[SPDB] Wyznaczanie trasy

Dokumentacja końcowa projektu

Michał Aniserowicz, Jakub Turek

Temat projektu

Napisać aplikację wyznaczającą i porównującą trasę przejazdu na terenie Warszawy środkami komunikacji miejskiej i samochodem z opcją ustawienia godziny wyjścia z domu żeby zdążyć na czas. Aplikacja może być aplikacją mobilną lub przeznaczoną na komputer klasy PC.

Założenia

Temat został uszczegółowiony poniższymi założeniami:

- Aplikacja zaprojektowana w architekturze klient-serwer.
- Serwer posiada dwie odpowiedzialności:
  - Przechowuje dane.
  - Dostarcza logikę związaną z przeliczaniem tras.
- Klient jest aplikacją dostępową umożliwiającą wprowadzenie następujących danych:
  - Lokalizacja początkowa i docelowa (punkty na mapie).
  - Docelowy czas przyjazdu.
  - Przejazd komunikacją miejską lub samochodem.
- Klient na wyjściu prezentuje najszybszą trasę dla podanych danych wejściowych oraz godzinę wyjścia/wyjazdu, która pozwala zdążyć na czas.
- Dane nie są dostarczane z systemów zewnętrznych (np. *Google Maps*, *Jak dojadę*), ale składowane w bazie danych opracowanej w ramach projektu.
- Uproszczenie algorytmu wyznaczania trasy:
  - Założenie, że czas przejazdu tego samego odcinka drogi komunikacją miejską i samochodem jest identyczny.
  - Brak uwzględnienia informacji o godzinach przyjazdu środków komunikacji miejskiej na przystanki. Zakłada się, że czas wymagany na przesiadkę jest stały i jest parametrem algorytmu.

  - Wyznaczana jest zawsze pojedyncza najszybsza trasa dla wybranego środka komunikacji.
  - Jako punkt początkowy i końcowy wybierane są te lokalizacje spośród danych znajdujących się w bazie, które są najbliższe lokalizacjom wskazanym przez użytkownika.
  - W przypadku wskazania komunikacji miejskiej jako środka transportu punktem początkowym i końcowym podróży są zawsze przystanki najbliższe wskazanym lokalizacjom. Nie jest uwzględniana możliwość dojścia do przystanku.

Model danych

W aplikacji został wykorzystany sieciowy model danych:

- Miasto jest opisane przy pomocy węzłów oraz łuków:
  - Współrzędne węzła (punkty) są opisane długością oraz szerokością geograficzną.
  - Węzły opisują różne lokalizacje miejskie: przystanki autobusowe, skrzyżowania, etc.
  - Łuki reprezentują połączenia drogowe pomiędzy węzłami. Są skierowane, więc można na nich opisać ruch jednokierunkowy.
  - Informacja o relacjach pomiędzy dwuwymiarowymi strukturami nie jest przechowywana.
- Nie ma ograniczeń odnośnie planarności sieci:
  - Testowy zbiór danych jest siecią planarną.
  - Aplikacja bez modyfikacji zadziała dla sieci nieplanarnych (tunele, przejazdy wielokondygnacyjne).

Reprezentacja logiczna modelu danych

Relacyjny model baz danych nie jest dobrze przystosowany do opisu modelu sieciowego. Informacje o stukturze grafowej można przechowywać na dwa sposoby:

- W postaci znormalizowanych tabel - osobne tabele dla wierzchołków i krawędzi.
- W postaci zdenormalizowanych tabel - rekord tabeli zawiera pełną informację o węźle i wszystkich połączonych z nim węzłach (wejściowych i wyjściowych). Węzły wyjściowe i wejściowe przechowywane są w postaci dwóch osobnych list.

W przypadku drugiego podejścia problemem jest przechowywanie informacji o koszcie danej krawędzi. Wymaga ona opakowania informacji w słownikową strukturę danych, co z kolei uniemożliwia wykonywanie zapytań języka SQL. Alternatywą może być przechowywanie tylko informacji o ścieżkach. Przy tym podejściu każdy rekord zawiera pełne

informacje o węźle początkowym i końcowym. Jest to jednak duży narzut pamięciowy, gdyż informacja o każdym węźle jest przechowywana n razy, gdzie n to stopień danego węzła.

Algorytm wyszukiwania połączeń w sieci wymaga dokonania wielu złączeń. Przykładowo dla postaci znormalizowanej, po wejściu do każdego węzła musimy najpierw pobrać informację o łukach, które ten węzeł tworzy, a następnie pobrać informacje o połączonych z nim węzłach. Jeżeli na etapie oszacowania kosztu potrzebna jest informacja o węzłach poprzedzających, wtedy wykonywane będą kolejne złączenia. Jest to istotny narzut obliczeniowy. Zakładając, że w ramach modelu danych będzie ujęte wiele typów relacji problem potęguje się.

Opisany w powyższym akapicie narzut nie wyklucza wykorzystania relacyjnej bazy danych do rozwiązania zadanego problemu. Autorzy projektu postanowili jednak skorzystać z innego podejścia i wykorzystać bazy danych o reprezentacji logicznej lepiej nadającej się do modelowania dziedziny problemu.

Interesującą alternatywę zapewnia ruch **Not Only SQL**, a konkretnie jego podzbiór - grafowe bazy danych. Ich logiczny model danych jest spójny z sieciowym modelem struktury miasta, dlatego bardzo dobrze nadają się do rozwiązania postawionego problemu. Jednym z najbardziej dojrzałych projektów grafowych baz danych jest **Neo4j** (`http://www.neo4j.org`). Zaletą tej bazy w kontekście tematyki przestrzennych baz danych jest posiadanie warstwy abstrakcji do obliczeń przestrzennych - **Neo4j Spatial**. Ze względu na wymienione zalety i odpowiedniość struktury do dziedziny problemu, do implementacji projektu autorzy skorzystali właśnie z tej bazy danych.

Schemat modelu danych miasta

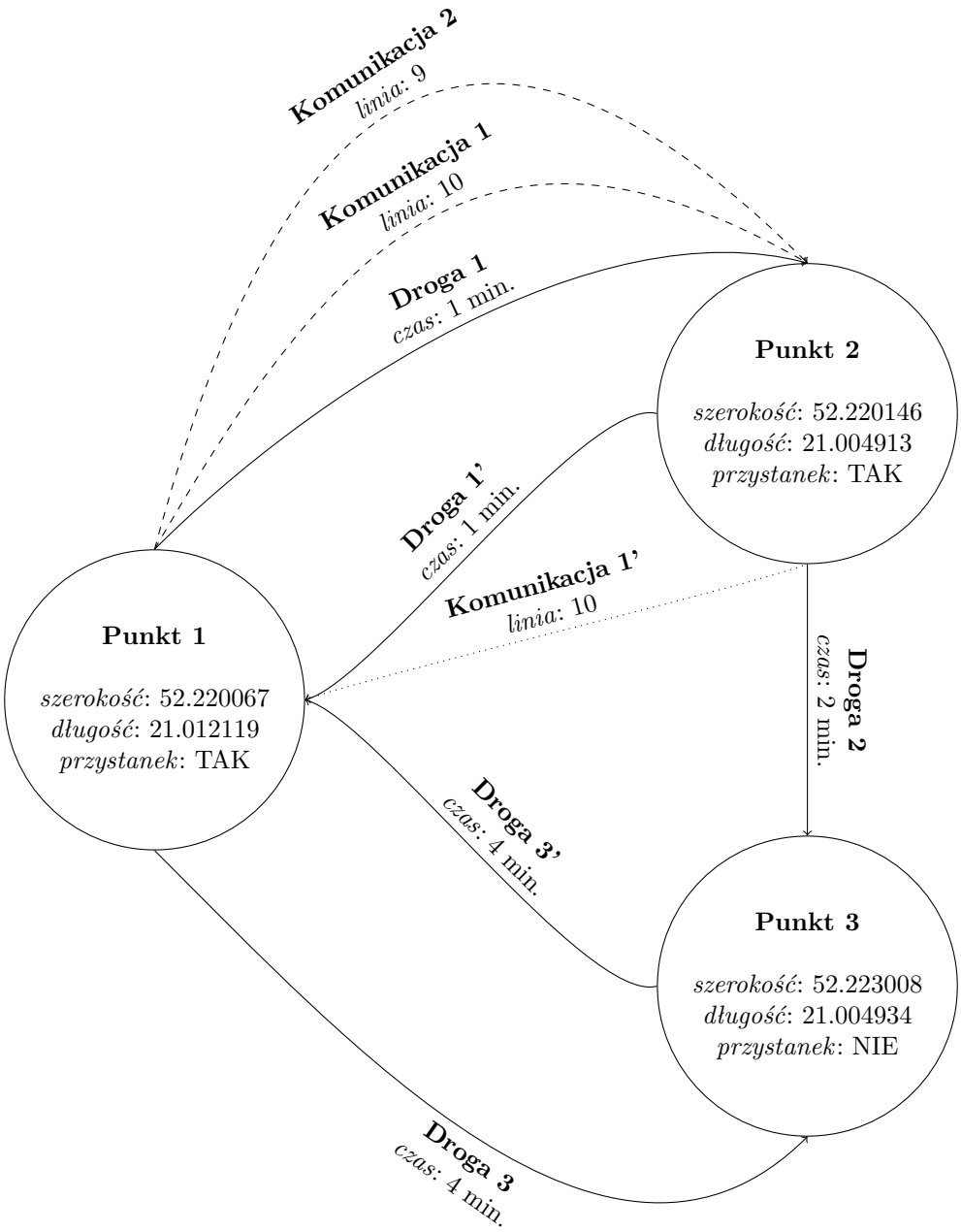
Wykorzystany model danych został schematycznie przedstawiony na rysunku 1.

Na schemacie pokazane są trzy punkty:

1. O współrzędnych $(52.220067, 21.012119)$. Przystanek komunikacji miejskiej.
2. O wpółrzędnych $(52.220146, 21.004913)$. Przystanek komunikacji miejskiej.
3. O współrzędnych $(52.223008, 21.004934)$.

Na schemacie pokazane są dwa typy relacji. Relacja narysowana pełną linią o nazwie **Droga** oznacza istnienie drogi pomiędzy punktami. Relacja narysowana linią przerywaną o nazwie **Komunikacja** oznacza natomiast istnienie ścieżki przejazdu komunikacji miejskiej jednej linii pomiędzy tymi punktami. Z relacji przedstawionych na schemacie można więc odczytać:

- Z punktu 1 do punktu 2 prowadzi droga 1, której przebycie zajmuje jedną minutę. Istnieje droga powrotna $1'$, która prowadzi z punktu 2 do punktu 1.
- Z punktu 1 do punktu 2 można dojechać dwoma liniami komunikacji miejskiej: 9 i 10. Z punktu 2 do punktu 1 wraca tylko linia numer 10.
- Punkty 2 i 3 połączone są drogą jednokierunkową, której przebycie zajmuje 2 minuty.



Rysunek 1: Schematyczne przedstawienie modelu danych miasta.

- Punkty 1 i 3 są połączone drogą dwukierunkową, której przejechanie zajmuje 4 minuty.

Indeksy

W modelu danych założone są dwa indeksy:

- Indeks bitmapowy na polu *przystanek*.
- Indeks przestrzenny na polach *szerokość* i *długość* geograficzna[1].

Metoda wyznaczania trasy

Algorytm wyznaczania najszybszej trasy jest dwukrokowy:

1. W bazie danych odnajdywane są dwa punkty: najbliższe początkowi i końcowi trasy spośród wszystkich punktów zdefiniowanych w bazie danych. W przypadku wyznaczania trasy komunikacji miejskiej wyznaczane są takie najbliższe punkty, że są one przystankami komunikacji.
2. Za pomocą algorytmu Dijkstry wyznaczana jest najszybsza droga pomiędzy znalezionymi punktami:
    - Dla trasy samochodowej/pieszej pod uwagę brane są tylko i wyłącznie łuki, które reprezentują relację **Droga**. Ewaluacja kosztu polega na dodawaniu czasu podróży dla każdego segmentu drogi.
    - Dla podróży komunikacją miejską pod uwagę brane są tylko i wyłącznie łuki, które reprezentują relację **Komunikacja**. Dla każdego segmentu wykonywana jest ewaluacja kosztu:
        - Koszt jest zwiększany o czas podróży dla danego segmentu.
        - Wykonywane jest sprawdzenie czy do węzła wejściowego analizowanego łuku prowadzi łuk, który obsługuje ta sama linia komunikacyjna. Jeżeli tak to przesiadka jest zbędna i ewaluacja kosztu kończy się. W przeciwnym razie koszt całkowity ścieżki jest powiększany o zadany czas oczekiwania na przesiadkę.

Architektura aplikacji

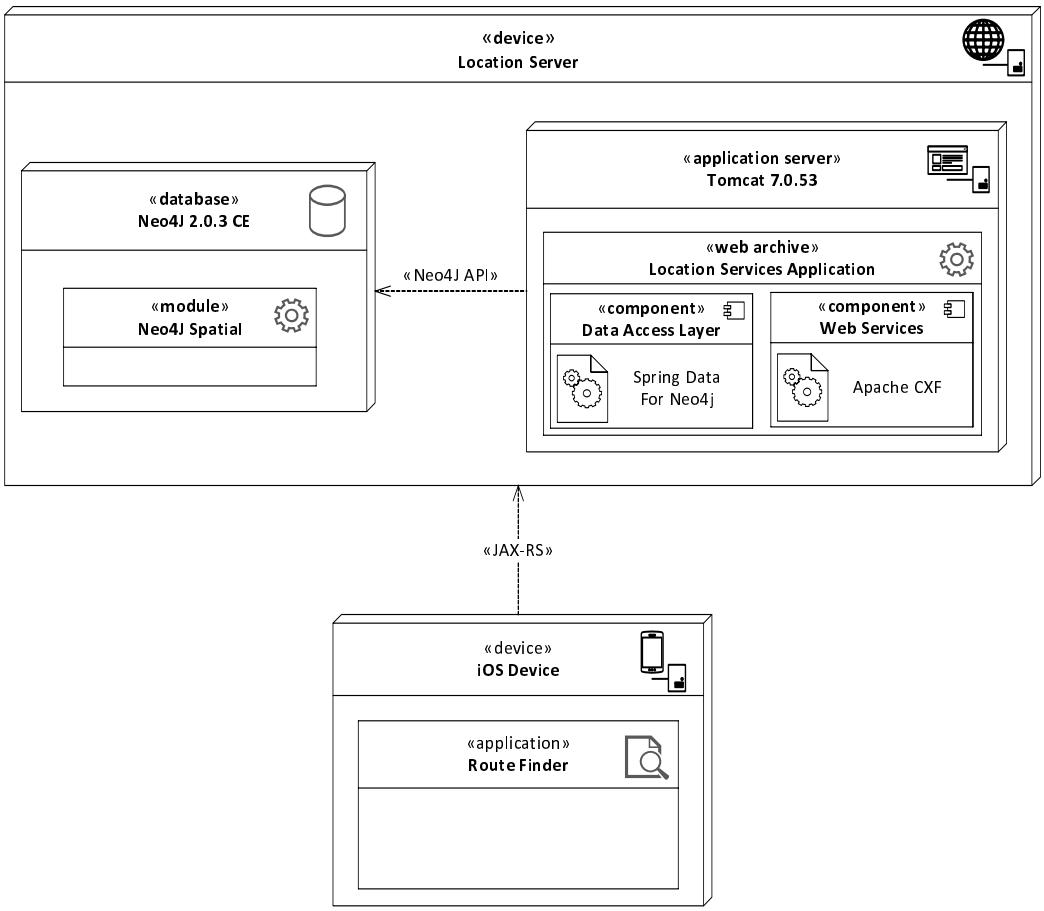
Aplikacja została zaprojektowana w architekturze klient-serwer. Szczegółowy schemat architektury przedstawia rysunek 2.

Serwer

Serwer posiada następujące odpowiedzialności:

- Przechowuje informacje o sieci miasta.

[1] W bazie danych Neo4j punkt jest reprezentowany jako łańcuch znaków WKT (Well-Known Text). Przykład: `POINT( 52,223008 21,004934 )`.



Rysunek 2: Schemat architektury aplikacji.

- Zwraca informacje o najbliższych punktach z bazy danych dla danej szerokości i długości geograficznej[2].
- Zwraca informacje o najbliższych przystankach komunikacji z bazy danych dla danej szerokości i długości geograficznej[2].
- Zwraca informacje o najszybszej ścieżce dotarcia z punktu o identyfikatorze A do punktu o identyfikatorze B. W zależności od wywołania metody zwracana jest ścieżka dla samochodu lub komunikacji miejskiej.

Klient

Klient posiada następujące odpowiedzialności:

- Pozwala zdefiniować punkt początkowy i końcowy podróży poprzez zaznaczenie na mapie.
- Umożliwia wprowadzenie godziny przyjazdu.

[2]Przeszukiwanie domyślnie ograniczone jest do promienia 5 kilometrów. Ograniczenie to można zmienić w pliku `config.properties`.

- Rysuje najszybszą ścieżkę na mapie na podstawie informacji pobranych z serwera.
- Oblicza czas wyjścia z domu na podstawie obecnego czasu i długości podróży odebranej z serwera.
- Pozwala na określenie czasu przesiadki.

Zasilanie danymi

Aby ułatwić inicjalne zasilanie bazy danych serwera utworzony został moduł o nazwie **data-populator**:

- Moduł ten wypełnia bazę danych wartościami pobranymi ze zdefiniowanego repozytorium.
- Domyślnym repozytorium są trzy pliki płaskie, które odpowiednio zawierają informacje o węzłach mapy, łukach dróg oraz łukach komunikacji miejskiej.

Rysunek 3 przedstawia przykład pliku definiującego punkty wejściowe dla węzłów mapy. Linie rozpoczynające się od znaku # są traktowane jako komentarz. Kolejne kolumny oznaczają: identyfikator punktu w obrębie repozytorium, szerokość geograficzną, długość geograficzną oraz flagę oznaczającą czy dany punkt jest przystankiem komunikacji miejskiej. Ostatnia kolumna, w której znajduje się opis punktu, nie jest wprowadzana do bazy danych.

```
# id    latitude  longitude pt_stop description
EN_0001 52.220067 21.012119 true    Plac Politechniki
EN_0002 52.220146 21.004913 true    Nowowiejska/Al. Niepodległości
EN_0003 52.223008 21.004934 true    Koszykowa/Chałubińskiego
EN_0004 52.227885 21.001865 true    Al. Jerozolimskie/Jana Pawła
EN_0005 52.230014 21.011886 true    Marszałkowska/Al. Jerozolimskie
EN_0006 52.219893 21.018152 true    Plac Zbawiciela
EN_0007 52.223232 21.015984 true    Plac Konstytucji
EN_0008 52.226229 21.014161 true    Marszałkowskiej/Hoża
EN_0009 52.228353 21.010203 false   Nowogrodzka/Poznańska
```

Rysunek 3: Plik repozytorium zawierający dane wejściowe dla węzłów mapy.

Rysunek 4 przedstawia przykład pliku definiującego łuki reprezentujące drogi. Kolumny oznaczają kolejno: identyfikator drogi w obrębie repozytorium, identyfikator węzła początkowego drogi, identyfikator węzła końcowego drogi oraz czas podróży podany w sekundach.

Rysunek 5 przedstawia przykład pliku definiującego łuki reprezentujące transport publiczny. Kolumny oznaczają kolejno: identyfikator wpisu w obrębie repozytorium, numer linii komunikacji oraz identyfikator drogi, po której porusza się komunikacja.

```
# id    from    to      travel_time_in_sec
RO_0001 EN_0001 EN_0002 180
RO_0002 EN_0002 EN_0003 120
RO_0003 EN_0003 EN_0004 240
RO_0004 EN_0004 EN_0005 300
RO_0005 EN_0001 EN_0006 120
RO_0006 EN_0006 EN_0007 120
RO_0007 EN_0007 EN_0008 120
RO_0008 EN_0008 EN_0005 240
```

Rysunek 4: Plik repozytorium zawierający dane wejściowe dla łuków reprezentujących drogi.

```
# id      line route
PTRO_0001 10   RO_0001
PTRO_0002 10   RO_0002
PTRO_0003 10   RO_0003
PTRO_0004 9    RO_0004
PTRO_0005 15   RO_0005
PTRO_0006 15   RO_0006
PTRO_0007 15   RO_0007
PTRO_0008 15   RO_0008
```

Rysunek 5: Plik repozytorium zawierający dane wejściowe dla łuków reprezentujących komunikację publiczną.

Komunikacja

Komunikacja odbywa się przy pomocy serwisów w specyfikacji JAX-RS[3]. Zostały zdefiniowane dwa serwisy.

Najbliższy punkt na mapie Metoda jest dostępna przez odwołanie do relatywnej ścieżki `/nearest/{lat}/{lon}/publicTransportStop/{stop}`. Parametr `lat` należy zastąpić szerokością geograficzną w formacie zmiennoprzecinkowym z kropką. Parametr `lon` należy zastąpić długością geograficzną w tym samym formacie. Parametr `stop` należy natomiast wypełnić wartością `true` lub `false` jeżeli odpowiednio ma zostać zwrócony przystanek komunikacji miejskiej lub dowolny punkt. Serwis zwraca odpowiedź w formacie przedstawionym na rysunku 6.

Najszybsza droga Metoda może być wywołana poprzez odwołanie do relatywnej ścieżki `/shortestPath/{sId}/{fId}/publicTransport/{pT}/changeDuration/{cD}`. Parametr `sId` należy zastąpić poprzez identyfikator węzła początkowego. Parametr `fId` należy zastąpić poprzez identyfikator węzła końcowego. Oba identyfikatory mogą pochodzić z wywołania serwisu dla najbliższego punktu na mapie. Parametr `pT` należy zastąpić wartością `true` lub `false` w zależności od tego czy wyszukana ma być droga dla komunikacji miejskiej lub samochodu. Ostatni parametr `cD` należy zastąpić liczbą całkowitą,

[3]Java API for RESTful Web Services.

```
{
  "id": 15,
  "latitude": 52.219893,
  "longitude": 21.018152
}
```

Rysunek 6: Przykładowa odpowiedź serwisu odnajdującego najbliższy punkt w bazie danych.

która oznacza ilość sekund doliczanych na oczekiwanie przy przesiadce. Odwołanie do `/changeDuration/{cD}` jest opcjonalne dla najszybszej ścieżki samochodowej i można je pominąć. Serwis zwraca odpowiedź w formacie przedstawionym na rysunku 7.

Aplikacja kliencka

Główny ekran aplikacji

Główny ekran aplikacji umożliwia wprowadzenie czterech parametrów wyszukiwania:

- Punkt początkowy trasy.
- Punkt końcowy trasy.
- Wyznaczenie trasy dla komunikacji miejskiej. Wyłączenie tej opcji powoduje wyszukanie trasy samochodowej.
- Docelowa godzina przyjazdu.

Wygląd ekranu startowego przedstawia rysunek 8. Ostatnie dwie opcje wybiera się bezpośrednio na głównym ekranie. Wybór godziny przyjazdu dokonywany jest standardowym komponentem systemu iOS - przesuwaną „rolką” z osobnymi kolumnami dla godzin i minut.

Wybór punktu startowego i końcowego wymaga zagłębienia się w kolejny ekran. Dokonuje się tego poprzez wciśnięcie znaku >.

Ekran wyboru punktu

Wyboru punktu startowego oraz docelowego dokonuje się poprzez wskazanie go na mapie. Po przytrzymaniu palcem dowolnego miejsca mapy przez sekundę wybrany punkt jest oznaczany czerwoną pinezką.

Po wybraniu punktu i kliknięciu *Wróć* na pasku nawigacyjnym, na ekranie głównym pojawią się współrzędne wybranego punktu skrócone do trzech miejsc po przecinku.

Ekran wyboru punktu przedstawia rysunek 9.

```
[
  {
    "id": 10,
    "routeFrom": {
      "id": 15,
      "latitude": 52.219893,
      "longitude": 21.018152
    },
    "routeTo": {
      "id": 329,
      "latitude": 52.220067,
      "longitude": 21.012119
    },
    "duration": 300,
    "line": 9
  },
  {
    "id": 73,
    "routeFrom": {
      "id": 329,
      "latitude": 52.220067,
      "longitude": 21.012119
    },
    "routeTo": {
      "id": 412,
      "latitude": 52.228353,
      "longitude": 21.010203
    },
    "duration": 240,
    "line": 15
  }
]
```

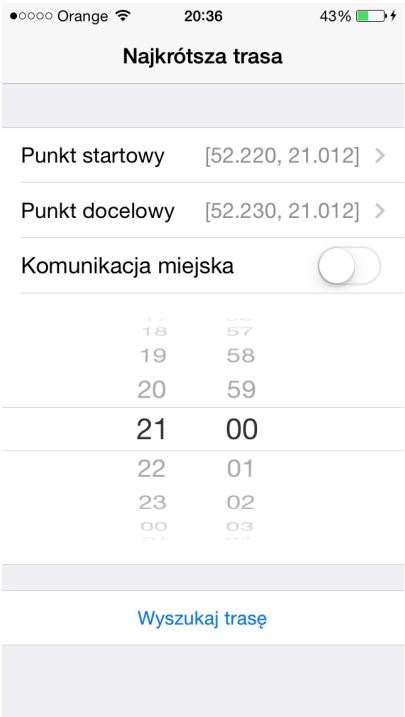

Rysunek 7: Przykładowa odpowiedź serwisu odnajdującego najszybszą ścieżkę pomiędzy punktami.

Ekran prezentacji wyników

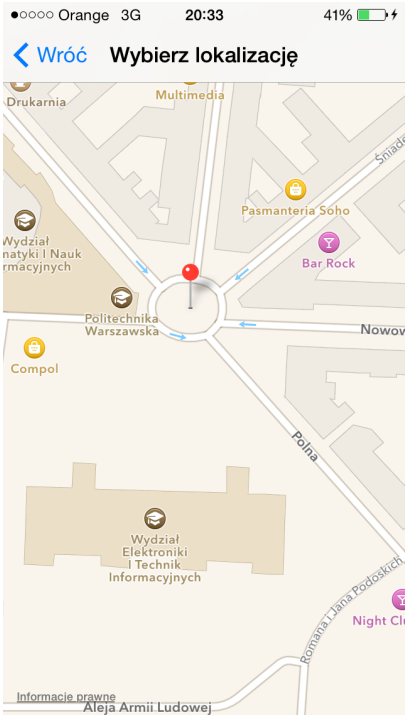
Ekran prezentacji wyników został przedstawiony na rysunkach 10 oraz 11.

Na ekranie przedstawiane są następujące informacje:

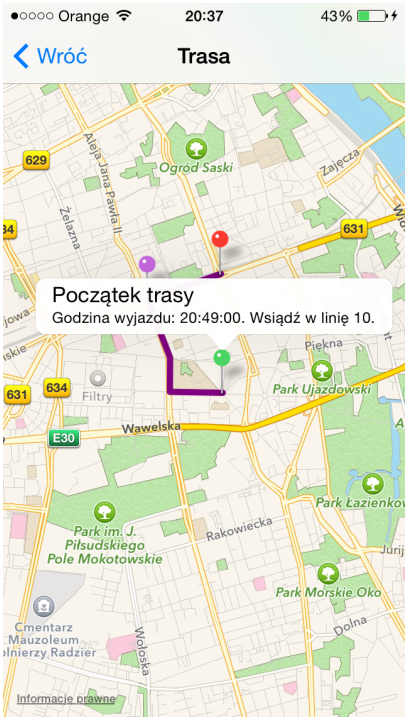
- Najkrótsza trasa składająca się z odcinków narysowanych kolorem fioletowym.
- Punkt początkowy trasy, w którym prezentowane są informacje o wymaganym czasie rozpoczęcia podróży oraz linii komunikacji miejskiej (jeżeli opcja została aktywowana), jest oznaczony pinezką koloru zielonego.
- Punkt końcowy trasy, w którym prezentowana jest informacja o czasie przyjazdu,



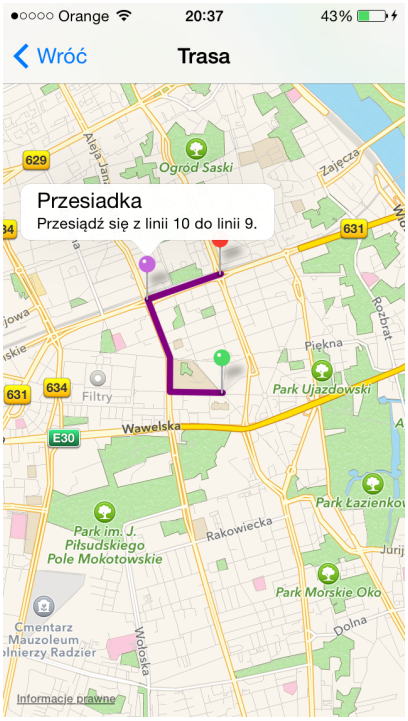
Rysunek 8: Główny ekran aplikacji.



Rysunek 9: Ekran wyboru punktu startowego/końcowego.



Rysunek 10: Ekran prezentacji wyników - punkt startowy.



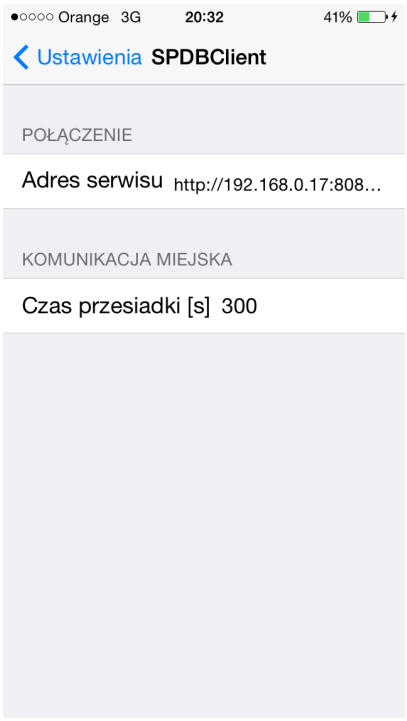
Rysunek 11: Ekran prezentacji wyników - miejsce przesiadki.

jest oznaczony pinezką koloru czerwonego.

- Punkty przesiadek, w których prezentowana jest informacja do jakiej linii należy się przesiąść, oznaczone są pinezkami koloru fioletowego. Punkty są widoczne tylko podczas wyszukiwania trasy komunikacji miejskiej i tylko, gdy wyszukana trasa uwzględnia przesiadki.

Ekran ustawień

Ekran ustawień został przedstawiony na rysunku 12.



Rysunek 12: Ekran ustawień aplikacji.

Na ekranie ustawień można wprowadzić:

- Adres serwisu, z którym łączy się aplikacja.
- Czas doliczany do każdej przesiadki (podawany w sekundach).

Budowanie i uruchamianie aplikacji

Moduł serwerowy oraz kliencki aplikacji budowane są osobno. Część serwerowa jest budowana przy użyciu aplikacji Maven (`http://maven.apache.org`). Uruchomienie polecenia **mvn clean install** w ścieżce projektu spowoduje ściągnięcie wszystkich zależności, uruchomienie testów jednostkowych oraz integracyjnych, a także wygenerowanie pliku web-archive (**.war**), który następnie trzeba przenieść do folderu *webapps* serwera aplikacji Java.

Budowanie aplikacji klienckiej jest realizowane przy pomocy menadżera zależności CocoaPods (`http://cocoapods.org`). Uruchomienie polecenia **pod install** w podfolderze

z klientem spowoduje ściągnięcie wszystkich zależności oraz wygenerowanie pliku projektu programu Xcode, za pomocą którego można skompilować i wyeksportować aplikację.

Implementacja

Moduły

Kod źródłowy projektu został podzielony na cztery moduły:

data-populator służy do wypełniania bazy danych inicjalnymi wartościami. Odczytuje wartości z plików płaskich.

data-access interfejs abstrahujący dostęp do danych.

web-services moduł udostępniający dostęp do bazy danych z użyciem serwisów REST.

ios-client aplikacja kliencka.

Środowisko uruchomieniowe

Projekt był uruchamiany i testowany w następującym środowisku:

- System operacyjny: OS X Mavericks 10.9.3 (dla aplikacji serwerowej), iOS 7.1.1 (dla aplikacji klienckiej).
- Wirtualna maszyna Java: JRE 1.8.0.
- Serwer aplikacyjny: Apache Tomcat 7.0.53.
- Baza danych: Neo4j 2.0.2 CE.

Kod źródłowy projektu (części serwerowej) jest zgodny z najnowszą specyfikacją języka Java w wersji 8. Wykorzystywane elementy języka to między innymi wskaźniki na funkcje, wyrażenia lambda oraz nowy interfejs programistyczny dla dat. Z tego względu aplikacja nie uruchomi się w starszej wersji maszyny wirtualnej.

Środowisko developerskie

Projekt był implementowany przy użyciu:

- IntelliJ IDEA Ultimate 13.1.2. Zaawansowane IDE do programowania w języku Java.
- Xcode 5.1.1. Domyślne IDE dla użytkowników systemu OS X umożliwiające tworzenie aplikacji na systemy OS X / iOS.

Testy jednostkowe

Projekt posiada zestaw testów jednostkowych, które pokrywają wszystkie moduły zaimplementowane na potrzeby tematu:

- Testy jednostkowe operacji bazodanowych z wykorzystaniem biblioteki testującej dla Spring Data.
- Testy jednostkowe modułu wczytującego i wypełniającego bazę danych inicjalnymi wartościami.
- Testy integracyjne serwisów, które automatycznie uruchamiają serwer aplikacyjny, uruchamiają na nim serwisy i przeprowadzają testy klienckie.
- Testy jednostkowe komunikacji z serwisami po stronie aplikacji klienckiej.

Wykorzystane oprogramowanie stron trzecich

Projekt wykorzystuje liczne elementy oprogramowania stron trzecich:

- JUnit 4.1.1. Biblioteka umożliwiająca testowanie jednostkowe aplikacji w języku Java.
- Apache Maven 3.2.1. Narzędzie służy do budowania części serwerowej aplikacji. Pozwala na zarządzanie zależnościami i przenośne budowanie projektu bez potrzeby dostarczania skompilowanych zależności wraz ze źródłami projektu.
- Spring Framework 4.0.3.RELEASE. Zestaw bibliotek programistycznych o szerokim zakresie funkcjonalności do tworzenia aplikacji enterprise opartych o język Java. W projekcie wykorzystywany jest głównie jako kontener DI[4].
- Neo4j API 2.0.2. Interfejs programistyczny dla języka Java umożliwiający korzystanie z bazy danych Neo4j.
- Neo4j Spatial 0.12. Moduł dla bazy danych Neo4j do realizacji operacji i indeksów przestrzennych.
- Spring Data Neo4j 3.0.1.RELEASE. Wtyczka dla Spring Framework, która realizuje mapowanie obiektowe komponentów grafowej bazy danych Neo4j.
- Apache CXF 2.7.11. Biblioteka, która służy do tworzenia usług sieciowych. Dostarcza implementację dla interfejsów JAX-WS oraz JAX-RS.
- Google Gson 2.2.4. Biblioteka, która służy do automatycznej serializacji obiektów POJO do formatu JSON.
- CocoaPods 0.22.0. Menedżer zależności dla języka Objective-C.

[4]Dependency Injection - wzorzec architektoniczny polegający na usuwaniu bezpośrednich zależności między komponentami.

- RestKit 0.20.0. Biblioteka umożliwiająca prostą komunikację z serwisami RESTful dla Objective-C.
- XCTAsyncTestCase 0.1.0. Biblioteka umożliwiająca testy jednostkowe kodu wykonywanego asynchronicznie w Objective-C.
- MBProgressHUD 0.8. Kontrolka dla systemu iOS umożliwiająca prezentację paska postępu ładowania.
- PXAlertView 0.1.0. Alternatywna kontrolka służąca do prezentacji komunikatów systemowych na platformie iOS.