



YOPIQ BINOLARDA RFID TARJETLAR JOYLASHUVINI ANIQLASH ALGORITMLARI TAHLILI

Abdijamalova Dilnoza [0009-0004-8466-6586]

Abdijamalova D.A. – Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU TAD kafedrası doktoranti.

Annotatsiya. Hozirgi vaqtda shaxs yoki ob'ektning joylashuvini aniqlash xizmatlarini o'z ichiga olgan lokalizatsiyaga asoslangan xizmatlar ijtimoiy hayotning juda ko'p jabhalarida talabga ega. An'anaviy GPS joylashuvi tashqi muhitda yuqori sifatli joylashishni aniqlash xizmatlarini taqdim etishi mumkin bo'lsa-da, binolarning devori va ichki muhitning aralashuvi tufayli tadqiqotchilar va korxonalar yuqori aniqlikdagi ichki joylashishni aniqlashni qanday amalga oshirishga ko'proq e'tibor berishmoqda. WiFi, Bluetooth, UWB va RFID kabi ko'plab ichki joylashishni aniqlash texnologiyalari mavjud. RFID joylashishni aniqlash texnologiyasi arzonligi va yuqori aniqligi tufayli tadqiqotchilar tomonidan ma'qullanadi. Ichki joylashuvni aniqlashda qo'llaniladigan usullardan asosiylaridan biri LANDMARC algoritmi bo'lib, u RFID teglari va o'quvchilaridan IPS (Indoor Positioning System-ichki lokalizatsiya tizimi) ni amalga oshirish uchun foydalanadi. LANDMARC joylashishni aniqlash algoritmining aniqligi mos yozuvlar teglarining zichligiga va RFID readerlarining ishlashiga bog'liq. Yana bir keng taklif qilinayotgan usul esa virtual yozuvlardan foydalanuvchi VIRE algoritmi (virtual reference elimination - Virtual yozuvlarni yo'qotish)dir. Ushbu maqolada biz LANDMARC va VIRE algoritmlarining ishlash prinsiplarini, natijalarining aniqligini tahlil qilamiz. Natijalar VIRE algoritmi samaraliroq ekanligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: lokalizatsiya, radiochastotali identifikatsiya, bino ichkarisida joylashuvini aniqlash tizimi, qabul qilingan signal kuchi ko'rsatkichi, LANDMARC algoritmi, VIRE algoritmi.

Аннотация. В настоящее время сервисы на основе локализации, в том числе сервисы определения местоположения человека или объекта, востребованы во многих аспектах общественной жизни. Хотя традиционное GPS-позиционирование может обеспечить высококачественные услуги позиционирования на открытом воздухе, из-за взаимодействия стен здания и внутренней среды исследователи и предприятия уделяют больше внимания тому, как реализовать высокоточное позиционирование в помещении. Существует множество технологий позиционирования внутри помещений, таких как Wi-Fi, Bluetooth, UWB и RFID. Технология позиционирования RFID пользуется популярностью среди исследователей из-за ее низкой стоимости и высокой точности. Одним из основных методов, используемых при позиционировании в помещении, является алгоритм LANDMARC, который использует RFID-метки и считыватели для реализации IPS (системы позиционирования в помещении). Точность алгоритма позиционирования LANDMARC зависит от плотности эталонных меток и производительности RFID-считывателей. Другим широко предлагаемым методом является алгоритм VIRE (исключение виртуальных ссылок), который использует виртуальные записи. В этой статье мы проанализируем принципы работы алгоритмов LANDMARC и VIRE и точность их результатов. Результаты показывают, что алгоритм VIRE более эффективен.

Ключевые слова: локализация, радиочастотная идентификация, внутренняя система позиционирования, индикатор уровня принимаемого сигнала, алгоритм LANDMARC, алгоритм VIRE.

Abstract. At present, localization-based services, including services for determining the location of a person or an object, are in demand in many aspects of social life. Although traditional GPS positioning can provide high-quality positioning services in the outdoor environment, due to the interference of the building wall and indoor environment, researchers and enterprises are paying more attention to how to implement high-precision indoor positioning. There are many indoor positioning technologies such as WiFi, Bluetooth, UWB and RFID. RFID positioning technology is favored by researchers due to its low cost and high accuracy. One of the main methods used in indoor positioning is the LANDMARC algorithm, which uses RFID tags and readers to implement IPS (Indoor Positioning System). The accuracy of the LANDMARC positioning algorithm depends on the density of the reference tags and the performance of the RFID readers. Another widely proposed method is the VIRE (virtual reference elimination) algorithm, which uses virtual records. In this article, we will analyze the working principles of LANDMARC and VIRE algorithms and the accuracy of their results. The results show that the VIRE algorithm is more efficient.

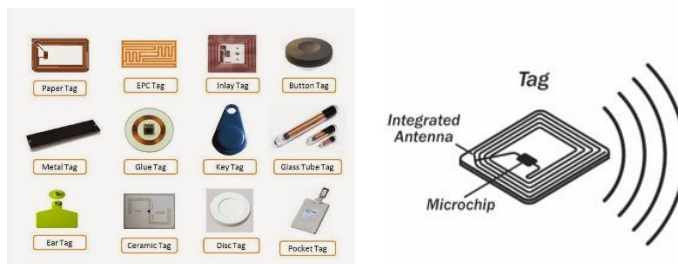
Key words: Localization, Radio frequency identification, indoor positioning system, received signal strength indicator, LANDMARC algorithm, VIRE algorithm.

Kirish

Hozirgi davrda hayotimizning eng muhim qismlardan biri bu - har jabhada tezlik va aniqlikdir. Shu sababli LBSs (Location-based services - lokalizatsiyaga oid xizmatlar) hayotimizdan sezilarli joy olib kelyabdi. Bunda ayniqsa simsiz aloqa tarmoqlari orqali aniq joylashuvni aniqlash katta e'tiborga sabab bo'lgani sir emas. Ya'ni, aynan simsiz aloqa tarmoqlari orqali aniq joylashuvni aniqlash lokalizatsiyaga oid xizmatlarning eng ommalashadigan ko'rinishi bo'lishi kutilmoqda. Ochiq osmon ostidagi obyektlar joylashgan o'rnini aniqlash bilan bir qatorda IPS (Indoor Positioning System - yopiq inshootlar ichidagi obyektlar joylashuvini aniqlash tizimi) ham juda muhim talablardan biri. Yopiq binolardagi obyektlar joylashuvini aniqlashga aqlli uylar uchun gadjetlar, kasalxonalaridagi bemorlar holatini kuzatishga yordam berish, imtixon xonasidagi talabalar harakatini nazorat qilish, avtomobil parkovkalarida avtomashinalar harakatini nazorat qilish, fermalardagi hayvonlarni kuzatish kabi juda ko'plab misollarni keltirish mumkin. Ochiq osmon ostidagi joylardagi obyektlarni joylashishini aniqlashda, transport navigatsiyasida va telekommunikatsiya tarmoqlarini sinxronizatsiya qilishda GPS kabi sun'iy yo'ldosh ma'lumotlaridan faol qo'llanish mumkin. Bunday o'rinlarda GPS ishlatish sezilarli darajada qulay. Lekin, yopiq binolardagi devor, tom, turli xil to'siqlar, beton, daraxt va yer osti o'rinlarida sun'iy yo'ldoshdan keladigan signal yaxshi yetib kelmaydi va kutilgan natijani bera olmaydi. Bundan tashqari bino ichi muhitida to'lqinlar uchun har doim o'ziga xos to'siqlar jihozlar, mebellar, odamlar, devorlar, eshiklar va boshqalar uchraydi. Shu faktorlarni hisobga olib yopiq binolardagi obyektlar joylashuvini aniqlash uchun RFID (radio frequency identification radiochastotali identifikatsiya) texnologiyasidan foydalanish keng o'rganila boshlandi.

Radiochastotali identifikatsiya

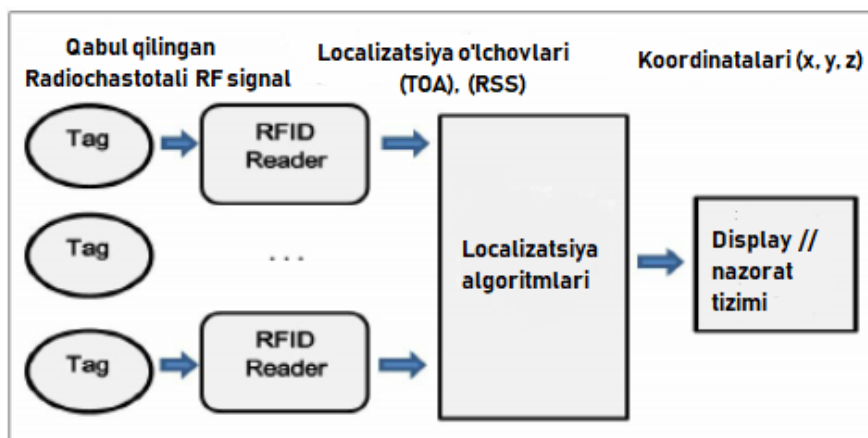
Radiochastotali Identifikatsiya IPS uchun eng mos texnologiyadir. Oddiy RFID-ga asoslangan IPS uchta asosiy komponentdan iborat: RFID o'quvchilari – reader, RFID teglari va o'zaro bog'langan aloqa tarmog'i. RFID reader ham, teglar ham ma'lumotlarni uzatish va qabul qilish uchun oldindan belgilangan RF chastotasi va protokoldan foydalanadi. RFID reader RFID teglaridan chiqarilgan ma'lumotlarni o'qiy oladi. RFID teglarini uch toifaga bo'lish mumkin: passiv, yarim aktiv va aktiv teglar. (1-rasm) Passiv RFID teglari batareyasiz ishlaydi va asosan an'anaviy shtrix-kod texnologiyasini almashtirish uchun ishlatiladi. Ular aktiv teglarga qaraganda yengilroq va arzonroq bo'lsa-da, passiv RFID teglarining diapazoni taxminan 1 dan 2 m gacha cheklangan. Aktiv RFID teglari tugmachali batareyalar bilan jihozlangan kichik qabul qiluvchilardir. Ular o'zlarining ID va qo'shimcha ma'lumotlarini RFID o'quvchilariga faol ravishda uzatishlari mumkin.



1-rasm. RFID tegi turlari va strukturasi.

Hozirgi izlanishlarga ko'ra masofadan joylashuvni aniqlash texnologiyasiga asoslangan hisoblashlarni 3 toifaga ajratish mumkin. Bular: RSSI (received signal strength indication - qabul qilingan signal kuchi bo'yicha), DOA (direction of arrival - qabul qilingan signal

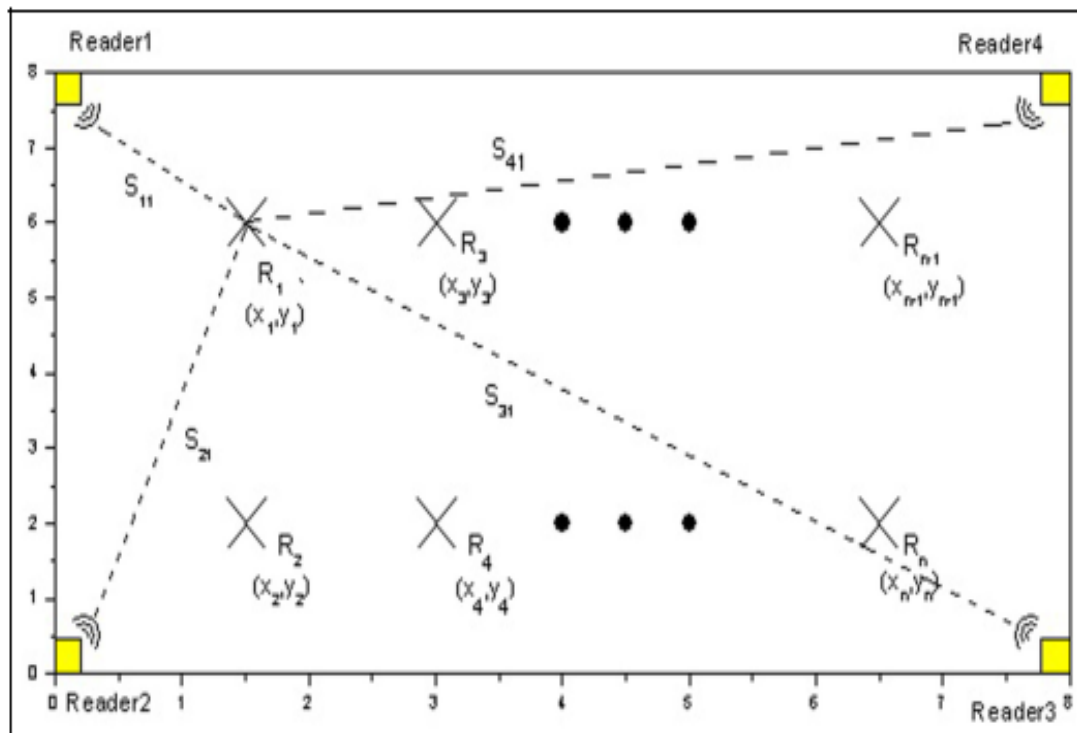
qabul qilish yo'nalishi bo'yicha) va TOA (time of arrival - qabul qilingan signal vaqti bo'yicha)[[10.]]. RSSI texnologiyaning ishlash tamoyili bu - berilgan hududdagi qabul qilingan radio chastotali signal kuchini to'plashdan iborat. Keyinchalik, maqsadli pozitsiya signal tarqalishining susayishi modeli bilan baholanadi. Bu usul o'zining kam harajatligi va qurilmalaridan foydalanishning murakkab emasligi bilan RFID lokalizatsiyasida yetakchiligini egallab turibdi. (2-rasm) J.Hightower "Spot On" nomli usulni taklif qildi, bunda elektr tegidan bir qancha readerlarga qadar turli xil signal kuchlari aniqlanadi va maqsadli ob'ektning pozitsiyasi klasterlangan-vaznli algoritm yordamida hisoblanadi [[1.]]. LM.Nimos yozuvlar tagi va kuzatuv tagini belgilaydigan dinamik faol RFID kalibrlash LANDMARC asosida joylashuvni aniqlashni joriy qildi [[2.]]. Ma'lumot teglarining koordinatalari ma'lum. Ko'p readerlarning kuzatuv teglari va mos yozuv teglari o'rtasidagi turli qiymatlarni solishtirish orqali kuzatuv teglarining muvofiqlashtirish qiymatlarini empirik vaznli formulalar yordamida aniqlash mumkin. YW.Ma avtomobillar misolida joylashuvda LANDMARC texnologiyasini qo'llashda mos yozuv teglaridan foydalangan holda joylashuv aniqligini takomillashtirdi [[3.]]. Biroq, joylashuvning aniqligi teglar va readerlarning taqsimlanishiga o'zgaruvchan edi, eng yaqin qo'shni teglar soni empirik tarzda aniqlandi va og'irliklar teglarning zichligiga ta'sir qildi.



2-rasm. RFID arxitekturasida lokalizatsiyani aniqlash.

YY.Zhao va NB.Aldin joylashuv nuqtasi aniqligini oshirish uchun LANDMARC algoritmiga asoslangan virtual yozuvlardan foydalanuvchi VIRE algoritmini (virtual reference elimination - Virtual yozuvlarni yo'qotish) taklif qildi [[4.]-[5.]]. VIRE chiziqli interpolyatsiya usuli yordamida virtual mos yozuvlar teglarining signal kuchini baholash orqali kuzatuv teglarining o'rnini aniqlaydi. Ushbu algoritm afzalliklari shovqninga chidamlilik, arzon narx va yuqori aniqlik. Biroq, radiochastota signallarining bino ichkarisi muhitida qaytishi tufayli, chiziqli interpolyatsiya n xatolari va chekka teglarning past lokalizatsiya aniqligi kabi ko'plab omillar VIRE algoritmining aniqligini yomonlashtiradi.

LANDMARC algoritmi RSSI texnologiyasining klassik lokalizatsiya usuli hisoblanadi [[2.]]. LANDMARC algoritmi lokalizatsiyalashtirish tizimida n ta reader, m ta mos yozuvlar teglari va u kuzatuv teglari mavjudligini nazarda tutadi. (3-rasm) Reader signal kuchini aniqlashi va uni sakkiz darajadan biri sifatida aniqlaydi. O'quvchilarni skanerlash chastotasi sekundiga 30 marta. Bunday holatda ishlaganda, LANDMARC ning lokalizatsiyalashtirish jarayoni quyidagicha.



3-rasm. Lokalizatsiya tizimining tuzilishi.

Faraz qilaylik, n ta reader $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ sifatida belgilangan kuzatuv tegining signal kuchini qabul qildi va $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ bu erda s_i va α_i mos ravishda $i(1 \leq i \leq n)$ readerda qabul qilingan kuzatuv tegini va mos yozuvlar tegining signal kuchini bildiradi. Har bir alohida kuzatuv tegi uchun $p(1 \leq p \leq u)$ uchun biz Evklid masofani formulasini quyidagi 1-tenglama orqali aniqlaymiz.

$$E_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_{ji} - S_i)^2}, j \in (1, \dots, m) \quad (1)$$

1-tenglamada kuzatuv teglari va mos yozuvlar teglari orasidagi signal kuchining Evklid masofasi vektor $E = (E_1, E_2, \dots, E_m)$ ko'rinishida belgilanadi. Vektorda kichikroq E_j qiymati kuzatuv tegi va mos yozuvlar yorlig'i o'rtasidagi kichikroq signal kuchi farqini bildiradi. k -nearest neighbor teglarini ifodalash uchun E vektorida eng kichik k qiymatni tanlaymiz, bu esa k-nearest neighbor algoritmi deb ataladi. Keyin kuzatuv teglarining joylashuvi koordinatasi baholanadi. Empirik tarzda, kattaroq k qiymati aniq natijani kafolatlamaydi, $k = 4$ yoki $k = 5$ lar esa mosroq tanlovdur. Kuzatuv tegining koordinatali taxminiy ifodasi 2-tenglamadagidek aniqlanadi.

$$(x, y) = \sum_{i=1}^k w_i (x_i, y_i) \quad (2)$$

Bu yerda (x, y) , w_i va (x_i, y_i) mos ravishda kuzatuv tegining koordinatasini, tortish koeffitsientini va mos yozuvlar tegi i koordinatasi sifatida belgilanadi. Ma'lumki, w_i qiymati k -nearest neighborsning qiymatiga bog'liq bo'lishi kerak. Qiymat qanchalik kichik bo'lsa, og'irlik shunchalik katta bo'ladi. w_i ifodasi 3-tenglamadagidek aniqlanadi.

$$w_i = \frac{1}{E_i^2 \sum_{j=1}^k (1/E_j^2)}, i \in (1, \dots, k) \quad (3)$$

3- tenglamada E_j k -nearest neighbors RSSI qiymatidagi vektorning j -komponentini bildiradi, chunki k qiymati tajriba qiymati bilan baholanadi va w_i ga teglar zichligi va boshqa omillar ta'sir qiladi. LANDMARC algoritmi aniqlik darajasi ba'zan past bo'ladi. Lokalizatsiya hududida mos yozuvlar teglarining zichligini oshirish lokalizatsiya aniqligini oshirishi mumkin, ammo teglar juda ko'p bo'lsa, bu chalkashliklarga olib keladi va aks



ta'sir qilib lokalizatsiya aniqligi pasayadi. Ushbu muammolarni bartaraf qilish uchun VIRE algoritmi taklif etiladi.

VIRE algoritmi LANDMARC algoritmgiga asoslab ishlab chiqilgan takomillashtirilgan usul bo'lib, bu yerda readerlar va teglarning joylashuv oraliqi LANDMARC algoritmidagi bilan o'xshash bo'ladi [[4.]]. Asosiy g'oya - qo'shimcha dastur, reader va taglarni qo'shish o'rniga kichik ehtimollik pozitsiyasini istisno qilish orqali lokalizatsiya aniqligini oshirishdan iborat. Ushbu algoritmda mos yozuvlar teglariga asoslangan virtual mos yozuvlar teglari qo'llaniladi. Virtual mos yozuvlar teglari ba'zi taqsimlangan qoidalarga muvofiq tartibga solinadi. Odatda, $n \times n$ haqiqiy mos yozuvlar teglari matritsasi $n - 1$ virtual mos yozuvlar teglari ikkita yonma -yon haqiqiy teglar orasida interpolyatsiya qilinadi. Masalan, 4×4 haqiqiy mos yozuvlar tegi matritsasi har ikki yonma-yon haqiqiy teg uchta virtual mos yozuvlar teglari tomonidan kiritiladi, shuning uchun u 13×13 mos yozuvlar yorlig'i matritsasi sifatida umumlashtiriladi. Virtual mos yozuvlar teglarining RSSI qiymatlari chiziqli interpolyatsiya usuli bilan hisoblanadi va gorizonta yo'nalishdagi virtual mos yozuvlar teglarining RSSI qiymatlari 4- tenglamadagidek hisoblanadi.

$$S_k(T_{p,b}) = S_k(T_{a,b}) + p \times \frac{S_k(T_{a+n,b}) - S_k(T_{a,b})}{n} = \frac{p \times S_k(T_{a+n,b}) - (n+1-p)S_k(T_{a,b})}{n+1} \quad (4)$$

Vertikal yo'nalish va virtual mos yozuvlar teglarining RSSI qiymatlari 5- tenglamadagidek hisoblanadi.

$$S_k(T_{a,q}) = S_k(T_{a,b}) + q \times \frac{S_k(T_{a,b+n}) - S_k(T_{a,b})}{n+1} = \frac{q \times S_k(T_{a,b+n}) - (n+1-q)S_k(T_{a,b})}{n+1} \quad (5)$$

Ikki o'lchovli maydonda virtual mos yozuvlar teglarining RSSI qiymatlari 6- tenglama ko'rinishida hisoblanadi.

$$S_k(T_{i,j}) = \frac{S_k(T_{p,b}) + S_k(T_{p,b+n}) + S_k(T_{a,q}) + S_k(T_{a+n,q})}{2} \quad (6)$$

4,5,6- tenglamalardagi $S_k(T_{i,j})$ virtual mos yozuvlar teglarining k readerning RSSI qiymatini bildiradi va uning koordinata qiymati (i, j) ; mos keladigan parametrlari $a = i/n$, $b = j/n$, $0 \leq (p = i \text{ mod } n) \leq n - 1$ va $0 \leq (q = j \text{ mod } n) \leq n - 1$.

Barcha virtual mos yozuvlar teglarini o'rnatgandan so'ng, haqiqiy mos yozuvlar teglari bilan birlashtirilgan RSSI qiymatlari mos yozuvlar yorlig'i matritsasini tashkil qiladi. Ularning mutanosibligini tasvirlash uchun moslik xaritasi tushunchasidan foydalaniladi. Har bir reader o'zining RSSI qiymatlariga ko'ra o'zining moslik xaritasini yaratadi va saqlaydi. Kuzatuv teglarining RSSI qiymatlari berilgan kattalik bilan solishtiriladi; agar natijalar kutilgan kattalikdan kamroq bo'lsa, moslik xaritasidagi tegishli joylar "1." sifatida belgilanadi, bu kuzatuv tegi ushbu hududlarda katta yaqinlikda ekanligini anglatadi. Barcha k readerlarning moslik xaritalarini jamlagan holda, yakuniy moslik xaritasi eng mumkin bo'lgan kuzatuv tegining lokalizatsiyasini ko'rsatadi. Shuning uchun u kichik ehtimollik hodisalarini istisno qilish usuli deb ataladi.

Aniqlikni oshirish uchun VIRE algoritmda ikkita og'irlik w_{1i} va w_{2i} yordamida vazni hisoblash usuli optimallashtiriladi Bu LANDMARC algoritmgiga o'xshash, tanlangan virtual mos yozuvlar teglari va kuzatuv tegi o'rtasidagi turli RSSI qiymatini bildiradi. Qiymat qanchalik kichik bo'lsa, maydon yaqinroq va og'irlik kattaroq bo'ladi. w_{1i} ifodasi 7- tenglama orqali aniqlanadi

$$w_{1i} = 1 - \sum_{k=1}^K \frac{S_k(T_i) - S_k(R)}{4S_k(T_i)} \quad (7)$$

Bu yerda $S_k(T_i)$ i-kuzatuv tegining RSSI qiymatini va $S_k(R)$ mos yozuvlar tegining RSSI qiymatini bildiradi. Yana bir og'irlik w_{2i} ba'zi sohalarida virtual mos yozuvlar teglarining zichligini ifodalash uchun ishlatiladi. Agar ma'lum bir hudud kattaroq w_{2i} qiymatiga ega bo'lsa, ushbu sohada kuzatuv tegi bo'lish ehtimolligi ko'proqligini bildiradi. w_{2i} ifodasi 8- tenglama bilan aniqlanadi.

$$w_{2i} = \frac{p_i}{\sum_i^{n_a} p_i} = \frac{n_{ci}}{\sum_i^{n_a} n_{ci}} \quad (8)$$



$$p_i = \frac{n_{ci}}{n_a} \quad (9)$$

8- va 9- tenglamalarda p_i konyunktiv mumkin bo'lgan hududlarning butun sezish maydoniga nisbatini bildiradi. n_{ci} oxirgi tanlangan moslik xaritasidagi konyunktiv maydonlar soni, n_a esa butun sezish maydonining umumiy maydonlari sonini bildiradi. Ikki og'irlikni hisobga olgan holda, yakuniy vazn $w_i = w_{1i} * w_{2i}$ formulasida aniqlanadi. Kuzatuv tegining koordinatasi 10- tenglama bilan berilgan.

$$(x, y) = \sum_{i=1}^{n_a} w_i(x_i, y_i) \quad (10)$$

LANDMARC algoritmgiga qaraganda VIRE algoritmda lokalizatsiya aniqligi ancha yaxshilangan. Bundan tashqari, ushbu algoritmda virtual mos yozuvlar tegining RSSI qiymatini hisoblash uchun chiziqli interpolyatsiya usuli qo'llaniladi, bu esa ba'zi xatolarga olib keladi[[6.]]. CG.Shao va L.Vu va CH.Huang VIRE algoritmini yaxshilash uchun ba'zi usullarni taklif qilgan bo'lsa-da, masalan, ikki o'lchovli Nyuton interpolyatsiya usuli, Lagrange interpolyatsiya usuli yoki havolalarda Bayesianga asoslangan usul, bu usullar haqiqiy signal kuchi bilan butunlay boshqacha ishlaydi [[7.]-[9.]]. Kalman-Filtr texnologiyasi VIRE algoritmini takomillashtirish uchun ham qo'llaniladi. Biroq, haqiqiy o'lchov modeli umuman nochiziqli bo'lsa, uning ishlashi birlashtirilmagan holatda ham yomonlashadi. YS Chiou VIRE algoritmining chegara maydonida katta lokalizatsiya xatosini ko'rsatdi [[10.]].

Xulosa

RSSI lokalizatsiya texnologiyasi ko'rsatkichlari atrof-muhit faktorlari tomonidan oson o'zgarishga uchrashi sababli, lokalizatsiyalashtirishning aniqligini oshirish uchun atrof-muhit omillarini hisobga olish kerak. Harorat, namlik, yorug'lik va elektromagnit nurlanish intensivligi kabi omillar ish parametrlari sifatida qabul qilinadi.

Xulosa qiladigan bo'lsak, ko'rib chiqilgan algoritm maqsadlarni aniqlash uchun mos yozuvlar teglari va RSSI dan foydalanadi, bu avvaldan mavjud ma'lumotlarga asoslangan o'rganishdan foydalangan holda joylashuvni aniqlashning an'anaviy usullaridan farq qiladi, Uning natijalarining qanchalik to'g'riligini baholash uchun biz taklif qilingan algoritmnii ikkita klassik algoritm, jumladan LANDMARC va VIRE bilan RMSE va CDF o'lchov indekslari bilan solishtiramiz. RMSE indeksi taklif qilingan algoritm 0,39 m dan past joyni aniqlash xatosini bostirishi mumkinligini ko'rsatadi, LANDMARC va VIRE xatolari mos ravishda 1,78 va 1,33 m ga yetdi. Bundan tashqari, CDF indeksi taklif qilingan algoritmnii ustunligini 0,97 ehtimollik bilan xatolik 0,5 m dan kam bo'lishini ko'rsatadi, LANDMARC va VIRE uchun esa ehtimollik mos ravishda 0,50 va 0,15 m ni tashkil qildi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

- [1.] Hightower J, Borrielo G va Want R. SpotON: "An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength" UW CSE Technical Report 2000; 345–354
- [2.] Ni LM, Liu YH, Lau YC "LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID." Wirel Netw 2004; 10: 701–710.
- [3.] Ma YW, Lai CF, Hsu JM "RFID-based positioning system for telematics location-aware applications." Wireless Pers Commun 2011; 59: 95–108.
- [4.] Zhao YY, Liu YH va Ni LM. VIRE: "Active RFID based localization using virtual reference elimination." In: Proceedings of the international conference on parallel processing, Xi'an, China, 10–14 September 2007, p.56. New York: IEEE.
- [5.] Aldin NB, Erc xelebi E and Aykac x M. "An accurate indoor RSSI localization algorithm based on active RFID system with reference tags." Wireless Pers Commun 2017; 97: 3811–3829.
- [6.] Zhao YY. "Localization and tracking based on RFID technologies". Hong Kong, China: Hong Kong University, 2010.



- [7.] Shao CG. "The study of indoor location algorithm based on RFID technology." Beijing, China: Beijing University, 2013 (in Chinese).
- [8.] Wu L va Huang LY. "Improvement of location methods based on RFID." J Chin Univ Post Telecommun 2013; 20: 36–41.
- [9.] Huang CH, Lee LH, Ho CC, "Real-time RFID indoor positioning system based on Kalman-filter drift removal and Heron-bilateration location estimation." IEEE T Instrum Meas 2015; 64: 728–739.
- [10.] Chiou YS, Wang CL va Yeh SC. "An adaptive location estimator using tracking algorithms for indoor WLANs." Wirel Netw 2010; 16: 1987–2012.