

Lab1 – Path searching algorithms

Abstract - The aim of the paper is to compare path searching algorithms on the example of determining routes in public transport (MPK). More precisely Dijkstra and A* for finding the best connection between 2 MPK stations and examine Tabu algorithm for calculating the best route for a given set of stations that should be visited.

1. Introduction

Dijkstra algorithm is widely used when the real cost of reaching a node can be calculated and a heuristic function cannot be applied or would it be too hard to achieve or accuracy would suffer. For example OSPF and ISIS implements mechanisms based on this approach (cost of reaching the network is passed to the subsequent neighbors and then used for further communication).

Dijkstra is a special case for A* - when the heuristic is equal to 0. Thanks to utilization of approximate cost from a node to the destination (node that seems promising are promoted), path can be found faster. It is especially useful in for example games or online maps services, where heuristic can be easily elaborated.

Tabu is an algorithm deals with a problem similar to Travelling Salesman Problem, but travelling times between destinations are not constant. They can change dynamically (e.x. in rush hours buses run more frequently).

1.2. Assumptions

There are not more than one stop with the same name. If this happens, the location of the stop is overridden. For example if stop Pasaż Grunwaldzki firstly appear in the dataset with the specific latitude and longitude, then I use this location for the all stops with the same name. Sometimes it leads to connections between the same location. I removed those anomalies.

1.3. Dijkstra

Finding optimal solution last 12.8 - 14.3 seconds. Algorithm runs until it won't visit all possible stops and assign them cost of reaching them (the earliest time of the arrival).

1.4. A*

According to wroclaw.wyborcza.pl average speed of MPK Wrocław is around 16.2 km/h. This knowledge was used for determining a heuristic that calculates time from a destination. Additionally in order to reduce calculations, when destination is found, the searching stops running. This lead to similar routes like when Dijkstra was used, but with calculation time 0.3 - 2.8 seconds. The duration depends on the distance between stops.

1.5 Tabu

I treat neighborhood as array of solution-based routes with two destination swapped:

```
neighbors[:, :] = solution
swappable = cycle(range(1, neighbors.shape[1] - 1, randint(1, neighbors.shape[1] - 2)))
for i in range(0, neighbors.shape[0] - 1):
    id = next(swappable)
    neighbors[i][id], neighbors[i][id + 1] = solution[id + 1], solution[id]
```

In order to limit unnecessary checks, if within the neighborhood no best solution is found, then I add all neighborhood to something like infinite tabu.

```
if should_add_to_tabu:
    should_add_to_tabu = False
    if should_pop_from_tabu:
        tabu_list[tabu_idx: tabu_idx + len(neighborhood), :] = 0
    tabu_list, tabu_idx, should_pop_from_tabu = add_to_tabu_list(tabu_list, tabu_idx, neighborhood, should_pop_from_tabu)
else:
    poor_solutions.extend(neighborhood.tolist())
```

I use A* for finding connections between any 2 destinations.

2. Experiments

Different connections where tested to identify features and differences between Dijkstra and A*. 3 times of day were selected: early morning 6:30, rush hours - 15:30, evening - 20:30. Also 2 destinations - a distant and close one.

2.1.1 Results - Dijkstra and A*

Dijkstra gives optimal (in terms of arrival time) but is much slower than A*. The duration last similarly long when a distance between start and destination is smaller. On the other hand A* with Manhattan gives worse results for long distance up to 14 minutes (departure is 23% later than when Dijkstra was used) and for shorter up to 1 minute (13% more). To get better results I switched the way I calculate distance to Euclidean. In most cases it improved results with a small calculation time overhead.

Example: early - distant

<div>START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'</div> <div>DESTINATION = 'KSIEŻE MALE'</div> <div>visited = dijkstra(graph, START, DESTINATION, RAND)</div> <div>present_connections(visited, START, DESTINATION)</div> <div>✓ 13.1s</div> <div>Python</div>	<div>START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'</div> <div>DESTINATION = 'KSIEŻE MALE'</div> <div>visited = a_star(graph, START, DESTINATION, RAND)</div> <div>present_connections(visited, START, DESTINATION)</div> <div>✓ 1.2s</div> <div>Python</div>
<div>From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEŻE MALE</div> <div>1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa 06:30:00 -> Krzeptów - Boisko 06:31:00 linia 927</div> <div>2 Krzeptów - Boisko 06:31:00 -> Krzeptów - petla 06:32:00 linia 927</div> <div>3 Krzeptów - petla 06:32:00 -> Krzeptów - skrzy. 06:33:00 linia 927</div> <div>4 Krzeptów - skrzy. 06:33:00 -> Smolec - Główna (na wys. nr 83) 06:36:00 linia 927</div> <div>5 Smolec - Główna (na wys. nr 83) 06:36:00 -> Smolec - Chłopska/Główna 06:38:00 linia 927</div> <div>6 Smolec - Chłopska/Główna 06:38:00 -> Smolec - Chłopska/Cisowa 06:40:00 linia 927</div> <div>7 Smolec - Chłopska/Cisowa 06:40:00 -> Smolec - Chłopska/Słiwkowa 06:42:00 linia 927</div> <div>8 Smolec - Chłopska/Słiwkowa 06:42:00 -> Smolec - Chłopska/Wrzosowa 06:43:00 linia 927</div> <div>9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa 06:43:00 -> Gagarina 06:48:00 linia 927</div> <div>10 Gagarina 06:48:00 -> Zagony 06:51:00 linia 927</div> <div>11 Zagony 06:52:00 -> Muchobór Wielki 06:53:00 linia 119</div> <div>12 Muchobór Wielki 06:53:00 -> Stanisławowska (W.K. Formaty) 06:55:00 linia 119</div> <div>13 Stanisławowska (W.K. Formaty) 06:55:00 -> Trawowa 06:57:00 linia 119</div> <div>14 Trawowa 06:57:00 -> Krzemieniecka 06:58:00 linia 119</div> <div>15 Krzemieniecka 06:58:00 -> Końcowa 06:59:00 linia 119</div> <div>16 Końcowa 06:59:00 -> Ostrowskiego 07:01:00 linia 119</div> <div>17 Ostrowskiego 07:01:00 -> FAT 07:03:00 linia 119</div> <div>18 FAT 07:03:00 -> Hutnen 07:04:00 linia 11</div> <div>19 Hutnen 07:04:00 -> Bzowa (Centrum Historii Zajezdnia) 07:05:00 linia 11</div> <div>20 Bzowa (Centrum Historii Zajezdnia) 07:05:00 -> pl. Srebrny 07:06:00 linia 11</div> <div>21 pl. Srebrny 07:06:00 -> Stałowa 07:07:00 linia 11</div> <div>22 Stałowa 07:07:00 -> Grochowa 07:09:00 linia 11</div> <div>23 Grochowa 07:10:00 -> Krucza 07:11:00 linia 11</div> <div>24 Krucza 07:11:00 -> Rondo 07:14:00 linia 134</div> <div>...</div> <div>33 Tarnogajska 07:29:00 -> Armii Krajowej (Bogedaina) 07:30:00 linia 134</div> <div>34 Armii Krajowej (Bogedaina) 07:30:00 -> Park Wschodni 07:32:00 linia 134</div> <div>35 Park Wschodni 07:32:00 -> Karwińska 07:34:00 linia 134</div> <div>36 Karwińska 07:34:00 -> KSIEŻE MALE 07:35:00 linia 134</div> <div>Output is truncated. View as a scrollable element or open in a text editor. Adjust cell output settings..</div>	<div>From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEŻE MALE</div> <div>1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa 06:30:00 -> Krzeptów - Boisko 06:31:00 linia 927</div> <div>2 Krzeptów - Boisko 06:31:00 -> Krzeptów - petla 06:32:00 linia 927</div> <div>3 Krzeptów - petla 06:32:00 -> Krzeptów - skrzy. 06:33:00 linia 927</div> <div>4 Krzeptów - skrzy. 06:33:00 -> Smolec - Główna (na wys. nr 83) 06:36:00 linia 927</div> <div>5 Smolec - Główna (na wys. nr 83) 06:36:00 -> Smolec - Chłopska/Główna 06:38:00 linia 927</div> <div>6 Smolec - Chłopska/Główna 06:38:00 -> Smolec - Chłopska/Cisowa 06:40:00 linia 927</div> <div>7 Smolec - Chłopska/Cisowa 06:40:00 -> Smolec - Chłopska/Słiwkowa 06:42:00 linia 927</div> <div>8 Smolec - Chłopska/Słiwkowa 06:42:00 -> Smolec - Chłopska/Wrzosowa 06:43:00 linia 927</div> <div>9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa 06:43:00 -> Gagarina 06:48:00 linia 927</div> <div>10 Gagarina 06:48:00 -> Zagony 06:51:00 linia 927</div> <div>11 Zagony 06:52:00 -> Muchobór Wielki 06:53:00 linia 119</div> <div>12 Muchobór Wielki 06:53:00 -> Stanisławowska (W.K. Formaty) 06:55:00 linia 119</div> <div>13 Stanisławowska (W.K. Formaty) 06:55:00 -> Trawowa 06:57:00 linia 119</div> <div>14 Trawowa 06:57:00 -> Krzemieniecka 06:58:00 linia 119</div> <div>15 Krzemieniecka 06:58:00 -> Końcowa 06:59:00 linia 119</div> <div>16 Końcowa 06:59:00 -> Ostrowskiego 07:01:00 linia 119</div> <div>17 Ostrowskiego 07:01:00 -> FAT 07:03:00 linia 119</div> <div>18 FAT 07:03:00 -> Hutnen 07:04:00 linia 11</div> <div>19 Hutnen 07:04:00 -> Bzowa (Centrum Historii Zajezdnia) 07:05:00 linia 11</div> <div>20 Bzowa (Centrum Historii Zajezdnia) 07:05:00 -> pl. Srebrny 07:06:00 linia 11</div> <div>21 pl. Srebrny 07:06:00 -> Stałowa 07:07:00 linia 11</div> <div>22 Stałowa 07:07:00 -> Perca 07:09:00 linia 11</div> <div>23 Perca 07:09:00 -> Grabiszyska 07:10:00 linia 11</div> <div>24 Grabiszyska 07:10:00 -> Kolejowa 07:11:00 linia 11</div> <div>...</div> <div>34 Tarnogajska 07:29:00 -> Armii Krajowej (Bogedaina) 07:30:00 linia 134</div> <div>35 Armii Krajowej (Bogedaina) 07:30:00 -> Park Wschodni 07:32:00 linia 134</div> <div>36 Park Wschodni 07:32:00 -> Karwińska 07:34:00 linia 134</div> <div>37 Karwińska 07:34:00 -> KSIEŻE MALE 07:35:00 linia 134</div> <div>Output is truncated. View as a scrollable element or open in a text editor. Adjust cell output settings..</div>

Example: rush - distant

<div>START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'</div> <div>DESTINATION = 'KSIEŻE MALE'</div> <div>visited = dijkstra(graph, START, DESTINATION, POLUONIE)</div> <div>present_connections(visited, START, DESTINATION)</div> <div>✓ 13.1s</div> <div>Python</div>	<div>START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'</div> <div>DESTINATION = 'KSIEŻE MALE'</div> <div>visited = a_star(graph, START, DESTINATION, POLUONIE)</div> <div>present_connections(visited, START, DESTINATION)</div> <div>✓ 1.5s</div> <div>Python</div>
<div>From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEŻE MALE</div> <div>1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa 16:12:00 -> Krzeptów - Boisko 16:13:00 linia 927</div> <div>2 Krzeptów - Boisko 16:13:00 -> Krzeptów - petla 16:14:00 linia 927</div> <div>3 Krzeptów - petla 16:14:00 -> Krzeptów - skrzy. 16:15:00 linia 927</div> <div>4 Krzeptów - skrzy. 16:15:00 -> Smolec - Główna (na wys. nr 83) 16:18:00 linia 927</div> <div>5 Smolec - Główna (na wys. nr 83) 16:18:00 -> Smolec - Chłopska/Główna 16:20:00 linia 927</div> <div>6 Smolec - Chłopska/Główna 16:20:00 -> Smolec - Chłopska/Cisowa 16:22:00 linia 927</div> <div>7 Smolec - Chłopska/Cisowa 16:22:00 -> Smolec - Chłopska/Słiwkowa 16:24:00 linia 927</div> <div>8 Smolec - Chłopska/Słiwkowa 16:24:00 -> Smolec - Chłopska/Wrzosowa 16:25:00 linia 927</div> <div>9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa 16:25:00 -> Gagarina 16:29:00 linia 927</div> <div>10 Gagarina 16:29:00 -> Zagony 16:31:00 linia 927</div> <div>11 Zagony 16:31:00 -> Muchobór Wielki (Roślinna) 16:32:00 linia 927</div> <div>12 Muchobór Wielki (Roślinna) 16:32:00 -> Tyramda 16:33:00 linia 927</div> <div>13 Tyramda 16:33:00 -> MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego) 16:34:00 linia 927</div> <div>14 MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego) 16:34:00 -> Rogowska (P+R) 16:36:00 linia 927</div> <div>15 Rogowska (P+R) 16:36:00 -> Strzegomska (krzyżówka) 16:38:00 linia 13</div> <div>16 Strzegomska (krzyżówka) 16:38:00 -> Nowodworska 16:39:00 linia 13</div> <div>17 Nowodworska 16:39:00 -> Strzegomska 148 16:40:00 linia 13</div> <div>18 Strzegomska 148 16:40:00 -> Babilnojska 16:41:00 linia 13</div> <div>19 Babilnojska 16:41:00 -> Park Biznesu 16:42:00 linia 13</div> <div>20 Park Biznesu 16:42:00 -> Wrocławski Park Przemysłowy 16:44:00 linia 13</div> <div>21 Wrocławski Park Przemysłowy 16:44:00 -> Srubowa 16:46:00 linia 13</div> <div>22 Srubowa 16:46:00 -> Dolmed 16:47:00 linia 13</div> <div>23 Dolmed 16:47:00 -> pl. Strzegomski (Muzeum Współczesne) 16:49:00 linia 13</div> <div>24 pl. Strzegomski (Muzeum Współczesne) 16:49:00 -> Młodych Techników 16:50:00 linia 12</div> <div>...</div> <div>37 Armii Krajowej 17:15:00 -> Park Wschodni 17:16:00 linia 3</div> <div>38 Park Wschodni 17:16:00 -> Karwińska 17:18:00 linia 3</div> <div>39 Karwińska 17:18:00 -> Głubczycka 17:19:00 linia 3</div> <div>40 Głubczycka 17:19:00 -> KSIEŻE MALE 17:20:00 linia 3</div> <div>Output is truncated. View as a scrollable element or open in a text editor. Adjust cell output settings..</div>	<div>From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEŻE MALE</div> <div>1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa 16:12:00 -> Krzeptów - Boisko 16:13:00 linia 927</div> <div>2 Krzeptów - Boisko 16:13:00 -> Krzeptów - petla 16:14:00 linia 927</div> <div>3 Krzeptów - petla 16:14:00 -> Krzeptów - skrzy. 16:15:00 linia 927</div> <div>4 Krzeptów - skrzy. 16:15:00 -> Smolec - Główna (na wys. nr 83) 16:18:00 linia 927</div> <div>5 Smolec - Główna (na wys. nr 83) 16:18:00 -> Smolec - Chłopska/Główna 16:20:00 linia 927</div> <div>6 Smolec - Chłopska/Główna 16:20:00 -> Smolec - Chłopska/Cisowa 16:22:00 linia 927</div> <div>7 Smolec - Chłopska/Cisowa 16:22:00 -> Smolec - Chłopska/Słiwkowa 16:24:00 linia 927</div> <div>8 Smolec - Chłopska/Słiwkowa 16:24:00 -> Smolec - Chłopska/Wrzosowa 16:25:00 linia 927</div> <div>9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa 16:25:00 -> Gagarina 16:29:00 linia 927</div> <div>10 Gagarina 16:29:00 -> Zagony 16:31:00 linia 927</div> <div>11 Zagony 16:31:00 -> Muchobór Wielki 16:33:00 linia 152</div> <div>12 Muchobór Wielki 16:33:00 -> Stanisławowska (W.K. Formaty) 16:34:00 linia 152</div> <div>13 Stanisławowska (W.K. Formaty) 16:34:00 -> Trawowa 16:36:00 linia 152</div> <div>14 Trawowa 16:36:00 -> Krzemieniecka 16:37:00 linia 152</div> <div>15 Krzemieniecka 16:37:00 -> Końcowa 16:38:00 linia 152</div> <div>16 Końcowa 16:38:00 -> Ostrowskiego 16:40:00 linia 152</div> <div>17 Ostrowskiego 16:40:00 -> FAT 16:43:00 linia 152</div> <div>18 FAT 16:43:00 -> Aleja Pracy 16:45:00 linia 152</div> <div>19 Aleja Pracy 16:45:00 -> Ojca Beyzyma 16:46:00 linia 152</div> <div>20 Ojca Beyzyma 16:46:00 -> Mielecka 16:53:00 linia 136</div> <div>21 Mielecka 16:53:00 -> Gajowicka 16:55:00 linia 14</div> <div>22 Gajowicka 16:55:00 -> Hallera 16:57:00 linia 14</div> <div>23 Hallera 16:57:00 -> Drukarska 17:00:00 linia 143</div> <div>24 Drukarska 17:00:00 -> Uniwersytet Ekonomiczny 17:02:00 linia 143</div> <div>...</div> <div>32 Klimasa 17:17:00 -> TARNOGAJ 17:18:00 linia 22</div> <div>33 TARNOGAJ 17:20:00 -> Gazowa 17:21:00 linia 124</div> <div>34 Gazowa 17:21:00 -> Karwińska 17:23:00 linia 124</div> <div>35 Karwińska 17:23:00 -> KSIEŻE MALE 17:24:00 linia 124</div> <div>Output is truncated. View as a scrollable element or open in a text editor. Adjust cell output settings..</div>

Example: rush - distant - Euclidean

START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'

DESTINATION = 'KSIEŻE MAŁE'

visited = a_star(graph, START, DESTINATION, POLUDNIE)

present_connections(visited, START, DESTINATION)

Python

From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEŻE MAŁE			
1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa	16:12:00	->	Krzeptów - Boisko 16:13:00 linia 927
2 Krzeptów - Boisko	16:13:00	->	Krzeptów - pętla 16:14:00 linia 927
3 Krzeptów - pętla	16:14:00	->	Krzeptów - skrzy. 16:15:00 linia 927
4 Krzeptów - skrzy.	16:15:00	->	Smolec - Główna (na wys. nr 83) 16:18:00 linia 927
5 Smolec - Główna (na wys. nr 83)	16:18:00	->	Smolec - Chłopska/Główna 16:20:00 linia 927
6 Smolec - Chłopska/Główna	16:20:00	->	Smolec - Chłopska/Cisowa 16:22:00 linia 927
7 Smolec - Chłopska/Cisowa	16:22:00	->	Smolec - Chłopska/Śliwkowa 16:24:00 linia 927
8 Smolec - Chłopska/Śliwkowa	16:24:00	->	Smolec - Chłopska/Wrzosowa 16:25:00 linia 927
9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa	16:25:00	->	Gagarina 16:29:00 linia 927
10 Gagarina	16:29:00	->	Zagony 16:31:00 linia 927
11 Zagony	16:31:00	->	Muchobór Wielki (Roślinna) 16:32:00 linia 927
12 Muchobór Wielki (Roślinna)	16:32:00	->	Tyrmanda 16:33:00 linia 927
13 Tyrmanda	16:33:00	->	MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego) 16:34:00 linia 927
14 MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego)	16:34:00	->	Rogowska (P+R) 16:36:00 linia 927
15 Rogowska (P+R)	16:36:00	->	Strzegomska (krzyżówka) 16:38:00 linia 13
16 Strzegomska (krzyżówka)	16:38:00	->	Nowodworska 16:39:00 linia 13
17 Nowodworska	16:39:00	->	Strzegomska 148 16:40:00 linia 13
18 Strzegomska 148	16:40:00	->	Babimojska 16:41:00 linia 13
19 Babimojska	16:41:00	->	Park Biznesu 16:42:00 linia 13
20 Park Biznesu	16:42:00	->	Wrocławski Park Przemysłowy 16:44:00 linia 13
21 Wrocławski Park Przemysłowy	16:44:00	->	Śrubowa 16:46:00 linia 13
22 Śrubowa	16:47:00	->	Smolecka 16:48:00 linia 23
23 Smolecka	16:48:00	->	Dworzec Świebodzki 16:50:00 linia 23
24 Dworzec Świebodzki	16:50:00	->	pl. Orłąt Lwowskich 16:52:00 linia 23
...			
34 Armii Krajowej	17:15:00	->	Park Wschodni 17:16:00 linia 3
35 Park Wschodni	17:16:00	->	Karwińska 17:18:00 linia 3
36 Karwińska	17:18:00	->	Głubczycka 17:19:00 linia 3
37 Głubczycka	17:19:00	->	KSIEŻE MAŁE 17:20:00 linia 3

Output is truncated. View as a scrollable element or open in a text editor. Adjust cell output settings...

Example: evening - distant

START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'

DESTINATION = 'KSIEŻE MAŁE'

visited = djikstra(graph, START, DESTINATION, WIECZOR)

present_connections(visited, START, DESTINATION)

Python

From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEŻE MAŁE			
1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa	21:12:00	->	Krzeptów - Boisko 21:13:00 linia 927
2 Krzeptów - Boisko	21:13:00	->	Krzeptów - pętla 21:14:00 linia 927
3 Krzeptów - pętla	21:14:00	->	Krzeptów - skrzy. 21:15:00 linia 927
4 Krzeptów - skrzy.	21:15:00	->	Smolec - Główna (na wys. nr 83) 21:18:00 linia 927
5 Smolec - Główna (na wys. nr 83)	21:18:00	->	Smolec - Chłopska/Główna 21:20:00 linia 927
6 Smolec - Chłopska/Główna	21:20:00	->	Smolec - Chłopska/Cisowa 21:22:00 linia 927
7 Smolec - Chłopska/Cisowa	21:22:00	->	Smolec - Chłopska/Śliwkowa 21:24:00 linia 927
8 Smolec - Chłopska/Śliwkowa	21:24:00	->	Smolec - Chłopska/Wrzosowa 21:25:00 linia 927
9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa	21:25:00	->	Gagarina 21:29:00 linia 927
10 Gagarina	21:29:00	->	Zagony 21:31:00 linia 927
11 Zagony	21:31:00	->	Muchobór Wielki (Roślinna) 21:32:00 linia 927
12 Muchobór Wielki (Roślinna)	21:32:00	->	Tyrmanda 21:33:00 linia 927
13 Tyrmanda	21:33:00	->	MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego) 21:34:00 linia 927
14 MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego)	21:34:00	->	Rogowska (P+R) 21:36:00 linia 13
15 Rogowska (P+R)	21:36:00	->	Strzegomska (krzyżówka) 21:38:00 linia 13
16 Strzegomska (krzyżówka)	21:38:00	->	Nowodworska 21:39:00 linia 13
17 Nowodworska	21:39:00	->	Szkocka 21:41:00 linia 124
18 Szkocka	21:41:00	->	Wrocławski Park Technologiczny 21:42:00 linia 124
19 Wrocławski Park Technologiczny	21:42:00	->	ROD Oświata 21:43:00 linia 124
20 ROD Oświata	21:43:00	->	FAT 21:45:00 linia 124
21 FAT	21:45:00	->	Aleja Pracy 21:47:00 linia A
22 Aleja Pracy	21:48:00	->	Ojca Bezymia 21:49:00 linia 14
23 Ojca Bezymia	21:49:00	->	Mielecka 21:51:00 linia 14
24 Mielecka	21:51:00	->	Gajowicka 21:52:00 linia 14
...			
35 Złotostocka	22:06:00	->	TARNOGAJ 22:07:00 linia 136
36 TARNOGAJ	22:10:00	->	Gazowa 22:11:00 linia 124
37 Gazowa	22:11:00	->	Karwińska 22:13:00 linia 124
38 Karwińska	22:13:00	->	KSIEŻE MAŁE 22:14:00 linia 124

Output is truncated. View as a scrollable element or open in a text editor. Adjust cell output settings...

START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'

DESTINATION = 'KSIEŻE MAŁE'

visited = a_star(graph, START, DESTINATION, WIECZOR)

present_connections(visited, START, DESTINATION)

Python

Output is truncated. View as a scrollable element or open in a text editor. Adjust cell output settings...

```
START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'
DESTINATION = 'KSIĘŻE MAŁE'
visited = a_star(graph, START, DESTINATION, WIECZOR)
present_connections(visited, START, DESTINATION)
```

✓ 3.1s Python

Output is truncated. View as a [scrollable element](#) or open in a [text editor](#). Adjust cell output [settings](#)...

<pre> START = 'PL. GRUNWALDZKI' DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY' visited = djkstra(graph, START, DESTINATION, -RANO) present_connections(visited, START, DESTINATION) </pre>	Python	<pre> START = 'PL. GRUNWALDZKI' DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY' visited = a_star(graph, START, DESTINATION, -RANO) present_connections(visited, START, DESTINATION) </pre>	Python
<pre> 13.0s </pre>		<pre> 0.3s </pre>	
<pre> From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY 1 PL. GRUNWALDZKI 06:31:00 -> most Grunwaldzki 06:32:00 linia D 2 most Grunwaldzki 06:32:00 -> Pocztą Główną 06:34:00 linia D 3 Pocztą Główną 06:34:00 -> skwer Krasieńskiego 06:36:00 linia A 4 skwer Krasieńskiego 06:36:00 -> Wzgórze Partyzantów 06:37:00 linia A 5 Wzgórze Partyzantów 06:37:00 -> DWORZEC GŁÓWNY 06:39:00 linia 9 </pre>		<pre> From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY 1 PL. GRUNWALDZKI 06:31:00 -> most Grunwaldzki 06:32:00 linia D 2 most Grunwaldzki 06:32:00 -> Pocztą Główną 06:34:00 linia D 3 Pocztą Główną 06:34:00 -> GALERIA DOMINIKAŃSKA 06:36:00 linia D 4 GALERIA DOMINIKAŃSKA 06:36:00 -> DWORZEC GŁÓWNY 06:40:00 linia N </pre>	
<pre> START = 'PL. GRUNWALDZKI' DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY' visited = djkstra(graph, START, DESTINATION, -POŁUDNIE) present_connections(visited, START, DESTINATION) </pre>	Python	<pre> START = 'PL. GRUNWALDZKI' DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY' visited = a_star(graph, START, DESTINATION, -POŁUDNIE) present_connections(visited, START, DESTINATION) </pre>	Python
<pre> 13.1s </pre>		<pre> 0.4s </pre>	
<pre> From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY 1 PL. GRUNWALDZKI 15:30:00 -> most Grunwaldzki 15:31:00 linia 12 2 most Grunwaldzki 15:32:00 -> Pocztą Główną 15:34:00 linia D 3 Pocztą Główną 15:34:00 -> skwer Krasieńskiego 15:36:00 linia 145 4 skwer Krasieńskiego 15:36:00 -> DWORZEC GŁÓWNY 15:38:00 linia 145 </pre>		<pre> From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY 1 PL. GRUNWALDZKI 15:30:00 -> most Grunwaldzki 15:31:00 linia 12 2 most Grunwaldzki 15:32:00 -> Pocztą Główną 15:34:00 linia D 3 Pocztą Główną 15:34:00 -> GALERIA DOMINIKAŃSKA 15:36:00 linia D 4 GALERIA DOMINIKAŃSKA 15:36:00 -> Wzgórze Partyzantów 15:37:00 linia 5 5 Wzgórze Partyzantów 15:37:00 -> DWORZEC GŁÓWNY 15:39:00 linia 5 </pre>	
<pre> START = 'PL. GRUNWALDZKI' DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY' visited = djkstra(graph, START, DESTINATION, -WIECZOR) present_connections(visited, START, DESTINATION) </pre>	Python	<pre> START = 'PL. GRUNWALDZKI' DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY' visited = a_star(graph, START, DESTINATION, -WIECZOR) present_connections(visited, START, DESTINATION) </pre>	Python
<pre> 13.7s </pre>		<pre> 0.4s </pre>	
<pre> From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY 1 PL. GRUNWALDZKI 20:30:00 -> Reja 20:32:00 linia 111 2 Reja 20:32:00 -> Katedra 20:34:00 linia 111 3 Katedra 20:35:00 -> Urząd Wojewódzki (Muzeum Narodowe) 20:37:00 linia 10 4 Urząd Wojewódzki (Muzeum Narodowe) 20:37:00 -> GALERIA DOMINIKAŃSKA 20:40:00 linia 10 5 GALERIA DOMINIKAŃSKA 20:41:00 -> DWORZEC GŁÓWNY 20:45:00 linia N </pre>		<pre> From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY 1 PL. GRUNWALDZKI 20:32:00 -> most Grunwaldzki 20:33:00 linia 16 2 most Grunwaldzki 20:33:00 -> Urząd Wojewódzki (Impart) 20:35:00 linia 16 3 Urząd Wojewódzki (Impart) 20:35:00 -> pl. Wroblewskiego 20:37:00 linia 16 4 pl. Wroblewskiego 20:38:00 -> GALERIA DOMINIKAŃSKA 20:41:00 linia 5 5 GALERIA DOMINIKAŃSKA 20:41:00 -> DWORZEC GŁÓWNY 20:45:00 linia N </pre>	

Example: morning, rush, evening - close - Euclidean

```
START = 'PL. GRUNWALDZKI'
DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY'
visited = a_star(graph, START, DESTINATION, 'RANO')
present_connections(visited, START, DESTINATION)
```

Python

From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY

1 PL. GRUNWALDZKI	06:31:00	->	most Grunwaldzki	06:32:00	linia D
2 most Grunwaldzki	06:32:00	->	Pocztą Główną	06:34:00	linia D
3 Pocztą Główną	06:34:00	->	skwer Krasińskiego	06:36:00	linia A
4 skwer Krasińskiego	06:36:00	->	Wzgórze Partyzantów	06:37:00	linia A
5 Wzgórze Partyzantów	06:37:00	->	DWORZEC GŁÓWNY	06:39:00	linia 9

```
START = 'PL. GRUNWALDZKI'
DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY'
visited = a_star(graph, START, DESTINATION, 'POŁUDNIE')
present_connections(visited, START, DESTINATION)
```

Python

From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY

1 PL. GRUNWALDZKI	15:30:00	->	most Grunwaldzki	15:31:00	linia 12
2 most Grunwaldzki	15:32:00	->	Pocztą Główną	15:34:00	linia D
3 Pocztą Główną	15:34:00	->	skwer Krasińskiego	15:36:00	linia 145
4 skwer Krasińskiego	15:36:00	->	DWORZEC GŁÓWNY	15:38:00	linia 145

```
START = 'PL. GRUNWALDZKI'
DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY'
visited = a_star(graph, START, DESTINATION, 'WIECZOR')
present_connections(visited, START, DESTINATION)
```

Python

From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY

1 PL. GRUNWALDZKI	20:30:00	->	Reja	20:32:00	linia 111
2 Reja	20:32:00	->	Katedra	20:34:00	linia 111
3 Katedra	20:35:00	->	Urząd Wojewódzki (Muzeum Narodowe)	20:37:00	linia 10
4 Urząd Wojewódzki (Muzeum Narodowe)	20:37:00	->	GALERIA DOMINIKAŃSKA	20:40:00	linia 10
5 GALERIA DOMINIKAŃSKA	20:41:00	->	DWORZEC GŁÓWNY	20:45:00	linia N

2.1.2 Tabu

For unlimited tabu list, and max_iterations=150, only few permutations were checked. I think the problem is, when best solution for wide but still local neighborhood is found, then all permutations that are generated from the solution are worse. That leads to creating and testing over and over similar neighborhoods. The solution may be to extend neighborhood factory.

```
stops = ['Tyrmanda', 'Młodych Techników', 'FAT', 'Złotniki', 'PL. GRUNWALDZKI', 'Kwiska', ...]
best_solution, best_cost = tabu_search(stops, start_time=8*60*60 + 40*60)
print(f"The best result: {'->'.join(best_solution)} time: {best_cost / 60} minutes")
```

Python

For: Tyrmanda -> FAT -> Młodych Techników -> Złotniki -> PL. GRUNWALDZKI -> Kwiska -> Tyrmanda time: 157.0 minutes
For: Tyrmanda -> Młodych Techników -> FAT -> Złotniki -> Kwiska -> PL. GRUNWALDZKI -> Tyrmanda time: 189.0 minutes
For: Tyrmanda -> FAT -> Młodych Techników -> Złotniki -> PL. GRUNWALDZKI -> Kwiska -> Tyrmanda time: 157.0 minutes
For: Tyrmanda -> Młodych Techników -> FAT -> Złotniki -> PL. GRUNWALDZKI -> Kwiska -> Tyrmanda time: 189.0 minutes
For: Tyrmanda -> FAT -> Młodych Techników -> Złotniki -> Kwiska -> PL. GRUNWALDZKI -> Tyrmanda time: 159.0 minutes
For: Tyrmanda -> FAT -> Złotniki -> Młodych Techników -> PL. GRUNWALDZKI -> Kwiska -> Tyrmanda time: 129.0 minutes
For: Tyrmanda -> FAT -> Młodych Techników -> PL. GRUNWALDZKI -> Złotniki -> Kwiska -> Tyrmanda time: 153.0 minutes
For: Tyrmanda -> Złotniki -> FAT -> Młodych Techników -> PL. GRUNWALDZKI -> Kwiska -> Tyrmanda time: 129.0 minutes
For: Tyrmanda -> FAT -> Złotniki -> PL. GRUNWALDZKI -> Młodych Techników -> Kwiska -> Tyrmanda time: 129.0 minutes
For: Tyrmanda -> FAT -> Złotniki -> Młodych Techników -> Kwiska -> PL. GRUNWALDZKI -> Tyrmanda time: 149.0 minutes
For: Tyrmanda -> FAT -> Złotniki -> Młodych Techników -> PL. GRUNWALDZKI -> Tyrmanda -> Kwiska time: 146.0 minutes
The best result: Tyrmanda -> FAT -> Złotniki -> Młodych Techników -> PL. GRUNWALDZKI -> Kwiska -> Tyrmanda time: 129.0 minutes

```
stops = ['Tyrmanda', 'BISKUPIN', 'PL. GRUNWALDZKI', 'Kwiska', 'KSIĘŻE MAŁE']
best_solution, best_cost = tabu_search(stops, start_time=8*60*60 + 40*60)
print(f"The best result: {'->'.join(best_solution)} time: {best_cost / 60} minutes")
```

Python

For: Tyrmanda -> PL. GRUNWALDZKI -> BISKUPIN -> Kwiska -> KSIĘŻE MAŁE -> Tyrmanda time: 175.0 minutes
For: Tyrmanda -> BISKUPIN -> PL. GRUNWALDZKI -> Kwiska -> Tyrmanda -> KSIĘŻE MAŁE time: 151.0 minutes
For: Tyrmanda -> PL. GRUNWALDZKI -> BISKUPIN -> Kwiska -> KSIĘŻE MAŁE -> Tyrmanda time: 175.0 minutes
For: Tyrmanda -> BISKUPIN -> PL. GRUNWALDZKI -> Kwiska -> KSIĘŻE MAŁE -> Tyrmanda time: 175.0 minutes
For: Tyrmanda -> PL. GRUNWALDZKI -> BISKUPIN -> Kwiska -> Tyrmanda -> KSIĘŻE MAŁE time: 151.0 minutes
For: Tyrmanda -> PL. GRUNWALDZKI -> BISKUPIN -> Kwiska -> Tyrmanda -> KSIĘŻE MAŁE time: 151.0 minutes
For: Tyrmanda -> BISKUPIN -> PL. GRUNWALDZKI -> Tyrmanda -> Kwiska -> KSIĘŻE MAŁE time: 151.0 minutes
For: Tyrmanda -> BISKUPIN -> Kwiska -> PL. GRUNWALDZKI -> Tyrmanda -> KSIĘŻE MAŁE time: 191.0 minutes
The best result: Tyrmanda -> BISKUPIN -> PL. GRUNWALDZKI -> Kwiska -> Tyrmanda -> KSIĘŻE MAŁE time: 151.0 minutes

Python

3. Trials of different approaches

For now successfully I implemented only arrival time - based heuristic. I tried to use lines in order to search regarding number of transfers between stops. First idea for a heuristic was simple, if there is an option to take the same line, then cost is equal to 0. It worked only sometimes, when the route was simple enough. Second idea was to extend presented A* to include to every stop a set of lines that are available to take. Then after A* I would use those sets to find common lines between stops and then I would adjust the route to minimize number of stops. The last and most promising idea is to firstly find directions of lines (like BISKUPIN and KRZYKI). And then during A* searching promote connections with lines that goes in similar direction like destination. To determine it, I will calculate angles from current location to line direction and destination.

A with 0-1 penalty for a line vs A for direction angle penalty

All results are optimal, the only difference is computation time. When as a heuristic is used available line - for finding a distant location ~12 seconds, for close one - 2 seconds. When direction angle is leveraged - ~25 and ~4 seconds respectively.

Example: morning - distant

Results for A* with 0-1 penalty for a line

START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'
DESTINATION = 'KSIEŻE MAŁE'
visited = a star(graph, START, DESTINATION , RANO)
present_connections(visited, START, DESTINATION)

11.0s

Python

From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEŻE MAŁE			
1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa	06:30:00	->	Krzeptów - Boisko 06:31:00 linia 927
2 Krzeptów - Boisko	06:31:00	->	Krzeptów - pętla 06:32:00 linia 927
3 Krzeptów - pętla	06:32:00	->	Krzeptów - skrzy. 06:33:00 linia 927
4 Krzeptów - skrzy.	06:33:00	->	Smolec - Główna (na wys. nr 83) 06:36:00 linia 927
5 Smolec - Główna (na wys. nr 83)	06:36:00	->	Smolec - Chłopska/Główna 06:38:00 linia 927
6 Smolec - Chłopska/Główna	06:38:00	->	Smolec - Chłopska/Cisowa 06:40:00 linia 927
7 Smolec - Chłopska/Cisowa	06:40:00	->	Smolec - Chłopska/Śliwkowa 06:42:00 linia 927
8 Smolec - Chłopska/Śliwkowa	06:42:00	->	Smolec - Chłopska/Wrzosowa 06:43:00 linia 927
9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa	06:43:00	->	Gagarina 06:48:00 linia 927
10 Gagarina	06:48:00	->	Zagony 06:51:00 linia 927
11 Zagony	06:52:00	->	Muchobór Wielki 06:53:00 linia 119
12 Muchobór Wielki	06:53:00	->	Stanisławowska (W.K. Formaty) 06:55:00 linia 119
13 Stanisławowska (W.K. Formaty)	06:55:00	->	Trawowa 06:57:00 linia 119
14 Trawowa	06:57:00	->	Krzemieniecka 06:58:00 linia 119
15 Krzemieniecka	06:58:00	->	Końcowa 06:59:00 linia 119
16 Końcowa	06:59:00	->	Ostrowskiego 07:01:00 linia 119
17 Ostrowskiego	07:01:00	->	FAT 07:03:00 linia 119
18 FAT	07:03:00	->	Hutmen 07:04:00 linia 11
19 Hutmen	07:04:00	->	Bzowa (Centrum Historii Zajezdnia) 07:05:00 linia 11
20 Bzowa (Centrum Historii Zajezdnia)	07:05:00	->	pl. Srebrny 07:06:00 linia 11
21 pl. Srebrny	07:06:00	->	Stalowa 07:07:00 linia 11
22 Stalowa	07:09:00	->	Grochowa 07:10:00 linia 134
23 Grochowa	07:10:00	->	Krucza 07:11:00 linia 134
24 Krucza	07:11:00	->	Rondo 07:14:00 linia 134
...			
33 Tarnogajska	07:29:00	->	Armii Krajowej (Bogedaina) 07:30:00 linia 134
34 Armii Krajowej (Bogedaina)	07:30:00	->	Park Wschodni 07:32:00 linia 134
35 Park Wschodni	07:32:00	->	Karwińska 07:34:00 linia 134
36 Karwińska	07:34:00	->	KSIEŻE MAŁE 07:35:00 linia 134

Output is truncated. View as a [scrollable element](#) or open in a [text editor](#). Adjust cell output [settings](#)...

Results for A* with panalty for a direction

START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'
DESTINATION = 'KSIEŻE MAŁE'
visited = a star(graph, START, DESTINATION , RANO)
present_connections(visited, START, DESTINATION)

26.3s

Python

From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEŻE MAŁE			
1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa	06:30:00	->	Krzeptów - Boisko 06:31:00 linia 92
2 Krzeptów - Boisko	06:31:00	->	Krzeptów - pętla 06:32:00 linia 92
3 Krzeptów - pętla	06:32:00	->	Krzeptów - skrzy. 06:33:00 linia 92
4 Krzeptów - skrzy.	06:33:00	->	Smolec - Główna (na wys. nr 83) 06:36:00 linia 92
5 Smolec - Główna (na wys. nr 83)	06:36:00	->	Smolec - Chłopska/Główna 06:38:00 linia 92
6 Smolec - Chłopska/Główna	06:38:00	->	Smolec - Chłopska/Cisowa 06:40:00 linia 92
7 Smolec - Chłopska/Cisowa	06:40:00	->	Smolec - Chłopska/Śliwkowa 06:42:00 linia 92
8 Smolec - Chłopska/Śliwkowa	06:42:00	->	Smolec - Chłopska/Wrzosowa 06:43:00 linia 92
9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa	06:43:00	->	Gagarina 06:48:00 linia 92
10 Gagarina	06:48:00	->	Zagony 06:51:00 linia 92
11 Zagony	06:52:00	->	Muchobór Wielki 06:53:00 linia 11
12 Muchobór Wielki	06:53:00	->	Stanisławowska (W.K. Formaty) 06:55:00 linia 11
13 Stanisławowska (W.K. Formaty)	06:55:00	->	Trawowa 06:57:00 linia 11
14 Trawowa	06:57:00	->	Krzemieniecka 06:58:00 linia 11
15 Krzemieniecka	06:58:00	->	Końcowa 06:59:00 linia 11
16 Końcowa	06:59:00	->	Ostrowskiego 07:01:00 linia 11
17 Ostrowskiego	07:01:00	->	FAT 07:03:00 linia 11
18 FAT	07:03:00	->	Hutmen 07:04:00 linia 11
19 Hutmen	07:04:00	->	Bzowa (Centrum Historii Zajezdnia) 07:05:00 linia 11
20 Bzowa (Centrum Historii Zajezdnia)	07:05:00	->	pl. Srebrny 07:06:00 linia 11
21 pl. Srebrny	07:06:00	->	Stalowa 07:07:00 linia 11
22 Stalowa	07:09:00	->	Grochowa 07:10:00 linia 13
23 Grochowa	07:10:00	->	Krucza 07:11:00 linia 13
24 Krucza	07:11:00	->	Rondo 07:14:00 linia 13
...			
33 Tarnogajska	07:29:00	->	Armii Krajowej (Bogedaina) 07:30:00 linia 13
34 Armii Krajowej (Bogedaina)	07:30:00	->	Park Wschodni 07:32:00 linia 13
35 Park Wschodni	07:32:00	->	Karwińska 07:34:00 linia 13
36 Karwińska	07:34:00	->	KSIEŻE MAŁE 07:35:00 linia 13

Output is truncated. View as a [scrollable element](#) or open in a [text editor](#). Adjust cell output [settings](#)...

Example: rush - distant

START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'
DESTINATION = 'KSIEŻE MAŁE'
visited = a star(graph, START, DESTINATION , POLUDNIE)
present_connections(visited, START, DESTINATION)

13.4s

Python

From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEŻE MAŁE			
1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa	16:12:00	->	Krzeptów - Boisko 16:13:00 linia 92
2 Krzeptów - Boisko	16:13:00	->	Krzeptów - pętla 16:14:00 linia 92
3 Krzeptów - pętla	16:14:00	->	Krzeptów - skrzy. 16:15:00 linia 92
4 Krzeptów - skrzy.	16:15:00	->	Smolec - Główna (na wys. nr 83) 16:18:00 linia 92
5 Smolec - Główna (na wys. nr 83)	16:18:00	->	Smolec - Chłopska/Główna 16:20:00 linia 92
6 Smolec - Chłopska/Główna	16:20:00	->	Smolec - Chłopska/Cisowa 16:22:00 linia 92
7 Smolec - Chłopska/Cisowa	16:22:00	->	Smolec - Chłopska/Śliwkowa 16:24:00 linia 92
8 Smolec - Chłopska/Śliwkowa	16:24:00	->	Smolec - Chłopska/Wrzosowa 16:25:00 linia 92
9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa	16:25:00	->	Gagarina 16:29:00 linia 92
10 Gagarina	16:29:00	->	Zagony 16:31:00 linia 92
11 Zagony	16:31:00	->	Muchobór Wielki (Roślinna) 16:32:00 linia 92
12 Muchobór Wielki (Roślinna)	16:32:00	->	Tyrnanda 16:33:00 linia 92
13 Tyrnanda	16:33:00	->	MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego) 16:34:00 linia 92
14 MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego)	16:34:00	->	Rogowska (P+R) 16:36:00 linia 92
15 Rogowska (P+R)	16:36:00	->	Strzegomska (krzyżówka) 16:38:00 linia 11
16 Strzegomska (krzyżówka)	16:38:00	->	Nowodvorska 16:39:00 linia 11
17 Nowodvorska	16:39:00	->	Strzegomska 148 16:40:00 linia 11
18 Strzegomska 148	16:40:00	->	Babinojska 16:41:00 linia 11
19 Babinojska	16:41:00	->	Park Biznesu 16:42:00 linia 11
20 Park Biznesu	16:42:00	->	Wrocławski Park Przemysłowy 16:44:00 linia 11
21 Wrocławski Park Przemysłowy	16:44:00	->	Śrubowa 16:46:00 linia 11
22 Śrubowa	16:46:00	->	Dołmed 16:47:00 linia 11
23 Dołmed	16:47:00	->	pl. Strzegomski (Muzeum Współczesne) 16:49:00 linia 11
24 pl. Strzegomski (Muzeum Współczesne)	16:49:00	->	Młodych Techników 16:50:00 linia 12
...			
37 Armii Krajowej	17:15:00	->	Park Wschodni 17:16:00 linia 3
38 Park Wschodni	17:16:00	->	Karwińska 17:18:00 linia 3
39 Karwińska	17:18:00	->	Głubczycka 17:19:00 linia 3
40 Głubczycka	17:19:00	->	KSIEŻE MAŁE 17:20:00 linia 3

Output is truncated. View as a [scrollable element](#) or open in a [text editor](#). Adjust cell output [settings](#)...

START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'
DESTINATION = 'KSIEŻE MAŁE'
visited = a star(graph, START, DESTINATION , POLUDNIE)
present_connections(visited, START, DESTINATION)

26.4s

Python

From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEŻE MAŁE			
1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa	16:12:00	->	Krzeptów - Boisko 16:13:00 linia 92
2 Krzeptów - Boisko	16:13:00	->	Krzeptów - pętla 16:14:00 linia 92
3 Krzeptów - pętla	16:14:00	->	Krzeptów - skrzy. 16:15:00 linia 92
4 Krzeptów - skrzy.	16:15:00	->	Smolec - Główna (na wys. nr 83) 16:18:00 linia 92
5 Smolec - Główna (na wys. nr 83)	16:18:00	->	Smolec - Chłopska/Główna 16:20:00 linia 92
6 Smolec - Chłopska/Główna	16:20:00	->	Smolec - Chłopska/Cisowa 16:22:00 linia 92
7 Smolec - Chłopska/Cisowa	16:22:00	->	Smolec - Chłopska/Śliwkowa 16:24:00 linia 92
8 Smolec - Chłopska/Śliwkowa	16:24:00	->	Smolec - Chłopska/Wrzosowa 16:25:00 linia 92
9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa	16:25:00	->	Gagarina 16:29:00 linia 92
10 Gagarina	16:29:00	->	Zagony 16:31:00 linia 92
11 Zagony	16:31:00	->	Muchobór Wielki (Roślinna) 16:32:00 linia 92
12 Muchobór Wielki (Roślinna)	16:32:00	->	Tyrnanda 16:33:00 linia 92
13 Tyrnanda	16:33:00	->	MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego) 16:34:00 linia 92
14 MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego)	16:34:00	->	Rogowska (P+R) 16:36:00 linia 13
15 Rogowska (P+R)	16:36:00	->	Strzegomska (krzyżówka) 16:38:00 linia 13
16 Strzegomska (krzyżówka)	16:38:00	->	Nowodvorska 16:39:00 linia 13
17 Nowodvorska	16:39:00	->	Strzegomska 148 16:40:00 linia 13
18 Strzegomska 148	16:40:00	->	Babinojska 16:41:00 linia 13
19 Babinojska	16:41:00	->	Park Biznesu 16:42:00 linia 13
20 Park Biznesu	16:42:00	->	Wrocławski Park Przemysłowy 16:44:00 linia 13
21 Wrocławski Park Przemysłowy	16:44:00	->	Śrubowa 16:46:00 linia 13
22 Śrubowa	16:46:00	->	Dołmed 16:47:00 linia 13
23 Dołmed	16:47:00	->	pl. Strzegomski (Muzeum Współczesne) 16:49:00 linia 13
24 pl. Strzegomski (Muzeum Współczesne)	16:49:00	->	Młodych Techników 16:50:00 linia 12
...			
37 Armii Krajowej	17:15:00	->	Park Wschodni 17:16:00 linia 3
38 Park Wschodni	17:16:00	->	Karwińska 17:18:00 linia 3
39 Karwińska	17:18:00	->	Głubczycka 17:19:00 linia 3
40 Głubczycka	17:19:00	->	KSIEŻE MAŁE 17:20:00 linia 3

Output is truncated. View as a [scrollable element](#) or open in a [text editor](#). Adjust cell output [settings](#)...

Example: evening - distant

START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'

DESTINATION = 'KSIEJE MALE'

visited = a_star(graph, START, DESTINATION, WIECZOR)

present_connections(visited, START, DESTINATION)

✓ 12.0sPython

	From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEJE MALE	
1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa	21:12:00 ->	Krzeptów - Boisko 21:13:00 linia 92
2 Krzeptów - Boisko	21:13:00 ->	Krzeptów - petla 21:14:00 linia 92
3 Krzeptów - petla	21:14:00 ->	Krzeptów - skrzy. 21:15:00 linia 92
4 Krzeptów - skrzy.	21:15:00 ->	Smolec - Główna (na wys. nr 83) 21:18:00 linia 92
5 Smolec - Główna (na wys. nr 83)	21:18:00 ->	Smolec - Chłopska/Główna 21:20:00 linia 92
6 Smolec - Chłopska/Główna	21:20:00 ->	Smolec - Chłopska/Cisowa 21:22:00 linia 92
7 Smolec - Chłopska/Cisowa	21:22:00 ->	Smolec - Chłopska/Śliwkowa 21:24:00 linia 92
8 Smolec - Chłopska/Śliwkowa	21:24:00 ->	Smolec - Chłopska/Wrzosowa 21:25:00 linia 92
9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa	21:25:00 ->	Gagarina 21:29:00 linia 92
10 Gagarina	21:29:00 ->	Zagony 21:31:00 linia 92
11 Zagony	21:31:00 ->	Muchobór Wielki (Roślinna) 21:32:00 linia 92
12 Muchobór Wielki (Roślinna)	21:32:00 ->	Tyrnanda 21:33:00 linia 92
13 Tyrnanda	21:33:00 ->	MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego) 21:34:00 linia 92
14 MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego)	21:34:00 ->	Rogowska (P+R) 21:36:00 linia 12
15 Rogowska (P+R)	21:36:00 ->	Strzegomska (krzyżówka) 21:38:00 linia 12
16 Strzegomska (krzyżówka)	21:38:00 ->	Nowodworska 21:39:00 linia 12
17 Nowodworska	21:39:00 ->	Szkocka 21:41:00 linia 12
18 Szkocka	21:41:00 ->	Wrocławski Park Technologiczny 21:42:00 linia 12
19 Wrocławski Park Technologiczny	21:42:00 ->	RÓD Oświata 21:43:00 linia 12
20 RÓD Oświata	21:43:00 ->	FAT 21:45:00 linia 12
21 FAT	21:45:00 ->	Aleja Pracy 21:47:00 linia A
22 Aleja Pracy	21:48:00 ->	Ojca Beyzyma 21:49:00 linia 14
23 Ojca Beyzyma	21:49:00 ->	Mielecka 21:51:00 linia 14
24 Mielecka	21:51:00 ->	Gajowicka 21:52:00 linia 14
...		
35 Złotostocka	22:06:00 ->	TARNOGAJ 22:07:00 linia 12
36 TARNOGAJ	22:10:00 ->	Gazowa 22:11:00 linia 12
37 Gazowa	22:11:00 ->	Karwińska 22:13:00 linia 12
38 Karwińska	22:13:00 ->	KSIEJE MALE 22:14:00 linia 12

Output is truncated. View as a scrollable element or open in a text editor. Adjust cell output settings...

Example: morning, rush, evening - close

START = 'PL. GRUNWALDZKI'

DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY'

visited = a_star(graph, START, DESTINATION, RANO)

present_connections(visited, START, DESTINATION)

✓ 1.8sPython

	From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY	
1 PL. GRUNWALDZKI	06:31:00 ->	most Grunwaldzki 06:32:00 linia D
2 most Grunwaldzki	06:32:00 ->	Pocztą Główną 06:34:00 linia D
3 Pocztą Główną	06:34:00 ->	skwer Krasifskiego 06:36:00 linia A
4 skwer Krasifskiego	06:36:00 ->	Wzgórze Partyzantów 06:37:00 linia A
5 Wzgórze Partyzantów	06:37:00 ->	DWORZEC GŁÓWNY 06:39:00 linia 9

START = 'PL. GRUNWALDZKI'

DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY'

visited = a_star(graph, START, DESTINATION, POLUDNIE)

present_connections(visited, START, DESTINATION)

✓ 1.3sPython

	From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY	
1 PL. GRUNWALDZKI	15:30:00 ->	most Grunwaldzki 15:31:00 linia 12
2 most Grunwaldzki	15:32:00 ->	Pocztą Główną 15:34:00 linia D
3 Pocztą Główną	15:34:00 ->	skwer Krasifskiego 15:36:00 linia 14
4 skwer Krasifskiego	15:36:00 ->	DWORZEC GŁÓWNY 15:38:00 linia 14

START = 'PL. GRUNWALDZKI'

DESTINATION = 'DWORZEC GŁÓWNY'

visited = a_star(graph, START, DESTINATION, WIECZOR)

present_connections(visited, START, DESTINATION)

✓ 3.2sPython

	From PL. GRUNWALDZKI to DWORZEC GŁÓWNY	
1 PL. GRUNWALDZKI	20:30:00 ->	Reja 20:32:00 linia 11
2 Reja	20:32:00 ->	Katedra 20:34:00 linia 11
3 Katedra	20:35:00 ->	Urząd Wojewódzki (Muzeum Narodowe) 20:37:00 linia 10
4 Urząd Wojewódzki (Muzeum Narodowe)	20:37:00 ->	GALERIA DOMINIKANSKA 20:40:00 linia 10
5 GALERIA DOMINIKANSKA	20:41:00 ->	DWORZEC GŁÓWNY 20:45:00 linia N

START = 'Krzeptów - Dolina Krzeptowa'

DESTINATION = 'KSIEJE MALE'

visited = a_star(graph, START, DESTINATION, WIECZOR)

present_connections(visited, START, DESTINATION)

✓ 24.1sPython

	From Krzeptów - Dolina Krzeptowa to KSIEJE MALE	
1 Krzeptów - Dolina Krzeptowa	21:12:00 ->	Krzeptów - Boisko 21:13:00 linia 92
2 Krzeptów - Boisko	21:13:00 ->	Krzeptów - petla 21:14:00 linia 92
3 Krzeptów - petla	21:14:00 ->	Krzeptów - skrzy. 21:15:00 linia 92
4 Krzeptów - skrzy.	21:15:00 ->	Smolec - Główna (na wys. nr 83) 21:18:00 linia 92
5 Smolec - Główna (na wys. nr 83)	21:18:00 ->	Smolec - Chłopska/Główna 21:20:00 linia 92
6 Smolec - Chłopska/Główna	21:20:00 ->	Smolec - Chłopska/Cisowa 21:22:00 linia 92
7 Smolec - Chłopska/Cisowa	21:22:00 ->	Smolec - Chłopska/Śliwkowa 21:24:00 linia 92
8 Smolec - Chłopska/Śliwkowa	21:24:00 ->	Smolec - Chłopska/Wrzosowa 21:25:00 linia 92
9 Smolec - Chłopska/Wrzosowa	21:25:00 ->	Gagarina 21:29:00 linia 92
10 Gagarina	21:29:00 ->	Zagony 21:31:00 linia 92
11 Zagony	21:31:00 ->	Muchobór Wielki (Roślinna) 21:32:00 linia 92
12 Muchobór Wielki (Roślinna)	21:32:00 ->	Tyrnanda 21:33:00 linia 92
13 Tyrnanda	21:33:00 ->	MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego) 21:34:00 linia 92
14 MINSKA (Rondo Rotm. Pileckiego)	21:34:00 ->	Rogowska (P+R) 21:36:00 linia 12
15 Rogowska (P+R)	21:36:00 ->	Strzegomska (krzyżówka) 21:38:00 linia 12
16 Strzegomska (krzyżówka)	21:38:00 ->	Nowodworska 21:39:00 linia 12
17 Nowodworska	21:39:00 ->	Szkocka 21:41:00 linia 12
18 Szkocka	21:41:00 ->	Wrocławski Park Technologiczny 21:42:00 linia 12
19 Wrocławski Park Technologiczny	21:42:00 ->	RÓD Oświata 21:43:00 linia 12
20 RÓD Oświata	21:43:00 ->	FAT 21:45:00 linia 12
21 FAT	21:45:00 ->	Aleja Pracy 21:47:00 linia A
22 Aleja Pracy	21:48:00 ->	Ojca Beyzyma 21:49:00 linia 14
23 Ojca Beyzyma	21:49:00 ->	Mielecka 21:51:00 linia 14
24 Mielecka	21:51:00 ->	Gajowicka 21:52:00 linia 14
...		
35 Złotostocka	22:06:00 ->	TARNOGAJ 22:07:00 linia 12
36 TARNOGAJ	22:10:00 ->	Gazowa 22:11:00 linia 12
37 Gazowa	22:11:00 ->	Karwińska 22:13:00 linia 12
38 Karwińska	22:13:00 ->	KSIEJE MALE 22:14:00 linia 12

Output is truncated. View as a scrollable element or open in a text editor. Adjust cell output settings...