

(19) REPUBLIKA SRBIJA

(12) Patentni spis

(11) 53647 B1



ZAVOD ZA
INTELEKTUALNU SVOJINU
BEOGRAD

(51) Int. Cl.
G 01 S 5/00 (2006.01)
G 01 S 11/00 (2006.01)

(21) Broj prijave: P-2011/0278
(22) Datum podnošenja prijave: 28.06.2011.
(43) Datum objavljivanja prijave: 29.02.2012.
(45) Datum objavljivanja patenta: 30.04.2015.

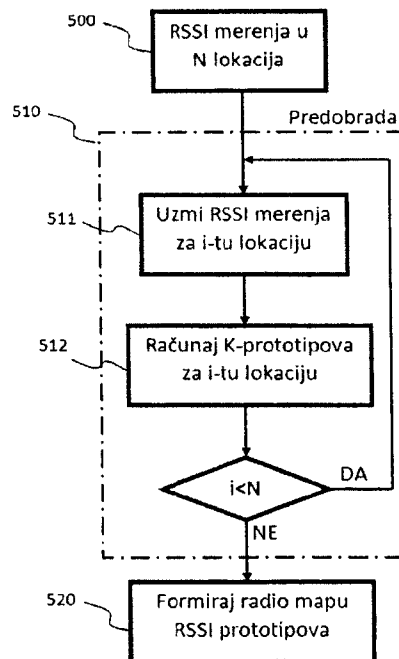
(73) Nosilac patenta:
RT-RK D.O.O.,
Fruškogorska 11, 21000 Novi Sad, RS
(72) Pronalazači:
KUKOLJ, Dragan, dr.; SAMARDŽIJA, Dragan, dr.;
KOVAČEVIĆ, Jelena, dr.; KOJIĆ, Dejan

(54) Naziv: POSTUPAK FORMIRANJA RADIO
MAPE ZA SISTEME BEŽIČNE
LOKALIZACIJE U ZATVORENOM
PROSTORU

(51) Int. Cl.
G 01 S 5/00 (2006.01)
G 01 S 11/00 (2006.01)

(57) Apstrakt:

Postupak formiranja radio mape za sisteme bežične lokalizacije u zatvorenom prostoru ima za novost postupak (510) pred-obrade koji se sastoji od koraka (511) gde se određuju izmerenih m RSSI vektora za svaku referentnu tačku u radio mapi i faze (512) gde se grupišu navedeni vektori u k grupa i centri svake grupe se nazivaju prototipovi, postaju reprezentativni RSSI vektori date referentne tačke u radio mapi. Na taj način se postiže kompresija podataka u radio mapi i nalaženje najreprezentativnijih vrednosti snage primljenog signala za svaku tačku prostora. Time je svaka referentna tačka radio mape definisana sa k vektora prototipova koji sadrže snage primljenog signala (RSSI) dobijenih sa baznih stanica. Za grupisanje m vektora izmerenih RSSI signala se koristi algoritam za učenje bez nadzora koje odlikuje osobina da izlazni vektori čuvaju topologiju ulaznih podataka. Faza (500) merenja RSSI signala, zatim faza (510) njihove obrade i faza (520) memorisanja se ponavlja za sve referentne tačke prethodno definisanog zatvorenog prostora. Postupak formiranja „radio mape“ je sastavni deo metoda za lokalizaciju zasnovan na otiscima snage primljenih signala i primenjiv je na svim rasprostranjenim bežičnim komunikacionim standardima IEEE.802.15, IEEE.802.11, IEEE 802.16 itd.



RS 53647 B1

Области технике на коју се проналазак односи

Проналазак припада области локализације мобилних чворова у оквиру бежичних сензорских мрежа и других бежичних комуникационих мрежа. Проналазак се посебно односи на поступке и системе за бежичну локализацију у затвореним просторима засновану на отиску сигнала.

Ознака према међународној класификацији патената (МКП) је: **G01S5/00** и **G01S11/00**.

Технички проблем

Лоцирање и праћење људи и објеката у затвореним просторима има бројне примене: праћење производа у магацинима и фабрикама, надгледање болесних или старијих особа у болницама, домовима и слично. Најчешће коришћена бежична локализациона техника за затворене просторе је заснована на отиску радио (RF) сигнала (енг. *location fingerprinting*). Локализација помоћу отиска сигнала врши естимацију локације поређењем снага примљених сигнала од више базних станица и претходно записаних мерења снага сигнала која су извршена на познатим локацијама. Измерене вредности снаге примљених сигнала са познатих локација се организују у такозвану „радио мапу“ разматраног простора. Од начина организације радио мапе, резолуције простора и одабраних параметара сигнала зависи тачност и ефикасност методе локализације. Проналазак открива алтернативни начин избора репрезентативних вредности снага сигнала асоцираним локацијама разматраног простора.

Стање технике

Данас постоји више система за бежичну локализацију намењених за праћење и позиционирање објеката и особа у затвореним просторима. Већина ових система се заснива на методама радио отисака. Поступак локализације радио отисцима описан у патенту US 6,269,246 пријављен 22. септембра 1998. године под називом, „Location determination using RF fingerprinting“, представља генералан опис принципа рада ове методе у којој се пореди RF спектар примљеног сигнала на мобилној јединици са ускладиштеним облицима RF спектра који су асоцирани за одговарајуће локације, при чему се ускладиштени подаци о сигнаlima претходно смештају у базу података и могу се ажурирати. Постоји много различитих варијанти решења бежичне локализације методом отиска сигнала које се односе на начине како се генерише база

отисака сигнала или како се њена претрага врши ради налажења најсличнијег отиска. Неколико познатих и заштићених решења је наведено у даљем тексту. Патент US 6,104,344 пријављен 24. марта 1999. под називом, "Efficient storage and fast matching of wireless spatial signature", описује методу организовања и претраге вишедимензионалних вектора – отисака сигнала у форми хијерархијског стабла, затим патент US 6,992,625 пријављен 25. априла 2003. под називом, "Calibration of a device location measurement system that utilizes wireless signal strength", описује метод за бежичну локализацију мобилног уређаја који користи отиске радио сигнала карактерисане параметрима своје функције расподела вероватноће која се може адаптирати током времена, а вектори отисака су груписани у оквиру сектора на k кластера, затим патент US 6,839,560 пријављен 25. фебруара 2000. под називом, "Using a derivative table of signal strength data to locate and track a user in a wireless network", који описује метод за одређивање локације мобилне јединице при чему користи табеле записаних снага сигнала и одређује број зидова између базне станице и мобилне јединице, као и патент US 7,346,359 пријављен 18. марта 2008. под називом, "Method for RF fingerprinting", који описује метод припреме окружења које је потребно за одређивање локације мобилног уређаја при чему се врши селекција базних станица и селекција референтних вектора RF отисака.

Излагање суштине проналаска

Поступак локализације заснован на отиску сигнала се генерално састоји из две фазе: фазе учења и фазе локализације. Фаза учења која је „offline“ фаза, тј. фаза која се не мора извршавати у реалном времену, има за циљ формирање базе података о вредностима снага сигнала у појединим тачкама разматраног простора. У оквиру фазе локализације која се одвија у реалном времену локализациони алгоритам естимира непознату локацију праћеног бежично повезаног објекта на основу тренутних мерења снага примљених сигнала од базних станица и наведене базе података. У оквиру фазе учења се у предефинисаним тачкама затвореног простора (собе, ходника, лабораторија, сала, итд.) прикупљају мерења снага примљених сигнала са свих доступних базних станица у бежичној мрежи. У свакој (j -тој) тачки простора, која се назива j -та референтна тачка се при томе поставља бежични пријемник који прима поруке са доступних базних станица, и бележи снагу свих примљених сигнала у форми индекса снаге сигнала познатим под називом RSSI (Received Signal Strength Indicator). Измерени индекси снаге сигнала (RSSI) формирају вектор који се може означити као $s_j = (s_{j1}, s_{j2}, s_{j3}, \dots, s_{jn})$, где s_{ji} означава снагу примљеног сигнала (RSS) у j -тој референтној тачки послатог од i -те базне станице, где је $i \in (1, n)$ (n – број базних станица). Уобичајено је да се за сваку j -ту референтну тачку изврши m понављања мерења. Најчешћа пракса је да се уместо m вектора узме један репрезентативан вектор добијен као средња вредност m

вектора. Такође, често се рачуна и меморише варијанса ових m вектора снага примљених сигнала. Ове информације се користе за моделовање радио мапе са ускладиштеним RSSI векторима третираних као Гаус-ове функције расподеле.

У изложеном проналаску се измерених m вектора за сваку референтну тачку у радио мапи групише у неколико група и центри сваке групе, названи прототипови, постају репрезентативни RSSI вектори дате референтне тачке у радио мапи. На тај начин се постиже компресија података у радио мапи и налажење најрепрезентативнијих вредности снаге примљеног сигнала за сваку тачку простора. Тиме је свака референтна тачка радио мапе дефинисана са k вектора прототипова који садрже снаге примљеног сигнала (RSSI) добијених са базних станица. За груписање m вектора измерених RSSI сигнала се може користити алгоритам из групе алгоритама за учење без надзора које одликује особина да излазни вектори чувају топологију улазних података. Поступак мерења RSSI сигнала, њихове обраде и меморисања се понавља за све референтне тачке претходно дефинисаног затвореног простора.

Кратак опис слика проналаска

Проналазак је детаљно описан помоћу нацрта датих у следећим сликама.

Слика 1: Илустрација варијација снаге примљеног сигнала добијена мерењем у затвореном простору

Слика 2: Представља генерални приказ конфигурације бежичне мреже са могућностима локализације чворова мреже

Слика 3: Приказ форме табеле са координатама и измереним вредностима примљених снага сигнала (RSSI)

Слика 4: Илустративни приказ простора сигнала за произвољну локацију у случају мерења снаге сигнала примљених са две базне станице

Слика 5: Приказ фазе припремања радио мапе са уведеним коракном пред-обраде

Детаљан опис проналаска

Снага примљеног сигнала емитованог из било којег електромагнетног извора слаби са пређеним путем. Слабљење сигнала при простирању има за последицу радио мапу у којој је удаљеност локације у којој је сигнал примљен од позиције извора сигнала функција њиховог растојања. Међутим, на снагу примљеног сигнала утичу промене у окружењу које су могу моделовати као стохастички процеси. У условима који одговарају просторима унутар зграда, станбених и других објеката, утицаји окружења су још значајнији и бројнији. На снагу сигнала утиче појава апсорпције таласа или вишеструко одбијање таласа услед присуства зидова и објеката различитих димензија и облика. Као пример облика карактеристике простирања снаге

сигнала у затвореном простору може послужити Слика 1. На Слици 1 се јасно виде велике варијације у снази примљеног сигнала на различитим локација, где се само грубо може наслутити зависност снаге сигнала од удаљености предајника. Из приказа следи да проблем локализације у затвореним просторима путем моделовања са предефинисаним функцијама простирања таласа постоји из разлога недовољне прецизности.

Снага примљеног сигнала не мора бити константна на истој локацији. Динамичке промене у окружењу, покрети околних објеката и особа, промена оријентације примо-предајника, тј. антена, и друго могу утицати на снагу примљеног сигнала. Такође, промена температуре и доба дана имају утицај на промене у снази сигнала. Из тог разлога је пожељно да се током формирања радио мапе, за сваку тачку или сегмент уради вишеструко понављање мерења снаге примљеног сигнала послатог са више доступних базних станица. У циљу смањења рачунарског времена потребног за претраживања радио мапе и налажења најсличнијих вредности из базе радио мапа са измереним вредностима, потребно је за сваку предефинисану локацију доделити вредности снага сигнала који је најбоље карактеришу. Најчешћи модел за дефинисање расподеле снаге примљеног сигнала је Гаусов модел којим се описује нормална расподела случајне променљиве. Претпоставља се да су снаге сигнала примљене од различитих предајника међусобно независне. Према томе, свака локација је одређена са два параметра Гаусове функције расподеле, тј. са средњом вредношћу снаге примљеног сигнала послатог са неком предајника и варијансом његове снаге сигнала.

Разматрана конфигурација бежичне комуникационе мреже је приказана на Слици 2 и састоји се од бежично повезаног рачунара 200, једне или више базне станице 210 и једног или више покретног чвора 220. Наведени рачунар 200, базна станица 210 и покретни чвор 220 су међусобно повезане преко бежичне мреже. Умрежени рачунар 200 може бити лаптоп, персонални рачунар, и слично. Његов задатак је да складишти, чува и претражује „радио мапу“. Поступак естимације непознате локације покретног чвора 220 може се у потпуности одвијати на рачунару 200 или се део алгоритамске обраде може изместити на покретни чвор 220. Покретни чвор 220 може бити један или више и креће се унутар претходно дефинисаног простора који је покривен постојећом „радио мапом“. Базна станица 210, једна или више, се налази на познатим локацијама. Снага сигнала које покретни чвор 220 или чворови тренутно прима од базне станице 210 шаље се рачунару 200 који претражује базу снага сигнала, тј. „радио мапу“ и налази најсличније векторе из базе са текућим измереним вредностима. Асоцирањем најсличнијих RSSI вектора из „радио мапе“ са адекватним просторним координатама, локализациони алгоритам заснован на отиску снаге естимира на непознату локацију покретног чвора 220. Рачунар 200 складишти и приказује резултате локализације и по потреби може и да их пошаље покретном

чвору 220 који се прати. Део алгоритма за локализацију може бити измештен са рачунара 200 на покретни чвор 220. У том случају, након налажења најсличнијих RSSI вектора из базе радио мапа, они се шаљу назад покретном чвору 220 на даљу обраду ради добијања естимације своје тренутне локације.

Током поступка мерења примљених снага сигнала (RSSI) на појединим референтним тачкама дефинисаног простора, добијене вредности се записују у табеларној форми, чија једна форма је приказана на Слици 3. Наиме, разматрани затворени простор може бити стамбени или пословни простор, зграда, поједини спратови и слично. Такав простор може бити у потпуности или делимично покривен са више базних станица. Разматрани простор може бити подељен на више сектора (друга колона у табели). У свакој предефинисаној референтној тачки разматраног простора у одређеном временском интервалу се снимају мерења снаге примљеног сигнала са свих доступних базних станица (прва колона табеле). Референтне тачке су дефинисане својим X , Y координатама (трећа и четврта колона табеле), као и припадношћу одређеном сектору (колона 2). Измерене вредности снаге сигнала послате од базне станице се записују у одговарајуће колоне са RSSI вредностима за одговарајућу базну станицу. Све вредности снимљене у одређеном временском интервалу представљају вектор RSSI вредности за дату референтну тачку на (X, Y) координати. Мерења за сваку референтну тачку се могу поновити произвољан број пута.

Илустративни приказ простора сигнала за произвољну локацију у случају мерења снаге сигнала примљених са две базне станице је дат на Слици 4. Тачке 410 представљају скуп RSSI вектора добијених у произвољној референтној тачки мерењем снаге сигнала са две базне станице. У циљу ефикасније претраге при налажењу најсличнијих отисака и повећања тачности естимације, могуће је наћи k репрезентативних вектора који ће бити асоцирани за разматрану референтну тачку и ускладиштени у радио мапу. Слика 4 приказује (случај $k=2$) два прототипа 420 чије ће вредности у RSSI простору бити смештене у радио мапу и које ће бити асоциране за разматрану референтну тачку.

Припремна фаза поступка локализације методом отиска примљене снаге сигнала која служи за припремање (учење) радио мапе је приказана на Слици 5. Слика 5 садржи основне фазе обуке и генерисања радио мапе са уведеним поступком 510 пред-обrade. Наиме, у оквиру фазе учења се у кораку 500 у предефинисаним тачкама затвореног простора прикупљају мерења снага примљених сигнала са свих доступних базних станица у бежичној мрежи. Базне станице су на познатим и фиксним позицијама, док се један или више мобилних уређаја (тзв. покретни чворови) смештају на предефинисане локације разматраног простора где ће мерење бити извршено. У свакој (i -тој) тачки простора, која се назива i -та референтна тачка, постављени бежични мобилни уређај (покретни чвор са Сlike 2) прима поруке са доступних базних станица, бележи снагу свих

примљених сигнала у форми индикатора снаге сигнала познатим под називом RSSI (енг. Received Signal Strength Indicator). У кораку 500, измерени индикатори снаге сигнала (RSSI) формирају вектор који се може означити као $s_i = (s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, \dots, s_{in})$, где s_{ij} означава снагу примљеног сигнала у i -тој референтној тачки послатог од j -те базне станице, где је $j \in (1, n)$ (n – број базних станица). Уобичајено је да се за сваку i -ту референтну тачку изврши m понављања мерења. Формирани RSSI вектор се шаље поруком ка рачунару 200 ради даље обраде. Када се корак 500 прикупљања мерења RSSI вектора за свих N референтних тачака дефинисаног простора заврши, следи поступак 510 пред-обраде који је предмет овог проналаска. Поступак 510 пред-обраде садржи неколико корака: корак 511 где се групише измерених m вектора за сваку i -ту референтну тачку у радио мапи, затим корак 512 где наведени вектори (m вектора за сваку i -ту референтну тачку) групишу у неколико група (на пример k група) и центри сваке групе, названи прототипови, постају репрезентативни RSSI вектори дате референтне тачке у радио мапи. На тај начин се постиже компресија података у радио мапи и налажење најрепрезентативнијих вредности снаге примљеног сигнала за сваку тачку простора. Тиме је свака референтна тачка радио мапе дефинисана са k вектора прототипова који садрже снаге примљеног сигнала (RSSI) добијених са базних станица. За груписање m вектора измерених RSSI сигнала се може користити алгоритам из групе алгоритама за учење без надзора које одликује особина да излазни вектори чувају топологију улазних података. Фаза 520 формирања радио мапе RSSI прототипова приказује да се поступак 510 пред-обраде понавља за свих N референтних тачака дефинисаног простора.

У фази 512 рачунања k прототипова за i -ту локацију може се користити *Re-Organizing Neural Network* (RONN) алгоритам, описан у D. Kukolj, et al. "Unlabeled data clustering using a re-organizing neural network," *Cybernetics and Systems*, vol. 37, no. 7, pp. 779-790, 2006. У овом алгоритму се формира неуронска мрежа са једним слојем са k чворова где сваки чвор представља центар једне групе. Прво се налази најближи чвор сваком RSSI узорку користећи Еуклидову дистанцу и израчунава се средња квадратна грешка групе (MSE_i) формиране око сваког чвора. Потом се израчунава координата чворова као аритметичка средина сваке координате RSSI узорака груписаних у свакој групи. Резултат представљају нове координате центара група, односно адаптиране тежине синапси мреже. Поступак балансирања групе се наставља провером услова:

$$\sum_{i=1}^K |w_i - w_i'| \leq T_{MSE}, \quad (1)$$

где је T_{MSE} једнака извесном делу текуће вредности MSE. Променљиве w_i и w_i' из формуле (1) су вектори синапси и-тог чвора у текућој и претходној итерацији алгоритма. Ако горњи услов није испуњен овај корак се понавља, у супротном се наставља даље.

У другом кораку алгоритма је потребно идентификовати групе без узорака, односно, њихове центре назване мртви-чворови. У случају да нема мртвих чворова, онда се T_{MSE} поставља на врло малу позитивну вредност. Ако постоји мртви чвор, врши се поступак налажења q предефинисаног броја група ($q \ll K$) који имају максималне MSE вредности. Потом се мртав чвор који представља центар групе без узорака помера у близину једног, на случај одабраног чвора између q чворова - група са максималним вредностима MSE. Сада су нове координате чвора дате формулом:

$$w_i^{new} = w_{max}^q + \delta, \quad i = 1, \dots, K, \quad (2)$$

где су: w_{max}^q - локација одабраног чвора између q чворова са највећом MSE, w_i^{new} - нова локација центра групе, односно, одговарајућег чвора мреже са припадајућим синапсама, а $\delta = [\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n]^T$ су мали случајни бројеви. Поступак одређивања нових координата мртвих чворова (2) се понавља за све мртве чворове. Ако је постигнут максималан број итерација или ако је у претходној и текућој итерацији број мртвих чворова једнак нули, онда се алгоритам завршава. У супротном се алгоритам враћа на почетак.

У кораку 512 се такође може користити Neural Gas алгоритам, описан у T. Martinetz and K. Schulten, "Topology representing networks," *Neural Networks*, vol. 7, no. 3, pp. 507-522, 1994. Neural Gas је такође алгоритам са обуком без надзора који омогућава униформно размештање репрезентативних прототипова у векторском простору. Критеријум избора прототипова је минимизација еуклидове дистанце између свих измерених RSSI узорака и вектора прототипова. Сваком i -том прототипу је додељен ранг $r_i(d_i^k) \in \{0, \dots, K - 1\}$, тј. рангу 0 одговара најближи, а рангу $K-1$ најдаљи прототип од текућег RSSI вектора. Правило адаптације за i -ти прототип у k -тој итерацији гласи:

$$\Delta w_i^k = \eta_k h^k(r_i) [w_i^{k-1} - x^k], \quad i = 1, \dots, K \quad (3)$$

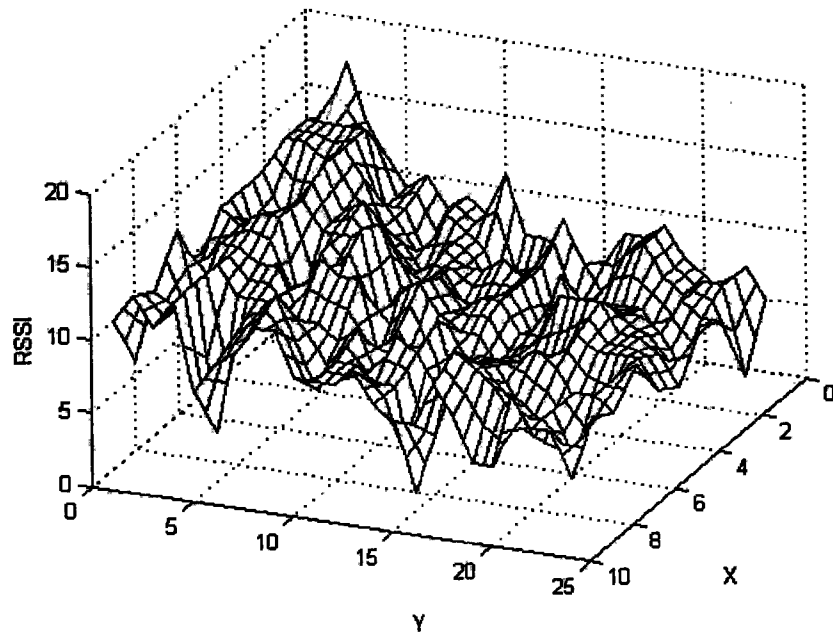
где је η_k опадајући фактор глобалног учења, а функција $h^k(r_i) = \exp\left(-\frac{r_i}{\lambda_i}\right)$; $i = 1, \dots, K$, експоненцијално опада са рангом r_i и удаљеношћу λ_i .

Поступци генерисања „радио мапа“ неопходних за методе бежичне локализације засноване на отиску сигнала и који су описани у овом проналаску се могу имплементирати на наменском или општем рачунарском систему повезаном у бежичну комуникациону мрежу. Имплементација поступка може бити урађена на свим данас расположивим бежичним комуникационим стандардима, као што су: IEEE.802.15, (ZigBee, BlueTooth), IEEE.802.11 (WiFi), IEEE 802.16 (WiMAX), целуларне бежичне мреже итд.

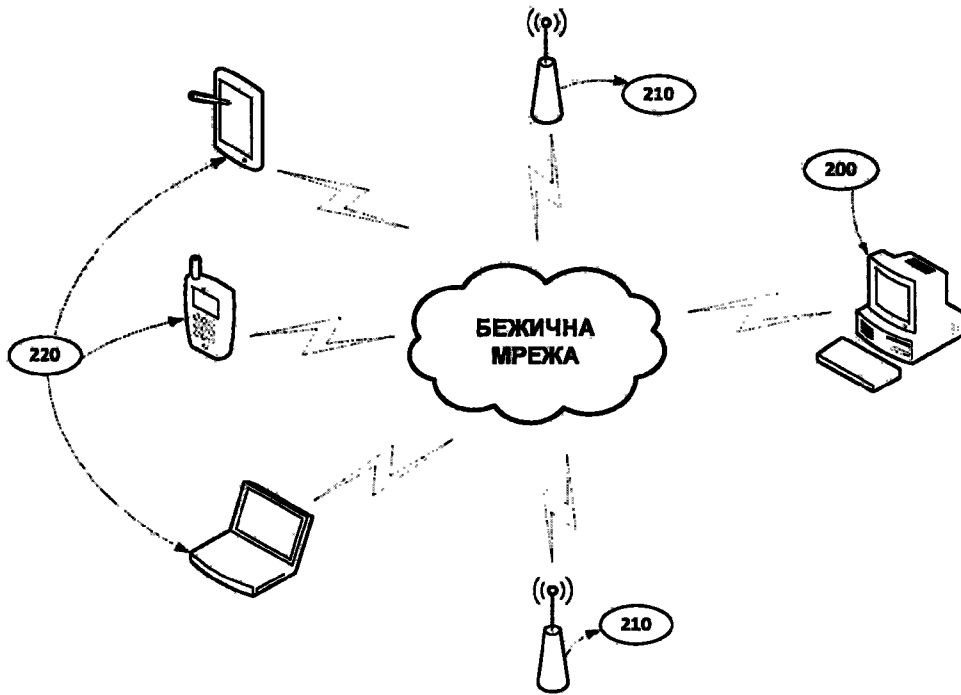
Детаљи отривени у опису овог проналаска омогућавају било ком стручњаку у овој области да генеричке принципе овог проналаска може имплементирати у разноврсним системима за локализацију особа или објеката у бежичном окружењу, чиме се не излази из оквира овог проналаска.

Патентни захтеви:

1. Поступак формирања радио мапе за системе бежичне локализације у затвореном простору употребом отиска снаге сигнала, који почиње кораком 500 мерења снаге примљених сигнала емитованих са базних станица 210, где се за сваку референтну тачку наведеног простора формирају вектори наведених измерених примљених сигнала и где се формира радио мапа од карактеристичних вектора изведених из наведених вектора мерених снага сигнала, карактерисан тиме да се у кораку (511) формира скуп вектора примљених сигнала за дату референтну тачку од свих измерених снага сигнала, где се у кораку (512) вектори примљених сигнала групишу у групе рачунањем прототип вектора за дату референтну тачку, при чему се поступак (510) формирања прототип вектора понавља за све референтне тачке наведеног простора.
2. Поступак дефинисан према захтеву 1, карактерисан тиме да се бежична локализација одвија у оквиру бежичне инфраструктуре дефинисане неким од бежичних стандарда IEEE.802.15, IEEE.802.11 и IEEE 802.16.
3. Поступак дефинисан према захтеву 1 и 2, карактерисан тиме да бежична комуникациона инфраструктура подразумева постојање бар једне доступне базне станице 210 са познатом локацијом.



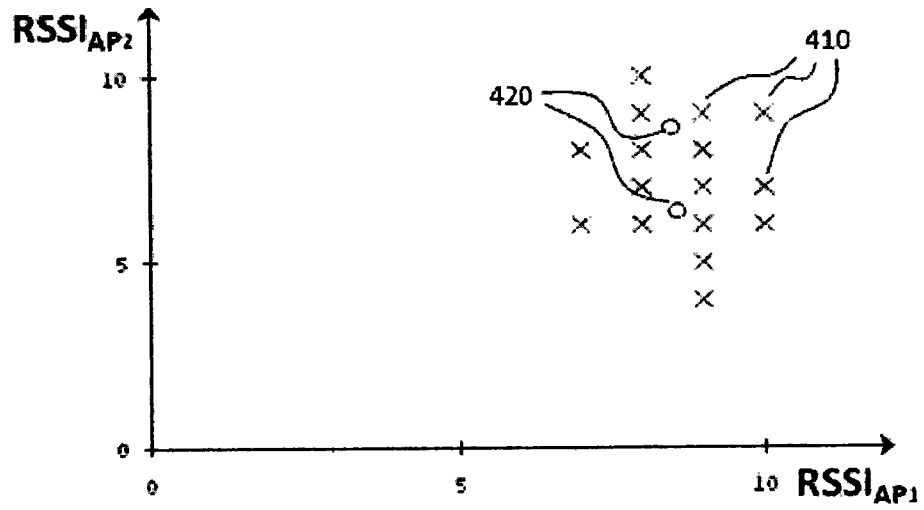
Слика 1.



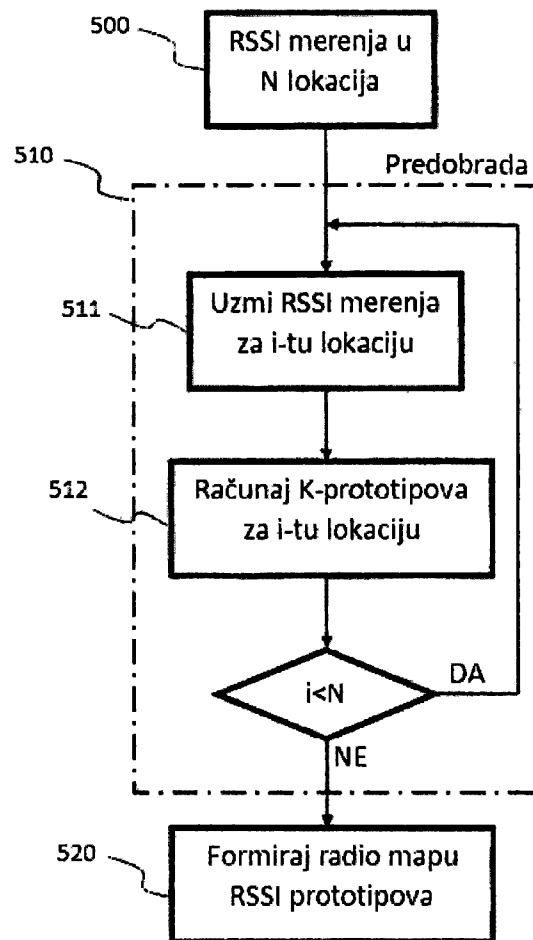
Слика 2.

Vreme	Sektor	X koordinata	Y koordinata	RSSI Bazna Stanica #1	RSSI Bazna Stanica #2	...	RSSI Bazna Stanica #n

Слика 3.



Слика 4.



Слика 5.