

Pregled metoda određivanja pozicije u zatvorenom prostoru

Miloš N. Borenović, Aleksandar M. Nešković, Mladen T. Koprivica

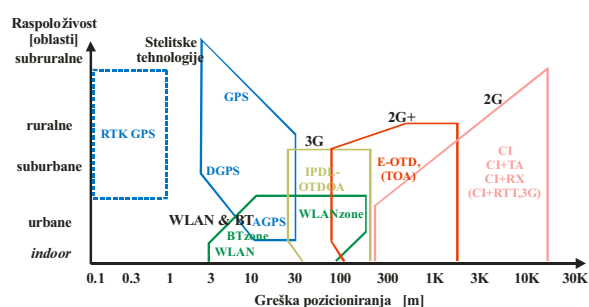
Sadržaj — U ovom radu je prikazan pregled postojećih RF rešenja za problem pozicioniranja u zatvorenim (engl., *indoor*) okruženjima. Postojeća rešenja su klasifikovana po tehnologijama na kojima počivaju (RFID, UWB, WLAN). Posebna pažnja je posvećena tehnikama pozicioniranja koje počivaju na WLAN infrastrukturnim mrežama. Konačno, izvršena je uporedna analiza predstavljenih rešenja sa aspekta preciznosti, raspoloživosti i ekonomske isplativosti.

Gljučne reči — Bluetooth, pozicioniranje, radio, RFID, UWB, WLAN.

I. UVOD

SA razvojem servisa koji u obzir uzimaju i informaciju o poziciji korisnika (*location-aware computing*), rastu i naporu da se, istraživanjem novih tehnika određivanja pozicije, iz određene *wireless* tehnologije „proizvede“ maksimum lokacijski zavisnih informacija.

Bežične tehnologije kratkog dometa poput *Radio-Frequency* (RF) tehnologija (WLAN, Bluetooth, i RFID [1]), ultrazvuk i IrDA (*Infrared Data Association*) mogu se koristiti za određivanje pozicije u okruženjima u kojima pružaju pokrivanje. U odnosu na *outdoor* tehnike, ove tehnologije pružaju veću preciznost određivanja pozicije, ali sa manjom oblašću pokrivenosti. Generalno poređenje preciznosti i oblasti pokrivenosti tehnika pozicioniranja prikazano je na Sl.1.



Sl. 1 Raspoloživost i preciznost postojećih metoda [2]

U ovom radu, predstavljene su postojeće RF tehnike određivanja pozicije u *indoor* okruženju, a u okviru njih akcentat je stavljen na metode pozicioniranja u WLAN infrastrukturnim mrežama.

Rad je organizovan kroz četiri poglavlja. U delu II su predstavljene RF tehnike i tehnologije određivanja pozicije u zatvorenom prostoru. Poređenje predstavljenih tehnika je u trećem delu, a zaključak je dat u delu IV.

M. N. Borenović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu; (telefon: 381-64-2352828; e-mail: milos@telekom.etf.bg.ac.yu).

A. M. Nešković, Elektrotehnički fakultet u Beogradu; (telefon: 381-64-1115983; e-mail: neskho@etf.bg.ac.yu).

M. T. Koprivica, Elektrotehnički fakultet u Beogradu; (telefon: 381-11-3218350; e-mail: kopra@etf.bg.ac.yu).

II. TEHNIKE ODREĐIVANJA POZICIJE

Postoji veliki broj tehnika radio-lociranja. Neke su implementirane na već postojeće radio interfejs kratkog dometa i realizovane su kao dodatni servisi, dok su druge razvijene namenski za svrhe pozicioniranja. Najpoznatije RF tehnologije u kojima je omogućeno pozicioniranje su: RFID, UWB, Bluetooth, i WLAN.

A. RFID (*Radio-Frequency Identification*)

RFID sistem se sastoji od tagova, čitača sa antenom i propratnog softvera. Tagovi se obično postavljaju na objekte lociranja, kako bi se mogla utvrditi njihova pozicija bez neophodnog postojanja linije optičke vidljivosti.

U zavisnosti od toga da li poseduju sopstveno napajanje, bateriju ili koriste energiju radio-talasa čitača koja se indukuje na njihovoj anteni, postoje, respektivno, tri osnovna tipa tagova: aktivni, polu-aktivni i pasivni.

Ovi uređaji rade u različitim frekvencijskim opsezima: 100 – 500 kHz, 10 - 15 MHz, 850 – 900 MHz, i 2.4 – 5.8 GHz [3].

RFID tehnike pozicioniranja zasnivaju se na poznavanju pozicije čitača. Kada objekat sa tagom, čija se lokacija određuje, uđe u domet čitača pretpostavlja se da je pozicija objekta jednaka poziciji čitača. Analogno, moguće je postaviti tagove po prostoru, a čitač na objekat čija se pozicija određuje. Greška zavisi od gustine postavljanja čitača (tagova). Kod aktivnih tagova, pozicioniranje je moguće unaprediti informacijom o nivou snage signala na prijemu.

B. Bluetooth

Bluetooth je tehnologija za prenos podataka i govora koju karakteriše kratak domet i niska potrošnja [4].

Osnovne Bluetooth specifikacije ne pružaju podršku za servise pozicioniranja [5], [6]. U odsustvu takve podrške, različiti istraživački pravci su urodili različitim rešenjima. Patil [7] je uveo koncept referentnih tagova i čitača pri čemu je razmatrao slučajeve kada je i kada nije podržan parametar o nivou snage signala. Sa druge strane, istraživanja koje su sproveli Hallberg *et al.* [8] ukazuju na nepouzdanost upotrebe nivoa snage signala za pozicioniranje i sugerišu da se ovaj parametar ne koristi.

Postoje i ideje da se više parametara koristi za određivanje pozicije. Tako se, pored nivoa snage signala na prijemu (*Received Signal Strength Indication* – RSSI) mogu upotrebiti i parametar kvaliteta linka (*Link Quality*), kao i verovatnoća greške po bitu (BER). Ipak, treba uzeti u obzir da su ovakva rešenja još u razvoju, kao i to da se poslednje dve veličine ne mogu lako izmeriti.

Najveća primena Bluetooth tehnologije je očekivana u *ad-hoc* mrežama pa, u skladu sa tim, treba koncipirati

tehnike pozicioniranja i LBS (*Location Based Services*).

C. UWB (Ultra-WideBand)

Ultra-wideband tehnologija ostvaruje kratke domete uz upotrebu izuzetno širokog dela radio-spektra za prenos.

Za razliku od konvencionalnih sistema, impulsi UWB sistemi su, zbog kratkog vremena trajanja impulsa, praktično imuni na probleme koji nastaju usled propagacije signala po višestrukim putanjama. S obzirom na trajanje impulsa i otpornost na višestruku propagaciju signala, nameću se UWB tehnike pozicioniranja koje koriste TOA (*Time of Arrival*) princip za određivanje udaljenosti od referentne stanice.

S obzirom na broj istraživanja u ovoj oblasti, u skoroj budućnosti treba očekivati veći broj komercijalno dostupnih sistema za pozicioniranje u zatvorenim prostorima zasnovanih na UWB tehnologiji.

D. WLAN

Tehnike određivanja pozicije korišćenjem WLAN mreža u infrastrukturnom režimu rada su veoma popularne. Razlog za to je sadržan u velikoj rasprostranjenosti 802.11 mreža, kao i u činjenici da je u postojećoj mreži moguće uspostaviti LBS bez dodatnog ulaganja u hardverske resurse. Na tržištu već postoji više kompanija koje nude komercijalno dostupna rešenja [9]. Generalno, postoji veliki broj pristupa problemu pozicioniranja. Najviše pažnje je posvećeno pozicioniranju na osnovu nivoa snage signala na mobilnom klijentu, ali postoje i drugi pristupi koji iziskuju dodatne hardverske komponente, a za uzvrat nude bolju preciznost i/ili kraće vreme implementacije sistema.

Pozicioniranje korišćenjem informacije o nivou signala na prijemu se u osnovi svodi na problem estimacije propagacionog slabljenja. Priroda problema predikcije propagacionog slabljenja u *indoor* okruženjima je izuzetno složena i zavisi od niza pretpostavki (tipa i konstrukcije zgrade i sl.) [10]. Čak i kada su poznati ovi osnovni parametri, teško je precizno estimirati propagaciono slabljenje. Za analizu se mogu koristiti determinističke i statističke metode. Većina metoda koje počivaju na RSSI parametru se oslanja na statistički pristup. Uspostavljanje njihove funkcije može se grubo podeliti na *off-line* fazu, ili fazu prikupljanja trening podataka i njihovog smeštanja u odgovarajuću bazu uzoraka, i fazu određivanja pozicija korisnika, ili *on-line* fazu. U *on-line* fazi algoritam za određivanje pozicije vrši poređenje izmerenog vektora RSSI i vektora RSSI koje poseduje u bazi uzoraka, i na osnovu korelisanosti vektora procenjuje poziciju mobilnog klijenta. Ovaj pristup određivanju pozicije u WLAN mrežama se najčešće naziva *Location Fingerprinting* metodom. Generalno, sam algoritam koji na osnovu trening podataka vrši procenu pozicije se može implementirati na različite načine.

Bahl i Padmanabhan („RADAR“) [11] su izvršili prvu detaljnu analizu mogućnosti upotrebe nivoa snage signala na prijemu za svrhe geolociranja u zatvorenim prostorima. Prema njihovom istraživanju, za potrebe pozicioniranja, mnogo je bolje koristiti RSSI nego SNR (*Signal to Noise Ratio*) parametar, jer RSSI znatno više zavisi od lokacije na kojoj se korisnik nalazi. Predložena su i dva algoritma za određivanje pozicije korisnika. Prvi, empirijski, poredi

RSSI vektor zabeležen u mobilnom klijentu, sa RSSI vektorima zabeleženim na različitim lokacijama u *off-line* fazi i nalazi, po predefinisanoj metrici, lokaciju čiji RSSI vektor ima najmanje rastojanje sa zabeleženim vektorom (*Nearest Neighbor* – NN). U ovom slučaju korišćeno je euklidsko rastojanje između vektora, a razmatrana je i ekstenzija ovog algoritma u tom smislu što se procenjena pozicije ne poistovećuje sa jednom tačkom čiji RSSI vektor ima najmanje rastojanje, već može postojati više, k , „najbližih“ tačaka u čijoj se „sredini“ nalazi procenjena pozicija (kNN algoritam). Analize pokazuju da se za vrednosti $k = 2$, i $k = 3$ dobijaju bolji rezultati u odnosu na polaznu verziju algoritma, dok se ta prednost, za veće k , gubi. Drugi algoritam opisan u ovom radu podrazumeva jednostavan propagacioni model zasnovan na Rice-ovoj raspodeli (pošto su merenja bila izvršena u hodnicima, ova raspodela je pogodnija od Rayleigh-eve).

Prisutan je i čitav niz napora da se jačina signala na prijemu statistički prouči i iz nje izvuče što veća količina lokacijski zavisnih informacija. Merenja [12] ukazuju da snaga signala, u blizini AP, slabi za 1 dB svakih 5 ft (1.524 m) dok je, u oblasti daljoj od AP, snaga signala slabije zavisna funkcija od udaljenosti. U cilju iskorišćenja maksimalne količine informacija iz prikupljenih RSSI vektora, predložen je bayesijanski pristup problemu koji, prema [13], daje bolje rezultate od NN algoritma. Naime, Bayesovo pravilo se može predstaviti kao:

$$p(l_t | o_t) = p(o_t | l_t) p(l_t) N \quad (1)$$

gde je l_t lokacija u trenutku t , o_t obzervacija primljenih snaga signala (vektor RSSI) u trenutku t , dok je N normalizacioni faktor. Drugim rečima, verovatnoća da se korisnik nalazi na lokaciji l pod uslovom da je primljen vektor snaga signala o , jednaka je proizvodu verovatnoće da se na lokaciji l dobije vektor RSSI o , i verovatnoće da se korisnik uopšte nađe na lokaciji l . Proces određivanja pozicije se sada svodi na izračunavanje uslovne verovatnoće $p(l_t | o_t)$ za svaku lokaciju. Lokacija za koju je izračunata najveća uslovna verovatnoća jeste procenjena pozicija korisnika. Da bi se sproveo navedeni postupak, neophodno je izračunati dve verovatnoće na desnoj strani jednačine (1). Prvi faktor, poznat i kao *likelihood* funkcija, se može izračunati na osnovu mape nivoa snage signala u svakoj lokaciji korišćenjem bilo kog pristupa koji će obezbediti funkciju gustine verovatnoće pojavljivanja obzervacije o za sve posmatrane lokacije. Što se tiče *a priori* verovatnoće $p(l)$, u prvoj implementaciji se može pretpostaviti da je ona konstantna, odnosno da se korisnik jednako verovatno može naći u svakoj od posmatranih lokacija, dok se za bolje rezultate može posvetiti više pažnje navikama korisnika, istoriji njegovog kretanja, itd.

Markovljevi lokalizatori predstavljaju još jedan zanimljiv probabilistički pristup [13]. Predložena je upotreba prelaznih verovatnoća između stanja, definisanih sa

$$p(l_t) = \sum_{l_{t-1}} p(l_t | l_{t-1}) p(l_{t-1}). \quad (2)$$

$p(l)$ je suma prelaznih verovatnoća sa svih lokacija u trenutku $t-1$, u lokaciju l (u trenutku t), pomnožena sa verovatnoćom da je korisnik bio u tim lokacijama u trenutku $t-1$. $p(l_{t-1})$ se može dobiti na osnovu prethodnih pokušaja određivanja pozicije, dok se $p(l_t | l_{t-1})$ računa na

osnovu modela kretanja koji se formira u zavisnosti od toga kakva vrsta kretanja se očekuje od korisnika. Na primer, za korisnika koji hoda, najjednostavnije je izračunati verovatnoće na osnovu maksimalnog mogućeg pomeraja između dva sukcesivna trenutka u kojima se vrši određivanje pozicije.

Youssef i Agrawala [14], [15] predstavili su svoj projekat „Horus“, koji je za cilj imao da obezbedi visoku preciznost i niske računске zahteve. Kako je snaga signala AP-a podložna varijacijama tokom vremena, autori su pokazali da autokorelacija između susednih odbiraka jačine signala od posmatranog AP može biti do 0.9. Oni predlažu autoregresivni model kojim bi se opisalo ovo ponašanje:

$$s_t = \alpha s_{t-1} + (1 - \alpha) v_t, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (3)$$

gde je v_t proces šuma, a s_t stacionarni niz uzoraka od posmatranog AP. Na osnovu ovog modela, varijansa ovako korelisanih uzoraka je

$$\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} \sigma^2. \quad (4)$$

Tokom trening faze, procenjuje se vrednost α i smešta zajedno sa parametrima raspodele μ i σ , a tokom faze određivanja pozicije, Gausova raspodela se modifikuje odgovarajućom α vrednosti. Slično kNN algoritmu, Horus sistem procenjuje poziciju korisnika kao centar mase K lokacija sa najvećim verovatnoćama $p(i)$:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^K p(i) x(i)}{\sum_{i=1}^K p(i)}. \quad (5)$$

Razlika u odnosu na kNN algoritam jeste da su lokacije ponderisane sa odgovarajućim verovatnoćama $p(i)$.

King *et al.* [16] razmatraju uticaje broja AP-a, broja uzoraka u trening fazi, broja uzoraka u fazi određivanja pozicije, kao i postavku mreže referentnih tačaka u kojima se merenja vrše. Oni su zaključili da je broj AP primarni faktor od koga zavisi greška pozicioniranja.

Battiti *at al.* [17] su razmatrali upotrebu veštačkih neuralnih mreža (ANN – *Artificial Neural Networks*) u svrhu pozicioniranja u WLAN mrežama. Ovakav pristup ne zahteva detaljno poznavanje strukture i radio-karakteristika prostora u kome se pozicioniranje vrši, kao ni pozicija AP. Korišćena je *multilayer feedforward* mreža sa dva nivoa i *one-step secant* metodom treniranja neuralne mreže. Razmatrani su različiti brojevi jedinica u skrivenom nivou. S tim u vezi, nije primećena velika zavisnost performansi metode kada se broj jedinica u skrivenom nivou povećavao preko optimalnog broja.

Na kraju, postoji i veliki broj istraživanja koji se bave upotrebom dodatnih hardverskih komponenti (digitalnih kompasa, *smart* antena, itd.), upotrebljivošću signala od ostalih radio-vidljivih mobilnih klijenata, upotrebom filtera (posebno proširenog Kalmanovog), kao i hibridnim metodama određivanja pozicije [18] – [25].

III. POREĐENJE TEHNIKA ODREĐIVANJA POZICIJE

Tehnike bazirane na IrDA i ultrazvuku nude pozicioniranje na nivou prostorije, mada kada je reč o ultrazvučnom pozicioniranju, postoje hibridne ultrazvuk-

RF tehnike koje imaju preciznost od čak 10 cm u 90% slučajeva. Ipak, šira upotreba ovih tehnika ograničena je ekonomskim parametrima. Sa te strane, prednost sigurno imaju RF tehnike. Prednosti i mane RF tehnologija koje omogućavaju pozicioniranje sumirane su u Tabeli 1.

TABELA 1: POREĐENJE TEHNOLOGIJA ZA INDOOR POZICIONIRANJE

	<i>Prednosti</i>	<i>Nedostaci</i>
RFID	Tehnologija pasivnih tagova (bez baterije) Dobra oblast pokrivenosti Skrivene lokacije tagova Dodatne informacije na tagu	Osetljivost na okruženje Velike greške pozicioniranja Velika potrošnja snage „čitačkog“ uređaja
Bluetooth	Veliki broj uređaja koji mogu biti locirani Veliki broj drugih servisa	Mali poluprečnik ćelije Ne postoji <i>handover</i> procedura Mali protok podataka
UWB	Otpornost u <i>multipath</i> okruženjima Visoka preciznost (tipično <1m u 95%) Mala spektralna gustina snage predajnika	Mali protok podataka Potrebna velika gustina senzorske mreže kako bi se obezbedio zadovoljavajući SNR
WLAN	Veliki protok podataka Visoka preciznost Velika zastupljenost na tržištu <i>Soft handover</i> procedura Ne zahteva dodatnu opremu zarad pozicioniranja	Sporo određivanje pozicije kad postoji mnogo klijenata Veliki uticaj okruženja na preciznost Ne može se odrediti orijentacija bez kretanja klijenta, ili dodatnih hardverskih komponenti

U okviru RF tehnologija, najveća preciznost se može očekivati od UWB tehnika. Međutim, kada se u obzir uzmu i raspoloživost i ekonomska isplativost, najveću komercijalnu perspektivu imaju WLAN tehnike.

TABELA 2: POREĐENJE WLAN TEHNIKA POZICIONIRANJA

RADAR	Posmatrani prostor: 43.5 m x 22.5 m Broj AP: 3 Preciznost: <3 m (50%) za kNN algoritam, <4.3 m (50%) za deterministički algoritam Broj merenja: 70 lokacija x 4 orijentacije x 20 uzoraka
Bayesijanski	St. devijacija signala u posmatranom prostoru 2.13dB Posmatrani prostor: 6 prostorija (kancelarija) i hodnik Broj AP: 5 Preciznost: <2 m (50%) Broj merenja: 132 lokacija x 4 orijentacije x 20 uzoraka
Horus	Posmatrani prostor: 15 m x 36 m, 312 m ² (hodnici) Broj AP: 1 – 14 Preciznost: srednja apsolutna greška 2 m Broj merenja: 612 lokacija x 110 uzoraka
ANN	Posmatrani prostor: 25.5 m x 24.5 m, 11 prostorija Broj AP: 3 Preciznost: 1.69 m (50%) Broj merenja: 300 lokacija

Što se tiče tehnika u okviru WLAN tehnologije, primat u pogledu performansi svakako imaju statističke metode. Kod determinističkih metoda veliki problem predstavlja

kompromis između preciznosti modela i širine oblasti njegove primene. Prema prikazanim istraživanjima donja granica srednje apsolutne greške pozicioniranja kod determinističkih metoda je između 3 i 4 m. Statističke metode su superiorne u tom pogledu i ostvarene srednje apsolutne greške pozicioniranja mogu biti manje od 2 m. U Tabeli 2 dat je uporedni prikaz WLAN tehnika.

IV. ZAKLJUČAK

Izbor optimalne tehnike pozicioniranja često nije lak zadatak. U obzir, pored zadovoljavajuće preciznosti i vremena odziva za zahtevani skup servisa, treba uzeti i skalabilnost, fleksibilnost (u smislu otvorenosti tehnologije za buduća unapređenja), raspoloživost i naravno cenu. Kada se govori o ceni treba voditi računa o tome da li se cena sistema deli između LBS i nekih drugih servisa poput prenosa podataka ili govora, odnosno da li postavljena infrastruktura omogućava i druge servise osim LBS. Iz te perspektive, tehnike određivanja pozicije koje se zasnivaju na WLAN mrežnoj infrastrukturi su u velikoj prednosti.

Kod WLAN statističkih metoda, koje su po pravilu bolje od determinističkih, glavni kompromis je između preciznosti tehnike i „cene“ prikupljanja trening podataka. Treba imati na umu da zavisnost između veličine trening skupa i preciznosti tehnike nikako nije linearna, te da se dodavanjem merenih rezultata u trening fazi dobijaju sve manja poboljšanja u performansama tehnike. Predstavljene performanse su najčešće dobijene bez obzira na vreme utrošeno na prikupljanje trening skupa podataka jer su prostori u kojima je određena tehnika razmatrana to, svojom površinom, dopuštali. U tom smislu, te performanse treba posmatrati kao maksimalne dostižne, ali možda ne i optimalne. Naravno, „optimalno“ treba posmatrati ne samo spram utrošenog vremena na prikupljanje trening skupa, već i kroz prizmu zahtevanih LBS. Od svih prikazanih metoda, veštačke neuralne mreže kao algoritam za pozicioniranje nude najbolji odnos između preciznosti tehnike i vremena utrošenog na prikupljanje trening podataka.

Činjenica koja je često zapostavljena pri prethodno navedenim istraživanjima je da su AP, s obzirom da su LBS najčešće samo dodatni skup servisa, planski postavljeni tako da se ostvari optimalno radio pokrivanje. To znači da je u svakoj tački posmatranog prostora dovoljno da bude radio-vidljiv samo jedan AP. Ono što se najčešće zahteva kod predstavljenih tehnika je radio-vidljivost sa bar tri AP. S obzirom na gustinu postavljenih AP, količinu trening podataka i površine posmatranih prostora, predstavljene performanse statističkih metoda u WLAN mrežama treba uzeti s rezervom u pogledu ostvarivosti u realnim, već postavljenim, sistemima.

LITERATURA

- [1] Walke, B., "Mobile Radio Networks", John Wiley&Sons, Ltd. 2000.
- [2] Syrjarinne, J., "Satellite-Based Positioning techniques", Nokia Mobile Phones, Mobile Location Workshop, June 7-8., 2001, Espoo, Finland.
- [3] H. D. Chon, S. Jun, etc., "Using RFID for Accurate Positioning", Jour. of Global Positioning Systems, 2004, Vol. 3, No. 1-2: 32-39.
- [4] Muller N., "Bluetooth Demystified", McGraw-Hill, N.Y., 2001.
- [5] Bluetooth Special Interest Group (2001). Specification Vol. 1, Spec. of the Bluetooth System, Core. Version 1.1, Feb. 22, 2001.

- [6] Bluetooth Special Interest Group (2001). Specification Vol. 2, Spec. of the Bluetooth System, Profiles. Version 1.1, Feb. 22, 2001.
- [7] Patil, A., "Performance Of Bluetooth Technologies And Their Applications To Location Sensing", Michigan State Univ., 2002.
- [8] K. Thapa, S. Case, "An indoor positioning service for Bluetooth Ad Hoc networks", in: MICS 2003, Duluth, MN, USA.
- [9] Gryazin, E.A., Krassi, B.A., Tuominen, J.O., "WLAN Technology for Indoor Positioning and Navigation", "New Information Technologies. Development and Applications", Nov. 27-28, 2003, Taganrog, Russia. pp. 10-23, ISBN 5-880440-037-9
- [10] A. Nešković, N. Nešković, Đ. Paunović, "Indoor Electric Field Level Prediction Model Based on the Artificial Neural Networks", IEEE Communications Letters, vol. 4, No. 6, June 2000.
- [11] Bahl, P. Padmanabhan, V.N., "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system", INFOCOM 2000., 2000, Volume: 2, On page(s): 775-784 vol.2, Tel Aviv, Israel
- [12] A. Smailagic, J. Small, and D. Siewiorek, "Determining User Location For Context Aware Computing Through the Use of a Wireless LAN infrastructure," Dec. 2000.
- [13] A. B. Li, J. Salter and C. Rizos, "Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN" in AusWireless '06, Sydney, March 2006.
- [14] Youssef, M. and Agrawala, A., "The Horus WLAN Location Determination System", Int. Conf. on Mobile Systems, Applications And Services, 2005, pages 205-218.
- [15] K. Eckert, "Overview of Wireless LAN based Indoor Positioning Systems", Mobile Bussines Seminar, University of Mannheim, Germany, Dec. 14, 2005.
- [16] K. Thomas, H. Thomas, E. Wolfgang, "Key Factors for Position Errors in 802.11-based Positioning Systems", Tech. Rept. / Dept. for Math. and Computer Science, Univ. of Mannheim, 2007.
- [17] R. Battiti, T. L. Nhat, A. Villani, "Location-aware Computing: A Neural Network Model For Determining Location in Wireless LANs", Feb. 2002, Technical Report # DIT-02-0083
- [18] T. King, S. Kopf, T. Haenselmann, etc., "COMPASS: A Probabilistic Indoor Positioning System Based on 802.11 and Digital Compasses", Univ. of Mannheim, Germany, TR-2006-012
- [19] Sayrafian-Pour, K. Kaspar, D., "Indoor positioning using spatial power spectrum", IEEE PIMRC 2005., Sept. 2005, Volume: 4, On page(s): 2722-2726 Vol. 4, ISBN: 9783800729098
- [20] M.Helén, J.Latvala, H.Ikonen, and J.Niittylähti: "Using Calibration in RSSI-based Location Tracking System" CSCC2001, July 8-15, 2001, Rethymnon, Greece.
- [21] Muthukrishnan, K., Meratnia, N., etc., "SVGOpen Conf. Guide: An overview", SVG'05, 15-18 Aug 2005, Enschede, Netherlands.
- [22] Z. Xiang, S. Song, J. Chen, etc., "A wireless LAN-based indoor positioning technology", IBM Jour. of Research and Development archive, Vol. 48, Issue 5/6 (Sep./Nov. 2004), p: 617 - 626.
- [23] F. Evennou, "Sensor Fusion for UWB and Wifi Indoor Positioning Systems", France Telecom, ISART, 2005.
- [24] Y. Fukuju, M. Minami, etc., "DOLPHIN: An Autonomous Indoor Positioning System in Ubiquitous Computing Environment", WSTFES2003, pp.53-56, Hakodate, Japan, May 2003.
- [25] T. Kitasuka, T. Nakanishi, A. Fukuda, "Design of WIPS: WLAN-Based Indoor Positioning System", Korea Multimedia Society, Vol.7, No.4, pp.15-29, Dec. 2003.

ABSTRACT

This paper presents an overview of known indoor positioning techniques. The existing solutions are initially classified with respect to the technology they rely on (RFID, UWB, WLAN), and then, a further distinction between techniques within a particular technology was made with focal point on WLAN positioning techniques. Finally, a comparative analysis of shown positioning techniques, regarding accuracy, availability and cost effectiveness, was presented.

AN OVERVIEW OF INDOOR POSITIONING TECHNIQUES

M. Borenović, A. Nešković, M. Koprivica