

Primerjava delovanja algoritmov pozicioniranja na primeru večjih zaprtih prostorov

Patrik Kokol¹, Tilen Škrinjar¹, Tomaž Kosar¹

¹Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Koroška cesta 46, 2000 Maribor, Slovenija

E-pošta: patrik.kokol@student.um.si, tilen.skrinjar@student.um.si, tomaz.kosar@um.si

Comparison of indoor positioning algorithms for large environments

Abstract. GPS (Global Positioning System) is a space-based radio-navigation system used to determine position and navigation of users and vehicles. Due to the GPS signal spreading problem in an indoor locations (roofs, walls, and other objects), it is not possible to use GPS to determine the location for example, of a vehicle in a parking garage. The problem that we have tried to solve is to develop a system for indoor positioning. It is a problem that many today want to solve, since people spend most of their time inside buildings where GPS has limited use. In this paper we present the use of some of the most commonly mentioned algorithms for user indoor positioning and navigation.

1 Uvod

Danes si ne znamo predstavljati visoko tehnoloških rešitev, ki ne bi vključevale mobilnih naprav. Omenimo samo navigacijo s pomočjo signala GPS (angl. Global Positioning System), kjer je uporaba mobilne naprave praktično nepogrešljiva. Na drugi strani se razvija področje internet stvari (angl. Internet of Things) in internet prihodnosti (angl. Future Internet) z vsemi pripadajočimi tehnologijami (mikrokrmilniki, računalniki z majhno porabe energije (angl. low power consumption computer), omrežja, senzorika, itd). Povezovanje teh dveh svetov verjetno predstavlja nove razvojne usmeritve na področju tehnike.

Povezovanje tehnologij je pogosto potrebno, ker trenutne posamezne tehnologije ne predstavljajo rešitve za vse probleme. Poglejmo si primer sistema za navigacijo uporabnikov. Na odprtih lokacijah se za določanje pozicije in navigacijo uporabnikov in vozil uporablja GPS. Zaradi omejitev, ki jih predstavljajo zaprti prostori, predvsem motnje v razširjanju satelitskih signalov, GPS ni možno uporabiti za namen določanja pozicije v notranjih prostorih. Problem, ki ga predstavljamo in smo ga reševali, je pozicioniranje v zaprtih prostorih (angl. Indoor Positioning System). Gre za problem, ki ga mnogi danes želijo rešiti, saj človek večino svojega aktivnega časa preživi v zaprtem prostoru. Omenimo samo nekaj

drugih primerov uporabe sistema za pozicioniranje v zaprtih prostorih: navigacija stranke do želene prodajalne ali najbližjih sanitarij znotraj nakupovalnega centra, pozicioniranje obiskovalca v muzeju, iskanje pisarn v velikih poslovnih centrih, ipd.

Na področju pozicioniranja v zaprtih prostorih se trenutno uporabljajo rešitve, ki temeljijo na radiofrekvenčnem valovanju. V teh rešitvah se meri moč signalov do oddajnikov WiFi (angl. Wireless Fidelity) in BLE (angl. Bluetooth Low Energy). Vendar pa te rešitve niso idealne. Poseben problem predstavljajo večji zaprti prostori, kot je npr. garažna hiša. Tu ne moremo uporabiti metode mapiranja (angl. fingerprinting) [1], saj gre za prostore enormnih velikosti. Ovire, ki so moteče za signal GPS (stebri, avtomobili, človek, odboji signalov od sten, ipd.), vplivajo tudi na pridobljene moči signalov WiFi/BLE in tako pokvarijo natančnost pozicioniranja. Zato so se pojavili različni algoritmi pozicioniranja, katerih uporaba je odvisna od narave problema. V tem članku predstavljamo uporabo nekaj najbolj pogosto omenjenih algoritmov za potrebe pozicioniranja in navigacije uporabnika v zaprti garažni hiši.

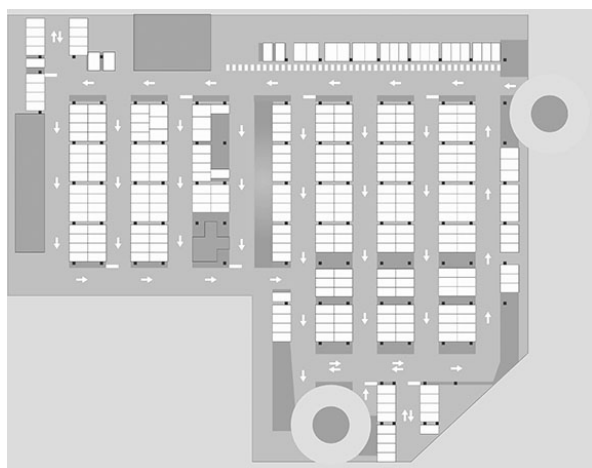
Članek je zgrajen iz petih poglavij. V drugem poglavju predstavimo uporabljeno strojno opremo v sistemu pozicioniranja. V tretjem poglavju sledi razlaga in prikaz implementacije algoritmov pozicioniranja, medtem ko so v četrtem poglavju podani rezultati primerjav različnih algoritmov iz realnih meritev. Zadnje poglavje povzame celotno realizacijo in nakaže smernice za nadaljnji razvoj.

2 Uporabljena strojna oprema

Želja v omenjenem projektu je bila postaviti temelje oz. narediti prvi prototip rešitve pozicioniranja avtomobilov v realnem okolju (tj. garažni hiši). Zato smo si pripravili testno progo v etaži garažne hiše X, kot jo vidimo na sliki 1. Zadalji smo si nalogo, da bomo omogočali uporabnikom navigacijo na mobilni napravi po zaprtem parkirišču in funkcionalnost "najdi svoj avto" s pomočjo katere bi uporabniki garažne hiše lahko ob povratku na parkirišče locirali svoje vozilo.

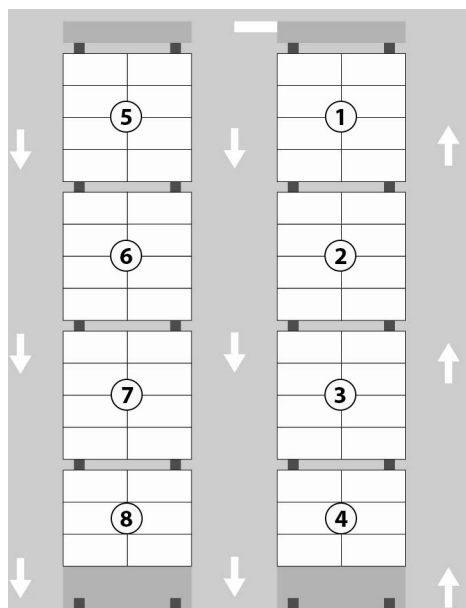
Ker zaradi cene nismo želeli uporabiti specializiranih, namenskih oddajnikov, smo naredili mrežo mikrokrmilnikov, kartičnih računalnikov, ki so služili kot WiFi/BLE oddajniki. Tako smo kot referenčne oddajnike uporabili nizkocenovne WiFi/BLE (angl. Bluetooth Low Energy)

Članek delno sofinancira Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport in Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada (PKP 2016 – Po kreativni poti do znanja).



Slika 1: Etaža garažne hiše.

čipe ESP WROOM 32, ki smo jih namestili na testno progno, kot je prikazano na sliki 2. Čip vsebuje 2 mikroprocesorja Xtensa 32-bit LX6, ki tečeta maksimalno pri taktu 240 MHz, ter 448 KB ROM (ang. Read Only Memory) prostora namenjenega programski opremi in 520 KB SRAM (ang. Static Random Access Memory) prostora, ki pa je namenjen podatkom. Wi-Fi RF (ang. Radio Frequency), ki ga čip oddaja je 2.484 GHz med tem, ko BLE RF oddaja s frekvenco 2.4 GHz.



Slika 2: Testna progna v etaži garažne hiše.

Programska oprema pripravljena za ta čip je vsebovala konfiguracijo oddajanja referenčnega signala. Ta konfiguracija zajema moč oddajanja signala, ki smo jo nastavili empirično na +20.5dBm (angl. decibel-milliwatts). Posamezen čip je tudi dobil unikatno ime, ki je bilo sestavljeno iz predpone "BEACON" in končnice, ki je vsebovala koordinate na zemljevidu zaprtega prostora. Medtem smo frekvenco in kanal oddajanja pustili na privzetih nastavitvah.

3 Implementacija algoritmov pozicioniranja

Iz literature poznamo mnogo pristopov brezžičnega pozicioniranja [2]. Skupno tem pristopom je, da uporabljajo podatke o moči signala (angl. Received Signal Strength Indicator, RSSI). Slabost teh pristopov je ta, da so občutljivi na prostorske interference [2, 3]. Iz lastnosti RSSI lahko tako določimo relativno oddaljenost v metrih po formuli [3]:

$$d = 10^{(A-RSSI)/(10*n)} \quad (1)$$

Pri čemer smo n eksperimentalno določili v območju med vrednostmi 1 in 4, spremenljivka A pa je izmerjena vrednost moči signala RSSI na oddaljenosti 1m. Relativna oddaljenost d se tako uporablja pri ocenitvi lokacije s pomočjo metod kot sta npr. trilateracija [4] in centriodi [5, 6, 7].

Izmed metod centroidov smo podrobneje pregledali tri in sicer:

- Centroid Localization (CL) [3],
- Weighted Centroid Localization (WCL) [6] in
- Weighted Centroid Localization RSSI (WCL-RSSI) [5].

3.1 Centroid Localization

V urejenem seznamu referenčnih točk glede na relativno oddaljenost, metoda CL izračuna centroide koordinat k referenčnih točk, ki so najbližje. Iz tega sledi formula za ocenitev pozicije p v prostoru:

$$p = \frac{\sum_{i=0}^k t_i}{k} \quad (2)$$

Pri čemer je $t_i = (x_i, y_i)$ koordinata točke referenčnega oddajnika.

3.2 Weighted Centroid Localization

Da bi izboljšali natančnost metode CL, ki računa preprosto povprečje najbližjih referenčnih točk, smo implementirali še metodo WCL. Ta metoda uporablja uteži za natančnejšo ocenitev pozicije. Utež za posamezno referenčno točko se določi s pomočjo relativne oddaljenosti (formula 3). Bližje referenčne točke imajo tako večjo utež kot tiste, ki so bolj oddaljene.

$$w_i = \frac{1}{(d_i)^g} \quad (3)$$

Spremenljivka d_i predstavlja relativno oddaljenost do i -te referenčne točke, konstanta g pa je enaka 1 kot so predlagali v [6]. Sedaj se ocena pozicije p določi kot:

$$p = \frac{\sum_{i=0}^k w_i t_i}{k} \quad (4)$$

3.3 Weighted Centroid Localization RSSI

WCL-RSSI še dodatno izboljša natančnost, saj uporablja za izračun uteži kar neposredno RSSI vrednosti in se pri tem izogne napaki pri računanju relativne oddaljenosti. Formula za uteži je sledeča:

$$w_i = \frac{\sqrt{(10^{\frac{RSSI_i}{10}})^g}}{\sum_{j=0}^{n_{AP}} \sqrt{(10^{\frac{RSSI_k}{10}})^g}} \quad (5)$$

V zgornji formuli, n_{AP} predstavlja število vseh dosegljivih referenčnih točk.

3.4 Trilateracija

Prav tako kot metodi CL in WCL deluje trilateracija [4] s pomočjo izračuna relativne oddaljenosti do referenčnih točk. Metoda oceni pozicijo z uporabo geometrije krogov. V 2D geometriji je znano, če točka leži na dveh krogih katerih središči in polmera poznamo, imamo dovolj podatkov, da lahko na dve mesti natančno določimo pozicijo točke. Splošna formula za krožnico je sledeča:

$$d^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (6)$$

V zgoraj navedeni formuli predstavljajo spremenljivke x, y, z koordinatno središče kroga, medtem ko d polmer kroga, ki je v našem primeru relativna oddaljenost.

Splošno formulo lahko poenostavimo za vsako referenčno točko s koordinatami (x_a, y_a, z_a) na sledeči način:

$$d^2 = (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 + (z - z_a)^2 \quad (7)$$

Ker rešujemo 2D problem, lahko koordinato z zanemarimo in dobimo:

$$d^2 = (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 \quad (8)$$

Sedaj je še potrebno rešiti sistem enačb krožnic, ki jih dobimo iz treh najbližjih referenčnih točk.

$$\begin{aligned} (d_1)^2 &= (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \\ (d_2)^2 &= (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 \\ (d_3)^2 &= (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 \end{aligned} \quad (9)$$

Za reševanje takšnega sistema smo uporabili metodo najmanjših kvadratov (angl. Least Squares), ki so jo predlagali v [8].

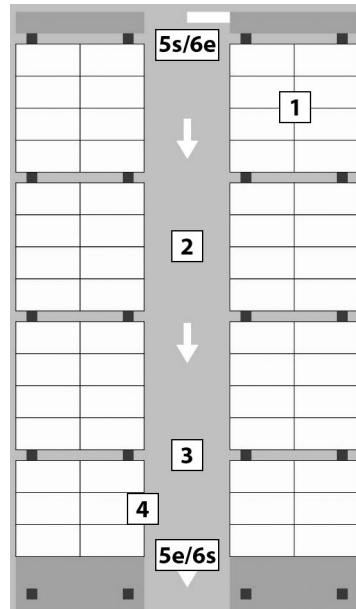
4 Potek testiranja

Za pridobitev kvalitativnih rezultatov iz meritev je bilo najprej potrebno vzpostaviti testno progo. To smo izvedli v zaprti garažni hiši X. Na voljo nam je bila cela etaža (slika 1). Skupaj se nahajajo tri oziroma štiri posamezna parkirna mesta na posamezni strani. Na razpolago smo imeli 8 referenčnih oddajnikov (glej poglavje 2). Bistvena pomena je, da oddajnike ne postavimo preveč skupaj ali narazen. Za testno progo smo vzeli sosednje skupke parkirnih mestih. Na vsaki strani so bili štirje oddajniki. To prikazuje slika 2. S krogi so označene posamezne lokacije oddajnikov. Dva sosednja oddajnika sta med seboj

oddaljena 10 metrov (slike oddajnikov niso v pravilnem razmerju). Torej oddaljenost med oddajnikoma 5 in 1 je 10 metrov ter med oddajnikoma 1 in 6 prav tako 10 metrov. Celotna velikost testne steze je okoli 450 m². Od tal so bili oddaljeni približno 2.2 metra, od stropa pa okoli 1 meter. Na poljubni lokaciji znotraj testne proge so bile vedno dosegljive vsaj tri dostopne točke.

Za namene testiranja delovanja algoritmov smo izdelali mobilno aplikacijo, ki je pridobivala moč signalov in jih shranjevala. Problem, na katerega smo naleteli med testiranjem, je bil ta, da je bil čas pregledovanja omrežja oz. dostopnih točk različen. Odvisno od naprave (in proizvajalca čipa) je bil čas med posameznima pregledovanjema dostopnih točk od 0.1 sekunde do 13 sekund. Pri snemanju testnih signalov smo uporabili tablični računalnik Nexus 7 2013, pri katerem je znašal čas poizvedovanja 11 sekund. V primeru uporabe za funkcionalnost "najdi svoj avto" je tak čas poizvedovanja sprejemljiv, neuporaben pa za navigacijo vozila.

V testiranju delovanja algoritmov smo izvedeli 6 meritev. Na sliki 3 so prikazane pozicije teh meritev. Pri meritvah 1-4 smo bili v mirovanju. Pri meritvah 5 in 6 pa smo simulirali počasno hojo. Pri tem s označuje začetno pozicijo, e pa končno pozicijo. Pri vseh meritvah smo tablični računalnik postavili na dlan. V okolici ni bilo večjih motečih dejavnikov, pri nekaterih meritvah sta bila v bližini en do dva avtomobila. V mirovanju je bilo število pregledovanj dostopnih točk pri posamezni meritvi okoli 10, pri hoji pa še okoli 5 več.



Slika 3: Pozicije meritev na testni progi.

5 Rezultati meritev

Za kvalitativno oceno meritev smo uporabili metriko RMSE (angl. Root Mean Squared Error). Splošno for-

Tabela 1: Primerjava rezultatov algoritmov pozicioniranja v 8 meritvenih točkah.

	CL	WCL	WCL-RSSI	Trilateracija
Meritev 1	5.410m	4.627m	4.243m	4.472m
Meritev 2	2.573m	2.472m	2.463m	2.906m
Meritev 3	1.328m	1.656m	1.875m	2.802m
Meritev 4	4.281m	2.724m	2.056m	3.262m
Meritev 5	2.675m	2.300m	2.251m	2.391m
Meritev 6	3.072m	2.626m	2.524m	2.411m
Povprečna napaka	3.223m	2.734m	2.569m	3.041m
Standardni odklon	1.306m	0.914m	0.610m	0.706m

mulo predstavlja enačba (10):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (10)$$

kjer je y_i referenčna pozicija, \hat{y}_i ocenjena pozicija, dobljena z algoritmom. n je 2, saj imamo opravka z 2D točkami.

V tabeli 1 so prikazani rezultati uporabe algoritmov pri pozicioniranju uporabnika v posamezni meritvi. Podani podatki so v metrih. Povprečno napako smo izračunali kot aritmetično sredino šestih meritev pri posameznem algoritmu. V tabeli je pri posameznem algoritmu podan tudi standardni odklon glede na povprečno napako.

Pri izračunih smo uporabili tri najbližje dostopne točke. Povprečne napake algoritmov znašajo pod pet metrov, kar v najslabšem primeru pomeni manj kot dve parkirni mesti narazen. Najboljše rezultate smo dobili pri algoritmu WCL-RSSI, vendar gre za minimalna odstopanja med posameznimi algoritmi.

Pri algoritmu WCL-RSSI dobimo povprečno napako 2.569 metra, kar pomeni, da smo pozicioniranje zgrešili za eno parkirno mesto.

6 Zaključek

V članku smo analizirali obstoječe algoritme na postavljenem sistemu oddajnikov za pozicioniranje v zaprtih prostorih. Pri analizi področja in testiranju metod smo naleteli na številne probleme. Velik problem je čas pregledovanja WiFi dostopnih točk, ki je odvisen od čipa proizvajalca, posledično pa od posamezne naprave. Ti dostopni časi so bili preveč variabilni, da bi lahko neprenehoma pozicionirali uporabnika. Potrebno bi bilo preveriti še naprave z drugimi čipi. Zanimivo bi bilo tudi primerjati čase pregledovanja pri tehnologiji BLE in prav tako meritve, ki bi jih dobili.

Implementirali smo štiri algoritme, med katerimi so trije temeljili na centroidih, eden pa na trilateraciji. Rezultati se niso bistveno razlikovali, lahko pa sklepamo, da bi se v podobnih situacijah najboljše izkazal WCL-RSSI ali pa trilateracija. Za boljše rezultate bi bilo potrebno algoritme prilagoditi, da bi uporabili prejšnje izračunane vrednosti kot vhod v trenutni izračun. Velik vpliv na delovanje metod ima tudi samo okolje. V zaprtim prostoru garaže je ogromno betonskih in armiranih konstrukcij, ki

vplivajo na odboje signalov in posledično na rezultate. Predvidevamo tudi, da bi bili rezultati še nekoliko slabši, če bi bilo v okolici testne proge še več avtomobilov.

V prihodnje načrtujemo natančnejše pozicioniranje s prilagoditvijo celotnega postopka. Ta bo sestavljen iz več korakov. Potrebno bo vzpostaviti model, ki bo dodatno utež namenil prejšnjim pozicijam. Te bi nato kombinirali s trenutnim izračunom in dobili natančnejšo vrednost. Korak izračuna trenutne pozicije bo vseboval tudi enega od zgoraj preizkušenih algoritmov (npr. WCL-RSSI). Če bo procesorska moč mobilne naprave dopuščala, bomo v posamezni iteraciji uporabili tudi več zgoraj opisanih algoritmov naenkrat.

Literatura

- [1] Z. Farid, R. Nordin, M. Ismail, Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System, *Journal of Computer Networks and Communications*, 2013, št. 2013, 12 strani.
- [2] J. Liu, R. Chen, Y. Chen, L. Pei, L. Chen, iParking: An intelligent indoor location-based smartphone parking service, *Sensors*, 2012, št. 12, zv. 11, str. 14612–14629.
- [3] P. Pivato, L. Fontana, L. Palopoli, D. Petri, Experimental assessment of a RSS-based localization algorithm in indoor environment, in: *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2010, IEEE, str. 416–421.
- [4] O. S. Oguejiofor, A. N. Aniedu, H. C. Ejiofor, A. U. Okolibe, Trilateration based localization algorithm for wireless sensor network, *International Journal of Science and Modern Engineering*, 2013, št. 1, zv. 10, 2319–6386.
- [5] I. N. Kosović, T. Jaguš, Enhanced weighted centroid localization algorithm for indoor environments, *International Journal of Computer, Control, Quantum and Information Engineering*, 2014, št. 8, zv. 7, str. 1219–1223.
- [6] J. Blumenthal, R. Grossmann, F. Golasowski, D. Timmermann, Weighted Centroid Localization in Zigbee-based Sensor Networks, in: *Intelligent Signal Processing (WISP 2007)*, 2007, IEEE, str. 1–6.
- [7] H. SHI, A new weighted centroid localization algorithm based on RSSI. In: *Information and Automation (ICIA'12)*, 2012, IEEE, str. 137–141.
- [8] Y. ZHOU, An Efficient Least-Squares Trilateration Algorithm for Mobile Robot Localization, in: *Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)*, 2009, IEEE, str. 3474–3479.