

BABEŞ–BOLYAI UNIVERSITY OF CLUJ-NAPOCA
FACULTY OF MATHEMATICS AND INFORMATICS
SPECIALIZATION: COMPUTER SCIENCE

Diploma Thesis

GRoutes - A practical application of the travelling salesman problem

Abstract

The present paper describes a practical application of the travelling salesman problem (TSP). In the first chapters I describe the theoretical background of the work, the definition of graphs, notions in graph theory, graph problems, algorithmic approaches, TSP algorithms, reduction of the asymmetric TSP to a symmetric one. The emphasis is on selecting an algorithm that matches, and serves our use case practically.

To exemplify the travelling salesman problem, I have developed an android application, with a Firestore database, Firebase Authentication and Maps API. The functionalities of the application include searching for locations, determining the best route (visiting every node), choosing the travelling mode (by car, on foot), automatically adapting the search algorithm, saving the searches, managing routes and places as favourites.

This work is the result of my own activity. I have neither given nor received unauthorized assistance on this work.

2018

LORENZOVICI ZSOMBOR

ADVISOR:
ASSIST PROF. DR. GASKÓ NOÉMI

BABEȘ–BOLYAI UNIVERSITY OF CLUJ-NAPOCA
FACULTY OF MATHEMATICS AND INFORMATICS
SPECIALIZATION: COMPUTER SCIENCE

Diploma Thesis

GRoutes - A practical application of the travelling salesman problem



ADVISOR:

ASSIST PROF. DR. GASKÓ NOÉMI

STUDENT:

LORENZOVICI ZSOMBOR

2018

UNIVERSITATEA BABEȘ–BOLYAI, CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE MATEMATICĂ ȘI INFORMATICĂ
SPECIALIZAREA INFORMATICĂ

Lucrare de licență

GRoutes - Aplicarea practică a problemei comis-voiajorului



CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:
LECTOR DR. GASKÓ NOÉMI

ABSOLVENT:
LORENZOVICI ZSOMBOR

2018

BABEŞ–BOLYAI TUDOMÁNYEGYETEM KOLOZSVÁR
MATEMATIKA ÉS INFORMATIKA KAR
INFORMATIKA SZAK

Szakdolgozat

**GRoutes - Az utazó ügynök
problémájának gyakorlati
alkalmazása**



TÉMAVEZETŐ:

DR. GASKÓ NOÉMI,
EGYETEMI ADJUNKTUS

SZERZŐ:

LORENZOVICI ZSOMBOR

2018

Tartalomjegyzék

| | |
|---|-----------|
| 1. Bevezetés | 4 |
| 2. Gráfok - alapfogalmak | 6 |
| 3. Gráf problémák | 8 |
| 3.1. Gráfok leszámmlálása | 8 |
| 3.2. Algráf izomorfizmus probléma | 8 |
| 3.3. Gráfok színezése | 8 |
| 3.4. Útproblémák | 8 |
| 3.4.1. Hamilton út probléma | 8 |
| 3.4.2. Minimális feszítőfa | 8 |
| 3.4.3. Kínaipostás-probléma | 8 |
| 3.4.4. Königsbergi hidak problémája | 8 |
| 3.4.5. Legrövidebb út probléma | 8 |
| 3.4.6. Steiner-fa probléma | 8 |
| 3.4.7. Három ház-három kút-probléma | 8 |
| 4. Az utazó ügynök problémája (TSP) | 9 |
| 4.1. A Hamilton körrel való kapcsolat | 9 |
| 4.2. A probléma komplexitása | 9 |
| 4.3. Egzakt megoldások | 9 |
| 4.4. Approximációk | 9 |
| 4.5. Aszimmetrikus TSP | 9 |
| 5. TSP algoritmusok | 10 |
| 5.1. Egzakt algoritmusok | 10 |
| 5.1.1. Brute force | 10 |
| 5.1.2. Held-Karp algoritmus | 10 |
| 5.1.3. Concorde algoritmus | 10 |
| 5.2. Heurisztikus algoritmusok | 10 |
| 5.2.1. Greedy - legközelebbi szomszéd | 10 |
| 5.2.2. Lin-Kernighan heurisztika | 10 |
| 6. Technológiák | 11 |
| 6.1. Android | 11 |
| 6.2. Gradle | 12 |
| 6.3. Firebase | 12 |
| 6.4. Maps API | 12 |
| 7. GRoutes - alkalmazás bemutatása | 13 |

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 7.1. Funkcionalitások | 13 |
| 7.1.1. Bejelentkezés | 13 |
| 7.1.2. Főmenü | 13 |
| 7.1.3. Keresési felület | 14 |
| 7.1.4. Kedvencek | 14 |
| 7.1.5. Múltbeli keresések | 14 |
| 7.1.6. Beállítások | 14 |
| 7.1.7. Térkép felület | 15 |
| 7.2. Adatbázis | 15 |
| 7.3. Osztályok | 15 |
| 7.4. Felmerülő problémák | 15 |
| 8. Következtetések | 16 |

1. fejezet

Bevezetés

Dolgozatom témája az "utazó ügynök" problémájának (TSP)¹ a gyakorlatban történő alkalmazása. Az utazó ügynök problémája egy komputacionális optimalizálási probléma, amely az 1930-as évek óta nagyon intenzíven foglalkoztatja a tudományos világot. Egyszerűen megfogalmazva: adott valamennyi város, valamint az köztük levő távolságok. Melyik a legrövidebb lehetséges útvonal, ami egyszer érinti az összes várost, majd visszaérkezik a kiinduló pontba? Jelenleg nem létezik olyan polinomiális komplexitással rendelkező algoritmus, amely erre a problémára egzakt megoldást nyújtana.

Az utazó ügynök problémájának példázásának céljából egy android alkalmazást készítettem, amelyben különböző helyekre (csomópontokra) rákeresve eredményként egy olyan útvonal rajzolódik ki, amely az összes helyet érinti, valamint a legrövidebb is egyúttal. A felhasználó két utazási mód közül választhat: gyaloglás, autó. Az alkalmazás felhasználói célterülete a turistaútvonalak tervezői, a csomagkihordó szolgáltatást biztosító cégek, valamint a különböző eladási szakterülettel foglalkozó vállalkozások, ahol oda kell utazni az ügyfélhez.

Az első fejezetben a gráfelméleti alapfogalmakat fogom definiálni, részletezni. Ezek a későbbiekben fontosak lesznek, hogy egzakt módon taglalhassuk a témát. A következő fejezetben a különböző gráfelméleti problémákat, feladatokat fogom taglalni, majd ezt követően egy külön fejezetet szentelek az általam kiválasztott problémára, az "utazó ügynök" problémájára. Ebben a fejezetben meg kell magyaráznom a különböző komplexitási alapfogalmakat, hogy rávilágítsak a téma komputacionális nehézségeire. Arról is itt fog szó esni, hogy milyen módszerekkel közelítjük meg a problémát. A későbbiekben nagyító alá helyezem a különböző algoritmusokat az előbbieken említett megoldási stratégiák szerint osztályozva. Bizonyos algoritmusok csak szimmetrikus TSP esetén adnak helyes eredményt, így az asszimmetrikus TSP szimmetrikusra való visszavezetését is tárgyalni fogom.

A dolgozat gyakorlati része a projekt során felhasznált technológiák bemutatásával fog kezdődni. Ez fontos lehet azok számára, akik alapjaiban jobban meg szeretnék érteni az applikációt, vagy egy hasonló alkalmazás elkészítéséhez szeretnének hasznos ismereteket elsajátítani. A technológiák bemutatása után maga az alkalmazás nagyító alá helyezése következik. Ebben a részben fogok írni az applikáció különböző komponenseiről, arról, hogy ezek milyen kapcsolatban vannak egymással. Ezt osztálydiagrammal is fogom illusztrálni. Itt fogok részletesebben írni az adatbázisról, az autentikációról, a Maps API-ről², az alkalmazás funkcionalitásairól, hogy milyen esetben melyik algoritmust alkalmazom és miért kell egyáltalán különböző esetekben más-más algoritmust használni, valamint a nehézségekről,

1. Travelling salesman problem

2. Application Programming Interface

1. FEJEZET: BEVEZETÉS

melyekbe munkám során ütköztem, és ezek megoldásairól.

Végül levonom a következtetéseket a munkám során szerzett tapasztalatokból, valamint javaslatokat teszek az alkalmazás jövőbeli továbbfejlesztési lehetőségeire.

2. fejezet

Gráfok - alapfogalmak

Összefoglaló: Ebben a fejezetben a későbbiekben használt fogalmakat fogom definiálni.

Egy gráf $G = (V(G), E(G))$ vagy $G = (V, E)$ két véges halmazból áll. $V(G)$ vagy V , egy nem üres halmaz, melynek az elemeit csúcsoknak nevezzük, ezek alkotják a gráf csúcsait. $E(G)$ vagy E , egy halmaz, melynek elemeit éleknek nevezzük, ezek alkotják a gráf éleit, úgy, hogy minden $e \in E$ élet meghatároz egy rendezetlen csúcs-pár (u, v) , melyeket e csúcsainak nevezünk.

rend – definíció szerint a G gráf rendje $|V| = n$

méret – definíció szerint a G gráf mérete $|E| = m$

hurokél – olyan él, melynek mindkét végpontja megegyezik

többszörös él – ha két csúcsot több él köt össze, akkor ezeket többszörös, vagy párhuzamos éleknek nevezzük

egyszerű gráf – azon gráf, amely nem tartalmaz sem hurokért, sem többszörös éleket

teljes gráf – egy egyszerű gráf, amelynek minden különböző csúcs-párját összeköti egy él. Egy teljes gráf $n(n-1)/2$ éllel rendelkezik. Ha a teljes gráf csúcsai v_1, v_2, \dots, v_n , akkor az él halmaza megadható a következőképpen:

$$E = \{(v_i, v_j) : v_i \neq v_j; \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n\} \quad (2.1)$$

irányított gráf – olyan gráf, ahol az éleket rendezett (u, v) csúcspárok határozzák meg (számít, hogy melyik a kezdő- és végpont)

részgráf – Legyen H egy gráf, csúcsainak halmaza $V(H)$, éleinek halmaza $E(H)$, hasonlóan G egy gráf, csúcsainak halmaza $V(G)$ és éleinek halmaza $E(G)$. H részgráfja G -nek, ha $V(H) \subseteq V(G)$ és $E(H) \subseteq E(G)$.

séta – a csúcsok és élek váltakozó véges sorozata, mely csúccsal kezdődik és csúccsal végződik, valamint minden csúcsot egy vele szomszédos él követ és fordítva

vonat – az a séta, melyben az élek nem ismétlődnek.

út – az a séta, melyben a csúcspontok nem ismétlődnek.

kör – egy nem-triviális¹ zárt vonat, amelynek a kezdő- és belső pontjai nem ismétlődnek.

1. hossza nagyobb, mint 0

2. FEJEZET: GRÁFOK - ALAPFOGALMAK

Hamilton-út – egy G gráf azon útja, mely minden csúcsot magába foglal

3. fejezet

Gráf problémák

Összefoglaló: Ebben a fejezetben a különböző gráfelméleti problémákat fogom röviden ismertetni.

3.1. Gráfok leszámlálása

3.2. Algráf izomorfizmus probléma

3.3. Gráfok színezése

3.4. Útproblémák

3.4.1. Hamilton út probléma

3.4.2. Minimális feszítőfa

3.4.3. Kínaipostás-probléma

3.4.4. Königsbergi hidak problémája

3.4.5. Legrövidebb út probléma

3.4.6. Steiner-fa probléma

3.4.7. Három ház-három kút-probléma

4. fejezet

Az utazó ügynök problémája (TSP)

Összefoglaló: Ebben a fejezetben az utazó ügynök problémáját fogom részletesen bemutatni.

4.1. A Hamilton körrel való kapcsolat

4.2. A probléma komplexitása

4.3. Egzakt megoldások

4.4. Approximációk

4.5. Aszimmetrikus TSP

5. fejezet

TSP algoritmusok

Összefoglaló: Ebben a fejezetben az utazó ügynök problémáját megoldó algoritmusokat fogom részletesen tárgyalni.

5.1. Egzakt algoritmusok

5.1.1. Brute force

5.1.2. Held-Karp algoritmus

5.1.3. Concorde algoritmus

5.2. Heurisztikus algoritmusok

5.2.1. Greedy - legközelebbi szomszéd

5.2.2. Lin-Kernighan heurisztika

6. fejezet

Technológiák

***Összefoglaló:** Ebben a fejezetben, a projekt elkészítése során felhasznált technológiákat ismertetem.*

6.1. Android

Az Android egy nyílt forráskódú, Linux kernel alapú többfelhasználós operációs rendszer, ahol minden applikáció egy külön felhasználó. Hivatalos nyelvei a Java és a Kotlin. Alapértelmezetten, a rendszer minden applikációnak kioszt egy egyedi Linux felhasználói ID-t (az ID-t csak a rendszer használja, és ismeretlen az applikáció számára). Az operációs rendszer úgy osztja ki a hozzáférési jogokat az applikáció állományai számára, hogy csak az a felhasználói ID férjen hozzájuk, amivel az adott applikáció rendelkezik. Minden folyamat (process) rendelkezik a saját virtuális gépével, tehát minden applikáció kódja egymástól teljesen izoláltan fut. Alapértelmezetten minden applikáció a saját Linux folyamatában fut. Az Android operációs rendszer elindítja a folyamatot, amikor az applikáció valamelyik komponensének szüksége van rá, majd leállítja azt, mikor többé már nincs rá szükség, vagy ha a rendszernek memóriát kell lefoglalnia, más applikációk számára. Az Android operációs rendszer “a legkevesebb kiváltság elvét” (“the principle of least privilege”) alkalmazza, tehát alapértelmezetten, minden applikációnak csak azokhoz a komponensekhez van hozzáférése, amik szükségesek a feladatának elvégzéséhez, és semmi egyébhez.

Egy android applikációnak négy fajta komponense lehet: Activity, Service, Broadcast receiver, Content provider. Ezek közül az Activity szolgál a felhasználóval történő interakció eszközeként, ez ugyanis egy felhasználói felülettel rendelkező képernyő. Activity-k, Service-k és Broadcast receiver-ek egy aszinkron üzenet által aktiválódnak, amit Intent-nek (szándék) nevezünk.

Az Activity egy osztály (class), amely a logikát tartalmazza, a felhasználói felületért azonban egy ehhez tartozó XML állomány felel, ami a különböző UI elemeket (gombok, szövegdobozok, konténerek) tartalmazza.

Az AndroidManifest.xml egy konfigurációs állomány, ami a projekt gyökeri könyvtárában található. Itt vannak deklarálva az applikáció komponensei, valamint a szükséges hozzáférési jogokat is itt kell feltüntetni.

6.2. Gradle

A Gradle egy nyílt forráskódú projektépítő eszköz (build automation tool). A Groovy, vagy Kotlin nyelvű scriptekbe, megadhatjuk a projektünk külső függőségeit (például API-k, library-k), melyeket letölti, majd lekompillálja és lefordítja a forráskódot.

6.3. Firebase

A felhasználók adatainak, beállításainak tárolására, kezelésére a Firestore nevű no-sql (.json) alapú adatbázist használtam, mely a CRUD¹ műveletekhez is biztosít metódusokat. Logikai építőelemei a kollekciók (collection) és a dokumentumok (document). Az előbbi tartalmazhat dokumentumokat, míg az utóbbi alkollekciókat, vagy magukat az adatokat. Az adatok kulcs, érték párok, az értékek lehetnek számok, karakterláncok, tömbök, geopontok vagy akár sajátos osztályok. Amennyiben sajátos osztály akarunk használni, annak rendelkeznie kell egy publikus konstruktorral, melynek nincsenek paraméterei, valamint az attribútumokhoz kell tartozzon egy-egy publikus „getter”² metódus. Az adatbázisban található adatokhoz való hozzáférést egy szabállyal kell megadni, amelyet a szerver leellenőriz a CRUD műveletek végrehajtása esetén.

A felhasználók menedzselésére, mint a regisztráció, bejelentkezés, e-mail cím aktiválása, elfelejtett jelszó visszaállítása, a Firebase Authentication szolgáltatást használtam.

6.4. Maps API

A csomópontok közti távolságok mátrixának lekérdezésére a Distance Matrix API-t, valamint két csomópont közötti útvonal meghatározására a Directions API-t használtam.

1. create, read, update, delete

2. egy paraméter nélküli metódus, mely egy attribútumot térít vissza - példa: String getName()

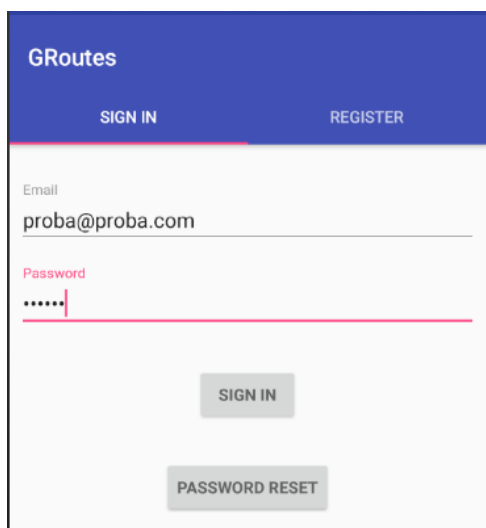
7. fejezet

GRoutes - alkalmazás bemutatása

Összefoglaló: Ebben a fejezetben a GRoutes android applikációt fogom bemutatni úgy technikai, mint funkcionális szempontból.

7.1. Funkcionalitások

7.1.1. Bejelentkezés



7.1. ábra. Bejelentkezési felület

nálóját.

Az alkalmazás elindítása után egy bejelentkezési felület fogadja a felhasználót. Itt kell megadni az e-mail címet, valamint a jelszót amivel a felhasználó regisztrált. Amennyiben elfelejtette a jelszavát, az "elfelejtett jelszó" gomb megnyomásával lehetőség van egy jelszó-visszaállító e-mail kiküldésére.

Ha egy új felhasználó szeretné igénybe venni az applikáció szolgáltatásait, akkor regisztrálnia kell. Ezt megteheti a regisztráció lapra való navigálás után, melyet a cím megérintésével, vagy a képernyőn az ujjának balra történő húzásával érheti el. Az e-mail cím és az új jelszó megadása után, a felhasználó egyből a főmenübe érkezik, mindeközben azonban egy aktivációs e-mailt is kap arra a címére, amivel regisztrált. A későbbiekben csak akkor fog tudni bejelentkezni, ha a kapott emailben az URL¹ -re klikkelve aktiválja a felhasználóját.

7.1.2. Főmenü

A főmenüből négy különböző oldalra navigálhatunk tovább: a keresési felület, a régebbi keresések megtekintése, a kedvencek menedzselése, valamint a beállítások. Az ötödik (csoportok) oldal egy jövőbeli funkciók kifejlesztésére van fenntartva.

1. Uniform Resource Locator, más néven webcím

7.1.3. Keresési felület

Ezen a felületen van lehetőségünk útvonalak, helyszínek keresésére. Az "+" gomb megjelenít egy új mezőt, ahol további címeket adhatunk meg. A "nagyító" gomb a térkép felületre navigál, és kirajzolja a tervezett útvonalat. A keresés elindítása előtt, minden cím mellett van egy "térkép" gomb, ennek segítségével tudjuk megnézni, hogy valóban az az a hely, amire gondoltunk.

7.1.4. Kedvencek

Itt jelennek meg az általunk manuálisan elmentett utak, helyszínek. Minden bejegyzésnél négy gomb jelenik meg, ezeknek az funkcióik a következők:

térkép – megjeleníti a térkép felületet, ahol ráközelít a helyszín koordinátáira, vagy kirajzolja az útvonalat.

nagyító – a keresési felülethez navigál és kitölti a keresési mezőket, az útvonal csomópontjaival, így a felhasználó könnyedén módosíthatja útvonaltervét.

ceruza – módosítja a bejegyzés nevét.

szemetes veder – törli a bejegyzést, ezáltal az adatbázisból is törlődni fog.

7.1.5. Múltbeli keresések

A keresési felület eredményeül kapott útvonalak megjelennek a múltbeli keresések menüpont alatt, nevüket a keresési dátum és időpont alkotja. A bejegyzéseknél a "Kedvenceknél" tárgyalt gombok találhatóak, azonos funkcióval, azzal a kivétellel, hogy a "ceruza" gombot a "csillag" helyettesíti, melynek segítségével elmenthetünk egy útvonalat a kedvencek közé.

7.1.6. Beállítások

Itt ki tudjuk választani a limitet, hogy mennyi csomópont esetén, melyik algoritmust használja az alkalmazás. A megadott számnál kisebb vagy egyenlő számú csomópontok esetén a *Concorde* nevű egzakt megoldásokat nyújtó algoritmus fogja kiszámolni az ideális útvonalat. Ez az algoritmus a legpontosabb megoldásokat nyújtja, azonban az "utazó ügynök" problémájának komplexitása miatt, a csomópontok növekedésével, a végrehajtási idő is exponenciálisan növekszik. Amennyiben a felhasználó nagyon sok csomóponttal szeretne dolgozni, és fontosabb neki az, hogy belátható időn belül egy elfogadható megoldást kapjon, de nem probléma, ha nem a leghatékonyabb útvonal rajzolódik ki, akkor a megadott szám feletti mennyiségű csomópontok esetén, az applikáció egy úgynevezett *greedy*² algoritmust fog használni. Ez nagyságrendekkel gyorsabb az exponenciálishoz viszonyítva, azonban nem minden esetben nyújtja a legjobb megoldást.

Ugyanitt megadhatjuk az alapértelmezett utazási módot, ami lehet gyaloglás, valamint vezetés.

2. mohó

7. FEJEZET: GROUTES - ALKALMAZÁS BEMUTATÁSA

Bár az egyszerűség kedvéért igyekeztem sok írás helyett szimbólumokat tenni a gombokra, de az applikációban található kevés szövegnek a nyelvét szintén itt lehet beállítani.

A térképpel, navigációval kapcsolatos paraméterek módosítására is van lehetőség, mint például az alapértelmezett nagyítás, a pozíció lekérésének gyakorisága, a térképre való automatikus ránagyítás és ennek centralizálásának a gyakorisága navigáció közben, valamint a megtett út kirajzolásának a mennyisége.

7.1.7. Térkép felület

Ez a felület akkor jelenik meg, amikor megérintjük a térkép gombot egy helyszínen vagy egy útvonal mellett, valamint a keresési felület eredménye is itt rajzolódik ki. Amennyiben egy helyszíntől érkezünk, megjelenik egy *marker*³ az adott koordinátán.

A "csillag" gomb segítségével hozzáadhatunk egy helyszínt vagy egy útvonalat a kedvencekhez, ahol később visszanézhetjük, módosíthatjuk a nevét. Alapértelmezetten, a bejegyzések neve a keresési dátum és időpont lesz. A "nagyító" gomb segítségével visszatérhetünk a keresési felületre, így könnyedén módosíthatjuk tervezett útvonalunkat. Az "navigáció" gomb segítségével elkezdhetünk navigálni a tervezett útvonalon.

7.2. Adatbázis

7.3. Osztályok

7.4. Felmerülő problémák

3. jelző

8. fejezet

Következtetések

Összefoglaló: A fejezetek elején egy rövid összefoglalót teszünk. Ez a rész opcionális.

Irodalomjegyzék