

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Gregor Pogačnik

**REKONSTRUKCIJA POTI OBJEKTA Z
UPORABO BAZNIH POSTAJ MOBILNEGA
OMREŽJA**

DIPLOMSKO DELO NA UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

Mentor: doc. dr. Boštjan Slivnik

Ljubljana, 2009



Št. naloge: 01521/2008

Datum: 15.10.2008

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **GREGOR POGAČNIK**

Naslov: **REKONSTRUKCIJA POTI OBJEKTA Z UPORABO BAZNIH POSTAJ
MOBILNEGA OMREŽJA**

**UNCOVERING AN OBJECT'S PATH USING CELL STATIONS OF A
CELLULAR NETWORK**

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Opišite način izračuna poti objekta v prostoru na osnovi podatkov, ki so uporabniku mobilnega telefonskega omrežja dostopni preko mobilnega telefona. Natančno opišite podatke v mobilnem omrežju, s pomočjo katerih se da izračunati pot objekta, in predstavite njihovo dostopnost uporabniku. Opišite postopek, s katerim lahko uporabniki mobilnega omrežja ugotovijo lokacijo baznih postaj omrežja, in postopek izračuna poti objekta na osnovi lokacije baznih postaj in zajetih podatkov z njih. Natančnost izračuna poti na osnovi mobilnega omrežja ocenite s postopkom, ki temelji na uporabi sistema GPS.

Mentor:

Dekan:

doc. dr. Boštjan Slivnik

prof. dr. Franc Solina

Zahvala

Zahvaljujem se Gregorju Rebolju za izdelavo programa za telefone s Symbian operacijskim sistemom, ki je služil kot osnova za odjemalca. Poleg tega moram reči hvala Andreju Bratku za koristne napotke ob začetku izdelave diplomskega dela. V pomoč z idejami in nasveti mi je bil tudi mentor doc. dr. Boštjan Slivnik.

Za slovnične popravke se zahvaljujem lektorici Nini Žavbi Milojević, prof. slovenščine in sociologije.

Končno, vendar ne nazadnje, se zahvaljujem tudi Martini in družini, saj so me podpirali v času študija ter pisanja naloge.

Kazalo vsebine

1 Uvod.....	3
1.1 Lokacijsko osnovane storitve.....	3
1.2 Lociranje in pozicioniranje.....	6
1.3 Motivacija in cilji diplomske naloge.....	6
2 Mobilno telefonsko omrežje.....	8
2.1 NMT.....	8
2.2 Celice.....	8
2.3 GSM.....	10
2.4 UMTS.....	11
2.4.1 Problem „blizu-daleč“.....	12
2.5 Načini za določanje položaja v mobilnem telefonskem omrežju.....	13
2.5.1 Metode, temelječe na omrežju.....	13
2.5.1.1 Metoda Cell-ID.....	13
2.5.1.2 Izpopolnjena Cell-ID-metoda.....	14
2.5.1.2.1 Predučasnenje.....	14
2.5.1.2.2 Čas obhoda.....	14
2.5.1.2.3 Prisilno izročanje.....	15
2.5.1.3 Čas prihoda (TOA).....	15
2.5.1.4 Časovna razlika prihoda (TDOA).....	16
2.5.1.5 Kot prihoda (AOA).....	16
2.5.1.6 Sprejeta moč signala.....	16
2.5.1.7 Računanje razdalje iz sprejete moči signala.....	17
2.5.1.8 Merilne karte.....	18
2.5.1.9 Metoda mapiranja moči signala (FSM).....	19
2.5.2 Metode, temelječe na mobilnem telefonu.....	19
2.5.3 Metoda Cell-ID.....	19
2.5.4 Zapažena časovna razlika.....	19
2.5.5 Zapažena časovna razlika prihoda (OTDOA).....	20
2.5.6 Druge metode.....	20
3 Satelitski sistemi za določanje pozicije.....	21
3.1 GPS.....	22
3.1.1 Delovanje.....	23
3.1.2 GPS-signali.....	24
3.2 Podprt GPS (A-GPS).....	26
3.3 Diferenčni GPS (DGPS).....	27
3.3.1 Realnočasovna kinematika (RTK).....	27
3.3.2 Celinski DGPS-sistemi.....	27
4 Programska rešitev.....	29
4.1 Izbira načina za določanje pozicije.....	29
4.2 Strežnik.....	30
4.3 Odjemalec.....	31
4.4 Protokol.....	33
4.5 Nov zapis sledi.....	35
4.6 Določanje celic.....	36
4.6.1 Preklopi med celicami.....	38
4.6.2 Shranjevanje vseh točk za določeno celico.....	38
4.6.3 Posodabljanje shranjenih vrednosti za celico.....	39
4.6.4 Odraž popravkov na celicah.....	39
4.6.5 Strnjevanje podatkov.....	39
4.6.6 Povezava s podobnimi sistemi.....	40

4.6.7 Pridobitev podatkov o celicah.....	40
4.6.8 Popravek celic.....	41
4.6.9 Vizualizacija.....	42
4.6.9.1 KML.....	42
4.6.9.2 Vizualizacija točk za posamezno celico.....	42
4.6.9.3 Vizualizacija celic.....	45
4.7 Uporaba podatkov o celicah.....	47
4.7.1 Algoritem.....	47
4.7.1.1 Izračun lokacije.....	47
4.7.1.2 Ocena zanesljivosti.....	49
4.7.1.3 Vmesnik za izračun sledi.....	49
5 Primerjava spremenjene Cell-ID-metode z GPS.....	50
5.1 Vizualna primerjava.....	51
5.2 Izračun napake.....	52
5.2.1 Določanje razdalje med dvema koordinatama na Zemlji.....	53
5.2.2 Algoritem.....	54
5.2.3 Interpretacija rezultatov.....	55
6 Podobni sistemi in možnosti uporabe	56
7 Možne izboljšave.....	57
8 Zaključek.....	58
9 Literatura.....	60

Kazalo slik

Slika 1: Napoved rasti števila uporabnikov lokacijsko osnovanih storitev [23].....	5
Slika 2: Delež prodanih telefonov v drugi četrtini leta 2008 [18].....	6
Slika 3: Shematični prikaz celic mobilnega omrežja.....	9
Slika 4: Slabljenje odvisno od nadstropja, kjer se nahaja mobilni telefon [8].....	18
Slika 5: Primer merilne karte [16].....	18
Slika 6: Primer FSM-karte [12].....	19
Slika 7: Tirnice GPS-satelitov [2].....	22
Slika 8: Kontrolne postaje za upravljanje ter nadzor satelitov [22].....	23
Slika 9: Shematski prikaz kodiranja NAV-sporočila [8]	25
Slika 10: Zaslonska slika odjemalca na mobilnem telefonu.....	32
Slika 11: Shematični prikaz izdelave sledi na mobilnem telefonu.....	34
Slika 12: Ilustracija načina uporabe sprejetih podatkov.....	37
Slika 13: Primer odgovora metode getCellDetails() na zahtevo po podatkih o dveh celicah.....	41
Slika 14: Rezultat metode dumpCellCoordinates().....	43
Slika 15: Rezultat metode dumpCellCoordinates() na področju Ljubljane.....	44
Slika 16: Rezultat metode cellCoordinates() na ožjem območju z UMTS- in GSM-celicami.....	45
Slika 17: Rezultat metode dumpCell().....	46
Slika 18: Psevdokoda za opisan algoritem (convert_track) za pretvorbo celične sledi.....	48
Slika 19: Pot, pridobljena s predstavljeno metodo.....	51
Slika 20: Ista pot, pridobljena z ločenim GPS-sprejemnikom.....	52
Slika 21: Direktna primerjava določene poti z dejansko.....	53

Slovar uporabljenih izrazov in kratic

A-GPS – Assisted GPS: podprt GPS

Almanah – okviren podatek o tirnicah satelitov, ki vključuje tudi model za popravke napak. Vsi sateliti oddajajo podatke o tirnicah za vse satelite (vključno s samim seboj).

CDMA – Code Division Multiple Access: kodno multipleksiranje

DGPS – diferenčni GPS

FDMA – Frequency Division Multiple Access: frekvenčno multipleksiranje

Efemeride – bolj podrobni podatki o odstopanju satelitov z načrtovanih tirnic. Vsak satelit oddaja te podatke le za sebe.

GPS – Global Positioning System: satelitski sistem za določanje položaja

GPX – GPS Exchange Format: opisni jezik za zapis GPS-sledi

GSM – Global System for Mobile Communications (sprva tudi Groupe Spécial Mobile): zelo razširjen standard za mobilno telefonijo druge generacije

GPRS – General Packet Radio Services: nosilna podatkovna storitev znotraj GSM standarda

HTTP – hipertekstni transportni protokol

IMSI – International Mobile Subscriber Identity: identifikacijska številka uporabnika mobilnih storitev

J2ME – Java 2 Micro Edition: verzija programskega jezika Java prilagojena majhnim napravam, posebej telefonom

KML – Keyhole Markup Language: opisni jezik za geografske podatke

Midlet – program, ki teče v okolju Java navideznega stroja na mobilnem telefonu

NMEA – National Marine Electronics Association: podjetje Nacionalna navtična elektronska združba. Pogosto se NMEA uporablja tudi kot kratica za njihov NMEA 0183 standard za komunikacijo z GPS-sprejemnikom

NMT – Nordic Mobile Telephone: standard za mobilno telefonijo prve generacije

REST – Representational State Transfer: protokol za dostop do storitev oz. za klic oddaljenih metod

RINEX – Receiver Independent Exchange Format: zapis v katerem shranjujejo profesionalni GPS-sprejemniki

TDMA – Time Division Multiple Access: časovno multipleksiranje

UMTS – Universal Mobile Telecommunications System: ena ključnih tehnologij in sestavni del tretje generacije mobilnih sistemov

URL – Uniform Resource Locator: enolični krajevnik vira ali poenostavljeno naslov spletne strani

Servlet – spletni program, ki teče v okolju Java navideznega stroja na strežniku

SIM – Subscriber Identity Module: modul za identificiranje naročnika

SMTP – Simple Mail Transfer Protocol: protokol za prenos elektronske pošte do naslovnika

SSL – Secure Sockets Layer: protokol, ki omogoča šifrirano povezavo med strežnikom in odjemalcem

SUPB – sistem za upravljanje s podatkovno bazo

Povzetek

V diplomskem delu sem preučeval možnost uporabe mobilnega telefona za določanje položaja, predvsem s pomočjo podatka o celici telefonskega omrežja, ki bi lahko služil kot alternativa satelitskemu sistemu določanja položaja GPS. Predstavljene so prednosti in slabosti obeh načinov ter kako pripravna sta za praktično rabo. Bolj kot natančnemu določanju trenutnega položaja je pozornost posvečena postopku, kako iz sledi preklapov med celicami, pridobljenimi s pomočjo programske opreme na mobilnem telefonu, čim bolje rekonstruirati opravljeno pot. Realizirana je bila praktična programska rešitev, temelječa na modelu odjemalec – strežnik. Rešitev omogoča uporabo celic za lociranje telefona. Del le-te je tudi možnost primerjave določene poti s potjo, ki je bila pridobljena s pomočjo dejanskega GPS-sprejemnika.

Uvod razloži, kaj so lokacijsko osnovane storitve so, zakaj so se razvile in kakšne prednosti ponujajo ter kaj je pravzaprav sploh razlika med lociranjem in pozicioniranjem. V drugem poglavju sledi predstavitev mobilnega telefonskega omrežja in različnih metod za lociranje naprave v takem omrežju. Sledi opis delovanja satelitske navigacije in sistema GPS, ki je po eni strani uporabljen za določanje celic, po drugi strani pa je samostojno uporaben za lociranje. Po teoretičnem ozadju pride na vrsto razlaga realizacije. Sama izvedba je sestavljena iz dveh ločenih delov. V prvem je potrebno določiti, kje se celice nahajajo, v drugem pa se s pomočjo tega podatka pri znanih preklapih poskusi določiti položaj v smislu zemljepisne dolžine in širine. Temu sledi primerjava obeh metod. Na koncu je prikazan pregled že obstoječih sistemov ter možnosti, kje bi se rešitev kljub določenim slabostim lahko še uporabljala. Istočasno so predstavljene smernice za nadaljnje delo. Sklepne ugotovitve so v zaključku.

Ključne besede: mobilno omrežje, celični ID, lokacijsko osnovane storitve, GPS.

Abstract

In the thesis possibilities of locating users in mobile phone networks are explored. The main focus is on how the information about the serving mobile network cell could be used as an alternative to GPS satellite system positioning. The benefits and problems of both methods are reviewed and their practical usage is tested. Instead of just evaluating the ways of determining the current position, it is more thoroughly investigated how a log of mobile station cell switches gathered using software on the mobile phone can be used for the reconstruction of the taken path. A practical implementation of the system, based on a client-server model is given. The solution also consists of a method to compare the results to a path obtained with a regular GPS receiver.

The prologue explains what location based services are, why they emerged and what benefits they can offer. Furthermore the differences between location determination and positioning are given. In the next chapter a general overview of the mobile phone network and various methods for locating devices in such networks is given. An explanation of satellite navigation and the GPS system follows. The GPS system plays two different roles. On one hand it enables measurements to be carried out to determine where cells are located, on the other hand it is a locating method on its own. After the theoretical background the realization is explained. It consists of two distinct steps. First the location of the cells had to be determined. In the second step that knowledge was used to analyze a mobile cell log obtained using software on the mobile phone and deduce the location in terms of a geographical latitude and longitude. Later a comparison of both methods is shown. Before the conclusion other usage scenarios of the Cell-ID method are supposed. At the same time ideas what should be done in the future are presented. Concluding arguments are in the epilogue.

Keywords: mobile network, cell-ID, location based services, GPS.

1 Uvod

Mobilni telefon je iz naprave, ki je bila sposobna opraviti samo klice, prerasel v splošno namenski osebni računalnik. Pogosto se uporablja izraz pametni telefon (angl. *smartphone*), čeprav resnici na ljubo ta pojem ni točno opredeljen in s strani proizvajalca pomeni samo, da je telefon bolj zmogljiv ter da lahko uporabnik naloži na telefon svojo programsko opremo, ki lahko dostopa do večine storitev operacijskega sistema telefona. Nasprotno je značilno za J2ME (Java na mobilnih telefonih), ki deluje na večini današnjih mobilnih telefonov in kjer programi tečejo v svojem, omejenem okolju (angl. *sandbox*). Tako programska oprema nima nujno dostopa do celotne funkcionalnosti telefona, temveč samo do podmnožice, ki jo podpira večje število telefonov.

Poleg majhnosti mobilnega telefona, ki ga naredi zelo priročnega za vsakdanje nošenje v žepu, ima pred prenosnimi računalniki tudi to prednost, da se takrat, ko je priključen, povezuje v omrežje mobilnega operaterja. Prav to lastnost bi se dalo izkoristiti za določanje lokacije telefona. Ob predpostavki, da ljudje telefon ponavadi nosijo seboj, lahko odkrijemo, kje se nahaja lastnik mobilnega telefona.

1.1 Lokacijsko osnovane storitve

Zaradi vse večjih zmogljivosti mobilnega telefona so operaterji in ponudniki storitev lahko pričeli uvajati vedno bolj napredne storitve, ki bi zadovoljile želje uporabnikov njim pa po drugi strani tudi prinašale čim večji dobiček. Ena od takih storitev so tudi lokacijsko osnovane storitve.

Lokacijsko osnovane storitve so se razvile na podlagi zahtev služb za prvo pomoč, kajti želja je bila, naj bo ob klicu poleg telefonske številke kličočega dostopna tudi njegova lokacija. Ljudje, ki kličejo, so namreč pogosto v šoku, zaradi česar težje opišejo, kam naj reševalci sploh pridejo, kar v najhujšem primeru lahko zahteva življenje. Poleg tega je s pomočjo podatka o položaju možno alarmirati najbližji reševalni center. V ZDA obstaja standard E-911, ki ga je kasneje v bolj ali manj enaki obliki prevzela tudi Evropska unija za klice na številko 112 (E-112 – enhanced 112). Ta določa, da mora biti telefonska številka kličočega vedno vidna ter da mora biti dostopna tudi dovolj točna lokacija. Postopna izboljšava natančnosti je dosežena s 3 fazami in roki, do kdaj mora biti kakšna faza izpolnjena. Za vsako fazo je točno predpisano, kakšen odstotek ljudi mora biti mogoče locirati do določene natančnosti, iz česar sledi, da imajo metode določene razlike v natančnosti in so odvisne tudi od okolja.

Za namene izpolnjevanja direktive E-112 so morali marsikateri ponudniki mobilne telefonije nadgraditi svoja omrežja druge generacije (npr. GSM). V prvem standardu „GSM release 98/99“ lokacijska funkcionalnost namreč še ni bila načrtovana, medtem ko je bila pri mobilnih omrežjih tretje generacije (recimo UMTS) temu posvečena pozornost že od vsega začetka. Obstaja posebna enota LMU (angl. *location measurement unit*), ki naj bi nudila podporo za določanje lokacije posameznega naročnika.

S pomočjo podatka o lokaciji telefona so možni tudi drugi primeri uporabe:

- **Pomoč na cesti**

Podobno kot pri prvi pomoči je tukaj podatek o tem, kje se uporabnik nahaja, pomemben za čim hitrejšo intervencijo.

- **Lokacijsko osnovano zaračunavanje**

Zaračunavanje je lahko namesto samo od časa odvisno tudi od lokacije. Možno je definirati domačo cono (angl. home-zone), to je okolica doma, v katerem so klici in ostale storitve cenejše. To omogoča boljše konkuriranje cenam fiksnih telefonskih priključkov. Poleg tega je seveda možen tudi obraten pristop. Na določenih mestih (letališče, igrišče za golf) je cena storitve lahko višja.

- **Sledenje**

To je spremljanje gibanja določenega predmeta, živali ali osebe. Najbolj popularno je sledenje vozilom. Pri tem se lahko uporablja mobilni telefon voznika ali pa kar na skrito mesto v avtomobilu vgrajena namenska strojna oprema. Ta ima ponavadi zaradi višje natančnosti vgrajen GPS-sprejemnik, medtem ko mobilno omrežje uporablja zgolj za posredovanje informacij. Prednost skrite strojne opreme je, da se da najti odtujene avtomobile ali pa recimo, da nadrejeni nadzira službeno pot svojih zaposlenih. Drugi način uporabe je spremljanje športnih dogodkov (npr. maratona) v živo.

- **Lokacijsko osnovane informacijske storitve:**

- **Navigacija**

Tukaj gre za to, da se s pomočjo podatka o položaju uporabnika lahko usmerja in se mu tako čim bolj olajša, da pride s točke A v točko B. V ta namen moramo nujno poznati možne povezave, kar praviloma pomeni, da je potrebno na navigacijski napravi imeti zemljevid cestnega omrežja.

- **Iskanje prijateljev**

Zelo zanimiva je tudi možnost opozarjanja na bližino prijateljev. Trenutno socialna omrežja (npr. Facebook) sicer omogočajo, da s pomočjo mobilnega telefona dostopamo do njihovih vsebin ter z različnimi dodatki celo avtomatično posodabljammo svojo trenutno lokacijo, ki se izpiše prijateljem. Korak naprej v tej smeri je, da programska oprema na mobilnem telefonu opozarja na bližino prijateljev kar na samem mobilnem telefonu in tako v nekem smislu poveča možnost naključnega srečanja.

- **Iskanje interesnih točk**

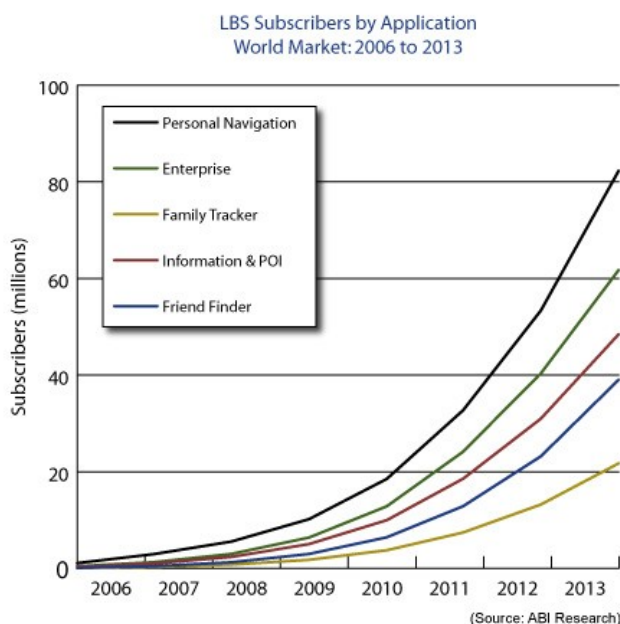
Gre za podobno idejo kot pri iskanje prijateljev, le da uporabnika tukaj zanima kje se nahaja najbližji bankomat, najbližja dežurna lekarna ali pa najbližja gostilna. Turista lahko recimo zanimajo podatki o najbližji mestni znamenitosti. Taka funkcionalnost je ponavadi del navigacijskih programov, ki znajo poleg tega, da prikažejo seznam najbližjih interesnih točk, najti tudi pot do njih.

- **Zabavne storitve**

Iskanje določenega predmeta ali osebe je del igre, pri čemer uporabniki na nek način dobivajo podatek o tem, kako blizu cilju so.

- **Razpršeno oddajanje**

Storitev se uporablja za pošiljanje podatkov ljudem v bližini, npr. za pomembne prostorsko omejene informacije ali oglaševanje. Možno je tudi na določenem mestu „pustiti“ sporočilo za ostale uporabnike.



Slika 1: Napoved rasti števila uporabnikov lokacijsko osnovanih storitev [23]

Trenutno smo v prehodnem obdobju in se lokacijsko odvisne storitve šele postopoma uvajajo. Po napovedih (Slika 1) bo sledila v naslednjih letih strma rast števila uporabnikov, pri čemer bo najbolj hitro rastoča že doslej popularna navigacija.

Velja omeniti, da zagotavljanje podatka o položaju ni neka udarna aplikacija in sama po sebi tudi ne predstavlja bistvenih prihodkov. Le malo ljudi namreč zanima samo, kje se trenutno nahajajo. Bolj zanimiva je povezava z ostalimi, ponekod že obstoječimi sistemi.

Na ta način lahko ustvarimo dodano vrednost. Gre za nekaj podobnega kot pri spletnem nakupovanju, kjer si s pomočjo skrbnega izbiranja prikazanih izdelkov prodajalec zvišuje možnost, da človek določeno stvar kupi (saj mu na podlagi njegovih prejšnjih obiskov in/ali drugih podatkov o njem najprej ponudimo izdelke, ki ga bolj zanimajo). Po drugi strani mu s pomočjo tovrstne osebne prilagoditve naredimo spletno stran tudi bolj všečno. V primeru lokacijsko odvisnih storitev gre za to, da so rezultati (obstoječi podatki) prikriti glede na uporabnikovo lokacijo. Tudi pred množično uporabo GPS-sprejemnikov je npr. obstajala programska oprema, ki je znala navigirati uporabnika po cestnem omrežju od ene do druge točke (v 80. letih je nastal program AutoRoute, ki ga je kasneje kupil Microsoft). Je pa seveda neprimerno lažje za uporabnika, če sama naprava ve, kje se nahaja ter zna pred vsakim odcepom voznika opozoriti, kot če je potrebno stalno spremljati zemljevid in načrtovan opis poti.

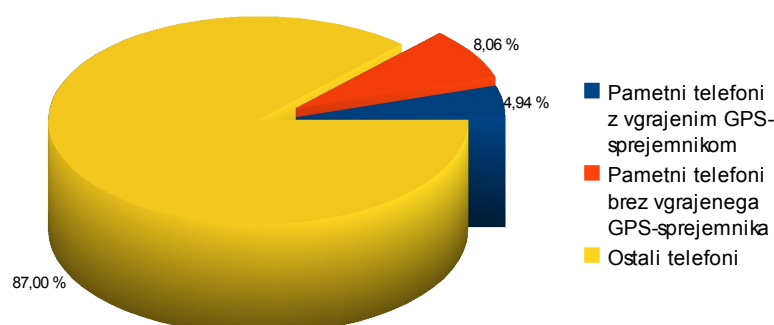
1.2 Lociranje in pozicioniranje

V tekstu se večkrat pojavljata pojma mobilno lociranje in pozicioniranje, zato si zaslužita posebno razlago. Razmerje med pojmom pozicija in lokacija je približno tako kot med pojmom podatek in informacija ter hkrati na podoben način podvrženo napačni uporabi. Pozicija oz. položaj je podatek, ki ga izmerimo s pomočjo neke metode za pozicioniranje. To je neko bolj ali manj veliko območje. Bolj natančne metode za pozicioniranje seveda dajejo kot rezultat manjše območje. Tako kot je informacija neka interpretacija pridobljenega podatka, je tudi lokacija širši pojem pridobljen na podlagi obdelave podatka o poziciji za kar nujno potrebujemo neko dodatno znanje, npr. zemljevid ali referenčno točko. Mobilno lociranje je proces določanja pozicije naprave relativno glede na neko drugo definirano pozicijo, medtem ko je mobilno pozicioniranje izvajanje meritev, ki same po sebi neke tretji osebi lahko ne povedo ničesar.

Lega je pozicija in orientacija v prostoru. Metode ponavadi ne ugotavljajo, kako je naprava oz. človek obrnjen (orientiran), tako da ne gre za določanje lege. V ta namen bi bilo potrebno uporabiti npr. v napravo vgrajen kompas ali merilnik pospeška, ki lahko ugotavlja tudi, kako smo telefon obrnili.

1.3 Motivacija in cilji diplomske naloge

Vprašanje je bilo, kako bi se dalo odkriti, kje se določena oseba nahaja oz. kje se je v preteklosti gibala, pri čemer ima pri sebi le mobilni telefon. Pri tem je bilo treba razlikovati možnost, da ima oseba telefon z vgrajenim GPS-sprejemnikom ter takega brez. Drugi primer je težavnejši, odsotnosti strojne opreme se ne da kar tako odpraviti. Cilj je bil najti čim boljši približek, ki pa hkrati ne posega v omrežje mobilnega operaterja ter ne zahteva posebne strojne opreme, temveč deluje na povprečnem telefonu.



Slika 2: Delež prodanih telefonov v drugi četrtini leta 2008 [18]

Po napovedi podjetja Canalys [17] za drugo četrtino leta 2008 za EMEA-regijo (Evropa, Srednji vzhod in Afrika) imajo pametni telefoni 13 % delež (glede na število prodanih telefonov). Od tega jih je 38 % opremljenih z vgrajenim GPS-sprejemnikom, kar pomeni, da ima nekaj manj kot 5 % prodanih telefonov vgrajen GPS-sprejemnik. Sicer se da uporabiti tudi zunanji bluetooth GPS-sprejemnik za telefon brez GPS-sprejemnika, kar pa je bolj nerodno. Človek običajno s seboj ne nosi posebne strojne opreme (bluetooth GPS-sprejemnika za uporabo s telefonom ali kar GPS-sprejemnika z vgrajenim pomnilnikom) temveč le mobilni telefon.

Drug zgovoren podatek je, da je dnevna pokritost povprečnega človeka, ki ima pri sebi ves čas GPS-sprejemnik, le 4,5 % [9]. To pomeni, da večino časa ne vemo, kje se uporabnik nahaja, natančne podatke dobivamo le zelo kratek čas (npr. takrat ko oseba ni v stavbi). Pokritost z GSM-signalom po drugi strani je 99,6 %, saj je v mestu zelo težko priti na območje, kjer ne bi bil prisoten signal vsaj enega mobilnega operaterja.

Na podlagi nizke razširjenosti GPS-sprejemnikov v mobilnih telefonih in precej slabega delovanja GPS-sprejemnikov (koliko časa so uporabni) je bilo smiselno iskanje alternative za določanje lokacije, ki bi uporabljala kar podatke mobilnega omrežja.

Bistvena prednost mobilnega telefona pred namensko strojno opremo je njegova prilagodljivost, ker na njem lahko poganjamo lasten program. Sled s podatki o lokacijah ob določenem času lahko hranimo v pomnilniku telefona (večina telefonov omogoča uporabo razširjenih pomnilniških kartic) za kasnejšo uporabo, po drugi strani pa jih lahko tudi periodično pošiljamo na strežnik in tako omogočimo sledenje uporabniku.

V okviru diplomske naloge je bil razvit modul za spletno storitev TripTracker.net. Storitev TripTracker.net omogoča ljudem deljenje slik s potovanj ali izletov in usklajevanje le-teh z GPS-sledjo na podlagi časa. S pomočjo tega je mogoče ustvariti potopis in določeni točki na zemljevidu pripisati eno ali več slik. Tako je mogoče po eni strani urediti potopise s potovanj, po drugi strani pa tudi posamezni sliki pripisati točno določen kraj, kar olajša urejanje slik in kasnejše ugotavljanje, kaj je pravzaprav na sliki.

Razvita razširitev dodaja podporo določanju lokacije s pomočjo mobilnega telefona. Poleg tega je možna kasnejša določitev približne poti v smislu geografske širine in dolžine, kljub temu da se skupaj s telefonom, od koder uporabniški podatki izvirajo, ni nujno uporabljal GPS-sprejemnik.

2 Mobilno telefonsko omrežje

2.1 NMT

Zametki mobilne telefonije na našem ozemlju segajo v leto 1987, ko so jugoslovanska PTT-podjetja postavila analogno NMT-omrežje za potrebe športnega dogodka, natančneje Univerzijade v Zagrebu. Prvi komercialni NMT-sistem je v Sloveniji zaživel takoj po osamosvojitvi, poleti leta 1991.

NMT pomeni Nordic Mobile Telephone in kot nakazuje kratica izvira iz severne Evrope. Oče tehnologije je švedski inženir Östen Mäkitalo. Tehnični principi za NMT so bili določeni že leta 1973, medtem ko so bile specifikacije za bazne postaje pripravljene leta 1977. Čeprav so se omrežja hitro širila predvsem po Skandinaviji, je prvi ponudnik zagnal omrežje 1. 9. 1981 v Saudski Arabiji ter tako za 1 mesec prehitel zagon omrežja na Švedskem.

Kasneje so NMT skupaj z manj razširjenima in predvsem v Ameriki poznanimi standardoma AMPS in TACS proglasili za mobilno omrežje prve generacije (1G). Bistvena značilnost teh omrežij je analogno delovanje.

Poleg številnih slabosti, kot npr. da pogovori niso bili šifrirani in jim je lahko vsakdo prisluškoval, pa ima NMT tudi določene lastnosti, ki jih še vedno najdemo pri modernih mobilnih telefonskih omrežjih. NMT je prvo omrežje, ki je lahko delovalo popolnoma avtomatično, poleg tega pa je zgrajeno iz celic.

2.2 Celice

Mobilno omrežje bi teoretično lahko sestavljala samo ena bazna postaja s sprejemno-oddajno enoto. Problem pri takem pristopu je, da so omejene možnosti za enostavno širjenje oz. da je skalabilnost zelo nizka. Večje ozemlje kot bi želeli pokriti, bolj bi morali povečati moč. Prej ali slej bi naleteli na fizične omejitve, ki bi preprečile nadaljnjo rast našega omrežja. Najbolj omejujoč faktor v tem primeru je verjetno skrb za zdravje ljudi, ki živijo blizu bazne postaje, čeprav tudi ob ignoriranju tega dejavnika omrežja ne bi mogli poljubno razširiti oz. bi cena za širitev začela nesorazmerno naraščati. Tudi pri povečevanju števila uporabnikov bi naleteli na podoben problem. Za vedno večje število uporabnikov bi potrebovali vedno večjo pasovno širino za brezžičen prenos podatkov.

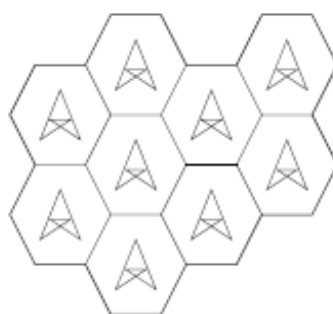
Rešitev je, da prostor, ki ga želimo pokriti z mobilnim signalom, razdelimo na več enot, pri katerih vsaka bazna postaja namesto celotnega območja pokriva samo manjši del (celico).

Ponavadi celice shematično predstavimo kot mrežo šesterokotnikov, kar pa dejansko ne ustreza realnosti. Točna oblika je odvisna od karakteristik uporabljenih anten (sevalnega vzorca) in od tega, ali ena bazna postaja skrbi samo za eno celico s pomočjo vsesmerne (angl. omni-directional) antene oz. je prostor pokrit z več (običajno do tremi) sektorskimi (angl. sectoral) antenami. Te se v nasprotju s splošnim prepričanjem nahajajo na robu celice in ne v njeni sredini. Vsaka od treh anten na istem drogu tako oskrbuje en sektor druge celice.

V primeru (neobstoječe) idealne izotropne antene, tj. antene, ki oddaja moč enakomerno v vse smeri, bi lahko rekli, da je celica neka sfera s središčem v anteni. Gledano od zgoraj bi torej v tem primeru morali namesto šesterokotnikov narisati kroge. Problem s krogi je, da tako ni mogoče prikazati razbitja prostora. Med celicami praviloma na poseljenih območjih ni lukenj brez signala. Krogi se lahko dotikajo in je med njimi prazen prostor ali pa se prekrivajo. Prekrivanje ni razbitje prostora, čeprav do prekrivanja do določene mere seveda v resnici prihaja. Na mestih, kjer je veliko ljudi in je torej tudi več uporabnikov mobilne telefonije, se lahko zgodi celo to, da za isto območje skrbita dve bazni postaji in se obe celici skorajda v celoti prekrivata.

Ideja za celice se je pojavila že leta 1947 s strani Bellovih inženirjev Ringa in Younga, torej leta, preden se je mobilna telefonija sploh razvila.

Velikost celice je v prvi fazi definirana s številom uporabnikom. Na področju z večjim številom uporabnikov mora biti celic več in je tako območje razdeljeno na manjše celice, medtem ko je na podežlju potrebno manjše število celic in je posamezna celica lahko večja.



Slika 3: Shematični prikaz celic mobilnega omrežja

Izkoristek se prikaže v tem, da se določen omejeni vir lahko večkrat uporabi pri različnih celicah. Pri frekvenčnem multipleksiranju je povečanje kapacitete posledica tega, da se ista frekvenca lahko uporablja pri dveh različnih celicah in tako ni potrebno uporabljati širšega spektra (druge frekvence za vsako celico). Seveda pride do motenj in tako v sosednjih celicah ni mogoče uporabiti enakih frekvenc. V zvezi s tem se uporablja frekvenčni uporabljivostni vzorec (angl. frequency reuse pattern). $1/K$ oz. K v nekaterih zapisih poenostavljeno pomeni, koliko različnih frekvenc je potrebnih za celotno omrežje, pri čemer je ponavadi težnja po tem, da sta celici, ki uporabljata enako frekvenco, prostorsko čim bolj oddaljeni. Včasih se uporablja tudi oznaka N/K , pri čemer N predstavlja število sektorskih anten, med katere se ena frekvenca deli. Pri GSM znaša ta količnik $3/4$. Pri UMTS je faktor zaradi kodnega multipleksiranja in uporabe enakih frekvenc kar 1.

Podoben izkoristek velja tudi za kode pri kodnem multipleksiranju ali za najenostavnejši primer: čas. Ob istem času lahko dva različna telefona dostopata do dveh različnih baznih postaj. Če bi imeli samo eno bazno postajo, bi po drugi strani telefona drug drugega ovirala.

V primeru klica je pri prehodu iz ene celice v drugo potrebna posebna previdnost, da se klic ne prekine. Pri GSM se vedno, preden se izvede prehod na drugo frekvenco, najprej preveri,

če je druga sploh dovolj dobra. V ta namen mora biti telefon sposoben opravljati klic na enem frekvenčnem pasu in istočasno „poslušati“ na drugem. Pri UMTS takih problemov večino časa ni, ker se uporablja kodno multipleksiranje in je možen mehak prehod (angl. soft handover). To pomeni, da ni prehoda iz ene frekvence na drugo v določenem časovnem trenutku, ampak je telefon nekaj časa „v obeh celicah“. Sprejema lahko podatke z več baznih postaj, poleg tega pa lahko tudi s samo enim oddajanjem odda podatke, ki jih razume več baznih postaj.

Na podlagi velikosti se celice delijo na:

- **makrocelice** – pokrivajo največje območje, ponavadi območje vzdolž avtoceste ali pa ruralna območja. Število sočasnih uporabnikov je tipično precej majhno. Antene so ponavadi nameščene na visokih drogovi.
- **mikrocelice** – pokrivajo srednje veliko območje. Kot že sledi iz imena, tovrstne celice omogočajo precej manjšo pokritost kot makrocelice. Uporabljajo se predvsem v mestih, kjer je več uporabnikov. Antene so ponavadi na vrhu zgradb. Uporaba makrocelic tam ni možna zaradi fizičnih omejitev (stolpnice), poleg tega pa je v mestnem okolju več uporabnikov.
- **pikocelice** – pokrivajo manjše območje recimo trgovski center. Večje število ljudi potrebuje manjše celice. Antena je v tem primeru znotraj zgradbe.
- **dežnikove celice** (angl. umbrella cell) – so zelo omejene in pokrivajo le par metrov okrog antene. Uporaba bi bila recimo na sejmu, kjer je izredno veliko ljudi.

Ker so vsa mobilna telefonska omrežja zgrajena na podlagi celic, se v angleškem jeziku pogosto uporablja kar izraz „cell phone“ kot sopomenka za mobilni telefon.

2.3 GSM

Leta 1982 so na evropski Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) oblikovali Groupe Spécial Mobile z edino nalogo določitve standarda za mobilno telefonijo, ki bi ga lahko uporabljali po celotnem ozemlju Evrope. Malo kasneje, leta 1987, je 15 telekomunikacijskih operaterjev iz 13 držav podpisalo pogodbo o sodelovanju, ki je služila kot osnova za nadaljnji razvoj.

Odgovornost za standard so leta 1989 prevzeli na Inštitutu za evropske telekomunikacijske standarde (ETSI). Skupina se je 1992 preimenovala v Special Mobile Group, medtem ko se je njihov standard poimenoval Global System for Mobile communications (GSM) in torej prevzel kratico skupine.

Prvo GSM-omrežje je zaživel leta 1991 na Finskem. Na ozemlju Slovenije so najprej leta 1993 izvedli prvi poizkus podelitve koncesij, pilotska testiranja pa so potekala šele leta 1995. Prvi komercialni operater Mobitel vzpostavi GSM-omrežje pri nas leta 1996, medtem ko drugi operater (Si-Mobil) pride na trg šele leta 1998.

GSM sistem je sestavljen iz 3 segmentov:

- Prvi segment predstavlja **mobilna terminalska oprema** (MT) – to so predvsem mobilni telefoni ter posebna pametna kartica, ki zagotavlja identiteto naročnika (SIM-kartica).
- Drugi segment je t.i. **bazni podsistem** (angl. base station subsystem – BSS) – sestavljajo ga sprejemno-oddajne enote z antenami (angl. base transceiver station – BTS). Za eno ali več takih enot skrbi bazna krmilna postaja (angl. base station controller – BSC).
- Tretji segment je **mrežni povezovalni segment** (angl. network switching segment), ki med drugim skrbi tudi za prehod v javno stacionarno telekomunikacijsko omrežje.

GSM deluje na frekvenčnem območju 900 MHz in 1800 MHz. V Ameriki se uporablja 850 MHz in 1900 MHz, kajti druga dva pasova sta že bila zasedena. Redko (predvsem v Skandinaviji) se uporablja GSM tudi na 400 oz. 450 MHz, ki sta bili prej rezervirani za starejše sisteme (NMT).

Pri GSM 900 se uporablja območje 890–915 MHz za prenose od mobilnega telefona k bazni postaji in 935–960 MHz za prenose od bazne postaje k mobilnemu telefonu. V primeru GSM 1800 sta območji 1710–1785 MHz ter 1805–1880 MHz. Ker se uporabljata dve različni frekvenci za pošiljanje v vsako smer, so prenosi torej sočasno dvosmerni (angl. full-duplex). Pri GSM 900 je 124 parov nosilnih frekvenc na 200 kHz razmaka, medtem ko je pri GSM 1800 takih parov 374.

Poleg frekvenčnega (tako kot pri NMT) se uporablja tudi časovno multipleksiranje, ki omogoča, da ista frekvenčna pasova uporablja do 8 telefonov. To je možno zaradi dobre kompresije govora s pomočjo digitalnega procesiranja signalov, kar bi bilo v primeru analognega sistema bolj težko izvedljivo.

2.4 UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) je omrežje tretje generacije (3G). Nastalo je kot evropski odgovor na ITU IMT-2000 zahtevo za nov mobilni sistem, ki bo namesto samo prenosu govora namenjen tudi prenosu raznovrstnih drugih podatkov (in tako med drugim podpiral tudi videotelefonijo). Zahteva je bila hitrost 2 Mbit/s proti uporabniku za mirujoče ter 144 kbit/s za hitro premikajoče naprave, pri čemer je v drugo smer hitrost lahko manjša (asimetrična hitrost). Danes je po zaslugi razširitev HSDPA (angl. High-Speed Downlink Packet Access) najvišja hitrost, s katero mobilni telefon lahko sprejema podatke, že 14,4 Mbit/s, hitrost oddajanja pa s HSUPA (angl. High-Speed Uplink Packet) do 5,76 Mbit/s.

Leta 1998 ESTI izbere W-CDMA-standard. Kasneje za standardizacijo začne skrbeti 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Pri tem je treba omeniti, da je 3GPP2 čisto druga delovna skupina, ki skrbi za CDMA-mobilno telefonsko omrežje, ki z UMTS nima nič skupnega, razen da tudi uporablja kodno multipleksiranje.

Pri UMTS se največkrat uporablja kot protokol za sočasen dostop mobilnih telefonov do baznih postaj W-CDMA. To pomeni, da se namesto frekvenčnega multipleksiranja (tako kot npr. pri GSM) uporablja samo kodno multipleksiranje na širšem spektru. Pri kodnem multipleksiranju ni treba vnaprej sprejeti odločitve o tem, kako se resursi porazdelijo in ni neke fiksne zgornje meje uporabnikov. Lahko jih je toliko, dokler še lahko razberejo iz sprejetih podatkov oz. dokler je razmerje med signalom in šumom zadosti dobro, medtem ko je npr. pri časovnem multipleksiranju prej treba določiti širino okna oz. pri frekvenčnem multipleksiranju določiti frekvenčne pasove.

W-CDMA deluje na frekvencah 2110–2170 MHz za komunikacijo telefona z bazno postajo (uplink) in 1920–1980 MHz za komunikacijo v obratni smeri, pri čemer spet obstaja veliko odstopanj glede na regijo.

Manj razširjena je uporaba načina UMTS-TDD (t. i. time-division duplex), kjer se namesto ločenih frekvenčnih območij za komunikacijo z bazno postajo uporablja samo eno območje in je tako treba uporabiti časovno multipleksiranje. Pri tem načinu se uporabljata standarda TD-CDMA ter TD-SCDMA (predvsem na Kitajskem).

Prvo UMTS-omrežje se pojavi 2001 na Japonskem. 2003 se začne trženje tudi v Evropi vključno s Slovenijo, kjer začne tržiti omrežje 12. 12. 2003 podjetje Mobitel.

Ostali deli omrežja so precej podobni GSM in tudi UMTS-telefoni imajo način delovanja v GSM-omrežju. Ponavadi deluje celo prehod iz UMTS-celice v GSM-celico in obratno brez prekinitve pogovora. Pokritost z UMTS-signalom je namreč predvsem na podežlju še precej slaba. Tam bi bile potrebne večje investicije v omrežno infrastrukturo (več anten zaradi manjših celic pri UMTS).

2.4.1 Problem „blizu-daleč“

Zaradi kodnega multipleksiranja vsi telefoni pri komunikaciji z bazno postajo oddajajo na istih frekvencah. Kot posledica različnih oddaljenosti mobilnih telefonov kljub enaki oddajni moči telefonov, bazna postaja še vedno sprejme različne moči signalov. To lahko v skrajnem primeru pomeni, da zaradi oddajanja telefona v bližini, bazna postaja ne bo več znala razbrati podatkov z mobilnega telefona, ki je zelo daleč in oddaja z isto močjo.

Kot rešitev tega problema se uporablja prilagajanje oddajne moči glede na oddaljenost od sprejemnika. Mobilni telefon bo vedno oddajal z najmanjšo možno močjo, kar ima dodatno prednost tudi v manjši porabi energije.

2.5 Načini za določanje položaja v mobilnem telefonskem omrežju

Metode lahko delimo glede na to, kateri del dejansko izvaja določanje položaja oz. kateri del ima pri tem večjo vlogo [8]. Ločimo:

- metode, temelječe na omrežju (angl. network-based);
- metode, temelječe na omrežju s podporo mobilnega terminala (angl. mobile-assisted);
- metode, temelječe na mobilnem terminalu (angl. autonomous).

Včasih zadnji dve alineji združimo v eno „metode, temelječe na mobilnem telefonu (angl. mobile-based)“, pri čemer je argumentacija ta, da je mobilni telefon bolj pomemben za samo delovanje, saj le-ta izračunava lokacijo.

Metoda, ki res temelji samo na mobilnem telefonu, je le GPS-pozicioniranje, pa še to včasih kot pomoč uporablja storitve mobilnega telefonskega omrežja (več o A-GPS-sledi v nadaljevanju).

Druga delitev je glede na natančnost, kompleksnost izvedbe in dodatne posege na strani omrežja ali mobilnega telefona. Tu ločimo:

- osnovne metode,
- izpopolnjene metode,
- napredne metode.

2.5.1 Metode, temelječe na omrežju

2.5.1.1 Metoda Cell-ID

Najbolj enostavna je metoda, ki temelji na identifikaciji celice. Na podlagi tega podatka vemo, da se mobilni telefon nahaja nekje znotraj območja celice. Ker skoraj vsako mobilno (telefonsko) omrežje sestavlja več celic, se metoda lahko uporablja v najrazličnejših omrežjih. Natančnost je odvisna od velikosti celice. Pri GSM je polmer celice od nekaj metrov do 35 kilometrov. V primeru omrežja UMTS je celica manjša in pogosto polmera nekaj kilometrov, saj se uporablja manjša oddajna moč. Prva faza E112 standarda je zahtevala prav natančnost, ki se jo da doseči le z identifikacijo celice.

Pomembno je ali se uporablja vsesmerna (angl. omnidirectional) ali sektorska (angl. sectorial) antena. Večino mobilnih celic pokrivajo prav sektorske antene, in sicer ponavadi vsaka pokrije kot 120° , kar pomeni, da potrebujemo 3. Ker so celice na podeželju večje, je natančnost tam manjša.

Za večjo natančnost pozicioniranja se metodo lahko kombinira z drugimi.

2.5.1.2 *Izpopolnjena Cell-ID-metoda*

Metodam, ki uporabljajo poleg identifikacije strežne celice še kak drug podatek za izboljšanje rezultatov, rečemo izpopolnjene celične metode (angl. enhanced Cell-ID).

2.5.1.2.1 *Predučasnenje*

Pogosto se v mobilnem telefonskem omrežju uporablja časovno multipleksiranje. Za delovanje morajo podatki kljub različni oddaljenosti telefona na bazno postajo prispeti ob točno določenem času.

Predučasnenje pri GSM-standardu (angl. timing advance – TA) določa koliko časa prej mora mobilni telefon poslati podatke, da bodo prispeli v pravem trenutku do bazne postaje. Nove vrednosti TA se računajo ves čas.

Možne zakasnitve so od 0 do 233 μ s, TA pa je zakodiran kot 6-bitna vrednost (od 0 do 63). To pomeni, da je najmanjši korak časovne razlike $233/63 = 3,70 \mu$ s. To je čas, ki je potreben za dvojno pot: od telefona do bazne postaje in nazaj. Na podlagi tega lahko ob upoštevanju dejstva, da se signal razširja s svetlobno hitrostjo, izračunamo, da ena enota TA pomeni razdaljo približno 555 metrov. Ker se TA zaokroži na najbližji bit, je razdalja med

$$555 \cdot (TA - \frac{1}{2}) \text{ in } 555 \cdot (TA + \frac{1}{2}) \text{ metrov.}$$

Tako lahko s pomočjo prejšnje metode določimo pozicijo približno na kolobar okrog antene natančno.

Omeniti velja, da pri velikih celicah metoda lahko bistveno izboljša natančnost, medtem ko v primeru, da je radij celice manjši od 555 m, dejansko ne doprinese ničesar k natančnosti.

Paziti je treba, da se TA izračuna glede na prvi prispeli signal in ne glede na najmočnejši signal, saj lahko le tako sklepamo, da gre za direktno pot.

Natančnost je približno 550 m.

2.5.1.2.2 *Čas obhoda*

Pri metodi RTT (angl. Round Trip Time) se meri čas od oddaje podatka z mobilnega telefona do sprejema potrditve. V osnovi gre za podobno idejo kot TA pri GSM aplicirano na UMTS, razen da je natančnost RTT-metode precej višja, in sicer okrog 80 m.

2.5.1.2.3 *Prisilno izročanje*

Gre za izboljšavo prejšnjih dveh metod. Ideja je v tem, da bi lahko z meritvami predučasnenja oz. časa obhoda več baznih postaj določili pozicijo kot presek kolobarjev.

S tako meritvijo bi se dalo zelo izboljšati natančnost. V ta namen bi morali sprožiti prisilno izročanje (angl. forced handover) na sosednjo bazno postajo, tj. namerno povzročiti uporabo druge bazne postaje, kljub temu da njen signal ni najmočnejši. Ker prisilno izročanje traja nekaj časa, so meritve in ocena oddaljenosti do bazne postaje izvedeni ob različnih trenutkih. Kljub temu pa se smatra, da je telefon še vedno na isti točki. Pri počasnem premikanju je to sicer dobro, medtem ko pri hitrem gibanju že samo to lahko pomeni vir napak.

Pri prisilnem izročanju je, posebej z GSM, še več slabosti. Za posamezen telefon ni mogoče narediti prisilne izročitve na drugo celico, ampak se to lahko naredi samo za več telefonov skupaj. Obstaja način, s katerim se izroči vse telefone, priklopljene na določeno bazno postajo, kar se ponavadi uporablja pri okvarah.

Boljša alternativa temu je izročanje samo enega frekvenčnega območja, vendar tudi to ni brez problemov. Tukaj se lahko zgodi, da telefon samo začne uporabljati drugo frekvenčno območje (drugo sprejemno-oddajno enoto) namesto druge bazne postaje in torej nismo ničesar pridobili. V najslabšem primeru prisilna izročitev ene naprave na tak način povzroči izročitev še 7 drugih mobilnih telefonov. Posledica je lahko prekinitev njihove komunikacije.

Metoda je torej natančna, vendar se zaradi stranskih učinkov ne uporablja pogosto.

2.5.1.3 *Čas prihoda (TOA)*

Pri tej metodi se meri čas prihoda signala (angl. time of arrival) z mobilnega telefona na bazno postajo. Kot referenčna točka za določitev časa prihoda signala je definiran začetek časovnega okna.

Ob upoštevanju hitrosti svetlobe lahko tako kot prej izračunamo razdaljo med telefonom in bazno postajo. Tako natančno določimo sfero krog bazne postaje, v kateri se nahaja telefon. S pomočjo presečišča štirih sfer lahko natančno izračunamo pozicijo telefona, ne da bi se zanašali na obliko celice. V primeru, da nas zanima le zemljepisna dolžina in širina, si vse skupaj lahko predstavljamo kot krožnice. Za točno določitev potrebujemo tri krožnice – torej tri meritve oddaljenosti. Tovrstne meritve oddaljenosti do referenčnih točk v splošnem imenujemo trilateracija.

Slaba stran je, da je treba za delovanje na bazni postaji narediti določene prilagoditve ter uskladiti ure med baznimi postajami. Na srečo prilagoditve niso potrebne pri mobilnih telefonih in je tako možno tudi lociranje starejših naprav.

Natančnost je nekje od 100 do 200 m. Pri tem je treba izpostaviti, da tovrstne metode bolje delujejo na podežlju kot v mestnem okolju, kar je obratno kot pri prej predstavljenih metodah.

2.5.1.4 Časovna razlika prihoda (TDOA)

Metoda na osnovi časovne razlike prihodov (angl. time difference of arrival) je precej podobna prejšnji metodi. Za razliko od prej pa se namesto absolutnega časa gleda časovna razlika med prihodi signala na določen par baznih postaj. Tako nam ni potrebno vedeti, kdaj točno je naprava oddajala. Na podlagi ene meritve dobimo vse točke, katerih razlika oddaljenosti med baznima postajama je konstantna. Rezultat pozicioniranja je torej hiperboloid z goriščema v baznih postajah. V 2D si lahko vse skupaj predstavljamo kot hiperbolo z gorišči v baznih postajah. Za določitev pozicije sta potrebni vsaj dve hiperboli oz. dva para baznih postaj (torej tri bazne postaje), v 3D-prostoru pa spet potrebujemo 4 meritve. Metode, ki delujejo na tak način, se včasih imenujejo tudi multilateracijske metode.

Glede natančnosti ni bistvene razlike s prejšnjo metodo.

2.5.1.5 Kot prihoda (AOA)

Metoda temelji na meritvi kota, pod katerim sprejemno-oddajna enota pošilja in sprejema signale z mobilne postaje. Za to metodo so potrebne bazne postaje s posebnimi antenskimi nizi, ki omogočajo usmerjen prenos signala. Usmerjene antene sevajo v ozkih snopih in se prilagajajo in usmerjajo glede na smer mobilne postaje, s katero komunicirajo.

S pomočjo meritev kota z dveh baznih postaj lahko na podlagi triangulacije že določimo položaj telefona, a se zaradi višje natančnosti ponavadi uporabljajo trije koti. Za uspešno določanje položaja mora biti znana tudi razdalja med antenama, ki pa je konstantna.

Bistvena slabost metode je poleg posebnih anten to, da je potrebna direktna vidljivost. Signal mora namreč pripotovati po direktni poti in ne preko odbojev, da lahko natančno izmerimo kot. Njena uporabnost je predvsem na gorskih področjih, kjer so bazne postaje bolj redke in jih ni težko prilagoditi, hkrati pa je teren običajno tak, da omogoča vidljivost med bazno postajo ter mobilnim telefonom. Druga prednost je to, da, za razliko od drugih metod, že z dvema meritvama lahko dobimo zadovoljive rezultate.

Tudi tu je natančnost nekje med 100 do 200 m.

2.5.1.6 Sprejeta moč signala

Za določanje položaja mobilnega telefona obstaja več metod, ki temeljijo na merjenju moči signala.

Problem pri moči signala je, da nanjo ne vpliva samo oddaljenost telefona, ampak tudi razne fizične ovire. V mestu je takih kar nekaj (npr. bloki). Pri močnem signalu lahko rečemo, da je telefon blizu bazne postaje, medtem ko obratno ne velja: šibek signal je lahko posledica oddaljenosti ali ovir.

Možno je merjenje moči signala z bazne postaje na telefonu ali obratno. Prva možnost je

boljša, saj že sam GSM-sistem meri moč z do 6 baznih postaj in se na podlagi tega odloči za zamenjavo celice.

2.5.1.7 Računanje razdalje iz sprejete moči signala

Upadanje moči signala na poti lahko opišemo z različnimi statističnimi modeli. Ti se razlikujejo predvsem glede na okoliščine razširjanja signala. Dva najbolj splošna modela sta LOS (angl. line of sight) ter Hata model.

Prvi temelji na predpostavki, da je med bazno postajo direktna vidljivost in torej ni drugih ovir. Takrat je razlika v moči:

$$\Delta P = 10\alpha \log\left(\frac{f}{c}\right) - 10\beta \log(4\pi d)$$

Sprememba moči med oddano in sprejeto močjo je izražena v dB. f je nosilna frekvenca signala v Hz, c svetlobna hitrost v m/s (približno 300.000.000), d pa razdalja v metrih. Alfa predstavlja frekvenčni faktor, beta pa faktor terena. Obe konstanti sta empirično določeni in upoštevata vpliv frekvence oz. oblike terena na širjenje signala.

Hata model je predlagal M. Hata [7] na podlagi teoretičnih dognanj Okamure in sodelavcev [12]. Temelji na statističnih meritvah opravljenih v celicah z radiji od 1 do 10 km v Tokiju.

Empirično pridobljena formula je:

$$\Delta P = 69,55 + 26,19 \cdot \log(f) - 13,82 \cdot \log(h_{BTS}) - a(h_{MS}) + (44,9 - 6,55 \cdot \log(h_{BTS})) \cdot \log(d)$$

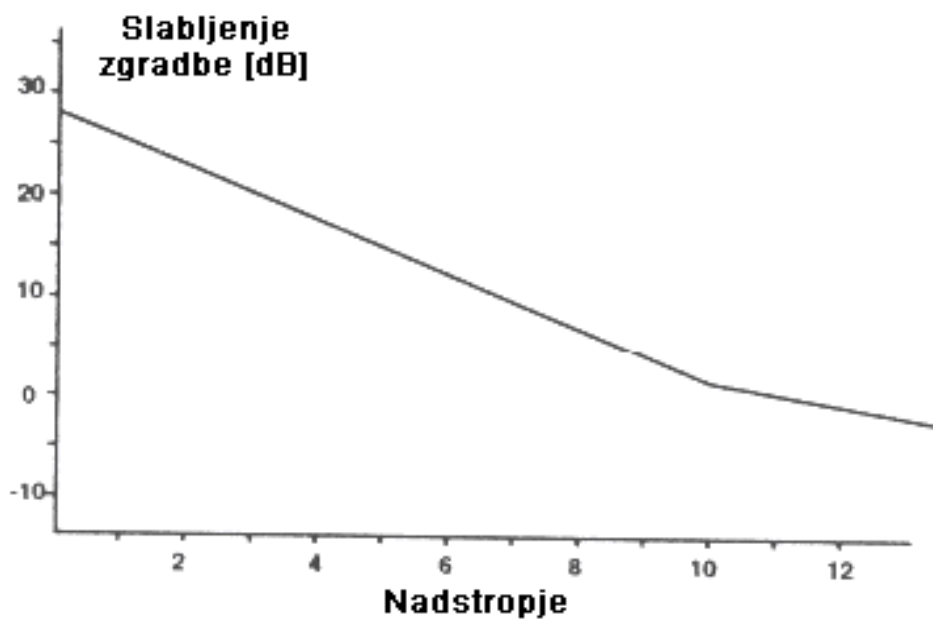
$$a(h_{MS}) = (1,1 \cdot \log(f) - 0,7) \cdot h_{MS} - (1,56 \cdot \log(f) - 0,8)$$

$$a(h_{MS}) = 3,2 \cdot (\log(11,75 \cdot h_{MS}))^2 - 4,97$$

Korekcijski faktor a je popravek za višino antene. H_{ms} je višina mobilnega telefona, H_{bts} pa višina bazne postaje.

Znotraj zgradb pride do dodatnega slabljenja signala, ki je odvisno od velikosti in tipa zgradbe.

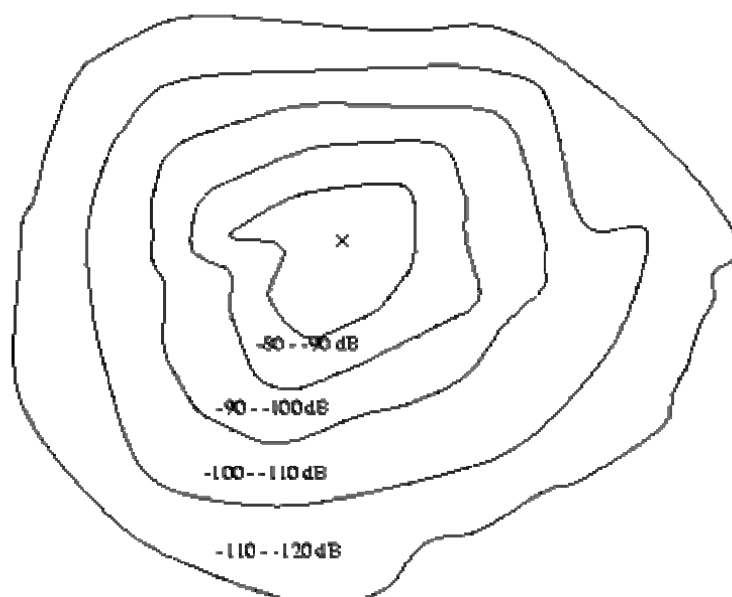
Poleg tega vpliva na nivo sprejetega signala tudi višina mobilne postaje znotraj stavbe.



Slika 4: Slabljenje odvisno od nadstropja, kjer se nahaja mobilni telefon [8]

2.5.1.8 Merilne karte

Na podlagi prej omenjenih modelov je možen le grob sklep o oddaljenosti na podlagi moči signala. Latapy je zato predlagal izdelavo karte, kjer se zabeleži meritev moči signala okrog vsake bazne postaje v vseh smereh in pri različnih oddaljenostih [10]. Osnovna ideja je, da bi bilo potrebno 16 meritev, vendar pa to še vedno ne bi dalo točne slike, kakšna je moč signala v celici. Glede na to, da je na tisoče celic, so take meritve v praksi težko izvedljive.

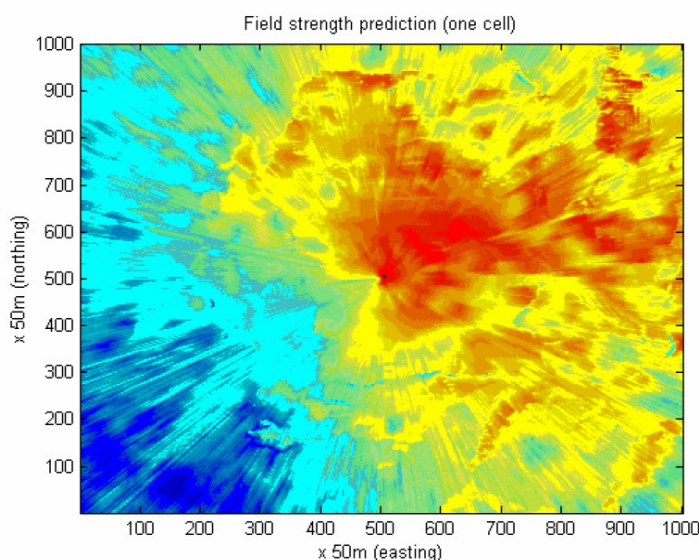


Slika 5: Primer merilne karte [16]

2.5.1.9 Metoda mapiranja moči signala (FSM)

Gre za podobno stvar kot pri merilnih kartah. Metodo „Field Strength Mapping“ so razvili pri Alcatelu. Ideja je v tem, da prostor razdelimo na manjša območja (npr. 50 x 50 m). To izboljša prejšnjo metodo, saj ni več potrebno na slepo določati točk za meritve, ampak je potrebno izvesti meritve samo v vsakem takem območju – kjer so pogoji precej podobni. Poleg tega ne merimo samo moči signala ene bazne postaje, ampak več.

Za tovrstne meritve obstaja posebna strojna oprema Alcatel RNP A955.



Slika 6: Primer FSM-karte [12]

2.5.2 Metode, temelječe na mobilnem telefonu

2.5.3 Metoda Cell-ID

Identifikacijo strežne celice lahko istočasno štejemo tudi med metode, temelječe na mobilnem telefonu. Kljub temu da je ID-celice neke vrste omrežni podatek, sam telefon lahko izvaja meritve neodvisno od omrežja.

2.5.4 Zapažena časovna razlika

Zapažena časovna razlika (angl. observed time difference – OTD) je izmerjen čas med oddajanjem referenčne bazne oddajne enote v primerjavi z drugimi bližnjimi enotami. Meri se za potrebe psevdosinhronega izročanja na drugo postajo. Problem je v tem, da GSM bazne postaje med seboj niso sinhronizirane in se oddajanja ne dogajajo istočasno. Način deluje samo pri novejših GSM-omrežjih in omogoča hitrejši prehod na drugo celico.

Razširjen OTD (E-OTD) je uporaba OTD za namene določanja pozicije. Samo pozicioniranje je precej podobno TDOA. Tudi tu gre za multilateracijo in računamo preseke hiperboloidov oz. hiperbol, le da, kot prej omenjeno, meritve izvaja mobilni telefon. Če bi vse antene oddajale signale istočasno, bi telefon lahko določil razliko med prihodom po dveh signalov z različnih enot (potrebno bi bilo spet imeti 4 enote) in tako sklepal o svojem položaju. Težava je v tem, da temu ni tako.

Zato mora lokacijska merilna enota spremljati dejansko razliko med časom oddajanja dveh anten (t. i. dejanska časovna razlika). Geometrična časovna razlika je definirana kot razlika med dejansko in zapaženo (izmerjeno) časovno razliko. Ta je taka, kot če bi bil bazni del med seboj usklajen in torej primerna za uporabo.

Tovrstno pozicioniranje omogočajo le novejši GSM mobilni telefoni, kar je precejšnja slabost. Natančnost je nekje od 50 do 200 m.

2.5.5 Zapažena časovna razlika prihoda (OTDOA)

Bazne postaje v UMTS-omrežju so med seboj sinhronizirane (in istočasno oddajajo), zato je možno neposredno na mobilnem telefonu izmeriti časovno razliko med prihodom signala z dveh baznih postaj. V primeru, da se nahajamo na sredini med baznimi postajami, metoda deluje, problem se pojavi v primeru, da to ne gre. Oddajanje ene bazne postaje namreč lahko moti signal poslan z druge (bolj oddaljene) bazne postaje.

IPDL (angl. idle period downlink) je uporaba periodičnih delčkov časa, ko bazna postaja ne pošilja podatkov mobilnemu telefonu, ki ga le-ta lahko uporabi za spremljanje signala z drugih baznih postaj. Pri pozicioniranju v UMTS-omrežju se pogosto uporablja taka IPDL-OTDOA-metoda. Natančnost je precej podobna ostalim metodam, torej z možnostjo napake do 200 m.

2.5.6 Druge metode

Obstajajo tudi metode trilateracije na vnaprešnji povezavi (angl. forward link trilateration – FLT). Izpopolnjena (E-FLT) in napredna (A-FLT) FLT-metoda delujeta po precej podobnem principu kot TDOA in merita fazni zamik signala. Točna razlaga na tem mestu ni podana, saj gre za metodi, ki se ne uporabljata v UMTS- oz. GSM- omrežjih.

Ena od metod za pozicioniranje je tudi GPS-sistem. Mobilni operater lahko na svojih baznih postajah namesti A-GPS-sistem. Telefon mora še vedno imeti svoj GPS-sprejemnik, vendar mu te naprave služijo kot pomoč. Tak način določanja položaja se včasih imenuje hibridna metoda, ker temelji tako na mobilnem omrežju kot tudi telefonu.

Več o satelitskih sistemih za določanje pozicije (ter GPS in A-GPS) sledi v nadaljevanju.

3 Satelitski sistemi za določanje pozicije

Edini trenutno popolnoma delujoč svetovni sistem je ameriški GPS, obstajajo pa še podobne pobude iz drugih držav. Večinoma so se te pojavile zato, ker želijo države postati čim bolj neodvisne od vojske Združenih držav Amerike. Čeprav sam sistem omogoča višjo natančnost, je ta dostopna samo za vojaške namene preko šifriranega signala. Sistem Galileo bo na podoben način omogočal dostop do različno natančnih načinov določanja položaja, le da bo v tem primeru dostop do višje natančnosti možen za ustrezno plačilo, kar priča o bolj komercialni naravnosti sistema za razliko od GPS, ki je bil sprva izključno vojaški. Seveda bo tudi Galileo dovoljeval posebno uporabo za vladne agencije. Razlika ni toliko v sami natančnosti, ampak v možnosti uporabe sistema v izrednih okoliščinah.

Globalni sistemi za določanje položaja so:

- ameriški **GPS**
- ruski **GLONASS** – ponovna vzpostavitev po delnem razpadu sistema zaradi pomanjkanja denarja. V letu 1995 je bil že popolnoma operativen. Ponoven zagon poteka v sodelovanju z Indijo.
- kitajski **Compass** (ideja za razširitev obstoječega regionalnega sistema Beidou, včasih se uporablja tudi ime Beidou 2)
- **Galileo** – projekt Evropske unije pri katerem sodeluje še več drugih držav (Indija, Izrael, Južna Koreja, Kitajska, Maroko, Savdska Arabija in Ukrajina). Večina satelitov bo predvidoma utirjena do leta 2011, medtem ko naj bi bil sistem popolnoma delujoč do leta 2013.

Poleg teh obstaja še nekaj lokalnih sistemov oz. idejnih zasnov za le-te, ki služijo samo za določanje položaja na ožjem območju na Zemlji:

- sistem **QZSS** (Quasi-Zenit Satellite Sistem) na Japonskem, ki naj bi bil sestavljen iz le 3 satelitov, ki bi nudili v sodelovanju z GPS boljšo natančnost za Japonska otočja. Dejansko gre bolj za neke vrste razširjen DGPS-sistem.
- **IRNSS** (indijski regionalni satelitski sistem)
- kitajski **Beidou**

Strojna oprema za sprejem signala je pri večini sistemov podobna. Tudi ostali sateliti so na podobnih tirnicah kot GPS (Galileo sateliti so malce višje), drugačen je le Compass, ki naj bi uporabljal tudi nekaj geostacionarnih satelitov (satelitov, ki krožijo približno na višini 35.786 km nad zemeljsko površino in imajo obhodni čas 24 ur). Vse skupaj je posledica delovanja lokalnega sistema Beidou. Bistvena prednost tega načina je, da so sateliti vedno vidni na isti točki nad Zemljo in jih je tako lahko manj, kar pa se, če je želja po pokritju celotnega Zemeljskega površja, hitro sprevrže v slabost. Druga slabost je, da je za razliko od večine

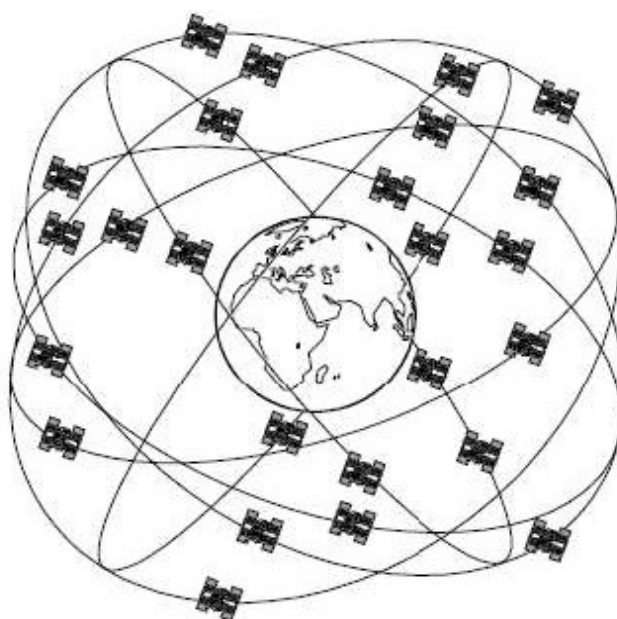
ostalnih sistemov ročne naprave niso samo pasivne, ampak morajo tudi same pošiljati podatke, kar omeji sočasno število uporabnikov.

3.1 GPS

NAVSTAR GPS-sistem je razvilo ameriško obrambno ministrstvo leta 1978. Od leta 1983 je njegova uporaba dovoljena tudi za civilno prebivalstvo. Večji razmah je tehnologija doživela 1. 5. 2000, ko je bilo odpravljeno namerno motenje s pomočjo selektivne razpoložljivosti, ki je dodajala naključne napake do 100 metrov. Sistem sestavljajo trije segmenti:

- **uporabniški** – GPS-sprejemniki,
- **vesoljski** – sateliti, ki krožijo nad Zemljo,
- **nadzorni** – centri na Zemlji, ki skrbijo za delovanje satelitov.

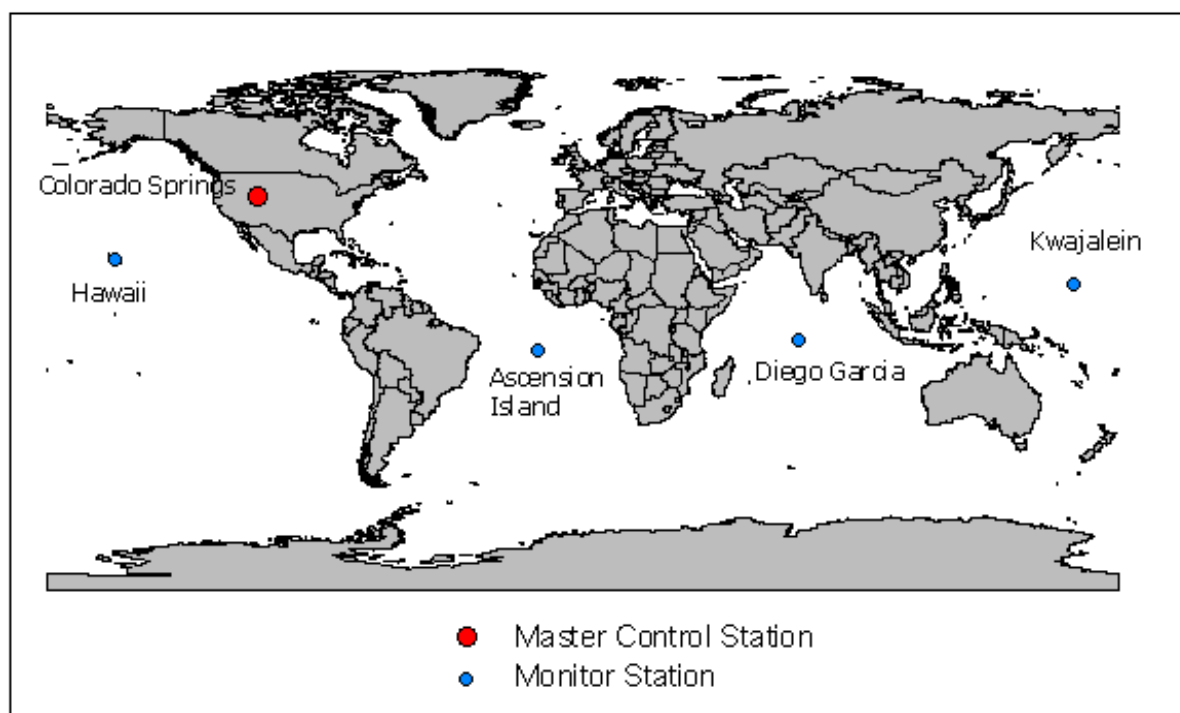
GPS-sistem sestavlja najmanj 24 satelitov, ki krožijo v šestih enakomerno razmaknjenih tirnicah okrog Zemlje. Teža posameznega satelita je okrog 850 kg. Zaradi redundance je satelitov ponavadi nekaj več (okrog 30). Do zdaj je bilo utirjenih že 60 satelitov, kajti povprečna življenjska doba satelita je 7 let in pol. Obhodni čas satelitov je 11 ur in 58 minut. Na vsaki tirnici, ki so med seboj razmaknjene za 60° so po 4 sateliti. Tirnice imajo inklinacijo 55° glede na ekvatorialno ravnino in so 20.163 km nad zemeljsko površino. S poljubne točke na Zemlji je v določenem trenutku vidnih od 6 do 11 satelitov, običajno 8. Za uspešno določitev položaja morajo biti vidni vsaj 4 sateliti.



Slika 7: Tirnice GPS-satelitov [2]

3.1.1 Delovanje

Osnova za delovanje je zelo natančna atomska ura v notranjosti vsakega satelita. Vsi sateliti neprestano oddajajo čas po svoji uri, ki je usklajena med sateliti, ter almanah – podatke o tem, kje na tirnici se trenutno nahajajo. Vsak satelit oddaja podatke, ki vključujejo njegov položaj kot tudi položaje vseh ostalih satelitov, saj so ti zaradi stalnega kroženja po tirnici določljivi. Manjša odstopanja od načrtovane poti kot posledice zunanjih dejavnikov odkrivajo v zemeljskih nadzornih centrih vzdolž ekvatorja (glej Sliko 8).



Slika 8: Kontrolne postaje za upravljanje ter nadzor satelitov [22]

Spremembe tirnic pošljejo s centralnega nadzornega središča v Colorado Springsu nazaj satelitom, ki jih potem objavljajo v obliki efemerid. Ta podatek je specifičen za vsak satelit, zato svoje popravke oddaja vsak satelit posebej.

Signal, poslan s satelita v obliki elektromagnetnega valovanja, potuje s svetlobno hitrostjo. Iz časovne razlike med poslanim časom ter trenutnim časom se da izračunati razdaljo do satelita. Gre za nekaj podobnega kot prej omenjena metoda TOA. Vsak satelit tako določa sfero s polmerom, ki je enaka izračunani razdalji. Sferi, določeni s pomočjo dveh satelitov, bi se lahko sekali v eni točki, kar pa je možno samo, če se uporabnik nahaja na isti premici kot oba satelita. Glede na to, da je to praktično nemogoče, je presek krožnica. Ko k temu dodamo še podatek s tretjega satelita, dobimo dve možni točki. Če pri tem upoštevamo še, da se uporabnik nahaja nekje na zemeljski površini, je možno s samo tremi sateliti enolično določiti položaj uporabnika (četrto sfero dejansko določa Zemlja). V primeru, da se uporabnik ne nahaja na Zemlji, druge točke ne moremo tako enostavno ignorirati. Problem pri tem je tudi, da bi tak način pozicioniranja zahteval enako natančno uro v sprejemnikih kot je v oddajnikih

(satelitih). To bi po eni strani zelo podražilo naprave, po drugi strani pa le-te najbrž tudi ne bi bile tako mobilne, saj bi morale biti ure vseh naprav – tako satelitov kot tudi sprejemnika, usklajene. Za rešitev problema se uporablja še četrti satelit. Tako se upošteva čas iz vseh satelitov hkrati. Sprejemnik ima lahko navadno, kvarčno uro, ki jo stalno spreminja. Vsakič, ko dobi podatek iz 4 satelitov, mora popraviti svoj čas. To lahko naredi samo na en način, tako da se vse 4 sfere sekajo točno v eni točki. To ustreza temu, da se da s pomočjo štirih enačb izračunati vrednosti štirih spremenljivk (zemljepisne dolžine, širine, višine in nazadnje tudi popravka časa). Na ta način je možno s pomočjo GPS-sprejemnika pridobiti tudi zelo natančen podatek o trenutnem času.

Poleg tega satelit omogoča tudi določanje hitrosti premikanja. Po eni strani bi bilo to mogoče izračunati na podlagi spremembe položaja in časovne razlike, vendar GPS za določitev hitrosti ponavadi uporablja Dopplerjev pojav.

Poleg samega določanja položaja je možno z GPS-sprejemnikom določiti tudi kako natančen je tak podatek. To se določi na podlagi razporeditve vidnih satelitov. Ta podatek je dosegljiv v obliki DOP (angl. dilution of precision) – višja številka pomeni slabšo meritev. Ločijo se HDOP (ki pomeni, kakšna je napaka v horizontalni smeri, torej kar se tiče zemljepisne dolžine in širine), VDOP (vertikalna napaka), njuna kombinacija PDOP (position dilution of precision) ter TDOP (napaka v času).

Pri GPS se kot referenčni koordinatni sistem uporablja WGS-84 (geodetski sistem iz leta 1984).

Natančnost sistema GPS za civilno prebivalstvo je od 5 do 30 m. Pri tem največji del napake, tipično okrog 5 m, predstavljajo ionosferske napake, 2–3 m je posledica nenatančnega podatka o satelitu, dodatna 2 m pa običajno prinese nepreciznost ure.

3.1.2 GPS-signali

Edini podatek s satelita je navigacijsko sporočilo (NAV) s 50 bit/s. V njem so čas, podatki o satelitu, efemeride in del almanaha. Sporočila se pošiljajo v okvirih, ki so dolgi 1500 bitov, en okvir torej potrebuje za prenos 30 sekund.

Prvih 300 bitov (6 sekund) podatkovnega okvira opisuje čas satelita in njegovo morebitno odstopanje od GPS-časa. To dvoje je najpomembnejši podatek za določanje položaja. Poleg tega vsebuje ta del tudi podatek o tem, kakšno je stanje satelita (zdravje satelita). Naslednjih 600 bitov (12 sekund) predstavlja efemeride. Te so specifične za določen satelit in opisujejo točne popravke njegove tirnice. Efemeride se popravljajo ponavadi vsaki 2 uri in so veljavne 4 ure, pri čemer obstaja tudi možnost izrednega delovanja s popravki na samo 6 ur ali več.

V zadnjem delu podatkovnega okvirja je še 12 sekund oz. 600 bitov almanaha. To predstavlja 1/25 celotnega almanaha. Če bi torej almanah pridobivali samo z enega satelita, bi v najslabšem primeru trajalo 12,5 minut za pridobitev celotnega almanaha.

Almanah vsebuje grobe podatke o tirnicah vseh satelitov, model ionosfere ter podatke o tem, v kakšnem razmerju je GPS-čas do UTC-časa. Model ionosfere je pomemben, ker tam

nastane največja napaka, ki se z matematičnim modelom lahko do neke mere odpravi.

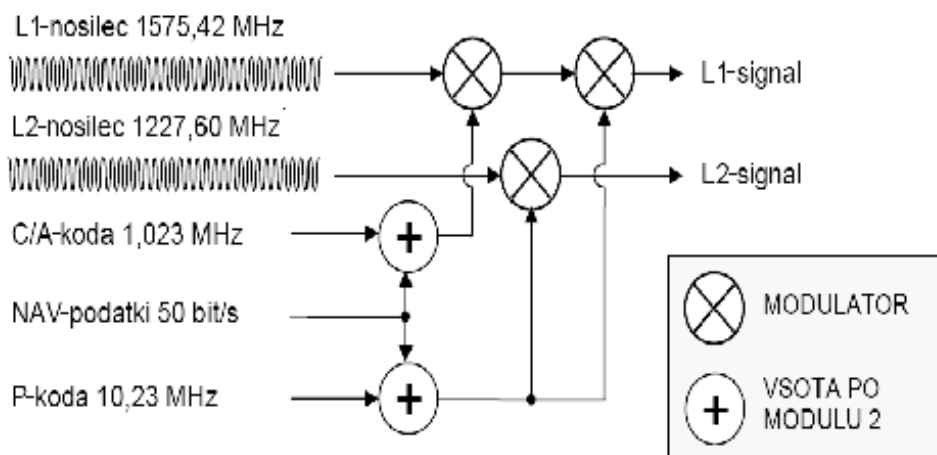
Zaradi počasnosti oddajanja podatkov je čas do prvega izračuna položaja (angl. time to first fix) tudi pri novejši strojni opreми še vedno relativno dolg.

Da lahko vsi sateliti oddajajo na istih nosilnih frekvencah, ne da bi se med seboj motili oz. bili moteni z drugih virov, se uporablja široko spektrovnna modulacija in sicer multipleksiranje na podlagi kode (CDMA – angl. code-division multiple access). Osnovna ideja pri sinhronem CDMA je, da vsak oddajnik bit 1 predstavi kot nek vektor, bit 0 pa kot inverz tega vektorja. Če več oddajnikov oddaja hkrati, lahko sprejemnik s poznavanjem specifičnega vektorja oddajnika (njegove kode) iz sprejetih podatkov izlušči tisto, kar je oddal točno ta oddajnik. Da vse skupaj deluje, morajo biti kode med seboj čim bolj neodvisne. Pri sinhronem CDMA se lahko določijo tako, da so med seboj pravokotne (ortogonalne), kar pomeni, da je skalarni produkt poljubnih dveh enak 0. Ker je sedaj za vsak bit treba prenesti več bitov, je potrebna pasovna širina za prenos podatkov seveda višja.

Pri sistemu GPS koda ni fiksno določena, temveč gre za neko psevdonaključno vrednost. Ideja za tem je, da je psevdonaključno zaporedje enega satelita zelo malo korelirano s tistim z drugega. Za vsak satelit je točno določeno seme psevdonaključnega generatorja, tako da sprejemnik lahko pri sebi izračuna enake vrednosti, ki na prvi pogled izgledajo čisto naključno.

Pri GPS se uporabljata dva taka signala:

- C/A-koda (Coarse/Acquisition)
Je psevdonaključno 1023-bitno zaporedje, ki se ponavlja vsako milisekundo in signal razširja s hitrostjo 1,023 Mchip/s.
- P-koda (Precision)
Je zaporedje s frekvenco 10,23 MHz in periodo ponavljanja 1 teden. Signal razširja s hitrostjo 10,23 Mchip/s.



Slika 9: Shematski prikaz kodiranja NAV-sporočila [8]

Rezultat se potem še fazno modulira in oddaja na nosilnih frekvencah GPS-sistema. Ti sta L1 (1575,42 MHz) in L2 (1227,60 MHz). Na novejših satelitih se uporabljajo tudi L3 (1381.05 MHz) za signaliziranje odkritja nuklearne eksplozije, L4 (1379.913 MHz) kot nov način za še boljše popravljanje ionosferskih napak in L5 (1176.45 MHz), ki naj bi zagotavljal boljše pomoč v primerih, ko je ogroženo življenje ljudi.

P-koda je običajno šifrirana z Y (encrYpted) kodo, kar skupaj da t. i. P(Y). S pomočjo tega je zagotovljeno, da signal P lahko uporablja samo vojska. Ta je zaradi kriptiranja lahko tudi prepričana o tem, da je signal res z GPS-satelita (angl. anti-spoofing mode).

C/A-kodo za določen satelit po drugi strani lahko reproducirajo vsi GPS-sprejemniki. Selektivna razpoložljivost je napako dodajala prav pri C/A-kodi, ki se je uporabljala na satelitu.

Ker ura sprejemnika ni dovolj natančna, se časovna razlika izračuna kar tako, da se poskuša na sprejemniku ustvariti enak signal in določiti, koliko je sprejet signal zamaknjen. Temu postopku se reče sledenje na podlagi faze kode.

Bistvena razlika v natančnosti med civilno in vojaško rabo je posledica tega, da se NAV-sporočilo oddaja s pomočjo kodnega multipleksa na podlagi kode C/A le na frekvenci L1, medtem ko se isto sporočilo obdelano s P-kodo oddaja tako na L1 kot tudi na L2. To in mnogo daljše P-zaporedje omogoča bolj natančno določanje položaja. Druga prednost takšnega delovanja je, da ameriška vojska lahko v primeru konfliktov moti L1-signal in tako ohromi delovanje civilnih GPS-sprejemnikov vključno s sovražnikovimi na določenem območju, medtem ko sama lahko še vedno uporablja podatke, ki jih sateliti pošiljajo preko frekvence L2.

3.2 Podprt GPS (A-GPS)

GPS ima kar nekaj pomanjkljivosti. V ozkih mestnih predelih se zna zgoditi, da je preveč odbojev in zaradi tega ni mogoče točno določanje pozicije. Čas do prve določitve pozicije je zaradi počasnega sprejemanja podatkov s satelita precejšen. GPS zahteva dosti računanja, kar sicer samo po sebi ne presega zmožnosti mobilnega telefona, je pa zato tako hitro mogoče izprazniti baterije telefona z vgrajenim GPS-sprejemnikom.

Podprt GPS (angl. assisted GPS) nudi rešitev za naprave, ki lahko komunicirajo preko kakršnegakoli mobilnega omrežja, torej še posebej za mobilne telefone. Rešitev temelji na tem, da GPS-sprejemniku pomaga še neka druga postaja s katero naprava lahko izmenjuje podatke.

Druga postaja v tem primeru lahko:

- prevzame računanje pozicije (telefon samo posreduje podatke, ki jih dobi od satelita). To do neke mere reši problem z računanjem na telefonu. Slaba stran je, da mora naprava še vedno pošiljati podatke in sprejemati rezultate.

- posreduje mobilnemu telefonu nek dodaten podatek za izboljšanje določitve pozicije (pridobljen s katero od v prejšnjem poglavju predstavljenimi metodami).
- če je v bližini posreduje efemeride in almanah s satelitov, kar ima za posledico krajši čas do prve določitve pozicije na A-GPS-napravi
- v primeru, da je v bližini in je lokacija fiksne A-GPS-naprave znana, s pomočjo razlike med z GPS izračunane pozicije in dejanske pozicije določi model za napake in to posreduje napravi kot dodatno pomoč.

3.3 Diferenčni GPS (DGPS)

Metode, ki delujejo približno tako, kot je opisano v zadnji alineji, se imenujejo diferenčni GPS. Skupna ideja je fiksna referenčna točka nekje na Zemlji. S tovrstnim DGPS-sistemom se odpravlja sistematične napake za določen satelit (recimo atmosferske vplive). Temeljijo na tem, da je za določeno točko v bližini napaka približno enaka, saj podatki potujejo s satelitov po skoraj enaki poti. Po drugi strani taka postaja lahko deluje tudi kot dodaten satelit na zemeljski površini. Komunikacija z njim je zaradi manjše razdalje in nahajanja sprejemnika in oddajnika v atmosferi podvržena manjšim napakam.

3.3.1 Realnočasovna kinematika (RTK)

Prej omenjeno sledenje na podlagi kode, kot so uporablja pri standardnih GPS-sprejemnikih, je precej nenatančno. Bolje bi bilo odkrivati fazni zamik nosilnega signala, kar pa je veliko težje izvedljivo, saj ta podatek ni enolično določljiv. Pri real-time kinematic načinu DGPS-postaja pošilja vnaprej izračunan približen odmik in tako olajša delo GPS-sprejemniku, ki mu tako ni treba preizkusiti vseh možnosti.

3.3.2 Celinski DGPS-sistemi

DGPS-sistemi lahko tudi sami delujejo s pomočjo satelitov za pošiljanje podatkov in tako ni potrebe po nekem svojem komunikacijskem sistemu (še vedno pa zemeljske postaje lahko sprejemajo podatke z GPS-satelitov).

To so t. i. SBAS- (angl. Satellite Based Augmentation System) sistemi. Za pošiljanje podatkov s postaj, razporejenih po celini, se uporabljajo geostacionarni sateliti imenovani GEO, ki pošiljajo podatke na enak način kot standardni GPS-sateliti tj. s pomočjo kodnega multipleksiranja na standardnih frekvencah. Za sprejemnik izgledajo kot dodatni GPS-sateliti.

Trenutno obstajajo tri implementacije tovrstnega sistema:

- **WAAS** v Združenih državah Amerike,
- **EGNOS** v Evropi,
- **MSAS** v Indiji.

Prenos GPS-podatkov oz. določenih popravkov je mogoč tudi preko interneta. V ta namen obstaja NTRIP-protokol, kar pomeni "Networked Transport of RTCM in Internet Protocol". Prednost tega načina za prenos popravkov je, da jih lahko sprejme katerakoli naprava z internetno povezavo.

4 Programska rešitev

4.1 Izbira načina za določanje pozicije

Za izvedbo je bilo treba najprej izmed možnih metod za pozicioniranje poiskati uporabne. Pri tem je bilo vodilo to, da ne bi bilo treba izvesti nikakršnih sprememb niti na strani mobilnega telefona niti na strani mobilnega telefonskega omrežja (bazne postaje). Rešitev naj temelji samo na dodatni programski opremi, nameščeni na mobilni telefon.

S pomočjo programske opreme je možno na telefonu identificirati trenutno strežno celico. Ta je enolično določena s četvorčkom („ID-države“, „ID-operaterja“, „lokacijska koda območja“, „ID-celice“). Pri tem je treba opozoriti na rahlo nedoslednost, in sicer se ID-celice včasih uporablja kot oznaka za cel četvorček, včasih pa samo za zadnji del. V diplomskem delu ID-celice, kadar ni drugače navedeno, pomeni prvo možnost, enolično oznako.

Tu velja omeniti še, da za razliko od nekaterih prej predstavljenih metod določanje lokacije na podlagi identifikacije strežne celice deluje tako v GSM- in UMTS-omrežjih. Edina razlika je v tem, da je metoda v UMTS-omrežjih ponavadi (zaradi manjših velikosti celic) bolj natančna.

Identifikacijska številka države (MCC) je 3-številčna oznaka definirana v ITU priporočilu E.212 [16]. Slovenija ima npr. številko 293 [20].

Identifikacijska številka omrežja (MNC) skupaj z identifikacijsko številko države enolično opiše mobilnega operaterja. Njena predpisana dolžina je 2 ali 3 številke [16]. Sama številka omrežja je izbrana poljubno in je lahko neka zaporedna številka ali pa kar del omrežne skupine. V Sloveniji se uporablja drugi način. Tako ima npr. mobilno omrežje podjetja Mobitel oznako 41, kar ustreza prvi omrežni skupini za Mobitelove GSM-stranke.

MCC- in MNC-številkami tvorita tudi začetek IMSI. Ta številka enolično identificira uporabnika mobilnega omrežja in je zapisana na SIM- oz. (v primeru UMTS) USIM-kartici. Velja posvariti pred raznimi metodami, ki za pridobitev MCC in MNC opisujejo pregled IMSI-številk. Ko je telefon v domačem omrežju je oboje enakovredno, razlika se pokaže šele pri gostovanju v tujem omrežju (roaming), kjer bo prebran IMSI še vedno enak, medtem ko bosta MCC in MNC drugačna.

Lokacijska koda območja (LAC) definira širše območje, ID-celice pa točno določeno celico znotraj tega območja. Oboje določi mobilni operater po lastni presoji. Nekateri operaterji pri tem za ID-celice izberejo daljšo kodo, ki v sebi vsebuje tudi podatek o tem, za katero anteno gre. (Posebej pri UMTS se je izkazalo, da so identifikacijske številke daljše.) Zato se največkrat uporablja ena številka – oznaka 0 tako lahko pomeni vsesmerno anteno, 1, 2, 3 pa za katero sektorsko anteno gre. Tako v bistvu ID-celice ne identificira samo celice, ampak v primeru sektorskih anten tudi manjšo enoto – sektor. To je enota, ki jo pokriva točno ena antena.

Pri premikanju mobilnega telefona stalno prihaja do menjav strežne celice, saj se vedno, ko

pade moč signala pod določen prag oz. je razmerje med signalom in šumom preslabo, izvede izračitev na drugo celico. Včasih se tudi, če je telefon pri miru, izvajajo prehodi med celicami. Isto območje namreč lahko pokriva več kot ena celica. Ker ima vsaka celica omejeno kapaciteto nanjo priklopljenih uporabnikov, je možen preklon na drugo celico zaradi preobremenitve. Na strojni opremi se lahko opravljajo vzdrževalna dela, kar ima za posledico začasno nedelovanje določene bazne postaje in spet preklon na drugo celico.

4.2 Strežnik

Strežniški del je realiziran kot modul za aplikacijski strežnik spletne storitve TripTracker.net. Rešitev je napisana kot servlet v programskem jeziku Java in teče v okolju Apache Tomcat 5.5. Do storitev je mogoče dostopati s pomočjo REST- (angl. representational state transfer) klicev. Gre za podoben princip klica oddaljenih metod (angl. remote procedure call) kot pri SOAP, le da se zahteva za klic metode ne pošilja v obliki strukturiranega XML, temveč kar preko parametrov HTTP oz. HTTPS-zahtevka. Za razliko od SOAP, tu ni možna uporaba drugih protokolov kot npr. SMTP. Roy Fielding v svoji doktorski disertaciji, kjer predstavi idejo REST, sicer govori o abstrakciji stanja aplikacije in funkcionalnosti v obliki resursov [5]. Pri komunikaciji se izmenjujejo opisi (reprezentacije) teh resursov. „GET opis_uporabnika“ bi tako pomenilo, da želimo podatke o uporabniku, ki smo ga na nek način opisali, medtem ko bi „DELETE opis_uporabnikov“ lahko pomenilo, da želimo opisane uporabnike izbrisati iz podatkovne baze. Kljub temu je REST v realnosti pogosto le sopomenka za „lahek“ protokol za dostop do zunanjih storitev in vrsta HTTP-zahtevka nima pomena. Pomembno je samo, da se pri prenosu večjega števila podatkov (npr. ko želimo priložiti zahtevku datoteko) uporabi „POST“ način, saj je pri „GET“ načinu, kjer se podatki prenašajo direktno kot del URL-naslova, količina podatkov omejena. Kot posledica uporabe HTTP-protokola ni stanj in je treba v zahtevku poslati vse predhodno poslanske podatke.

Prednosti REST-a so, da je manj kompleksen ter ga je posledično lažje podpreti na bolj enostavnih napravah (odjemalcih). Poleg tega je treba za zahtevek poslati manj podatkov, kar je posebej pri dostopu do storitve z mobilnega telefona bistvena prednost. Treba je namreč vedeti, da je precej več podatkov, ki se pošiljajo z mobilnega telefona na strežnik, kot obratno. Odgovor s strežnika je (še vedno) XML-datoteka v naprej dogovorjenem zapisu, ki pa je malo bolj kompaktna kot pri SOAP.

Kot relacijska baza se uporablja SUPB MySQL, saj je ta brezplačen in kljub temu dovolj zmogljiv. Med drugim je tudi odprtokoden, izvorna koda je prosto dostopna pod GPL-licenco. (Dejansko gre za dvojno licenco – poleg GPL-licence je mogoče proti ustreznemu plačilu dobiti tudi komercialno licenco, ki omogoča vgradnjo delov sistema v zaprtokodne aplikacije). Glede na to, da je večina logike na aplikacijskem strežniku, ni potrebe po shranjenih procedurah, prožilcih in ostalih storitvah, ki jih omogočajo bolj zmogljivi sistemi. Če bi se to kdaj izkazalo kot potrebno, bi bil mogoč enostaven prehod na kakšen drug SUPB, prilagoditi bi morali samo eno datoteko, ki vključuje specifične uporabljene baze.

Uporabljajo se „INSERT IGNORE“ ter „INSERT ON DUPLICATE KEY UPDATE“ stavki, ki niso del standarda SQL, ampak so specifični za MySQL. Namen njihove uporabe je optimizacija (ni potrebno narediti najprej SELECT in po tem še INSERT poizvedbe). V primeru zmogljivejših SUPB bi bilo podobno rešitev možno izvesti s shranjenimi

procedurami oz. kar s pomočjo ignoriranja napake za „INSERT IGNORE“ primer. V skrajnem primeru, ko tovrstnih stavkov ne bi bilo, je mogoče uporabiti tudi manj optimalno možnost, kar pa precej podaljša čas vstavljanja nove sledi.

Na tem mestu je potrebno opozoriti še na eno posebnost implementacije: tabela, ki hrani vse sledi za določeno potovanje se ustvari šele, ko se doda novo potovanje in je oblike „tracksamples_ID“ oz. „cellsamples_ID“ (za podatke z mobilnega omrežja), pri čemer je ID identifikacijska številka potovanja. Rešitev je tudi neke vrste optimizacija, saj je lahko zelo veliko točk za določeno potovanje. V primeru, da bi imeli za vse eno tabelo, bi bil dostop do določenih točk precej počasen. To bi sicer lahko odpravili z uporabo indeksov, vendar bi tako podaljšali čas vstavljanja, ki kot rečeno ni zanemarljiv. Z Oracle bazo bi problem lahko rešili bolj elegantno s particioniranimi tabelami.

4.3 Odjemalec

Ker je bila želja po tem, da bi odjemalec tekel na večini, tudi na najosnovnejših telefonih, je bila prva izbira Java. J2ME midlet bi moral delovati na skoraj vseh današnjih telefonih z izjemo iPhona (posledica politike proizvajalca Apple).

Žal se zatakne pri metodi za pridobivanje strežne celice. Očitno postopek ni dovolj popularen in zato še ni standardiziran. Kot posledica tega ima vsak izdelovalec telefonov svoj način za dostop do teh podatkov.

Na Sony-Ericsson telefonih deluje:

```
System.getProperty("com.sonyericsson.net.cmcc");
System.getProperty("com.sonyericsson.net.cmnc");
System.getProperty("com.sonyericsson.net.lac");
System.getProperty("com.sonyericsson.net.cellid");
```

Na Siemensovih je potrebno narediti:

```
System.getProperty("phone.mcc");
System.getProperty("phone.mnc");
System.getProperty("phone.lai");
System.getProperty("phone.cid");
```

Medtem ko je pri Motoroli:

```
System.getProperty("CellID");
System.getProperty("LocAreaCode");
```

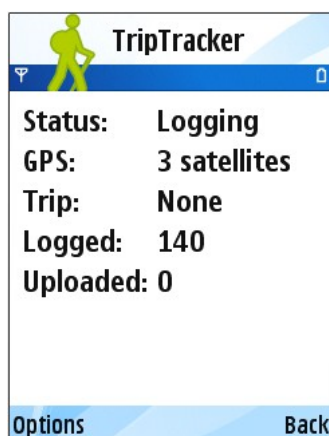
Na podlagi izdelovalca telefona bi se dalo prilagoditi kodo, težava je v tem, da nekateri proizvajalci sploh ne določajo načina za pridobitev podatkov. Tako npr. Motorola ne določa načina za pridobitev MCC in MNC, Nokia pa ne omogoča programskega dostopa do podatkov. Zaradi uporabe telefona znamke Nokia v testne namene je bilo potrebno najti alternativo.

Tako je v končni fazi uporabljen program za operacijski sistem Symbian. Ta je nameščen samo na pametnih telefonih nekaterih proizvajalcev (poleg Nokije, ki je večinski lastnik podjetja Symbian, na Sony-Ericsson, Samsung, Siemens, Panasonic in še nekaterih telefonih). Kljub temu je treba vedeti, da je to le omejitev pri realizaciji. Uporaba sistema za lociranje bi bila mogoče tudi na drugih (starejših) telefonih, v kolikor se da na določen način programsko prebrati ID-celice. Paradoksalno je, če odmislimo potrebo po pametnem telefonu, da je odjemalec v obliki Symbian programa, praktično bolj prenosljiv kot njegov J2ME ekvivalent. Edina težava je uporabniški vmesnik. Ta je trenutno prilagojen na podlago S60 izdelovalca Nokia, vendar prehod na UIQ, katerega zagovornik je Sony-Ericsson, najbrž ne bi predstavljal bistvenih težav. Možna rešitev bi bila lahko tudi uporaba Symbian programa za dostop do celic ter uporaba ločenega uporabniškega vmesnika na telefonu v Javi, ki bi samo komuniciral z omenjeno komponento.

Metodi `GetCurrentNetworkInfo()` in `GetSignalStrength()` razreda `CTelephony` bi morali delovati na vseh telefonih s Symbian OS verzije 8.0a ali več. (Za GPS podatke skrbi „Location Acquisition API“.)

Nerodno je le, da mora biti za uporabo program digitalno podpisan z ustreznim certifikatom. Za lasten telefon je to mogoče izvesti zastonj na spletni strani Symbian Signed (<http://www.symbiansigned.com>). Tam je potrebno navesti IMEI telefona, tako da tega postopka ni mogoče uporabljati za produkcijsko verzijo programa. V takem primeru ni druge možnosti kot uporaba kvalificiranega potrdila za podpisovanje programske kode ustrezne certifikatne agencije.

Pri tem je treba paziti, da izberemo potrdilo za podpisovanje Symbian programov. Telefon ima namreč lahko nameščene različne korenske certifikatne agencije za različne namene. Med drugim je mogoče podpisovati tudi Java kodo in tako omogočiti razne napredne funkcije. Za razliko od tukaj pa pri MIDP 2.0 funkcionalnost v primeru nepodpisanega programa ni onemogočena. Uporabnik dobi varnostno opozorilo in še vedno lahko dovoli določeno funkcijo. Včasih je to kljub temu zelo nadležno in je Symbianova rešitev, kjer razvijalec lahko neomejeno testira program na telefonu, boljša. Nerazumljivo je, kako da na telefonu ni mogoče spreminjati korenskih certifikatnih agencij in na ta način omogočiti delovanja programa.



Slika 10: Zaslonska slika odjemalca na mobilnem telefonu

Odjemalec periodično (odvisno od nastavitev) dodaja podatke o strežni celici v datoteko. V primeru, da uporabljamo GPS-sprejemnik, lahko dodaja tudi GPS-točke. Spremembe datoteke je mogoče sproti pošiljati na strežnik (npr. preko GPRS podatkovne povezave), lahko pa se kasneje na računalnik prenese kar celotna datoteka s pomnilnika telefona in pošlje na strežnik za obdelavo z računalnika. Več o samem delovanju in zapisu podatkov sledi v nadaljevanju, kjer je podrobneje opisan zapis in protokol za komunikacijo s strežnikom.

4.4 Protokol

Komunikacija z aplikacijskim strežnikom poteka tako, da se najprej s pomočjo metode „login“, ki ji podamo uporabniško ime in izvleček (angl. one-way hash) gesla, prijavimo. Za izračun le-tega se uporablja algoritem SHA-1.

S prijavo pridobimo začasni avtentikacijski žeton (authToken), ki ga lahko, dokler seja ne poteče, uporabljamo pri klicu ostalih metod in z njim dokazujemo svojo identiteto. Pri tem se loči nivo privilegiranosti; določene metode so javne in dostopne komurkoli brez predhodne prijave, večina je dostopna samo registriranim uporabnikom, nekatere metode pa so dostopne samo administratorjem. Administrator je istočasno tudi uporabnik, tako da lahko tudi v tem primeru uporabimo „login“ in se prijavimo z računom, ki ima administratorske pravice. Možna je tudi avtomatska uporaba administratorskega računa glede na zaupanja vreden IP-naslov ali zaklenitev določenih metod na seznam izvornih IP-naslovov.

Ukraden avtentikacijski žeton omogoča skoraj enako uporabo storitve kot, če bi poznali uporabniško ime in geslo oz. prestregli uporabniško ime in poslan izvleček gesla. Enkripcija ter zagotavljanje pristnosti poslanega sporočila, da do takih neljubih dogodkov ne bi prihajalo, ni del samega protokola, ampak zanjo skrbi nižja plast. To je lahko HTTPS (HTTP preko SSL oz. TLS šifrirane povezave) ali pa IPsec na omrežni plasti. V prihodnosti bi bilo morda smiselno dodati tudi avtentikacijo na podlagi kvalificiranega digitalnega potrdila odjemalca (ki bi se istočasno lahko prepričal tudi o istovetnosti strežnika).

Za pošiljanje podatkov o poziciji na strežnik se uporablja metoda `uploadTrack()`, ki prenese na strežnik datoteko s sledjo. Uporabimo lahko tudi enakovredno metodo `appendTrack()`, ki namesto nove sledi samo dopolni že obstoječo sled na strežniku. Njena uporaba je predvsem za potrebe sledenja.

Sled je zapis sprememb določene količine v odvisnosti od časa. GPS-sled recimo predstavlja neko predhodno opravljeno pot. Sestavljena je iz ene ali več točk (angl. track point). Vsaka točka je sestavljena najmanj iz časa ter pripadajoče geografske širine in dolžine, lahko pa vsebuje tudi višino in druge podatke. Na strežniku je podprtih več različnih zapisov sledi od GPX, KML pa do raznih zapisov, v katerih namenski GPS-sprejemniki shranjujejo točke. Podprt je tudi NMEA 0183: to je tekstni zapis, namenjen takojšnjemu prenosu sprejetih podatkov z GPS-naprave preko serijskega vmesnika. Z GPS-napravo komuniciramo praviloma kar preko tega standarda. NMEA-stavke se da zapisati tudi v datoteko. To strogo gledano ni sled, saj vsak zapis ne vsebuje časa, kljub temu da pa se ta podatek pojavlja kar pogosto (v več različnih NMEA-stavkih). Tak zapis je precej obsežen, je pa zato zagotovljeno, da shranimo vse, kar smo sprejeli s satelitov. Poleg samih podatkov ta zapis vsebuje tudi kontrolno vsoto. Bolj obsežen je le še zapis RINEX, ki hrani tudi surove podatke s satelita (in

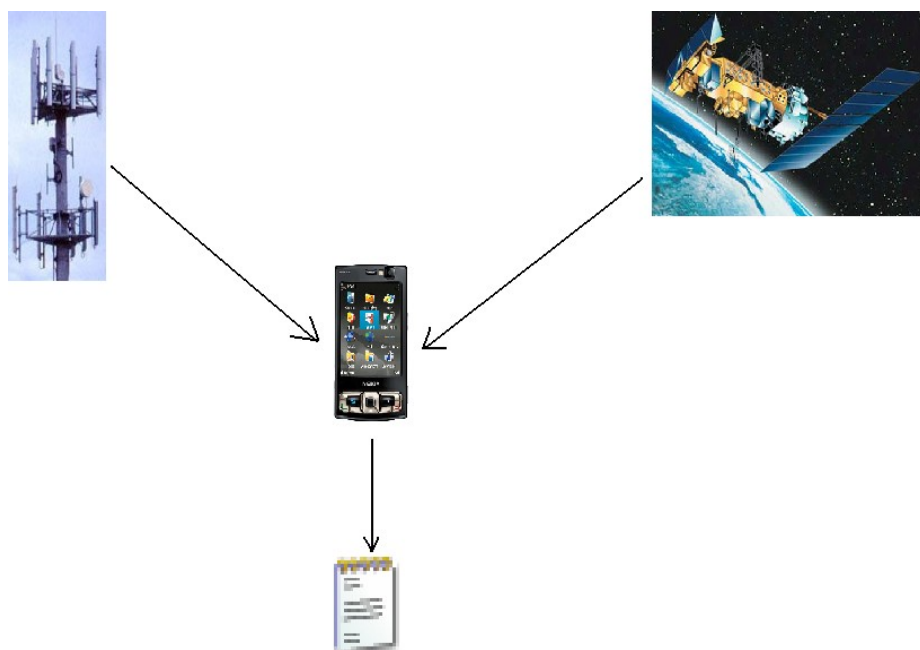
tako omogoča kasnejši izračun lokacije z morebitnimi novimi popravki). Ta na strežniku ni podprt, saj je preveč kompleksen, poleg tega pa ga uporablja le peščica profesionalnih geodetskih GPS-naprav.

Pri standardni uporabi sled s potovanja na strežnik posnamemo šele skupaj s slikami, ko želimo le-te urediti. Oboje skupaj omogoča, da se slikam glede na čas pripiše koordinata in ustvari nekakšen zemljevid potovanja. Za določeno potovanje lahko seveda kasneje dodajamo tudi nove sledi.

Pojem sled se uporablja namesto poti, da se loči že prepotovano pot od neke načrtovane poti, ki ni nujno enaka, poleg tega ima pri sledi pomembno vlogo čas. Sled je lahko sestavljena tudi iz drugih podatkov kot samo geografskih količin – kasneje je recimo predstavljen koncept sledi preklapov med celicami mobilnega omrežja.

Odgovor strežnika so vedno XML-podatki v določenem dogovorjenem zapisu. Shema za standardne XML-odgovore v smislu XSD-datoteke ni bila definirana, je pa zato na voljo dokumentacija, ki olajša delo zunanjim razvijalcem, ki želijo uporabljati storitve strežnika. Sama vrsta odgovorov je precej povzeta po REST-strežniku za dostop do spletne storitve Flickr. Osnovno pomoč je mogoče dobiti že s klicem ustrezne metode oz. ob napačnem klicu metode. Če odjemalec naredi napačen zahtevek, se namreč sklepa, da zahtevka ni poslal program, temveč človek, ki preizkuša funkcionalnost storitve.

Ker so bili vsi obstoječi zapisi pripravljeni bolj za zapis zemljepisnih podatkov, je bilo delovanje `uploadTrack()` / `appendTrack()` razširjeno s podporo za kombiniran zapis, ki lahko vsebuje tako podatke o celici mobilnega omrežja kot tudi podatke z GPS-sprejemnika.



Slika 11: Shematični prikaz izdelave sledi na mobilnem telefonu

Tudi pri sprotnem spremljanju poti se uporablja `appendTrack()` namesto posebne metode, ki bi omogočala samo sporočanje popravka trenutnega položaja. To je po eni strani zaradi enostavnosti, po drugi strani pa vsak HTTP-zahtevek s seboj prinese prenos nekaj odvečnih podatkov. Tako je bolj smotno poslati nekaj točk v datoteki, kot pa za vsako točko posebej klicati določeno metodo na strežniku. Druga možnost bi bila smiselna samo, če bi morali vsako spremembo pozicije takoj sporočiti na strežnik.

4.5 Nov zapis sledi

Ker se bo zapis uporabljal predvsem za pošiljanje podatkov z mobilnega telefona, je bilo sklenjeno, naj se raje kot bolj razumljiv tekstovni zapis ali strukturiran zapis XML uporablja binaren zapis, kjer bo posamezen bit bolje izkoriščen. To pomeni manjšo velikost sledi in posledično manjše stroške za prenos podatkov. Slaba stran je težje odkrivanje napak. Ob tem se postavi vprašanje, ali ni morda bolj smiselno uporabiti razumljivejšega zapisa in ga pred prenosom samo skržiti s kompresirnim algoritmom. Izkaže se, da ne, saj to kar precej obremeni procesor in tako skrajša čas delovanja baterije na telefonu.

Sled je sestavljena iz množice zapisov. Prvi 3 biti zapisa določajo tip zapisa, kar pomeni, da je možnih 8 različnih tipov.

Za enkrat sta podprta samo dva, in sicer 0 (000), ki pomeni GPS-podatke in 1 (001), ko gre za podatke o celici mobilnega telefonskega omrežja. Še 6 tipov je namenjenih dodatnim razširitvam. Ideja je v tem, da bi bilo možno podpreti tudi inkrementalne popravke, kar bi izkoriščalo počasno spreminjanje določenih delov zapisa. MCC in MNC se recimo ne spreminjata pogosto. Tudi za čas ne bi bilo treba porabiti tolikšnega števila bitov, saj gre med dvema zapisoma praviloma le za razliko nekaj sekund.

Pomen	Tip zapisa	Število vidnih satelitov	Kot premikanja	Ocena horizontalne napake	Časovna značka
Število bitov	3	5	8	16	32

Pomen	Zemljepisna širina	Zemljepisna dolžina	Višina	Hitrost
Število bitov	32	32	16	16

Tabela 1: Način zapisa GPS-podatkov

Pomen	Tip zapisa	Trenutno neuporabljeno	Moč signala	MCC	MNC	LAC
Število bitov	3	5	8	16	32	32

Pomen	ID-celice	Časovna značka
Število bitov	32	32

Tabela 2: Način zapisa podatkov o celici

Pri velikosti je bilo upoštevano, da mora en zapis zasedati celo število bajtov. To, da je dolžina deljiva s 4, lahko prinaša dodatne prednosti pri obdelavi sledi na 80x86 procesorjih (32-bitna poravnava), vendar to ni bila zahteva.

Za prenos datoteke se uporablja protokol HTTP, ki temelji na TCP, torej za možne napake med prenosom sporočila ni bilo treba skrbeti. Zato tudi ni nikakršne kontrolne vsote ali česa podobnega na nivoju datoteke s sledmi oz. posameznega zapisa.

4.6 Določanje celic

V prvi fazi je bilo treba ugotoviti, kje se celice sploh nahajajo in kakšno območje pokrivajo. Mobilni operaterji te podatke sicer imajo, vendar jih ne želijo deliti s širšo javnostjo. Podatki so izhod kompleksnih algoritmov za določanje pokritosti, ki upoštevajo tako teren kot tudi število uporabnikov za optimalno razporeditev anten ter baznih postaj mobilnega telefonskega omrežja.

Teh podatkov ni mogoče dobiti od operaterja, ker so njegova konkurenčna prednost, poleg tega pa bi lahko ljudje, ki živijo v bližini tovrstne naprave za svoje zdravstvene težave krivili operaterja. V izogib težavam mobilni operater raje samo pove, kolikšen delež prebivalstva pokriva.

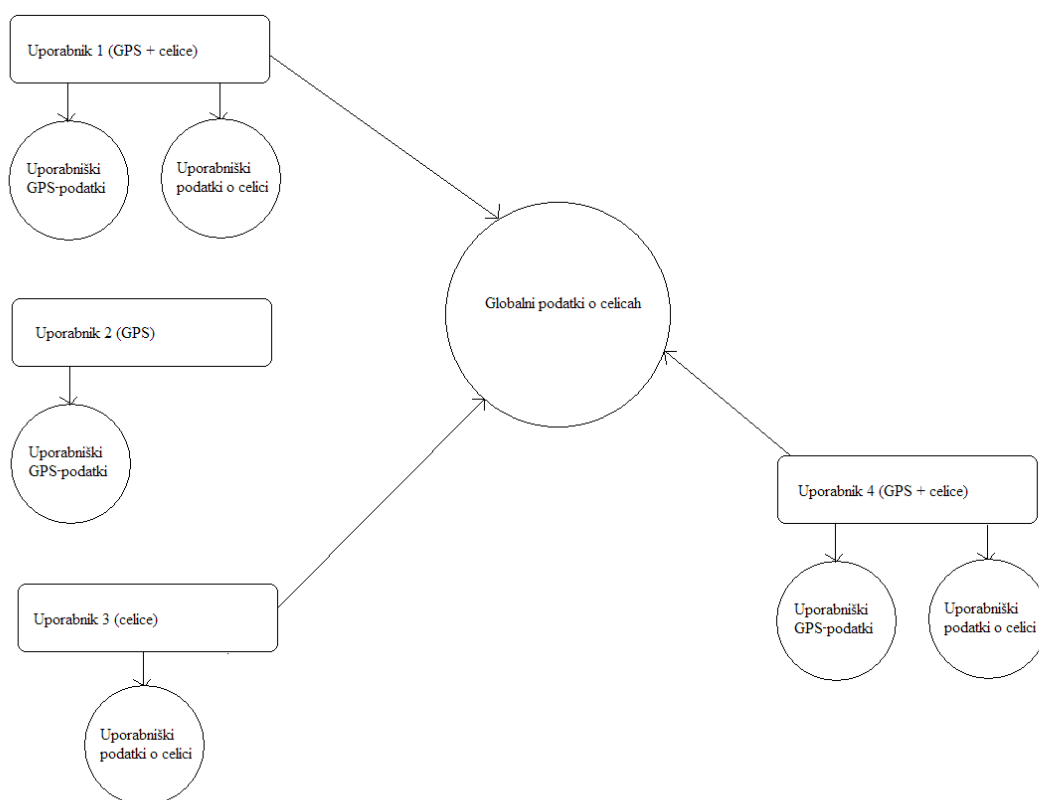
Antene, ki pokrivajo makro in mikrocelice, so sicer res dovolj očitne in bi se jih dalo najti ročno, težava je v tem, da je teh veliko. Ročno delo bi bilo zamudno in ne nujno najbolj natančno, poleg tega pa tako še vedno ne bi mogli odkriti, kakšno območje določena sprejemno-oddajna enota pokriva. Ne poznamo namreč lastnosti antene, pa tudi sklep, da je le-ta nekje blizu središča celice, ne drži vedno (glede na to, da mobilni operaterji bolj uporabljajo usmerjene kot vsesmerne antene, sklep dejansko drži le v precej redkih primerih).

Rešitev temelji na tem, da uporabniki s pomočjo svojih sledi, ki vsebujejo podatke o celici, ter podatke, pridobljene z GPS-sprejemnikom, pomagajo graditi globalno bazo podatkov o celicah, tj. katere točke vse spadajo v določeno celico. Povezanost med celicami je mogoče pridobiti tudi s strani uporabnikov brez GPS-sprejemnika, vendar samo na podlagi tega lociranje ne bi bilo mogoče oz. bi bilo le-to precej manj natančno.

Na strežniški strani se za določeno uporabnikovo potovanje na podlagi kombinirane sledi z obema podatkom shranita dve ločeni sledi: sled s podatki o celicah in GPS-sled. Za nadaljnjo uporabo se večinoma uporablja GPS-sled, ki je bolj natančna, čeprav je še vedno mogoče pridobiti sled s preklopi med celicami. Kombinacija, zapisana v originalni datoteki, se uporabi za določanje, katere GPS-točke spadajo v celico (Slika 12). Ti podatki so kasneje na voljo vsem uporabnikom sistema, medtem ko je potovanje ter individualna sled uporabnika dostopna samo njemu in uporabnikom, ki jim dovoli vpogled (npr. prijateljem).

Velja omeniti, da shranjena sled s podatki o celicah na strežniku ni nujno taka, kot jo je posredoval odjemalec. Ta je lahko recimo na vsake 5 sekund zapisal trenutno celico v datoteko (sled s celicami), medtem ko so dejansko pomembni le preklopi (z ene na drugo celico). Z izjemo zadnje celice v sledi se smatra, da je bil mobilni telefon do časa, ko je zabeležen prekop na novo celico, priključen na (prejšnjo) celico. Strežnik zato sprejeto celično sled oklesti in pusti samo preklope med različnimi celicami ter prvo in zadnjo celico v sledi.

Možno je predhodno filtriranje po moči signala, tako da začasne preklope na bolj oddaljeno celico ignoriramo. Dodatno filtriranje se izvaja tudi nad vsako GPS-točko (če je DOP previsok oz. je uporabljenih premalo satelitov). Izjema je le kasneje predstavljeni „razhroščevalni način“, kjer se uporabijo vsi sprejeti podatki.



Slika 12: Ilustracija načina uporabe sprejetih podatkov

Metoda ni povsem natančna, ker ima tudi točka, pridobljena z GPS-sprejemnikom, določeno napako. V okviru diplomske naloge je bila ta napaka zanemarjena in so GPS-podatki upoštevani kot točni.

Ker gre za testno rešitev, za enkrat še ni nobenega uporabnika. To pomeni, da je bilo treba samostojno graditi bazo in simulirati ustvarjanje novih potovanj. Iz tega razloga je bilo testiranje izvedeno samo na omejenem območju v Ljubljani.

4.6.1 Preklopi med celicami

Iz kombinirane sledi lahko pridobimo še nepoznane celice in povezave med njimi.

Povezanost celic določa graf, katerega vozlišča so celice, neusmerjene povezave pa preklopi med njimi. Teža predstavlja verjetnost preklopa, ki se določi na podlagi prejšnjega števila prekopov. To samo po sebi še ne izboljša določanja položaja, je pa zanimivo za določanje tega, če se uporabnik premika. V primeru, da so preklopi dogajajo na manjšem podgrafu, je možen sklep, da se telefon nahaja na istem mestu. Nove celice in njihove povezave se shranijo v sistem tudi, če ni pripadajočih GPS-podatkov o koordinatah. Ideja je v tem, da bo lahko podatke v prihodnosti priskrbel nekdo drug in bo takrat še vedno mogoče uporabiti shranjeno sled od uporabnika.

4.6.2 Shranjevanje vseh točk za določeno celico

Kot pomoč pri analiziranju delovanja in odpravljanju napak sistema je podprta rešitev, ki shranjuje v bazo vse točke, ki so bile za določeno celico sprejete. Zapisi se shranjujejo v tabelo „cellcoordinates“. Ker gre za velike količine podatkov, rešitev ni uporabna za produkcijsko verzijo. Njeno delovanje je zato možno enostavno izklopiti s pomočjo konfiguracijske datoteke.

Drug dvom, ki se pojavi v zvezi s tem pristopom, je zasebnost uporabnika. Ko uporabnik svoje potovanje oz. določeno sled izbriše, ta na strežniku preneha obstajati, medtem ko se podatki, ki so bili pridobljeni z uporabnikove sledi, ohranijo.

Ni shranjenega časa in tako ni mogoče sklepati, kje se je uporabnik gibal, je pa zato mogoče odkriti, ali je uporabnik na neki točki bil ali ne.

Podatki iz „cellcoordinates“ zato niso nikoli dostopni končnim uporabnikom, temveč le administratorjem sistema (ki bi do podobnih podatkov tako ali tako lahko prišli na drugačen način).

4.6.3 Posodabljanje shranjenih vrednosti za celico

Na podlagi analize zajetih geografskih točk v prej omenjenem koraku je prišlo do odločitve, da je, razen za test, bolj smotno za celico shraniti samo težišče in približno velikost celice kot posamezne točke. Težišče, izračunano na podlagi vedno večjega števila točk, bo sčasoma konvergiralo proti dejanskemu središču celice. Za kasnejšo uporabo je pomembno hraniti samo središče, vendar je kljub temu za oceno napake ter lažjo predstavbo še vedno dobro shraniti velikost celice. Za dinamično popravljanje teh dveh podatkov je treba hraniti število obdelanih točk, vsoto zemljepisne dolžine in širine ter dve točki, ki določata pravokotnik, v katerem je celica. Vsaka od teh dveh točk je sestavljena iz zemljepisne dolžine in širine, kar pomeni še 4 točke (minimalna zemljepisna dolžina ter širina za SV in maksimalna zemljepisna dolžina ter širina za JZ točko). Vse skupaj se shranjuje v tabelo „cellcalculation“.

4.6.4 Odraž popravkov na celicah

Ker je v načrtu, da bo v prihodnosti podatke o celicah posredovalo več uporabnikov, je bilo treba razmisliti tudi o tem, kaj narediti z morebitnimi napačnimi podatki, ki jih bodo le-ti posredovali. V obeh prej omenjenih primerih delovanja, se vedno hrani tudi ID uporabnika, ki je podatke poslal. V prvem primeru je ta podatek shranjen poleg vsake točke, medtem ko je v drugem za vsakega uporabnika uporabljena svoja vrstica v tabeli. Popravek središča in velikost na zapisu v tabeli „cell“ se ne izvede takoj po prejemu nove sledi uporabnika, ampak samo vsak dan ob točno določenem času (npr. ob polnoči) ali na zahtevo administratorja. Napačne podatke, ki so lahko posledica odjemalca ali namenska sabotaža, je tako mogoče odkriti še preden se spremeni podatek o celici. Če se opazi napaka kasneje, je mogoče enostavno izbrisati samo podatke določenega uporabnika in na novo ustvariti podatke za določeno celico na podlagi ostalih podatkov.

4.6.5 Strnjevanje podatkov

Kot že omenjeno, se shranjujejo za določeno celico različni podatki. Ti so ločeni glede na uporabnika, ki je posredoval podatke. Za celico se lahko hitro zgodi, da jo obiskuje vedno več uporabnikov in začne naraščati potreba po pomnilniškem prostoru. Rast ni tako huda kot pri testni metodi, kjer se shranjujejo vse točke, saj je omejena s številom uporabnikov. Kljub temu pa to lahko predstavlja problem. Zato je bilo uvedeno strnjevanje zapisov v podatkovni bazi. To pomeni, da se npr. 100 vrstic, kjer je za vsakega uporabnika zapisana vsota zemljepisnih dolžin in širin ter dve točki na zemljevidu, nadomesti s samo eno vrstico, katere lastnik je anonimen uporabnik. Vsota in število točk je enostavno seštevek vseh zapisov, pri ekstremalnih točkah pa je potrebno nad njimi poiskati ekstreme (torej minimum in maksimum zemljepisne dolžine in širine). Te vrstice po izračunu postanejo nepotrebne in se lahko izbršejo. Po strnjevanju ni več mogoče določiti, katere podatke je določen uporabnik poslal (kar pomeni, da se mora problem napačnih podatkov reševati z varnostno kopijo baze), je pa po drugi strani to strnjevanje tudi neka metoda anonimizacije, ki prepreči odkrivanje določenih zakonitosti iz podatkov, ki je uporabnik posredoval.

4.6.6 Povezava s podobnimi sistemi

Na internetu obstaja že kar nekaj rešitev, ki se ukvarjajo z določanjem območja, ki ga pokriva celica mobilnega operaterja in kje je njeno središče, zato je bilo treba razmisliti tudi o integraciji teh podatkov v sistem. Med možnimi izvori je vredno omeniti Open Cell-ID-projekt (<http://www.opencellid.org>), CellDB (<http://www.celldb.org>) ter Yahoo Fire-Eagle (<http://fireeagle.yahoo.net>), kjer programski vmesnik omogoča podobno funkcionalnost. Celico je tako mogoče določiti, ne da bi nam uporabniki posredovali kakršnekoli podatke. Glede na to, da je Slovenija še razmeroma slabo pokrita, so bili v okviru diplomske naloge uporabljeni samo samostojno izmerjeni podatki.

Problem, ki se pojavi v zvezi z več izvori je, poleg možnih licenčnih omejitev, tudi obravnava podatkov za isto celico z različnih virov. Naj se uporabi povprečje ali samo bolj natančen izvor. Na strežniški strani je tako možno v tabeli „cell“ označiti izvor celice, medtem ko sama podpora za dostop do prej omenjenih programskih vmesnikov ni bila dodana, saj zaradi samostojnih meritev na testnih območjih (še) ni bilo potrebe po tem. Sama izvedba bi morala biti taka, da bi administrator odločal, od kod naj se črpajo podatki za še neznane celice. Pri tem bi teoretično lahko dopustili tudi izbiro za vsako celico.

Da ne bi samo črpali podatkov od drugod, bi bilo smiselno razmisliti tudi o izvozu lastnih podatkov. Tako bi npr. lahko za vsak podatek, ki ga vzamemo, zahtevali, naj se vrne v tisti sistem podatek o drugi celici, ki smo ga pridobili z lastnimi meritvami.

Poleg podpore za kombinirano sled, ki vključuje GPS-podatke ter preklope med celicami, so bile v okviru diplomske naloge realizirane metode, ki so predstavljene v naslednjih razdelkih.

4.6.7 Pridobitev podatkov o celicah

Metoda `getCellDetails()` omogoča izpis podatkov o določenih celicah. Obvezno ji je treba podati eno ali več s podpičji ločenih celic. Celice so lahko bodisi označene z identifikacijsko številko, pod katero je shranjena v bazi, ali z nizom MCC:MNC:LAC:CID.


```

<rsp stat="ok">
  <cell>
    <id>293:41:11:216781</id>
    <cellType>0</cellType>
    <radius>241.39109276413174</radius>
    <latitude>46.05349557494754</latitude>
    <longitude>14.50078665539099</longitude>
    <locationsource>3</locationsource>
  </cell>
  <cell>
    <id>293:41:51:216791</id>
    <cellType>0</cellType>
    <radius>398.8039844065201</radius>
    <latitude>46.085561466461456</latitude>
    <longitude>14.480685763012643</longitude>
    <locationsource>3</locationsource>
  </cell>
</rsp>

```

Slika 13: Primer odgovora metode `getCellDetails()` na zahtevo po podatkih o dveh celicah

Odgovor katerekoli metode vsebuje vedno samo vrhnji element `rsp` (kot odgovor ali angl. response). Atribut `le-tega` je status (`stat`), ki je lahko „ok“ ali „fail“. V drugem primeru je vključena še kritičnost napake (angl. severity). V določenih primerih (huda napaka) ni nobenega drugega podatka znotraj oznake „`rsp`“. Pri na Sliki 13 predstavljenem odgovoru ni prišlo do napake in imamo tako dodatne podatke. „`Cell`“ element opisuje vsako (zahtevano) celico. „`Locationsource`“ predstavlja prej omenjeni izvor podatkov, medtem ko je bil „`cellType`“ mišljen za zapis usmerjenosti antene, ki skrbi za celico (usmerjena ali vsesmerna), in tipa celice (makro, mikro, piko, dežnikova). Za enkrat je tip neznan (0) pri vseh celicah.

4.6.8 Popravek celic

Metoda `forceCellCoordinateUpdate()` dovoljuje administratorjem ponovno računanje središč celic in njihovega območja iz začasnih podatkov, shranjenih v „`cellcalculation`“ oz. „`cellcoordinates`“ tabeli (odvisno od konfiguracije strežnika). Lahko ji podamo eno ali več celic, ki naj se ponovno izračunajo. Če jo pokličemo brez parametrov, bo metoda popravila vse celice za katere obstajajo podatki. V primeru, da imamo kakšno obstoječo celico, za katero nimamo podatkov, ta ne bo odstranjena oz. spremenjena.

4.6.9 Vizualizacija

4.6.9.1 KML

KML je na XML temelječ opisni jezik za zapis geografskih podatkov in vizualizacijo. Ime izvira iz prikazovalnika „Keyhole Earth Viewer“ podjetja Keyhole, ki je uvedlo ta zapis. Samo ime je nastalo kot spomin na satelit KH (ljubkovalno imenovan keyhole), ki je prvi slikal zemeljsko površje. Podjetje Keyhole je leta 2004 kupil Google in iz njihovega produkta razvil Google Earth. Zapis je podprt v vseh Googlovih aplikacijah, ki znajo prikazovati geografske podatke (Google Earth, Google Maps in Google Maps for Mobile), podpirajo ga tudi drugi proizvajalci. Po novem je KML odprti standard za katerega skrbi OGC (Open Geospatial Consortium) [19].

Sled je lahko zapisana v obliki KML-datoteke, vendar pa KML omogoča mnogo več. V 2D ali 3D prikazovalnik zemeljskega površja je možno s pomočjo KML-zapisa dodati dodatne elemente. Mogoče je na določeno koordinato narisati poljubno sliko. Bolj zapletena je izdelava 3D modela iz določenih teles. Uporabnost take funkcionalnosti je recimo prikaz načrtovane zgradbe na določenem mestu. KML lahko vsebuje opis dogodka ob kliku na določeno točko in zna takrat ali ob drugih dogodkih prikazati znotraj aplikacije skoraj poljubne v KML vgrajene HTML-strani.

Edina pomanjkljivost pri KML-zapisu, ki se je pojavila tekom izdelave diplomske naloge, je bila, da ni podpore za risanje krožnic ali elips. Zato si je bilo treba pomagati z množico točk, ki so izračunane tako, da skupaj izgledajo kot krožnica. Postopek precej spominja na risanje krožnice v programskem jeziku Logo. Alternativa temu bi bilo risanje prosojne prekrivne slike, ki bi jo raztegnili na željeno velikost. Žal to ne deluje najbolje pri različnih povečavah.

Za testiranje podatkov o celicah shranjenih v bazi, oz. katere točke pripadajo kateri celici v testnem načinu, se uporabljata posebni metodi na strežniku, ki sta dostopni samo administratorjem.

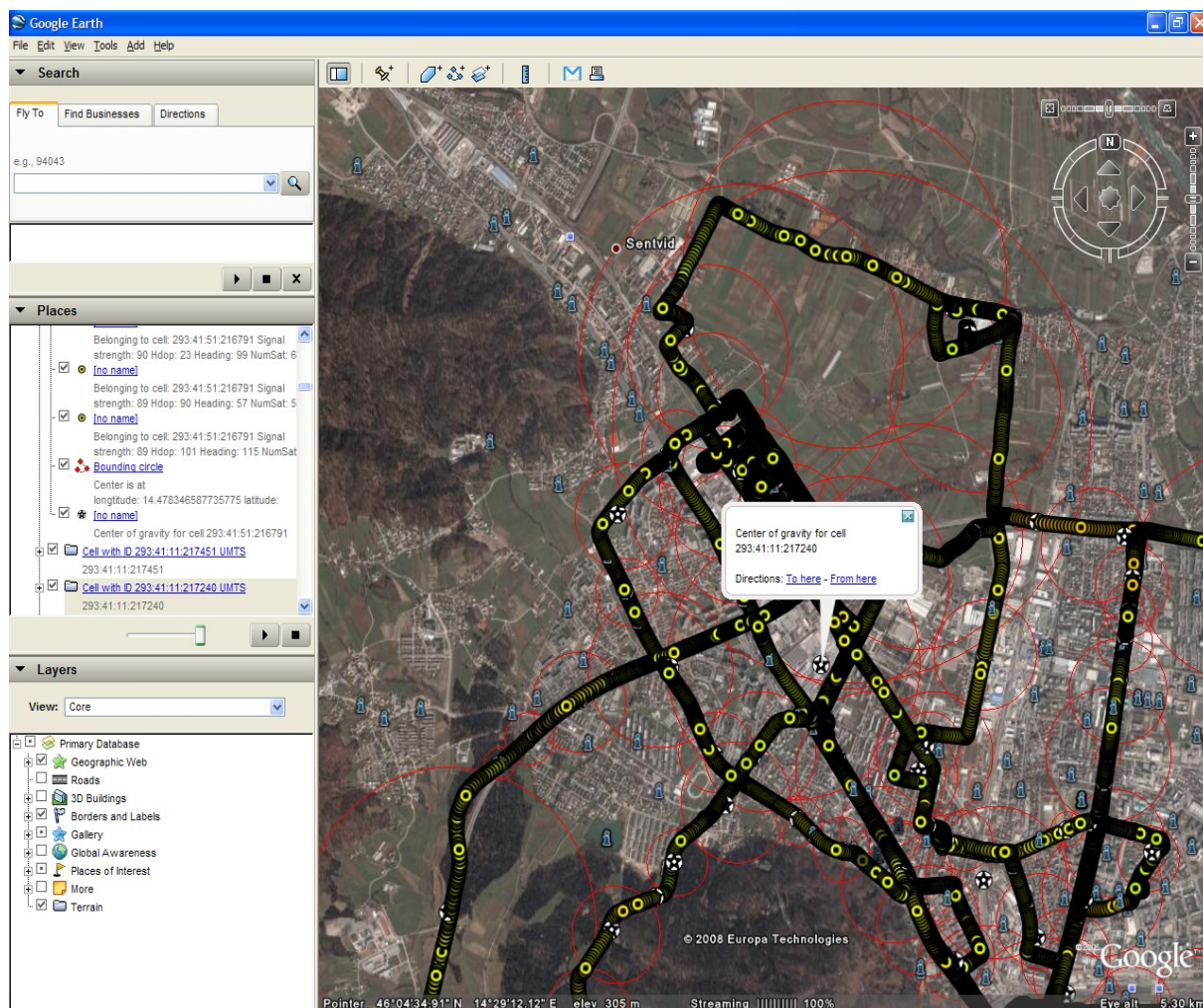
4.6.9.2 Vizualizacija točk za posamezno celico

Z metodo `dumpCellCoordinates()` je možen izpis podatkov, shranjenih v „cellcoordinates“ tabeli v obliki KML-datoteke. Opcijski parametri so „cellIds“, če želimo omejiti katere celice nas zanimajo (tu je ponovno mogoče uporabiti ID z baze ali dejanski celični ID), več posameznih celic ločimo s podpičjem. „omitRawSamples“ pomeni, da nas ne zanimajo točke, ampak hočemo samo pogledati kakšna je velikost celice in kje je njeno težišče, ne da bi bilo zato treba podatke uvoziti v tabelo „cell“. Ker je odgovor strežnika velik (več 10 MB velika KML-datoteka), je možno s pomočjo „generateKmlz“ zahtevati tudi stisnjeno datoteko. Stiskanje podatkov je bilo izvedeno s pomočjo java.util.zip paketa.

Za tovrstne datoteke se standardno uporablja oznaka KMZ. Njena oblika je strogo predpisana: znotraj arhiva mora nujno obstajati datoteka „doc.kml“ s KML podatki.

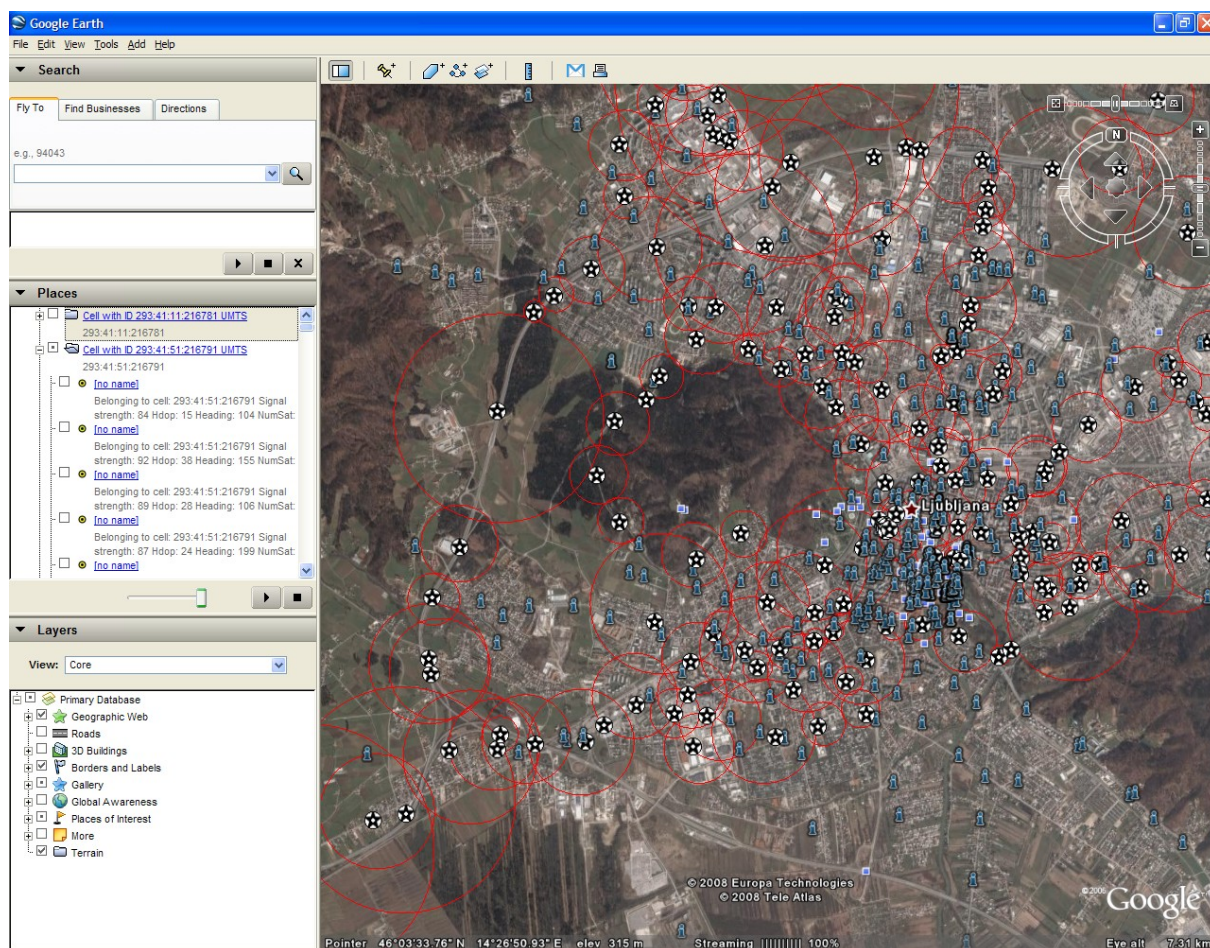
Strežnik ustrezno nastavi tip podatkov (angl. Content-Type) na "application/vnd.google-

earth.kml+xml" oz. "application/vnd.google-earth.kmz", tako da se v primeru klika metode iz brskalnika ob prejemu odgovora avtomatsko zažene vsebina v Google Earth ali drugem programu, ki podpira prikaz KML-podatkov.



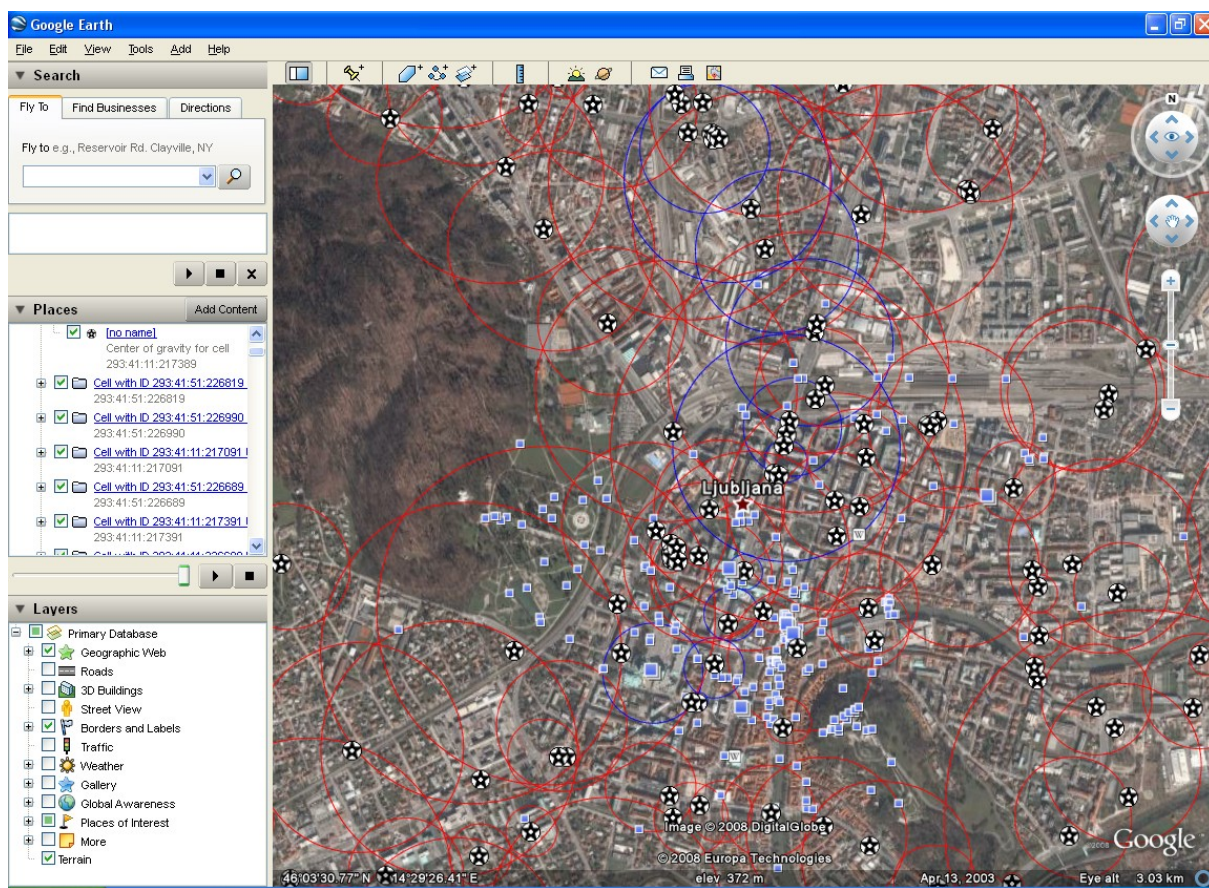
Slika 14: Rezultat metode `dumpCellCoordinates()`

Na sliki je dobro vidna množica točk prejetih s pomočjo GPS-sprejemnika. Njihova barva je odraz kvalitete GPS-točke ter moči signala mobilnega omrežja ob tistem času (na skali od zelene do rdeče). Poleg tega so vidne krožnice za približno predstavo o tem, kako velika je določena celica in izračunano težišče (v obliki ikone z zvezdo). Ob kliku na tako ikono se pojavijo dodatne informacije o celici.



Slika 15: Rezultat metode `dumpCellCoordinates()` na področju Ljubljane

Na sliki 15 so vidne UMTS-celice na območju Ljubljane. Da slika ne bi bila preveč nepregledna, je bil onemogočen prikaz GPS-točk. Na levi strani se da opaziti, da je možen izklop prikaza posameznih celic.

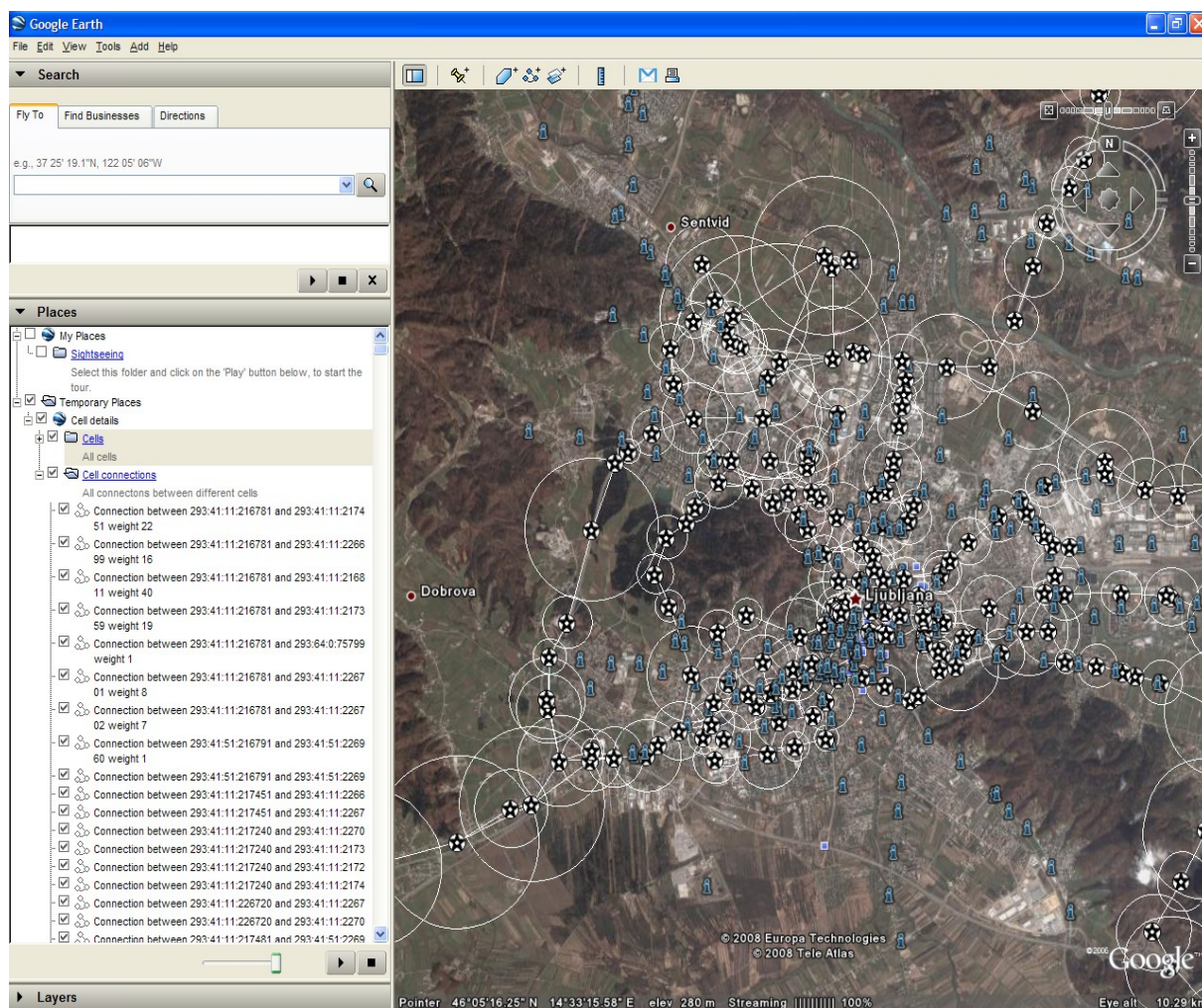


Slika 16: Rezultat metode `cellCoordinates()` na ožjem območju z UMTS- in GSM-celicami

Na Sliki 16 so vidni tudi modri krogi, ki predstavljajo GSM celice. Te izvirajo iz kasnejše meritve. Prej (na Sliki 15) te celice še niso bile poznane. Da bi izmerili tudi te, je bilo treba telefon ročno preklopiti iz dvojnega načina v „samo GSM“-način. Sicer zelo redko pride do prehoda z UMTS-celice na GSM-celico, še posebej v mestu kjer je UMTS- in GSM-pokritost praktično enaka dobra.

4.6.9.3 Vizualizacija celic

V produkcijskem načinu se ne uporablja „cellcoordinates“ tabele. Stanje v podatkovni bazi je potrebno zato v takem primeru prikazati na drugačen način. Razen „omitRawSamples“, ki tu nima smisla, metoda podpira iste parametre kot prejšnja. Izpiše vse podatke o celicah, ki so trenutno na voljo. To vključuje tudi povezave med posameznimi celicami iz „cellconnection“ tabele. Najprej je bilo mišljeno, da bi bile te glede na moč povezave različno debele, vendar to kmalu privede do nepreglednosti. Moč povezav je tako mogoče videti le na levi strani. V tem delu je mogoče tudi izklopiti prikaz posameznih celic ali povezav.



Slika 17: Rezultat metode `dumpCell()`

Na Sliki 17 je rezultat metode `dumpCell()`. Za razliko od prej nas tukaj ne zanima več, za kakšno celico gre. Na področju Slovenije je bilo tekom meritev zabeleženih več kot 600 UMTS- in GSM-celic s polmeri od 100 m do 8,2 km.

4.7 Uporaba podatkov o celicah

V drugi fazi je bilo mogoče na podlagi podatkov o lokaciji celic mobilnemu telefonu, ki uporablja določeno celico, pripisati kot lokacijo izračunano središče tiste celice (tj. težišče zabeleženih GPS-točk). Drug način uporabe je pretvorba shranjene celične sledi na strežniku v sled, ki vsebuje zemljepisne širine in dolžine (približek za sled pridobljeno z GPS-sistemom).

Pri izračunu približka za GPS-sled nam je lahko v pomoč dodatno sklepanje. V primeru, da je uporabnik nekaj časa priklopljen na eno celico ter nekaj časa na drugo, lahko zaključimo, da je uporabnik nekje med obema celicama. Temu bi lahko rekli neke vrste določanje lokacije na slepo (angl. dead-reckoning).

4.7.1 Algoritem

4.7.1.1 Izračun lokacije

Razvit algoritem deluje tako, da vzame časovno okno in pogleda na katere celice je bil mobilni telefon v tem času priklopljen. Delež časa priklopa na določeno celico znotraj okna določa, v kolikšni meri središče celice vpliva na končno točko za posamezno okno (znotraj vsakega časovnega okna se namreč izračuna samo ena točka nove GPS-sledi). Metoda sicer ne pripomore bistveno k natančnosti poteka poti, je pa zato zaradi povprečenja manj nenadnih skokov. Ti bi lahko povzročili, da bi izračunana sled prikazovala gibanje uporabnika sem in tja in bi bila določena pot daljša od dejanske, saj do menjav celice prihaja precej pogosto. Tudi nenadni kratkotrajni preklopi na bolj oddaljeno celico zaradi prezasedenosti bližnje se tako do neke mere zadušijo. (Za najbolj ekstremne tovrstne skoke smo poskrbeli že prej s filtriranjem točk s premajhno močjo signala.) Napaka nastane, če se uporabnik res pogosto premika med določenima celicama.

Pri tem je ključnega pomena velikost okna. Širše časovno okno pomeni manj izračunanih točk in večji vpliv različnih celic, medtem ko ožje okno pomeni več točk. V skrajnem primeru, ko je okno zelo ozko, npr. 1 sekundo, kar je najmanjša časovna razlika, ki se še zazna, se upošteva vsaka sprememba celice kot nova točka. To je enakovredno temu, da okna sploh nimamo. Zelo široko okno po drugi strani bi pomenilo, naj se izračuna samo ena točka, ki bi predstavljala neke vrste središče poti. V idealnem primeru se uporablja vrednost nekje med tema skrajnima mejama. Pri meritvah je uporabljena velikost 60 sekund.

V praksi se pojavi problem, da se izvedejo preklopi tudi na celice, ki jih še ne poznamo oz. za katere nimamo podatka o središču. S temi si pri računanju seveda ne moremo pomagati, vendar pa moramo poleg tega vedeti tudi, da točka, določena na podlagi ene same znane celice, v kolikor se znotraj okna nahaja še veliko neznanjih celic, ni merodajna. Rezultat se upošteva samo, če je za posamezen del časa dovolj znanih celic. Tako kot širina okna je tudi ta parameter nastavljen. Zaloga vrednosti parametra je strogo večja od 0 ter manjša ali enaka 1. Smiselna vrednost je npr. 0,5 – kar pomeni, da mora biti telefon vsaj polovico časa priklopljen na znane celice, da se ta rezultat upošteva. Pri oknu širine 1 sekunde nastavev ni pomembna.

```

calc_track_point(quasi_gps_track, timestamp, time_map)
    latitude := 0
    longitude := 0
    for cell in time_map
        if is_known(cell)
            known_cells.add(cell)
        else
            time_map.total_time := time_map.total_time - time_map[cell].time_span

    if (time_map.total_time / WINDOW_WIDTH) >= KNOWN_FACTOR
        for cell in known_cells
            latitude := latitude +
                (time_map[cell].time_span / time_map.total_time) *
                get_center_latitude(cell)
            longitude := longitude +
                (time_map[cell].time_span / time_map.total_time) *
                get_center_longitude(cell)

        quasi_gps_track.add(timestamp, latitude, longitude)

add_time(time_map, cell, number)
    time_map[cell].time_span := time_map[cell].time_span + number
    time_map.total_time := time_map.total_time + number

convert_track(cell_track)
    last_time := cell_track[0].time
    last_cell := cell_track[0].cell
    window_start := last_time

    for i := 1 to cell_track.length
        if (cell_track[i].time - window_start) >= WINDOW_WIDTH
            window_start := window_start + WINDOW_WIDTH

            add_time(time_map, last_cell, window_start - last_time)
            calc_track_point(quasi_gps_track,
                window_start - (WINDOW_WIDTH / 2), time_map)
            time_map.clear()

            for j := 1 to floor((cell[i].time - window_start) / WINDOW_WIDTH)
                window_start := window_start + WINDOW_WIDTH
                add_time(time_map, last_cell, WINDOW_WIDTH)
                calc_track_point(quasi_gps_track,
                    window_start - (WINDOW_WIDTH / 2), time_map)
                time_map.clear()

            last_time = window_start

        else

            add_time(time_map, last_cell, cell_track[i].time - last_time)

            last_time := cell_track[i].time
            last_cell := cell_track[i].cell

    calc_track_point(quasi_gps_track,
        window_start + (WINDOW_WIDTH / 2), time_map)

    return quasi_gps_track

```

Slika 18: Psevdokoda za opisan algoritem (convert_track) za pretvorbo celične sledi

Predpostavka pri algoritmu je, da je v časovno urejeni sledi vedno prisotna začetna točka in končna točka (ki se npr. zapiše ob koncu potovanja, preden izklopimo program).

4.7.1.2 Ocena zanesljivosti

Pri GPS-sistemu lahko pridobimo podatek o številu vidnih satelitov ter t. i. DOP-podatek, ki je določen glede na trenutno razporeditev satelitov. Oboje se hrani tudi v GPS-sledi. S pomočjo teh dveh parametrov je mogoče oceniti v kolikšni meri lahko zaupamo dobljeni zemljepisni dolžini in širini. Pri umetno ustvarjeni GPS-sledi lahko tudi za ta del ustvarimo približek.

Ideja je v tem, da se uporabi kar polmer največje celice, ki je bila upoštevana pri izračunu sledi. Tako kot DOP ima tudi ta podobne lastnosti: večja vrednost pomeni manjšo natančnost, pri čemer 0 praktično ne moremo nikoli doseči. Ob tem je treba vedeti, da ta podatek ne pomeni, kakšna je napaka. Če bi napako lahko točno izmerili, bi jo verjetno lahko odpravili. Gre le za oceno na podlagi znanih podatkov o poziciji satelitov oz. velikosti celic.

Pri celicah je ta podatek odvisen od izmerjene lokacije in njihove velikosti. V idealnih primerih, če so meritve točne in so celice res v obliki krogov, drži, da je največja razdalja od središča do katerekoli točke znotraj celice nujno manjša od radija. V praksi se ne moremo zanašati na to in je tovrstna ocena bolj optimistična napoved.

Da se ena in druga sled (umetno določena in dejanska) ne bi med seboj zamenjevali, je bila sprejeta odločitev, da se kot število vidnih satelitov uporabi vrednost 0. Pri navadni GPS-sledi taka vrednost ni smiselna, saj brez najmanj 4 vidnih satelitov določanje lokacije sploh ni mogoče, zato ni bojazni, da se bo kdaj pojavil tak zapis. Po drugi strani je številka 0 tudi najbolj jasna: za določitev GPS-točke je bilo uporabljenih 0 satelitov.

4.7.1.3 Vmesnik za izračun sledi

Uporabnikom dostopna metoda `calculateGpsTrackFromCellTrack()` je vmesnik za predstavljen algoritem v ozadju in lahko sled s preklopi med celicami mobilnega telefonskega omrežja pretvori v približek GPS-sledi. Ustvarjena sled je lahko del istega potovanja, lahko pa se ustvari tudi nova sled znotraj drugega potovanja. (Pogoj je seveda, da ima uporabnik dovoljenje za ogled izvora in lahko spreminja ciljno potovanje.)

Drugi način je pomemben zaradi delovanja sistema TripTracker.net. Google Maps integriran v spletni vmesnik TripTracker.net, namreč prikazuje na enem zemljevidu vse sledi določenega potovanja (uporabnik je lahko za isto potovanje uporabil več GPS-sprejemnikov). Tudi izvoz je mogoč samo na nivoju potovanja. V primeru, da neko potovanje že vsebuje GPS-sled in se mu doda Cell-ID-sled, ki se kasneje pretvori v GPS-sled, ni več mogoče ločiti katera sled je katera. V določenih primerih je zato boljše ustvariti sled znotraj novega potovanja.

5 Primerjava spremenjene Cell-ID-metode z GPS

Kot ocenjevanje uspešnosti delovanja predstavljene metode, ki temelji na preklopih strežnih celic, je bila narejena primerjava z GPS-sistemom. Kriteriji, ki sem jih upošteval pri primerjavi:

- **natančnost**

Natančnost je razlika dejanske in s pomočjo določene metode pridobljene lokacije. Ker zemljepisne dolžine in širine posamezne točke na Zemlji ni mogoče dovolj natančno določiti brez posebnih geodetskih meritev, natančnost GPS-sistema ni bila izmerjena. Za orientacijo je naveden le podatek iz literature, da ima sistem v povprečju napako okrog 15 metrov, ki se lahko z določenimi izboljšavami (DGPS) še zmanjša [7]. Natančnost celične metode je precej odvisna od tipa omrežja in okolja (podeželje, mesto), praviloma pa je nižja. Kot ocena natančnosti metode je bila v nadaljevanju narejena primerjava z dejansko GPS-sledjo.

- **zanesljivost**

Zanesljivost rezultata pomeni, v kolikšni meri lahko zaupamo pridobljenemu podatku o lokaciji pri normalnem delovanju. Napaka pri GPS je do 30 m, medtem ko je pri celicah v najslabšem primeru (GSM na podeželju) napaka 35 km.

- **dostopnost**

GPS je dostopen kjerkoli na Zemlji, medtem ko mora za celično metodo na tistem področju delovati operater mobilne telefonije. Razlika je v delovanju znotraj zgradb. Tam Cell-ID-metoda večinoma (odvisno od pokritosti omrežja) deluje, medtem ko sprejem GPS-signala v stavbah praviloma ni mogoč. Za GPS-sistem skrbi ameriška vojska, kar pomeni, da je izpad delovanja malo verjeten. Pri lociranju na podlagi celic smo odvisni od delovanja mobilnega omrežja, ki pa praktično stalno deluje.

- **latenca**

Zakasnitev do prve določitve lokacije je pri GPS precej dolga („time to first fix“ je lahko celo nekaj minut). V tem pogledu se Cell-ID, kjer je podatek stalno dostopen, obnese bolje.

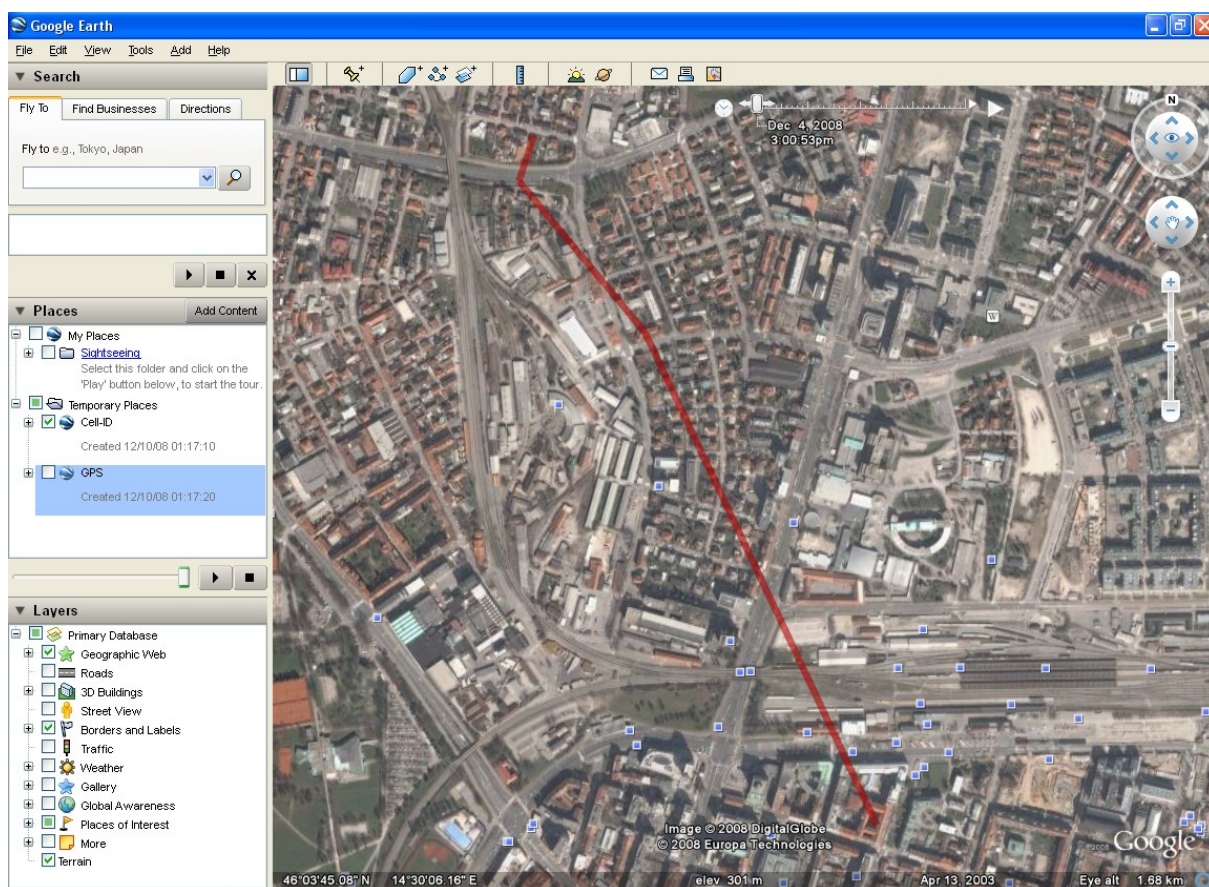
- **uporabnost**

Za bolj natančno lociranje je seveda potrebno uporabljati GPS-sprejemnik, čar Cell-ID je v tem, da metoda ne potrebuje posebne strojne opreme in je za končnega uporabnika, ki že ima standarden mobilni telefon, praktično zastoj. Tudi baterije telefona ne obremenjuje v tolikšni meri kot v telefon integriran GPS-sprejemnik. Uporaba celic je namreč standardna za telefonsko omrežje, prebrati je potrebno le identifikacijsko številko, medtem ko GPS dodatno obremenjuje procesor telefona.

Natančnosti oz. zanesljivosti Cell-ID-metode ni bilo mogoče direktno določiti, zato je bila izvedena primerjava z GPS-sledjo. Pri tem je bilo predpostavljeno, da je referenčna GPS-sled točna.

5.1 Vizualna primerjava

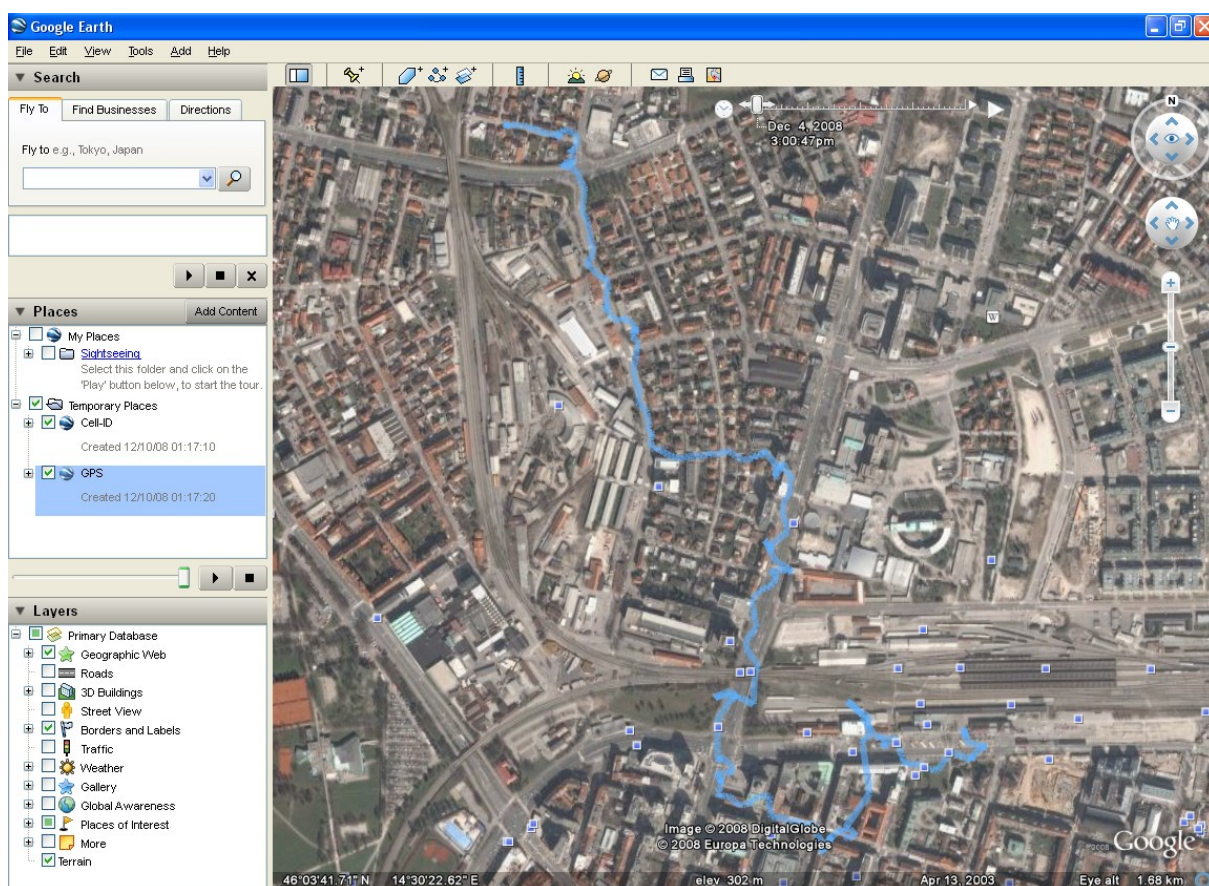
Najbolj enostavno je primerjati potek poti. Celično sled pretvorimo v GPS-sled. Sedaj lahko potovanje z izračunano GPS-sledjo izvozimo v nek širše poznan zapis (npr. v KML ali GPX). Oboje si potem lahko ogledamo v Google Earth in vizualno primerjamo eno in drugo pot na zemljevidu.



Slika 19: Pot, pridobljena s predstavljeno metodo

Strežnik že omogoča izvoz določene sledi v GPX-format, zato je bila uporabljena kar ta funkcionalnost.

Težava, ki se je pojavila z Google Earth, je, da ni mogoče istočasno vklopiti obeh prekrivkov (dveh različnih GPX-sledi) ter tako ni mogoča direktna primerjava ene in druge poti na istem zemljevidu.



Slika 20: Ista pot, pridobljena z ločenim GPS-sprejemnikom

5.2 Izračun napake

S pomočjo ogleda poteka lahko dobimo približno predstavo o napaki. Na žalost je to precej subjektivna ocena, ki ne upošteva niti časovne komponente. Kot napako bi morali upoštevati razdaljo med točko izračunane in testne sledi, ki je bila zares pridobljena z GPS-sprejemnika ob istem času.



Slika 21: Direktna primerjava določene poti z dejansko

S pomočjo Slike 21 lahko dobimo približno oceno o napaki. Rdeča črta predstavlja izračunano pot, modra pa je pridobljena z GPS-sprejemnika. Ker Google Earth ne omogoča, da bi na istem zemljevidu prikazoval dve GPX-sledi (ideja je najbrž v tem, da človek ne more biti istočasno na dveh različnih lokacijah), je bila slika ustvarjena s programom GIMP kot prekrivek dveh različnih slik s posamezno potjo.

5.2.1 Določanje razdalje med dvema koordinatama na Zemlji

Najbolj enostaven način za določanje razdalje med dvema kartezičnima koordinatama je kar Pitagorov izrek. Ker je Zemlja okrogla, metoda deluje dovolj natančno le za zelo majhne razdalje.

Zaradi želje po čim manjši napaki in čim bolj splošno uporabni metodi, ki ji lahko podamo sferične koordinate (zemljepisno dolžino in širino) in bi jo lahko uporabljali tudi v druge namene kot računanje tipično majhne napake, se uporablja t. i. Haversine formula [14].

Tudi v tem primeru je bilo sklenjenih nekaj kompromisov: predpostavka je, da je Zemlja krogla namesto geoid ter da je nadmorska višina povsod enaka.

Metoda izračuna najkrajšo razdaljo med dvema točkama na sferi ob predpostavki, da potujemo po krožnici z enakim polmerom, kot ga ima sfera (t. i. razdalja velikega kroga). To pomeni, da moramo potovati po površini sfere (Zemlje), včasih bi bila razdalja dveh točk namreč manjša, če bi potovali kar skozi središče (seveda tako potovanje skozi središče ni praktično izvedljivo).

Ime metode izvira iz manj znane trigonometrične funkcije haversinus, ki je v bistvu polovica versinusa. Funkcija versinus je definirana kot $1 - \cos(x)$. S pomočjo te funkcije se da za metoda bolj enostavno zapisati.

Sama formula za izračun je sledeča:

$$\begin{aligned}\Delta lon &= lon_2 - lon_1 \\ \Delta lat &= lat_2 - lat_1 \\ a &= \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta lon}{2}\right) \\ c &= 2 \cdot \operatorname{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \\ d &= R \cdot c\end{aligned}$$

Pri čemer je R povprečen polmer Zemlje (ker Zemlja ni krogla, ta ni povsod enak), lat zemljepisna širina, lon pa zemljepisna dolžina. Za R je bila uporabljena vrednost 6371,009 km.

5.2.2 Algoritem

Algoritem vsako izračunano točko primerja s „pravo“. Izračunanih točk je kot posledica časovnega okna praviloma manj kot referenčnih točk, ki se shranjujejo na določen časovni interval (npr. vsakih 5 sekund). Če za tisti trenutek (čas določene izračunane točke) slučajno nimamo zemljepisne dolžine in širine, naredimo kar linearno interpolacijo med dvema sosednjima koordinatama. Za začetno in končno točko sledi to ni mogoče: v takem primeru se zato točki izpustita. Tudi sicer je linearna interpolacija precej napačna, argument zanjo je dejstvo, da gre le za razliko parih sekund, v katerih se položaj ni bistveno spremenil. Pri testiranju je bil odjemalec nastavljen tako, da je shranjeval GPS-lokacijo vsako sekundo, kar pomeni, da se s tovrstnimi problemi praktično nismo srečali, razen v primeru, da je bila kakšna slaba točka izpuščena.

Metoda `compareTracks()` vrača oceno za napako sledi v primerjavi z določeno drugo sledjo. Tako kot v prej predstavljenih metodah deluje tudi primerjava sledi različnih potovanj. Ker sama povprečna napaka ne pove dovolj, je v odgovoru tudi največja in najmanjša napaka. Glede na to, da je napaka razdalja, ni problemov z negativnimi vrednostmi.

Za predstavo delovanja je bila izračunana napaka med potema prikazanima na slikah 19 in 20. Minimalna napaka je 45,02 m, maksimalna 804,74 m, povprečna pa 304,49 m. Pri poteh vidnih na Sliki 21 je maksimalna napaka 748,63 m, minimalna napaka 15,23 m, povprečna pa 228,96 m.

5.2.3 Interpretacija rezultatov

Napaka je bila presenetljivo majhna. Natančnost metode je tako presegla začetna pričakovanja. Pri podobnih poizkusih v Rimu v Italiji [13], kjer so sicer samo določali uporabnost celične metode za odkrivanje interesnih točk v bližini, so prišli do zaključka, da metoda za to ni primerna, saj je šum večji kot natančnost. Izmerjene velikosti celic so kljub temu primerljive s temi izmerjenimi v Ljubljani. Malo manjše velikosti celic v Ljubljani si lahko razlagamo s tem, da je bilo v Rimu uporabljeno samo GSM-omrežje, medtem ko je bilo tu uporabljeno večinoma UMTS-omrežje.

Meritve so kljub temu rahlo pristranske. V gosto poseljenih območjih namreč ni mogoče hoditi po celotnem območju celice, temveč le po ulicah, kar lahko vpliva na izmerjeno velikost celice in določeno središče. Poleg tega, če nismo pazljivi, do določene točke hodimo vedno po poti, na katero smo navajeni, kar pomeni še slabšo določanje lastnosti celic. Zaradi tega lahko pride do prevelikega prileganja učni množici (angl. overfitting), kar za splošno uporabo metode ni dobro.

6 Podobni sistemi in možnosti uporabe

Določanje lokacije na podlagi celic je za enkrat vgrajeno v ogrodje storitve TripTracker.net. Podobno deluje novejša verzija aplikacije „Google Maps for Mobile“, ki ima vgrajen dodatek „My Location“. Tu se s pomočjo ugotavljanja trenutne celice omogoča prikaz zemljevida v naši bližini. Poleg tega se na zemljevidu na naši lokaciji prikaže krog. Pri tem velikost kroga predstavlja negotovost. Tudi Google uporablja GPS-podatke svojih uporabnikov za določitev celic, razlika je le v tem, da jih ima Google precej več. Poleg same identifikacije strežne celice Google uporablja še razne druge heuristike. Ena od teh je, katere zemljevide si je uporabnik ogledoval v preteklosti. Zemljevidi največkrat predstavljajo kraje, kjer smo bili, smo ali se bomo nahajali v prihodnosti. Tako je smiselno usmeriti iskanje in najprej preveriti možnost, da je uporabnik v bližini teh krajev.

V praksi se bo metoda uporabljala v okviru storitve TripTracker.net, da popotnikom na krajših izletih ne bo potrebno s seboj nositi GPS-sprejemnika in bo vseeno možno določiti kje so se gibali. S pomočjo tega je mogoče geografsko označevanje slik (angl. geotagging), tako kot če bi uporabnik posnel GPS-sled in jo kasneje z domačega računalnika prenesel na strežnik. Ideja je v tem, da bi uporabnik na svojem telefonu ves čas poganjal odjemalca in bi se vsaka shranjena slika ali videoposnetek, v primeru da se uporabnik s tem strinja, takoj poslala na strežnik. To pomeni, da bi bilo odveč zamudno kopiranje slik ali sledi s pomnilnika telefona, poleg tega pa bi odpadlo tudi določanje kraja za vsako fotografijo. Po koncu potovanja bi bil na spletnih straneh že na voljo nekakšen potopis, ki bi ga kasneje uporabnik lahko dopolnil ter po želji delil s prijatelji. Poleg tega lahko v primeru periodičnega pošiljanja podatkov o poziciji omogočimo, da ljudje spremljajo, kje približno se njihov prijatelj giba že kar med samim potovanjem.

Z identifikacijo strežne celice se da precej dobro identificirati na kateri izmed znanih lokacij (služba, trgovina, dom, ...) smo [10]. Tako bi npr. lahko posodabljali lokacijo tudi na t. i. socialnih omrežjih.

Sama metoda se sicer da uporabiti v kakršnikoli lokacijsko odvisni storitvi, če smo le pripravljeni sprejeti malo manjšo natančnost. Take storitve bi lahko bile npr. iskanje prijateljev v bližini ali pa opominjanje na mestne znamenitosti. Zanimiva uporaba v zvezi z mobilnim telefonom bi lahko bila lokacijsko prilagajanje glasnosti zvonjenja ali kar avtomatski izklop telefona v bolnišnicah. Za cestno navigacijo ali natančno sledenje metode Cell-ID jasno ni mogoče uporabiti.

7 Možne izboljšave

Na mobilnem telefonu je mogoče programsko prebrati moč signala. Ta podatek, razen za testni prikaz in osnovno izločevanje slabih podatkov, ni bil uporabljen. Za vsako celico bi bilo mogoče izdelati nekaj podobnega kot v teoretičnem delu predstavljeno merilno karto. Tak postopek bi potreboval za zadovoljivo delovanje precej več podatkov pridobljenih s strani uporabnikov, ter bi bil tudi bolj natančen. Druga možnost bi bila uporaba moči signala kot pomoč Cell-ID-metodi in direktno sklepanje o oddaljenosti na podlagi moči signala s pomočjo raznih modelov.

Izboljšava bi bila možna tudi, če bi se dalo poleg strežne celice odkriti ostale celice v bližini. Za namene izročanja telefon s takimi podatki razpolaga, vendar pa za enkrat še ni načina, kako jih prebrati s pomočjo na telefon nameščene programske opreme.

Trenutno se določa le zemljepisna širina in dolžina, nadmorska višina pa ne. Zaradi neenakomerne višine Zemlje je tudi z GPS-sprejemnikom njeno določanje podvrženo večjim napakam. Meritve bi bile v tem primeru težje izvedljive, poleg tega Haversine formula za določanje napake (razdalje) ne bi bila primerna.

Novejši telefoni se lahko priključujejo tudi v brezžična lokalna podatkovna omrežja (WLAN). BSSID (identifikacijo dostopne točke oz. njen enoličen MAC-naslov) bi lahko uporabljali na podoben način kot identifikacijo strežne celice. Uporabnik praviloma spremeni le oznako SSID. Pri tem je pomembno dejstvo, da dostopna točka, če ni drugače nastavljena, stalno oddaja identifikacijski podatek. To pomeni, da sploh ni treba, da se na tako dostopno točko res priklopimo (za kar bi morali imeti dovoljenje lastnika), spremljati moramo le periodična oddajanja, ki vsebujejo ID. Poleg tega je pokrito območje praviloma veliko manjše od povprečne celice mobilnega telefonskega omrežja, tako da verjetno niti ne potrebujemo meritev moči signala. Programsko je mogoče odkriti tudi prisotnost več tovrstnih „celic“.

Če želimo ugotoviti položaj točno določenega mobilnega telefona se ni treba zanašati na bazne postaje mobilnega telefonskega omrežja. Lahko postavimo naprave, ki samo simulirajo njihovo delovanje in po povezavi enostavno izvedejo izročitev na pravo enoto. Če se mobilni telefon priklopi na dovolj takih postaj, lahko neodvisno od samega mobilnega omrežja natančno ugotovimo lokacijo. Slabost je, če odmislimo pravne posledice početja, da taka metoda ni splošno uporabna, poleg tega pa tudi cena „nepravih“ enot ni zanemarljiva.

Na podoben način bi lahko uporabili tudi posebno strojno opremo namesto telefona za bolj natančno določanje celic, vendar je bil v delu poudarek na programski opremi.

GPS-sprejemnik ima tudi svojo napako, ki je bila zanemarjena. Cilj je bil doseči pot, ki bi bila čim bolj podobna poti pridobljeni s pomočjo GPS-sprejemnika, vendar pa to ni nujno točno tam kjer smo se gibal. Enako nenatančne so tudi meritve, kje se celice nahajajo. Za izboljšavo bi bilo potrebno uporabiti DGPS-sistem oz. upoštevati določene znane koordinate kot referenco. V ta namen bi npr. lahko uporabili podatkovno bazo Geodetske uprave Republike Slovenije.

8 Zaključek

V diplomskem delu so bili predstavljeni načini, kako odkriti lokacijo telefona na podlagi mobilnega omrežja oz. njegovega baznega podsistema. Načini so sicer precej specifični za določena mobilna telefonska omrežja, vendar so koncepti kljub temu dovolj splošni in se jih da uporabiti tudi pri drugih mobilnih napravah. Velike večine metod zaradi stroškov in posegov v omrežje žal ni mogoče praktično uporabiti. Nekatere bi se dalo uporabiti, a smo omejeni z zmožnostmi programske opreme na telefonu. V tem kontekstu je bila zanimiva ugotovitev, da J2ME pravzaprav ne pripomore k boljši prenosljivosti samega programa, temveč le uporabniškega vmesnika.

Ena izmed dostopnih metod je identifikacija strežne celice. Gre za precej neznano metodo, ki je praktično zastoj (ne potrebujemo posebne strojne opreme), a se kljub temu za ne preveč zahtevno uporabo dobro obnese. Glavna prednost Cell-ID-metode je, da deluje tudi v stavbah, v kolikor je tam prisoten signal mobilnega telefonskega operaterja ter da veliko manj obremenjuje baterijo kot uporaba v telefon vgrajenega GPS-sprejemnika. Problem je, da ni najbolj natančna in je potrebno za delovanje vedeti, kje se celice nahajajo. Podatki o tem, kje se nahajajo sprejemno-oddajne antene, so pomembni tudi pri drugih metodah. Razlika je le v tem, da je tam ponavadi treba poznati točno lokacijo antene, medtem ko je pri Cell-ID pomembno središče celice, kar ni nujno ista točka. Lokacije anten bi bile teoretično lažje določljive, saj so večinoma vidne na drogovi in strehah stolpnic. A težava ni samo v njihovem velikem številu, temveč tudi v tem, da bi v tem primeru morali poznati lastnosti omrežja oz. biti sposobni izvajati meritve na opremi mobilnega operaterja.

Uporaba GPS-sprejemnika za meritve točk kjer se mobilni telefon še priklaplja na določeno celico, se je izkazala kot precej enostaven način za povraten sklep o celicah. Za uporabnika z GPS-sprejemnikom tovrstno manj natančno določanje lokacije ni smiselno. Uporabnost v tem je, da tak uporabnik omogoči lociranje drugih uporabnikov, ki so brez GPS-sprejemnika. Tako jim posredno pomaga pri določanju njihove lokacije, ne da bi se tega zavedal. Seveda mora biti predhodno poskrbljeno, da se uporabniki s tem strinjajo. (Google je imel precej problemov prav zaradi tega, ker v prvi verziji programa „Maps for Mobile“ takšne uporabe podatkov ni navedel v licenčni pogodbi.)

KML-zapis in ogled shranjenih podatkov v Google Earth je precej olajšal razhroščevanje, predstavo o tem kakšne celice sploh so ter odločitve o tem, kako naj algoritem deluje. Po drugi strani je bilo z Google Earth tudi nekaj težav. Ena od teh je nezmožnost risanja krožnic oz. elips v KML-zapisu, druga pa je nedelovanje prikaza več GPX-sledi istočasno (kar otežuje primerjavo izračunane poti z dejansko).

Po pričakovanjih bo v novejših telefonih vedno več vgrajenih GPS-sprejemnikov, saj ti postajajo cenejši in manjši. Kljub temu se ni treba bati, da bodo GPS ali ostale prihajajoče metode satelitskega določanja položaja (kot npr. Galileo) izpodrinile uveljavljene metode. Po standardu E-112 je (A-)GPS le ena možnost za določanje lokacije. V določenih primerih bo še vedno bolj smiselna uporaba drugih načinov. Prav naloga programske opreme bo čim bolje (recimo tudi s pomočjo povratnih informacij od uporabnika) koordinirati, kdaj naj se določena metoda uporablja. Smiselno bi bilo npr. s pomočjo Cell-ID ugotavljati, kdaj je uporabnik na

neki standardni lokaciji ali kdaj se premika in samo pri daljših premikih vklopiti GPS-sprejemnik ter tako varčevati z energijo. Če ni zahtevana dovolj velika natančnost, morda sploh ne bi bila potrebna uporaba satelitskega določanja položaja. V primeru, da bi odkrili izlet v gore, bi lahko poskušali uporabiti AOA-metodo, ki deluje na podlagi kota sprejetega signala.

Treba je vedeti, da se ljudje nelagodno počutijo ob občutku, da so stalno pod nadzorom, ne glede na morebitne prednosti. Večina ljudi bo tako najbrž najkasneje pri tovrstnem izletu v naravo, ko si bo zaželela miru, preprosto ugasnila mobilni telefon.

9 Literatura

Avtorska literatura:

- [1] J. M. Borkowski, Performance of Cell-ID+RTT Hybrid Positioning Method for UMTS, magistrska naloga, Tehnična univerza Tampere, Finska, 2003.
- [2] G. M. Djuknic, R. E. Richton, Geolocation and Assisted-GPS, Bell Laboratories, Lucent Technologies, 2001.
- [3] K. Dufková, M. Ficek, L. Kencl, J. Novák, J. Kouba et al., Active GSM cell-id tracking: „Where Did You Disappear?“, v zborniku prve ACM konference *International workshop on Mobile entity localization and tracking in GPS-less environments*, New York, Združene države Amerike, 2008, str. 7–12.
- [4] M. Eržen, GPS, Seminar pri izbranih poglavjih iz fizike, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Slovenija, 2008.
- [5] R. T. Fielding, Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures, doktorska disertacija, Univerza v Kaliforniji, Irvine, Združene države Amerike, 2000.
- [6] M. Hata, Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1980, str. 3.
- [7] E. D. Kaplan, C.J. Hegarty, *Understanding GPS: Principles and Applications*, Boston, druga izdaja, Artech House, 2005.
- [8] T. Korošec, Možnosti lociranja v mobilnih sistemih, seminarska naloga pri podiplomskem predmetu mobilne komunikacije, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Slovenija, 2006.
- [9] A. LaMarca et al., „Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild“, *Proceedings of Pervasive*, München, Nemčija, maj 2005.
- [10] J.-M. Latapy: GSM mobile station locating, magistrska naloga, Norveška univerza znanosti in tehnologije Trondheim, Norveška, 1996.
- [11] F. Menses, A. Moreira, Using GSM CellID Positioning for Place Discovering, v zborniku *Pervasive Health Conference and Workshops*, Innsbruck, Avstrija, dec. 2006.
- [12] D. Nikolai, Mobile Positioning Solutions for GSM, Alcatel R&I Stuttgart, jan. 2002.
- [13] Y. Okumura et al., Field Strength and Its Variability v *VHF and UHF Land-Mobile Radio Service, Review of the Electrical Communications Laboratory*, št. 16, 1968, str. 9–10.

- [14] E. Trevisani, A. Vitaletti, „Cell-ID location technique, limits and benefits: an experimental study“, v zborniku *6. IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, Lake District, Anglija, 2004, str. 51–60.
- [15] R. W. Sinnott, Virtues of the Haversine, *Sky and Telescope*, št. 68, zvezek 2, 1984, str. 159.
- [16] S.Y. Willassen, A method for implementing Mobile Station Location in GSM, magistrska naloga, Norveška univerza znanosti in tehnologije Trondheim, Norveška, 1998.

Ostala literatura:

- [17] (2008) International Telecommunication Union, Recommendation E.212. Dostopno na: http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.212-200805-I!!PDF-E&type=items
- [18] (2008) Študija podjetja Canalys. Dostopno na: <http://www.canalys.com/pr/2008/r2008082.htm>
- [19] (2008) Dokumentacija jezika KML. Dostopno na: <http://code.google.com/apis/kml/>
- [20] (2008) KML-standard. Dostopno na: <http://www.opengeospatial.org/standards/kml/>
- [21] (2008) International Telecommunication Union, The international identification plan for mobile terminals and mobile users. Dostopno na: <http://www.itu.int/publ/T-SP-E.212B-2008/en>
- [22] (2008) Zemljevid z vidnimi kontrolnimi postajami za upravljanje ter nadzor GPS satelitov. Dostopno na: http://webmsi.free.fr/Web-GR1/images/gps_tel.gif
- [23] (2008) Študija podjetja ABI research. Slika o napoved rasti števila uporabnikov lokacijsko osnovanih storitev. Dostopno na: http://www.abiresearch.com/products/market_data/Location_Aware_Services_Market_Data