

Uporaba neusmerjenih anten za oceno kota prihoda RF signala

Marko Malajner

Fakulteta za elektrotehniko računalništvo in informatiko
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor
Univerza v Mariboru
E-pošta: marko.malajner@um.si

Abstract

Angle of Arrival (AoA) is an important factor in the localization of a wireless sensor network. This paper deals with AoA measurement using omnidirectional antennas. One rotatable antenna and twelve static antennas were used in experiment. Results shows that error of estimation for static antennas were about 20° outdoor and 70° indoor. Rotatable antenna has error about 10° outdoor and 60° indoor.

1 Uvod

Brezžična senzorska omrežja (BSO) se vse pogosteje uporablajo v praksi. Opravljam lahko več nalog, kot so: merjenje fizikalnih količin (temperatura, vlažnost...), sledenje objektom v prostoru, avtomatizacija pametnih hiš, itd. BSO so v osnovi sestavljene iz senzorskih enot. Senzorske enote pa so sestavljene iz: (i) radijskega dela, ki skrbi za komunikacijo z ostalimi enotami, (ii) senzorjev, ki zajemajo podatke o fizikalnih količinah, (iii) avtonomnega napajanja in (iv) procesorske enote, katera nadzruje prej naštete module.

V veliko primerih so senzorske enote naključno razporejene v prostoru in v tem primeru ni podatka o lokaciji, kjer je posamezna enota nameščena. Podatek iz omrežja brez lokacijske informacije je malo vreden. Zato je potrebno zgraditi mehanizem, ki locira vsako enoto posebej. Najbolj razširjen sistem je sledenje s pomočjo GPS. Ta sistem ima nekaj pomankljivosti za uporabo v BSO. Ne omogoča lokalizacije znotraj stavb, ima veliko porabo energije in pa GPS modul preseže ceno senzorske enote, ki mora biti čim cenejša in energijsko varčna. Zato se razvijajo tehnike, ki so primerne za uporabo v BSO.

Primarno lahko fizično izmerimo dve vrednosti za uporabo v lokalizaciji, to sta: (i) čas preleta signala (ToF – Time of Flight) in (ii) sprejeta moč RF signala na sprejemniku. S pomočjo teh dveh vrednosti lahko določimo lokacijo enote. V BSO so poznane tri osnovne tehnike lokalizacije: (i) merjenje časa prihoda RF signala (ToA – Time of Arrival), (ii) Merjenje kota prihoda RF signala na sprejemnik (AoA – Angle of Arrival) in (iii) merjenje moči sprejetega RF signala [1]. Pri prvi in tretji tehniki iz meritev izračunamo razdaljo med sprejemnikom in oddajnikom. Iz razdalj lahko s pomočjo trilateracije določimo pozicijo enote. Pri tehniki AoA pa z merjenjem moči ali časa določimo smer oz. kot prihoda signala na

sprejemnik. Če poznamo kot prihoda signala do dveh referenčnih točk, lahko s triangulacijo določimo pozicijo enote.

V prispevku bomo opisali našo metodo določanja kota prihoda z uporabo neusmerjenih anten in merjenja sprejetih moči. Kot prihoda signala lahko ocenimo s pomočjo polja anten [2], kjer merimo razliko časa prihoda signala ali moči na posamezne antene. Lahko pa uporabimo antene, katerim oblikujemo sevalni snop v eno smer in jih fizično vrtimo okoli svoje osi. V tem primeru pa iščemo največjo sprejeto moč. V smeri največje sprejete moči je tudi smer prihoda signala. Naša metoda se razlikuje od prej naštetih. Razvili smo metodo, kjer lahko uporabimo neusmerjene antene in uspešno določimo smer kota prihoda. Prednost metode je v tem, da lahko uporabimo poceni radijske module brez predelave anten.

V drugem poglavju bomo opisali teoretično ozadje naše metode, v tretjem poglavju opis strojne opreme, v četrtem poglavju nekaj eksperimentalnih rezultatov in v zadnjem bomo povzeli prispevek.

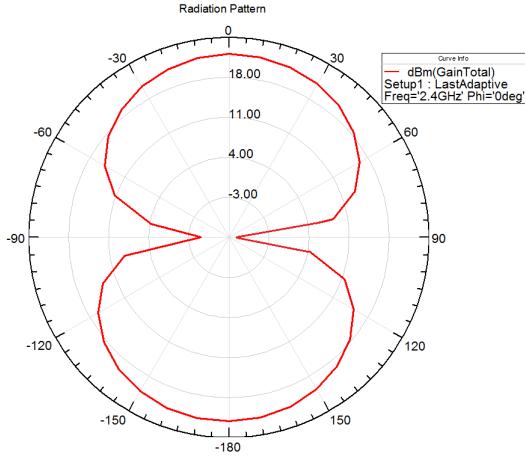
2 Teoretično ozadje predlagane metode

Idealna antena se obnaša kot točkovni izvor EM sevanja zato seva v vse smeri enakomerno. V praksi takšna antena ne obstaja. Približek takšne antene je dipolna antena, ki jo imenujemo tudi neusmerjena antena. Realni dipol je rahlo usmerjen in seva manj v smeri osi antene. Sevalni diagram dipola lahko zapišemo z enačbama, ki opisujeta E– in H– ploskev sevalnega diagrama [3]:

$$E_\theta \simeq j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \theta)}{\sin \theta} \right] \quad (1)$$

$$H_\phi \simeq \frac{E_\theta}{\eta} \simeq j \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \theta)}{\sin \theta} \right] \quad (2)$$

kjer je η intristična impedanca medija, r je radij razdalje, θ je azimutni kot, ϕ je elevacijski kot in I_0 je tok skozi anteno. Slika 1 prikazuje E-ravnino uporabljenega dipola v naših eksperimentih. Na sliki 1 opazimo dve področji, kjer je sevanje antene manjše, to sta območji pri 90° in -90° . Če ta diagram vrtimo okoli centra in konstantno sprejemamo signla iz oddajnika, lahko z merjenjem moči signala določimo smer v kateri se nahaja oddajnik. V smeri najmanjše izmerjene moči se nahaja oddajnik. Za namen iskanja kota prihoda smo zgradili dve



Slika 1: E– ravnina sevalnega diagrama dipolne antene

različici strojne opreme, ki ju bomo opisali v naslednjem poglavju.

3 Izgradnja strojne opreme

Za ocenjevanje kota prihoda smo uporabili ZigBee modul MRF24j40MA [4] z vgrajeno mikrostrip anteno. Anteno lahko okarakteriziramo kot četrt valovni monopol. Monopol skupaj z maso predstavlja dipol in ima enak sevalni diagram kot dipol [5]. Za namen krmiljenja radijskega modula preko SPI vodila smo uporabili SPaRC Mosquito modul z vgrajenim Cortex M3 mikrokrmilnikom [6].

3.1 Sistem z eno rotirajočo anteno

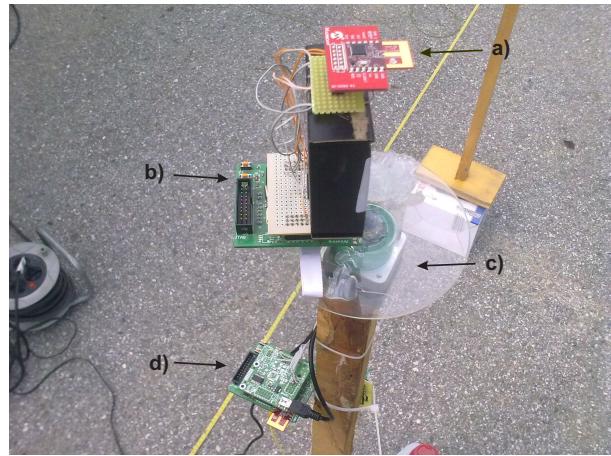
V prejšnjem poglavju smo omenili, da z vrtenjem sevalnega diagrama lahko ocenimo kot prihoda signala. V ta namen smo sestavili strojno opremo, ki vrti anteno okoli svoje osi. MRF24j40MA SPaRC Mosquito modul sta pritrjena na koračni motor. Koračni motor krmili drugi SPaRC Mosquito modul, ki je tudi preko USB povezan s prenosnim računalnikom. Celoten sistem je na sliki 2.

3.1.1 Potev meritev

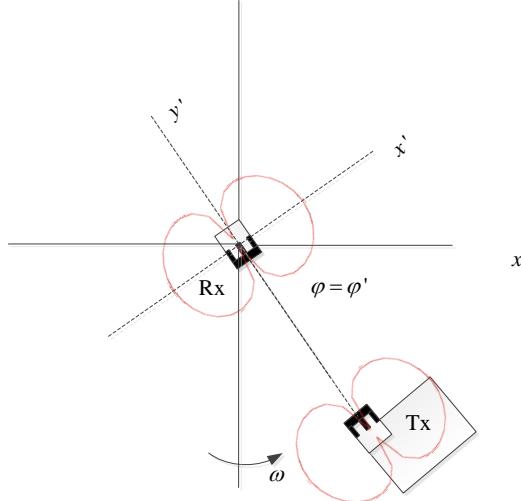
Oddajnik časovno enakomerno oddaja pakete podatkov. Sprejemnik pritrjen na koračni motor sprejeme cca. 40 paketov in jih pošlje skupaj z informacijo o koraku na prenosni računalnik. Moč oz. RSSI izmeri sprejemni modul za vsako sprejetoto sporočilo in ga doda v paket podatkov. Nato mikrokrmilnik zavri motor za en korak ($3, 6^\circ$) in ponovno sprejme 40 paketov. Ciklus se ponavlja, dokler koračni motor ne naredi polnega kroga 360° . Nadaljna obdelava podatkov se vrši na prenosnem računalniku. Shematski prikaz merjenja je prikazan na sliki 3.

3.2 Sistem z več statičnimi antenami

Namesto koračnega motorja smo uporabili v tem eksperimentu več anten položenih na obod kroga (slika 4). S tem izgubimo vse mehanske dele merilnega sistema. Izgubimo pa tudi na resoluciji meritev, ker imamo 12 anten pomeni, da je teoretično najvišja resolucija enaka 30° . V



Slika 2: AoA merilni sistem z eno sprejemno anteno. a) Sprejemna antena. b) SPaRCMosquito s sprejemno anteno. c) Koračni motor. d)SPaRCMosquito za pošiljanje podatkov na PC in za krmiljenje motorja.

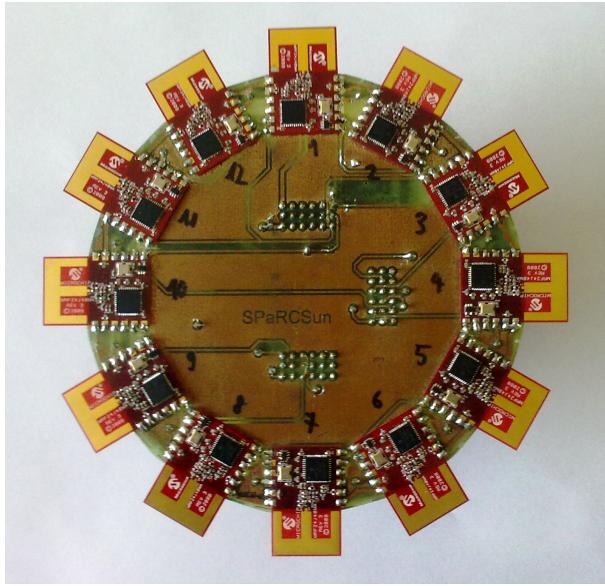


Slika 3: Vrtenje antene okoli koordinatnega izhodišča. Tx je oddajnik, Rx je sprejemnik.

prejšnjem primeru pa je bila resolucija $3,6^\circ$. To slabost lahko rešimo z obdelavo signalov, in sicer z interpolacijskimi ali aproksimacijskimi metodami.

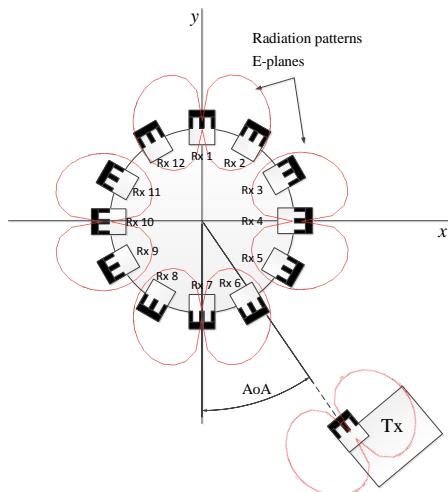
3.2.1 Potev meritev

Meritev pri tem sistemu poteka podobno kot pri prejšnjem. Le, da tukaj ni potrebno vrteti anten. Oddajnik konstantno pošilja pakete podatkov, vsi sprejemniki jih pa sprejemajo sočasno. Mikrokrmilnik zaporedoma prenese paket iz vsakega sprejemnega modula. Ko mikrokrmilnik prenese cca. 40 paketov z vsakega modula je meritev zaključena. V praksi to pomeni, da se meritev izvede v nekaj sekundah napram prejšnjemu sistemu, kjer je meritev trajala cca. minutu. Slika 5 prikazuje shemo merjenja sprejete moči pri metodi z 12 statičnimi antenami. Na-



Slika 4: Merilna plošča z moduli MRF24J40MA.

risni so samo širje sevalni diagrami namesto 12 zaradi preglednosti slike.



Slika 5: Princip merjenja AoA z 12 statičnimi antenami.

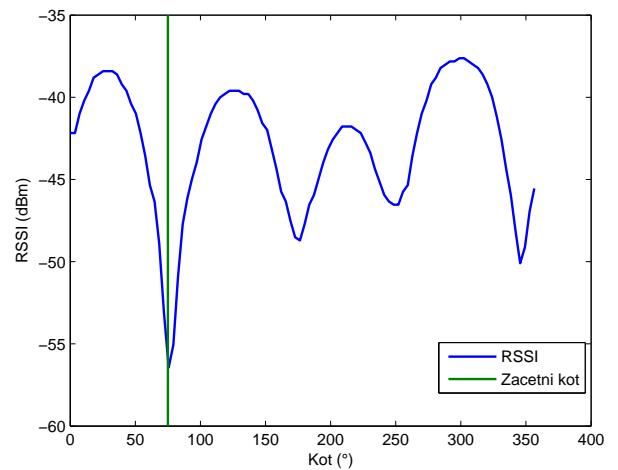
4 Eksperimentalni rezultati

Eksperimente smo naredili v dveh različnih okoljih, in sicer na prostem, kjer je bil odboj signala samo od tal in pa v prostoru, kjer se je signal odbjal od sten, stropa, pohištva, itd. Oddajnik in sprejemnik sta bila nameščena na stojalu 1 m od tal. Merili smo na različnih začetno nastavljenih kotih in na različnih razdaljah v koraku 1 m.

4.1 Odziv merilnega sistema z eno anteno

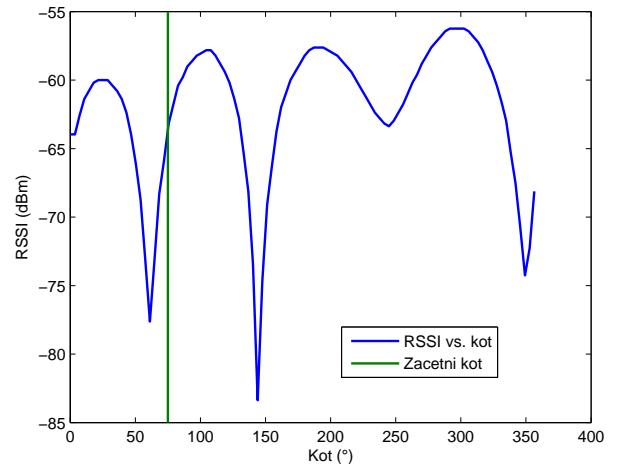
Meritve na prostem z eno anteno nam je postregla z odzivom na sliki 6. Modra krivulja je odziv sprejetne moči (RSSI) od kota zasuka antene. Navpična črta pri cca. 75°

pa prikazuje vrednost pravilnega kota oddajnika. Opozimo lahko lepo ujemanje minimuma s kotom oddajnika. S tem se potrdi naša teza, da lahko iščemo AoA z iskanjem minimalne sprevjete moči.



Slika 6: Sprejeta moč v odvisnosti kota zasuka na prostem.

Meritve na prostem so vse vrnilne dobre rezultate, saj ni odbojev od objektov. V prostoru pa so se pojavljali neželeni odboji, ki so kvarno vplivali na ocenjevanje kota prihoda. Na sliki 7 lahko opazimo neželen odboj, ki se pojavi kot minimum desno od pravilnega minimuma. Takšen odboj je težko eliminirati zato je pogrešek metode večji, in sicer v tem primeru je pogrešek cca. 80° .

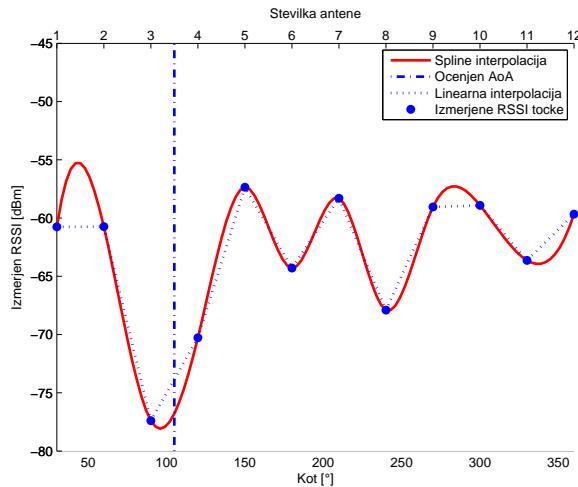


Slika 7: Sprejeta moč v odvisnosti kota zasuka v prostoru.

4.2 Odziv merilnega sistema z več statičnimi antenami

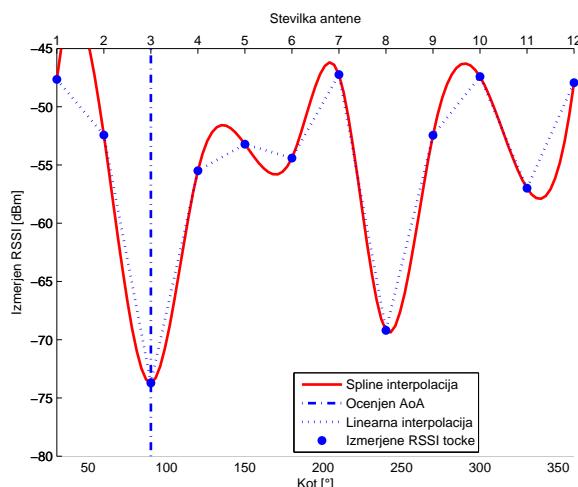
Eksperimente opisane v 4.1 smo ponovili s sistemom 12. anten, opisanim v poglavju 3.2. Slika 8 prikazuje odziv sistema s statičnimi antenami. Meritve so bile opravljene na prostem, brez ovir. Točke označujejo izmerjene vrednosti RSSI na posamezni anteni. Začetni kot oddajnika

je bil nastavljen na sredino med 3. in 4. anteno. Opažimo lahko, da so bile tam izmerjene najnižje vrednosti RSSI. Samo z metodo iskanja minimuma, dobimo AoA pri tretji anteni, kar pomeni 15° pogrešek. Z enostavno interpolacijo "spline" lahko zelo izboljšamo rezultat kota prihoda. Krivulja na sliki 8 prikazuje spline interpolacijo med izmerjenimi RSSI točkami. Sedaj je pogrešek cca. 10° .



Slika 8: Sprejeta moč v odvisnosti kota zasuka in interpolacija izmerjenih točk.

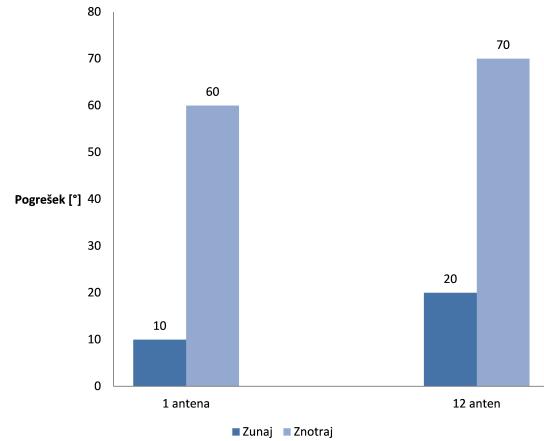
Enako kot v prejšnjem eksperimentu, smo tudi s sistemom 12 anten izvedli meritve v prostoru, kjer se pojavljajo neželeni odboji. Na sliki 9 se vidi neželen odboj, desno od pravilnega kota. V tem primeru je ta minimum manjši od pravega minimuma. Kako veliki so neželeni odboji je odvisno od pozicije oddajnika in sprejemnika, ter konfiguracije prostora.



Slika 9: Sprejeta moč v odvisnosti kota zasuka in interpolacija izmerjenih točk v prostoru.

5 Primerjava obeh sistemov

Poleg prikazanih rezultatov v prejšnjem poglavju, smo izvedli še veliko eksperimentov na različnih razdaljah in različnih kotih. Vse smo analizirali ter povprečili rezultate. Slika 10 prikazuje povprečne rezultate ocene kota prihoda signala. Kot je pričakovano, je povprečen pogrešek v prostoru dosti višji kot pa na prostem. Prav tako so rezultati slabši za 12 anten, ker je resolucija tega sistema dosti manjša, kot sistema z rotirajočo anteno.



Slika 10: Sprejeta moč v odvisnosti kota zasuka in interpolacija izmerjenih točk v prostoru.

6 Zaključek

Opisali smo novo metodo za ocenjevanje kota prihoda s pomočjo neusmerjenih anten. Naredili smo dva sistema, z rotirajočo anteno in s statičnimi antenami. Meritve so pokazale, da so rezultati boljši, če eksperiment izvajamo na prostem in brez ovir, katere povzročajo odboje signala. Sistem z eno anteno je natančnejši, vendar je počasnejši in vsebuje mehanske dele.

Literatura

- [1] N. Patwari, A.O. Hero, M. Perkins, N.S. Correal, and R.J. O'Dea. Relative location estimation in wireless sensor networks. *Signal Processing, IEEE Transactions on*, 51(8):2137–2148, 2003.
- [2] S. Maddio, A. Cidronali, and G. Manes. An azimuth of arrival detector based on a compact complementary antenna system. In *Microwave Conference (EuMC), 2010 European*, pages 1726–1729, 2010.
- [3] C. A. Balanis. *Antenna Theory, Analysis and Design*. Wiley, 3 edition, 2005.
- [4] Mrf24j40ma - rf.
- [5] R. Dean Straw. *The ARRL Antenna Book*. The national association for ARRL amateur radio, 21 edition, 2007.
- [6] M. Malajner, K. Benkic, P. Planinsic, Gleich D., and Z. Cucej. Modul brezščnih senzorskih omrežij sparcmosquito v.2. In *Zbornik sedme konference AIG'11 Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu, 31. marec in 1. april 2011, Maribor, Slovenija*, pages 1–5, 2011.