θέσεις με O 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.

## 1.2 Επιλογή Δομών Δεδομένων

Στην υλοποίησή μας επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε λίστες λιστών της Python, όπου ο κάθε κόμβος στη λίστα του A\* 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.

## 1.3 Βασικές συναρτήσεις-τελεστές

2

## 1.4 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.

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

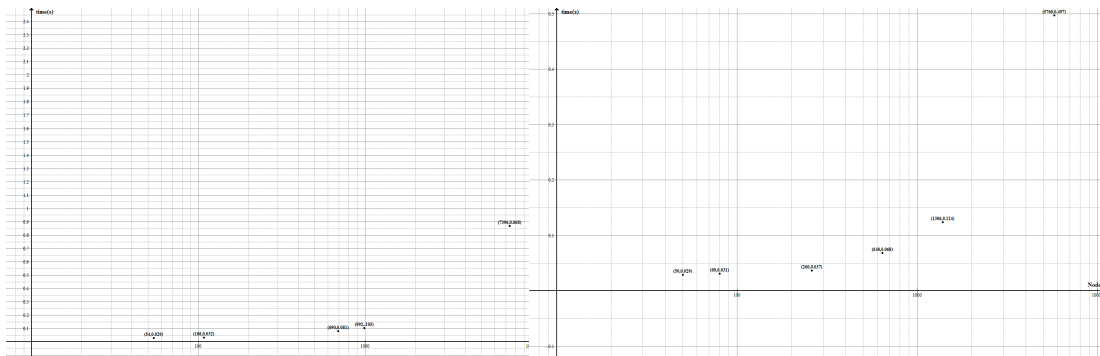
```

---

## 1.6 Χρόνος εκτέλεσης ανά μέγεθος εισόδου

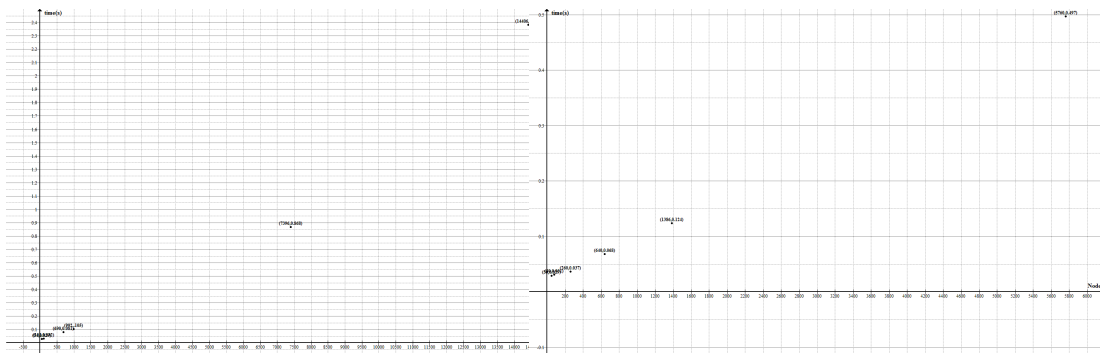
Testcase	Nodes	Times
1	54	0.029
2	108	0.032
3	690	0.081
4	992	0.105
5	7396	0.868
6	14406	2.383

Testcase	Nodes	Times
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 2: Non Admissible ??



Σχήμα 3: Admissible ??

Σχήμα 4: Non Admissible ??

## 1.7 Εκτύπωση βημάτων-συγκρούσεων-εναλλακτικών δρόμων σε παράδειγμα εκτέλεσης

6

## 1.8 Πηγαίος κώδικας

Here be dragons!

- Οι συναρτήσεις που καλούνται για την ανάγνωση της εισόδου:

```

1  #!/usr/bin/python
2  #/* .....*/
3  #
4  ## File Name : inparser.py
5  #
6  ## Purpose : Input parsing of state space
7  #
8  ## Creation Date : 24-12-2011
9  #
10 ## Last Modified : Fri 10 Feb 2012 04:17:27 PM EET
11 #
12 ## Created By : Greg Liras <gregliras@gmail.com>
13 #
14 ## Created By : Vasilis Gerakaris <vgerak@gmail.com>
15 #
16 #.....*/
17
18 def retbools(st):
19     a=[]
20     for i in st:
21         #'X' marks obstacle, '0' marks open space
22         if i == 'X':
23             a.append(-1)
24         elif i=='0':
25             a.append(0)
26     return a

```

```

27
28 def parseInput(f):
29     lines = int(f.readline().split()[0])
30     robo1_initstate = tuple(map(int,f.readline().split()))
31     robo2_initstate = tuple(map(int,f.readline().split()))
32     target = tuple(map(int,f.readline().split()))
33     text = map(retbools,f.readlines())
34     return (target,robo1_initstate,robo2_initstate,text)

```

- Οι ευριστικές που χρησιμοποιούνται στον αλγόριθμο:

```

1  #!/usr/bin/python
2  /* ..... */
3  #
4  ## File Name : heuristics.py
5  #
6  ## Purpose :
7  #
8  ## Creation Date : 09-02-2012
9  #
10 ## Last Modified : Fri 10 Feb 2012 04:17:27 PM EET
11 #
12 ## Created By : Greg Liras <gregliras@gmail.com>
13 #
14 ## Created By : Vasilis Gerakaris <vgerak@gmail.com>
15 #
16 #.....*/
17
18 def manhattanDist(point1,point2):
19     return abs(point1[0][0]-point2[0])+abs(point1[0][1]-point2[1])
20
21 def squaredDist(point1,point2):
22     return (point1[0][0]-point2[0])**2 + (point1[0][1]-point2[1])**2

```

- Το κυρίως σώμα του A\* :

```

1  #!/usr/bin/python
2  /* ..... */
3  #
4  ## File Name : astar.py
5  #
6  ## Purpose : Main body of A* algorithm
7  #
8  ## Creation Date : 24-12-2011
9  #
10 ## Last Modified : Fri 10 Feb 2012 17:50:59 EET
11 #
12 ## Created By : Greg Liras <gregliras@gmail.com>
13 #
14 ## Created By : Vasilis Gerakaris <vgerak@gmail.com>
15 #
16 #.....*/
17
18
19 def nextNodes((a,b)):
20     return [(a-1,b),(a,b)),((a,b-1),(a,b)),((a+1,b),(a,b)),((a,b+1),(a,b))]
21
22 def putinlist(starque,(h,c,xy)):
23     if not starque:
24         starque.append((h,c,xy))
25     return starque
26
27     for i in range(len(starque)):
28         (sh,sc,sxy) = starque[i]
29         if sxy == xy:
30             starque.pop(i)
31             (sh,sc,sxy) = min((sh,sc,sxy),(h,c,xy))
32             starque.append((sh,sc,sxy))
33     return starque
34
35 def astar(startpoint,finishpoint,grid,heuristic,robotID=1):
36     ancestors={}
37     #ancestors is a dictionary which stores the ancestors of each point
38     #this will be used in the end to rebuild the path
39     passedlist=[]
40     passedlist.append(startpoint)

```

```

41  #passedlist contains nodes that have been processed already
42  starque=[]
43  #num of rows
44  sizeX=len(grid)
45  #num of columns
46  sizeY=len(grid[0])
47  possible = map(lambda x:(heuristic(x,finishpoint)+1,1,x),nextNodes(startpoint))
48  #each point has these characteristics
49  #(heuristic,cost,((x,y),father))
50  for (h,c,((x,y),father)) in possible:
51      #checking for bounds and then checking if grid[x][y]==True
52      #now should be grid[x][y]==0 ??
53      if x >= 0 and y >= 0 and x < sizeX and y < sizeY and grid[x][y] != -1:
54          passedlist.append((x,y))
55          ancestors[(x,y)]=father
56          starque.append((h,c,(x,y)))
57
58  ind = starque.index(min(starque))
59  (h,c,(x,y)) = starque.pop(ind)
60  #Conflict detection on first step
61  while(grid[x][y] == c + 1 ):
62      print "Conflict in [%d,%d] on step %d , Robot #%d recalculating.." %(x,y,c,robotID)
63      starque.append((h+1,c+1,(x,y)))
64      ind = starque.index(min(starque))
65      #Consideration of alternative paths
66      print "Robot #%d trying.." %(robotID),starque[ind][2][0],starque[ind][2][1]
67      (h,c,(x,y)) = starque.pop(ind)
68
69  #ind = starque.index(min(starque))
70  #find index of tuple with the lowest heuristic+cost
71  #nxt = starque.pop(ind)
72  nxt = (h,c,(x,y))
73  #remove if from the queue
74  #and store it in nxt
75  #nxt = (minh,c,((x,y),father))
76  current = nxt[2]
77  currentCost = nxt[1]
78  #current cost is the cost so far that is stored in nxt
79  #goal = zip( *nextNodes( finishpoint ) )[0]
80  #print goal
81
82  while(current!=finishpoint):
83      #until you find the end
84      possible = map(lambda x:(heuristic(x,finishpoint)+currentCost+1,currentCost+1,x),nextNodes(current))
85      #find the next possible list
86      for (h,c,((x,y),father)) in possible:
87          if x >= 0 and y >= 0 and x < sizeX and y < sizeY and grid[x][y] != -1:
88              #check what is in possible list, make sure its sane
89              #starque = putinlist(starque,(h,c,(x,y)))
90              if(x,y) not in passedlist:
91                  passedlist.append((x,y))
92                  #if I havend passed this so far
93                  #then store it and insert the coordinates in ancestors dictionary
94                  ancestors[(x,y)]=father
95                  starque.append((h,c,(x,y)))
96                  #if I have passed this already then I can reach this with a lower cost
97                  #so i don't need to save x,y
98
99  ind = starque.index(min(starque))
100  (h,c,(x,y)) = starque.pop(ind)
101  #Conflict detection for all steps
102  while(grid[x][y] == c + 1 ):
103      print "Conflict in [%d,%d] on step %d , Robot #%d recalculating.." %(x,y,c,robotID)
104      starque.append((h+1,c+1,(x,y)))
105      ind = starque.index(min(starque))
106      #Consideration of alternative paths
107      print "Robot #%d trying.." %(robotID),starque[ind][2][0],starque[ind][2][1]
108      (h,c,(x,y)) = starque.pop(ind)
109
110
111  #find index of tuple with the lowest heuristic+cost
112  nxt = (h,c,(x,y))
113  #remove if from the queue and store it in nxt
114  #nxt = (minh,c,((x,y),father))
115  current = nxt[2]

```

```

116         currentCost = nxt[1]
117         #current cost is the cost so far that is stored in nxt
118         print "Found it after %d expanded nodes" %len(passedlist)
119
120         finalists=[]
121         i =finishpoint
122         finalists.append(i)
123         #starting from the end build the path list
124         #following the directions in the ancestors dictionary
125         while i !=startpoint:
126             i = ancestors[i]
127             finalists.append(i)
128         #reverse the path so it starts from the beginning
129         finalists.reverse()
130         #put it in the queue
131         return (finalists, len(passedlist))

```

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

```

1  #!/usr/bin/python
2  #!/* -. -. -. -. -. -. -. -. -. -. -. -. -. -. */
3  #
4  ## File Name : grids.py
5  #
6  ## Purpose : Functions related with grid modifying & output
7  #
8  ## Creation Date : 24-12-2011
9  #
10 ## Last Modified : Fri 10 Feb 2012 04:17:27 PM EET
11 #
12 ## Created By : Greg Liras <gregliras@gmail.com>
13 #
14 ## Created By : Vasilis Gerakaris <vgerak@gmail.com>
15 #
16 #. -. -. -. -. -. -. -. -. -. -. -. -. -. */
17
18 lgrid=[]
19 blockChar = unichr(0x258A)
20 joinedColor = "0;32"
21 names = "Vasilis Gerakaris - Gregory Liras"
22
23 #Choose what will be printed depending on element in position
24 def revertMap(b):
25     if b=="@" or b=="#":
26         return b
27     elif b>=0:
28         return " " #unused space gets blankspace
29     elif b<0:
30         return "\033[41m \033[0m" #obstacle gets red solid box
31     else:
32         return b
33
34 def flushgrid(grid):
35     global lgrid
36     lgrid = []
37     for i in grid:
38         lgrid.append(map(revertMap,list(i)))
39
40 def designpath(color,(sx,sy),(fx,fy),finalists):
41     global lgrid
42     for (x,y) in finalists:
43         if ( lgrid[x][y].startswith("\033")): #if both robots use position, color with green
44             lgrid[x][y] = "\033["+joinedColor+"m*\033[0m"
45         else: #else keep designated robot color
46             lgrid[x][y]="\033["+color+"m*\033[0m"
47     lgrid[sx][sy]="S"
48     lgrid[fx][fy]="F"
49
50 def printpath():
51     print "\033[47m"+(" "*(len(lgrid[0])+2))+"\033[0m"
52     for i in lgrid:
53         print "\033[47m \033[0m"+" ".join(i)+"\033[47m \033[0m"
54     print "\033[47m\033[1;34m"+(" "*(len(lgrid[0])+2-len(names)))+names+"\033[0m"
55

```

```

56 def printgrid((cx,cy),(fx,fy),grid):
57     global lgrid
58     if not lgrid:
59         for i in grid:
60             lgrid.append(map(revertMap,i))
61     lgrid[cx][cy]="@"
62     lgrid[fx][fy]="#"
63
64     for i in lgrid:
65         print "".join(i)
66     print "-----"
67
68 def modifygrid(finalists,grid):
69     i=1
70     for (x,y) in finalists:
71         grid[x][y]=i      #robot 1 marks its steps on the grid to
72         i+=1              #be unusable (on same turn) by robot 2
73     return grid

```

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

```

1  #!/usr/bin/python
2  #/* .....
3  #
4  ## File Name : controler.py
5  #
6  ## Purpose : 1st assignment in Artificial Intelligence
7  #
8  ## Creation Date : 24-12-2011
9  #
10 ## Last Modified : Fri 10 Feb 2012 04:44:06 PM EET
11 #
12 ## Created By : Greg Liras <gregliras@gmail.com>
13 #
14 ## Created By : Vasilis Gerakaris <vgerak@gmail.com>
15 #
16 #.....*/
17
18 import sys
19
20 from inparser import parseInput
21 from astar import astar
22 import heuristics
23 from grids import flushgrid,printpath,designpath,modifygrid
24
25 def main():
26     if len(sys.argv) < 3:
27         print "Usage: %s <inputfile> <mode (A/N)>" %sys.argv[0]
28         return -1
29     f=open(sys.argv[1],"r")
30     (target,r1,r2,initialfield) = parseInput(f)
31     f.close()
32     field = map(list,initialfield)
33     modeCheck = sys.argv[2]
34     while modeCheck != "A" and modeCheck != "N" and modeCheck != "a" and modeCheck != "n":
35         print "Wrong mode, choose A for admissible heuristic or N for non-admissible"
36         modeCheck = raw_input('Enter A or N --->')
37     if modeCheck == "A" or modeCheck == 'a':
38         print "Using Manhattan Distance as admissible heuristic"
39         heuristic = heuristics.manhattanDist
40     else:
41         print "Using Square Distances as non-admissible heuristic"
42         heuristic = heuristics.squaredDist
43     print "\nLEGEND:"
44     print "\033[1;34m Robot1 path \n\033[1;33m Robot2 path \n\033[0;32m Joined path \033[0m"
45     print "\n \033[0;34m ===== Robot 2 plays 'nice' ===== \033[0m"
46     total=0
47     (finalists1,nodes) = astar(r1,target,field,heuristic,1)
48     total += nodes
49     field = modifygrid(finalists1,field)
50     (finalists2,nodes) = astar(r2,target,field,heuristic,2)
51     total += nodes
52     flushgrid(field)
53     designpath("1;34",r1,target,finalists1)

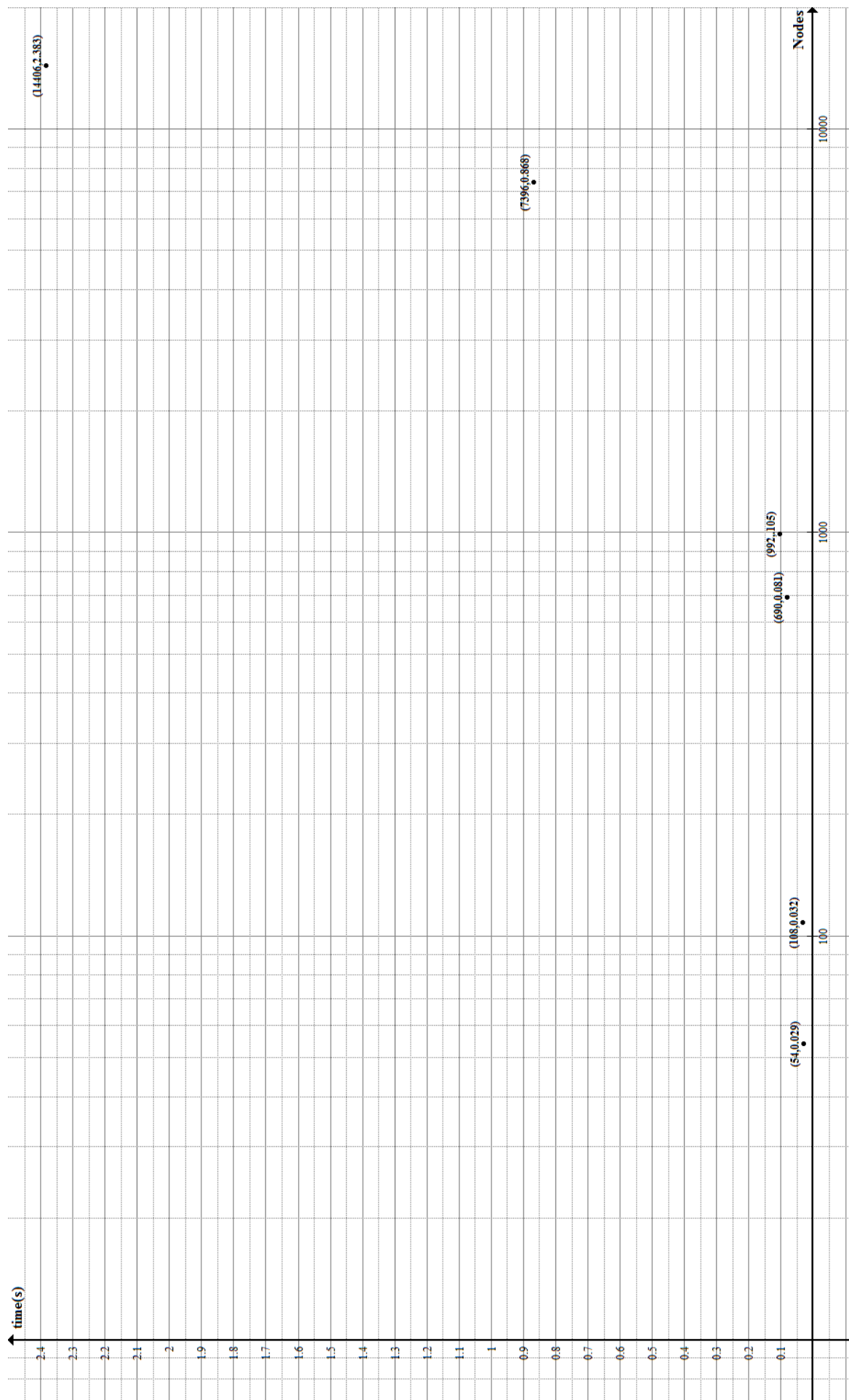
```



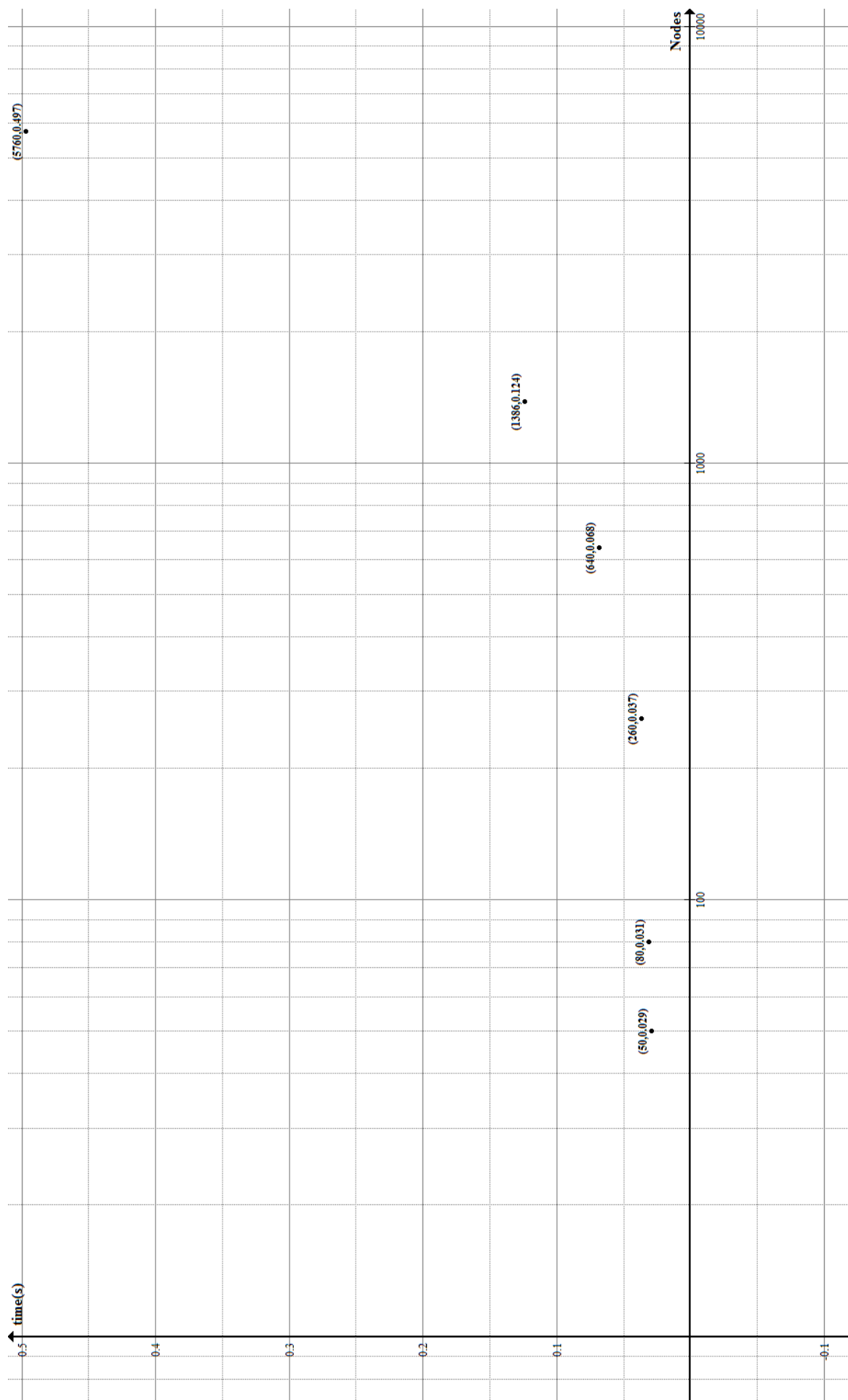
```

54 designpath("1;33",r2,target,finalists2)
55 printpath()
56 max1 = max(len(finalists1),len(finalists2))
57 print "Max length in steps:", max1-1
58 print "\t Robot 1 took:\t\t", len(finalists1)-1, " steps"
59 print "\t Robot 2 (nice) took:\t", len(finalists2)-1, " steps"
60 flushgrid(field)
61 print "\n \033[0;34m ===== Robot 1 plays 'nice' ===== \033[0m"
62 field = map(list,initialfield)
63 modeCheck = sys.argv[2]
64 (finalists2,nodes) = astar(r2,target,field,heuristic,2)
65 total += nodes
66 field = modifygrid(finalists2,field)
67 (finalists1,nodes) = astar(r1,target,field,heuristic,1)
68 total += nodes
69 flushgrid(field)
70 designpath("1;34",r1,target,finalists1)
71 designpath("1;33",r2,target,finalists2)
72 printpath()
73 max2 = max(len(finalists1),len(finalists2))
74 print "Max length in steps:", max2-1
75 print "\t Robot 1 (nice) took:\t", len(finalists1)-1, " steps"
76 print "\t Robot 2 took:\t\t", len(finalists2)-1, " steps"
77 print "\n ===== RESULT ====="
78 if max1 < max2:
79     print "1st strategy (Robot 2 plays nice) is optimal"
80 elif max2 < max1:
81     print "2nd strategy (Robot 1 plays nice) is optimal"
82 else:
83     print "Both strategies yield same result"
84 print "Total nodes considered:", total
85
86
87 if __name__=="__main__":
88     main()

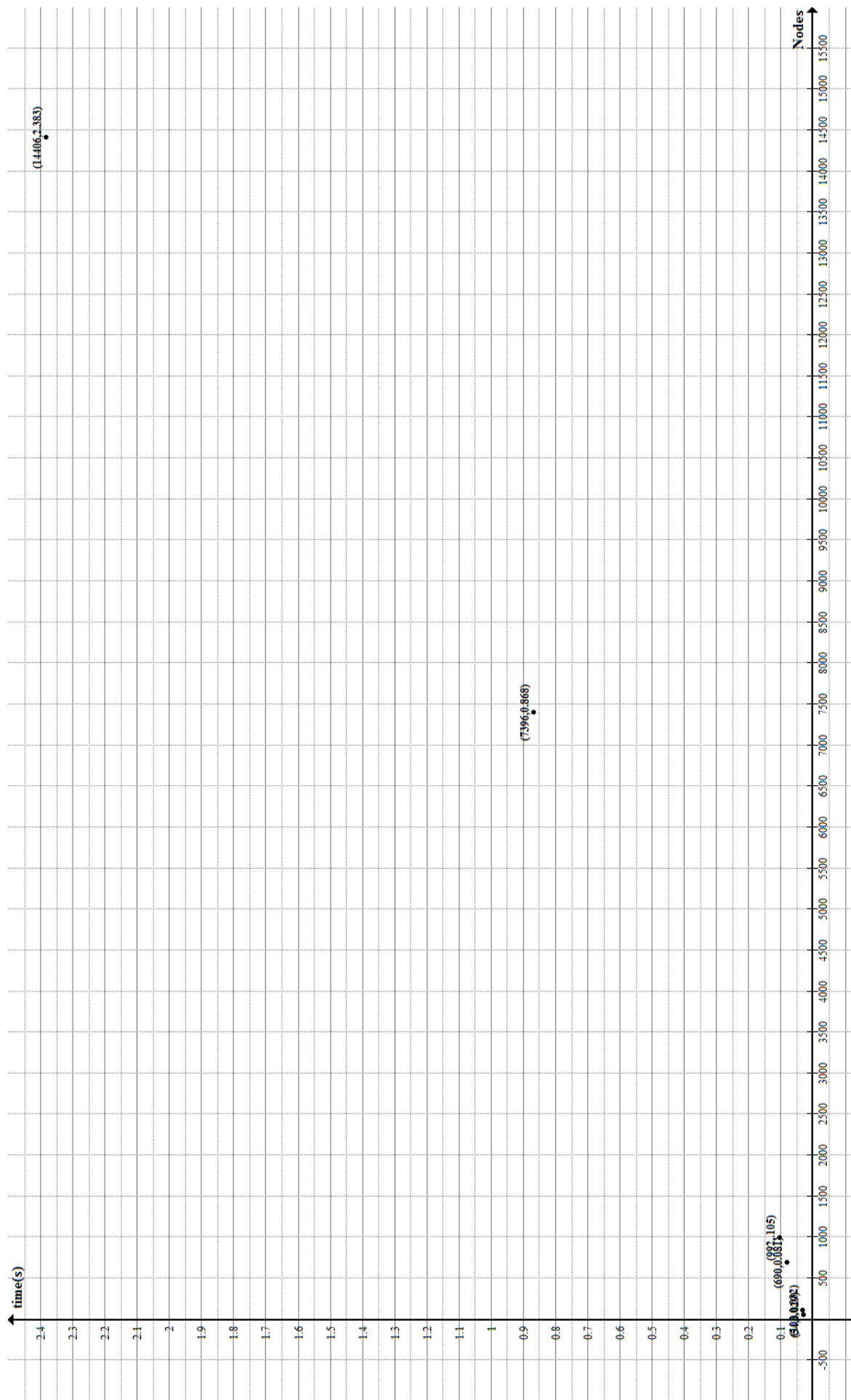
```



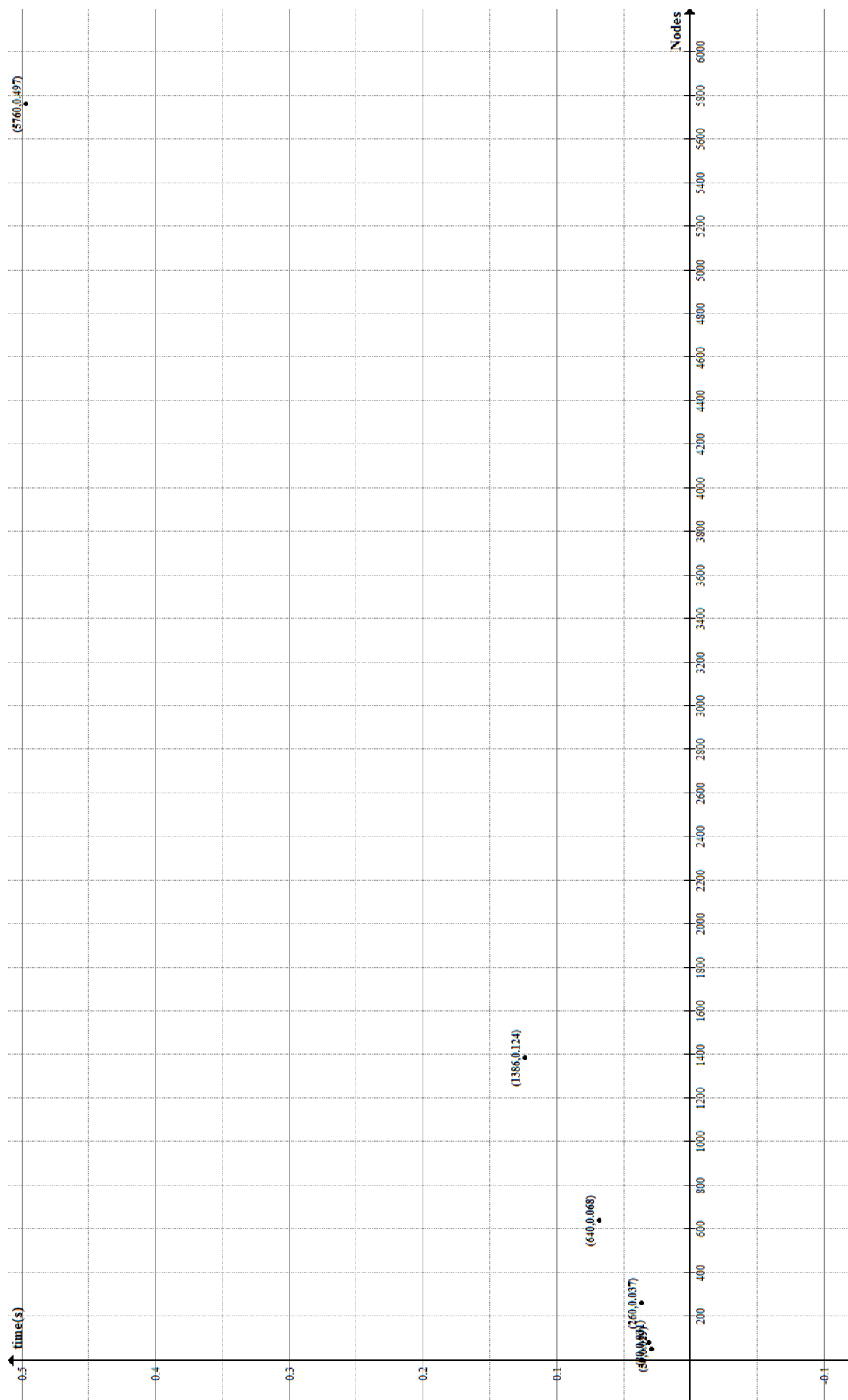
Σχήμα 5: Admissible heuristic



Σχήμα 6: Admissible heuristic



Σχήμα 7: Admissible heuristic



Σχήμα 8: Admissible heuristic