HiPerA*

Paweł Świder, Modelowanie i symulacja systemów

1. Analiza problemu i dziedziny.

Problemem, którym będziemy się zajmować jest implementacja efektywnego algorytmu znajdowania najkrótszych ścieżek w grafie w symulacji ruchu miejskiego na wielką skalę. Problem jest rozwiązywalny algorytmicznie gdzie do najprostszych algorytmów można algorytm Dijkstry, lub algorytmy heurystyczne takie jak GreedyBFS, GreedyBFS jest oparty o prostą heurystykę, szybszy niż

Dijkstra ale może dawać błędne wyniki. Algorytm Dijkstry poświęca czas na eksploracje nieobiecujących kierunków, natomiast GreedyBFS daje złe wyniki, połączeniem zalet obu algorytmów jest A* który jest podobny do Dijkstry, posiada jednak heurystykę która pozwala mu na poruszanie się w optymalnym kierunku i znajdywanie poprawnej trasy. Warunkiem gwarantującym to że A* zwróci poprawną trasę (najkrótszą) jest heurystyka która nie estymuje większego kosztu na dotarcie do celu niż w rzeczywistości. Poza tym heurystyka może być dowolna.

Algorytmem ulepszającym A* jest HPA (Hierarchical pathfinding A*) – polegające na stworzeniu hierarchii obszarów, najpierw wyznaczamy trasę na największym poziomie abstrakcji, potem schodzimy na niższe obszary i tam znajdujemy bardziej szczegółową trasę. Taka metoda działania jest kilka razy szybsza niż zwykły A*, może dawać nieco mniej optymalne wyniki. Takie podejście wymaga jednak dodatkowych obliczeń w celu stworzenia hierarchii – jest to jednak koszt jednorazowy.

Do wyszukiwania drogi dla pojazdu powstały specjalizowane algorytmu takie jak:

SHPA* - lepsza wydajność pamięciowa i czasowa, przeznaczona dla stałych grafów.
DHPA* - więcej pamięci, szybsze obsługiwanie zapytań w porównaniu do HPA
SHP - Significant path based Hub Pushing – używające Hub Labelling
LPA* - Livelong planning A*, wagi się zmieniają wraz z czasem (wolniejszy od HPA)
transit node routing – technika, pozwalająca przyspieszyć znajdowanie ścieżek poprzez wcześniejsze obliczenie niektórych tras
HHL – Hierarchical Hub Labelling

Odnośniki do prac naukowych znajdują się tutaj: [hiperastar/Analiza Problemu I Dziedziny.docx at main · TheTryton/hiperastar (github.com)]

Przystępne wprowadzenie do tematu: [Introduction to the A* Algorithm (redblobgames.com)]

2. Analiza i wybór narzędzi:

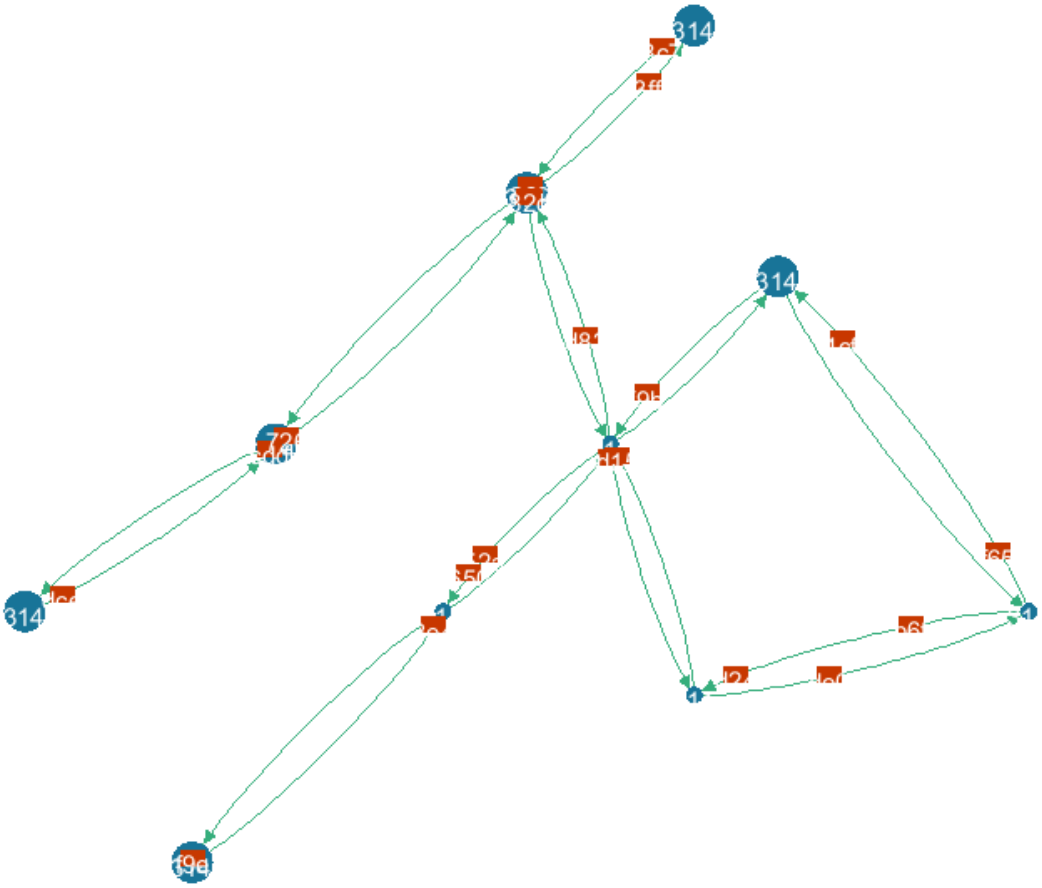
Odpalenie i analiza HiPUTS

W celu odpalenie HIPUTS należało zmodyfikować plik: settings.json ustawić wartości:

```
"testMode":false
"mapPath": "src\\test\\resources\\minimalMap.osm"
"pauseAfterStep":10,
```

Wyłączają one testMode, ustawiają ścieżkę do pliku osm z mapą a także przespieszają animację.

Działanie można symulatora widać poniżej:



Obecnie ścieżka jest losowana w funkcji:

```
private RouteWithLocation generateRoute(LaneId startLaneId, int hops)
```

która jest wywoływana przez funkcję:

```
public Car generateCar(double position, LaneId startLaneId, int hops,
double length, double maxSpeed)
```

Odpalenie I analiza poprzedniego projektu:

W projekcie znajduje się infrastruktura potrzebna do tworzenia grafów, generowaniu losowych punktów (start, koniec) oraz kilka algorytmów znajdywania najkrótszej ścieżki jak np.:

```
- ContractionHierarchyBidirectionalDijkstra
- TransitNodeRoutingShortestPath
- AStarShortestPath
```

Całość korzysta z biblioteki JGraphT, specjalizującej się w algorytmach grafowych. Algorytm który w niej nie występuje i którego była próba implementacji polega na zamienieniu Dijkstry na AStara:

```
ContractionHierarchyAStarShortestPath
```

Jednak ten kod zawiera wiele błędów uniemożliwiających jego skompilowanie.

Dokumentacja JGraphT:

Overview (JGraphT : a free Java graph library)

Oprócz tego jest możliwość zaimplementowania algorytmu HPA* przykładowy link:

GitHub - Maceris/HPAStar: A java implementation of the HPA* algorithm

3. Określone cele i zakres prac, uruchomione narzędzia

Celem pracy jest zaimplementowanie jak najszybszego algorytmu do znajdowania najkrótszych ścieżek dla dużych grafów (ok. 200000 wierzchołków) w symulatorze HiPUTS. Projekt posiada osobno zaimplentowaną część algorytmów, nie są one jednak podpięte do symulatora.

W trakcie prac założono główne oraz podoczne elementy:

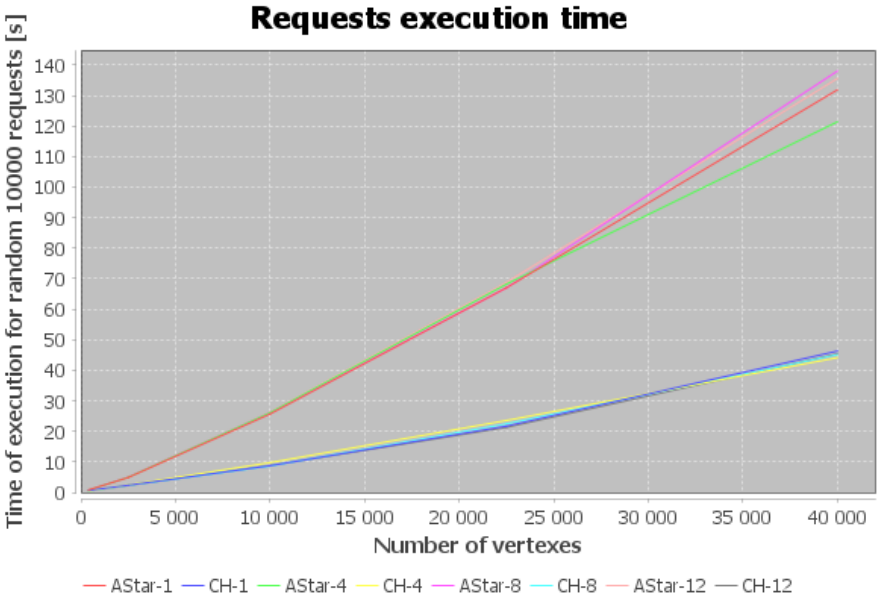
Główne elementy:

1. Dodanie algorytmu znajdowania najkrótszej trasy do HiPUTS – zakończone integracją z symulatorem
2. Zrównoleglenie generowania tras na wiele procesorów
3. Zapisywanie przetworzonego grafu dla Contraction Hierarchies

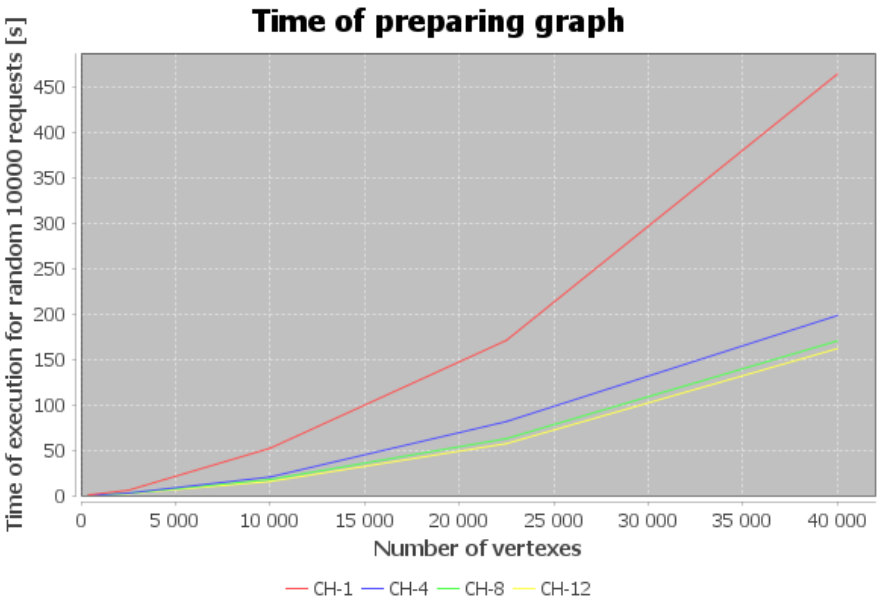
Dodatkowe elementy:

4. Analiza innej struktury grafu
5. Zaimplementowanie Contraction Hierarchies A* - w internecie takie coś nie istnieje, jednak implementacja tego algorytmu wydaje się możliwe
6. Znalezienie odpowiedniej heurystyka dla A* - zgodnie z: Are there newer routing algorithms (than Dijkstra, A*) in GIS databases? - Geographic Information Systems Stack Exchange

Wstępne pomiary czasu obliczeń dla obecnych algorytmów (z pominięciem TransitNodeRouting, którego preprocessing trwa za długo a wyniki dla większych grafów nie są lepsze).



Widzimy że dla algorytmu Contraction Hierarchy uzyskujemy dużo lepsze czasy niż dla zwykłego AStara. Ilość procesorów użyta obecnie również nie ma znaczenia dla szybkości znajdowania tras.



Czas wstępnych obliczeń natomiast intensywnie rośnie i daje się zrównoleglić tylko częściowo.

Czasy dla grafu zawierającego 202500 wierzchołków o stopniu 4 i losowych wagach od 1 do 9.

```
#######450:12#######
Graph generated time taken: 113.7123819s
ContractionHierarchies precomputation time taken: 2528.4408307s
AStar time taken for (requests_count=10000): 1020.5254363s
CHDijkstra time taken for (requests_count=10000): 207.8838099s
```

Oraz powód odrzucenia TransitNodeRoutingu:

```
#######50:1#######
Graph generated time taken: 0.2337386s
ContractionHierarchies precomputation time taken: 4.8001141s
TransitNodeRouting precomputation time taken: 12.8490009s
AStar time taken for (requests_count=10000): 5.0356376s
CHDijkstra time taken for (requests_count=10000): 2.0122671s
TransitNodeRouting time taken for (requests_count=10000): 1.9194533s
#######100:1#######
Graph generated time taken: 0.3379944s
ContractionHierarchies precomputation time taken: 48.4499683s
TransitNodeRouting precomputation time taken: 292.0560153s
AStar time taken for (requests_count=10000): 26.0978681s
CHDijkstra time taken for (requests_count=10000): 8.956126s
TransitNodeRouting time taken for (requests_count=10000): 8.9215485s
#######150:1#######
Graph generated time taken: 1.4525169s
ContractionHierarchies precomputation time taken: 173.7156793s
TransitNodeRouting precomputation time taken: 1963.2427581s
AStar time taken for (requests_count=10000): 71.7635485s
CHDijkstra time taken for (requests_count=10000): 22.2629859s
TransitNodeRouting time taken for (requests_count=10000): 23.6802435s
```

Wszystkie narzędzia zostały uruchomione na poprzednim etapie i działają.

4. Prototyp, działające pierwsze elementy

Zaimplementowano algorytm ContractionHierachyBidirectionalAStar. Jego wyniki są porównywalne z klasyczną wersją, umożliwia dodatkowo podmianę heurystyki która może poprawić jego wydajność.

Wyniki przedstawiają się następująco:

Dla ContractionHierarchiesBidirectionalAStar mamy kilka % lepsze wyniki niż dla BidirectionalDijkstra

```
#######450:12#######
        Graph generated time taken: 115.3079388s
        ContractionHierarchies precomputation time taken: 2591.0495744s
        AStar time taken for (requests_count=10000): 1079.2946505s
        CHDijkstra time taken for (requests_count=10000): 183.2040283s
```

W przypadku największych grafów zeszliśmy z 208s do 183s

Stworzono również API do requestów posiadające dwie metody:

```
package org.hiperastar.pathfinder;

import org.jgrapht.graph.GraphWalk;
```

```java
import java.util.List;

/**
 * Interface to finds shortest path in graph with default algorithms,
 * each class implementing this interface should be different algorithm of
finding paths.
 * Implementations should have a possibility to parallelize computation for
large amount of requests.
 * @param <V> - graph Vertex
 * @param <E> - graph Edge
 */
public interface PathFinder<V, E> {
    /**
     * Finds the shortest path from source to sink.
     * @param source - starting vertex
     * @param sink - ending vertex
     * @return Shortest path from source to sink
     */
    GraphWalk<V, E> findPath(V source, V sink);

    /**
     * Method is preferred to use instead for multiple findPath shorten
execution time thanks to multiprocessing multiprocessing
     * @param sourcesList - list of starting vertexes
     * @param sinksLink - list of ending vertexes
     * @return List of shortest path, first element contains a shortest
path between firsts elements of sourcesList and sinksList
     */
    List<GraphWalk<V, E>> findPaths(List<V> sourcesList, List<V>
sinksLink);
}
```

Pierwsza metoda, przewidziana do pojedynczych requestów np. do testów oraz druga w której ścieżki będą mogły być liczone współbieżnie.