

УДК 004.94

## ВІДСТЕЖЕННЯ RSSI З BLUETOOTH-МАЯКІВ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ В ПРИМІЩЕННІ

Севост'янов О.Р., Скарга-Бандурова І.С., Ардель О.В.

### REAL-TIME RSSI TRACKING FROM BLUETOOTH BEACONS TO IMPROVE INDOOR POSITIONING ACCURACY

Sevostyanov O.R., Skarga-Bandurova I.S., Ardel O.V.

*У статті представлені основні етапи розробки та тестування системи позиціонування в закритому просторі за допомогою Bluetooth передавачів і додатку на смартфоні. Принцип дії системи ґрунтується на алгоритмі Frequency Hopping Spread Spectrum і формулі передачі Фрііса. Проведено серію експериментів з оцінки точності даних, що виводяться, і правильності настройки системи переведенню сигналу в відстань. З метою покращення точності позиціонування в середині приміщень роботі використано фільтр Калмана. В результаті, отримано точність виявлення об'єкту до 90%, а час обробки сигналу більше 3 секунд. Зроблено висновок, що в подальшому є можливість покращити ці показники за допомогою більш детального оброблення сигналу та збільшення потужності пристроїв обробки сигналу в телефоні, що в свою чергу допоможе краще орієнтуватись у закритому просторі.*

**Ключові слова:** Bluetooth, RSSI, система позиціонування, обробка даних.

**Вступ.** Позиціонування у просторі допомагає мільйонам людей щодня виконувати різні види робіт. Особливо актуально це для людей з обмеженими можливостями та для автоматичного пошуку розташування об'єктів в приміщеннях зі складною конфігурацією та незнайомих місцях. На сьогодні майже всюди діє система позиціонування через навігацію супутникових систем, таких як Global Positioning System (GPS) та Глобальна Навігаційна Супутникова Система (ГЛОНАСС). Вони добре виконують позиціонування на відкритих ділянках, але в закритому просторі починають працювати набагато гірше. Більшість досліджень у сфері позиціонування не можуть підвищити точність показників по декільком причинам. Так, наприклад, для ефективної навігації потрібно знати точне положення та орієнтацію об'єкта відносно відомого середовища. Створення сенсорної системи, здатної до сприйняття середовища, а також моніторинг параметрів внутрішнього об'єкта є важливою задачею в області безпілотних мобільних об'єктів. Алгоритми управління розроблені на

вершині доступних даних датчиків, тому їх гнучкість та надійність є загальними вимогами. Нещодавно було проведено багато досліджень в області інерціальної орієнтації об'єкта вимірювання. Інерційні одиниці вимірювання - це електронні пристрої, що використовуються для виявлення поточної орієнтації об'єкта. Зазвичай вони вимірюють зміни обертання та прискорення об'єкта. Як вимірювальні пристрої, вони повинні відповідати набору вимог, наприклад, найменший можливий розмір і вага, настроювані відфільтровані вихідні дані. Також особливе значення має мініатюризація пристроїв. Сьогодні все більше і більше досліджень проводяться у всьому світі, щоб зробити сучасні датчики меншими і легшими. Зниження розміру залишається складним завданням для вчених.

Не менш важливим є завдання визначення орієнтації тіла людини в просторі, що дозволить враховувати її позицію. Інша реалізація могла б контролювати рух пацієнтів, щоб виявити, наприклад, ефекти хвороби Паркінсона або вимірювати пульс під час щоденних дій. Це може бути використано як інструмент для виявлення потенційних загроз для літніх людей у домашньому середовищі.

Головною проблемою орієнтації в закритих приміщеннях є зашумлення сигналів через замкнутий простір і безліч перешкод радіохвиль.

**Мета статті** - проаналізувати основні причини перешкод під час передачі даних через Bluetooth та запропонувати шляхи поліпшення точності сигналу для використання в системі позиціонування в середині приміщень.

**Аналіз останніх публікацій.** Залежно від підходів та завдань, методи позиціонування всередині помешкання можуть бути вирішені різними методами (табл. 1).

Одним з найбільш популярних та ефективних методів є вимірювання потужності сигналу (Received Signal Strength Indicator, або RSSI) з використанням Bluetooth LE або Wi-Fi. Принцип дії Bluetooth та Wi-Fi заснований на використанні

радіохвиль. Радіозв'язок Bluetooth здійснюється в певному діапазоні частот, який використовується в різних побутових приладах і бездротових мережах (відкритий діапазон 2,4-2,4835 ГГц). У Bluetooth застосовується метод розширення спектра зі стрибкоподібною перебудовою частоти, що забезпечує стійкість до широкомуглових перешкод.

Таблиця 1

Роботи з поліпшення точності сигналу

Автори	Рік	Класифікатор	Результат
C.Wang, R. Huang, M. Gu, G.Xiao [1]	2017	Циркулярно поляризовані антени	Точність 0,003 м та 0,4% - похибка позиціонування.
S.G. Pease, P. Conway, A.A. West [2]	2017	Гібридний ToF та RSSI в реальному часі	Max віддаленість ToF - 6m RSSI - 5.1m
W. Xue, W. Qiu, X. Hua, K. Yu [3]	2017	Wi-Fi RSSI	6 порогових положень похибки позиції: 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1,0 та 1,3 м відповідно. Точність > 60%.
H. Xiao, H. Zhang, Z. Wang, T.A. Gulliver [4]	2017	Алгоритм DV-Hop на базі RSSI	R від 15 до 40 м з 20% помилок

Більшість з розглянутих методів пропонують декілька етапів фільтрації сигналу та обробки її, але на це витрачається багато часу, що робить деякі процеси досить повільними.

**Пропонований підхід.** Оскільки на даний момент, для пристроїв, що функціонують по стандартам Wi-Fi і Bluetooth 4.0, RSSI є єдиним параметром, що дозволяє виміряти відстань від пристрою до базової станції або маяка, в роботі було використано саме показник RSSI. За основу взято Bluetooth з ноутбука, побутові бездротові навушники, які можливо замінити на спеціальні маяки Bluetooth [5].

В якості базового алгоритму позиціонування використано Frequency Hopping Spread Spectrum. Відповідно до цього алгоритму (рис. 1), в Bluetooth несуча частота сигналу стрибкоподібно змінюється 1600 разів в секунду (всього виділяється 79 робочих частот шириною в 1 МГц) [6, 7].

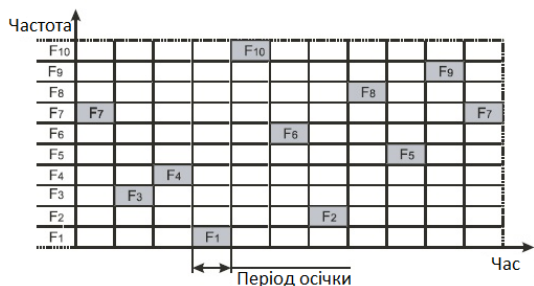


Рис. 1. Принцип дії алгоритму Frequency Hopping Spread Spectrum [6]

З метою виявлення місцезонаштування в закритому просторі, пропонується метод, який передбачає декілька точок доступу у статичному положенні і на відомій додатку відстані (рис. 2).

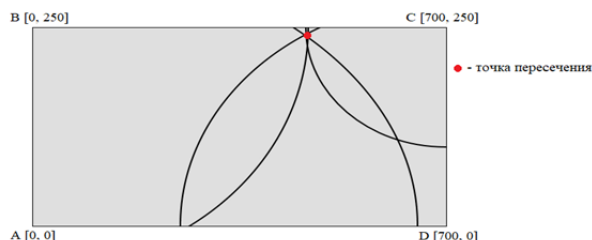


Рис. 2. Виявлення місцезонаштування у закритому просторі

Ідея методу полягає в наступному. Знаючи відстань від точок, створюємо уявний прямокутник. Після цього скануємо точки на потужність сигналу і зберігаємо отримані результати у базу даних. Дізнавшись відстань від кожної точки, стає можливим знайти місцеположення телефону в уявному прямокутнику. Зібравши достатню кількість даних, можна оцінити місцеположення по усередненому сигналу і перевести його у відстань.

Для переведення RSSI в одиниці вимірювання довжини зазвичай використовується наступна формула:

$$P_d = P_0 - 10 \cdot n \cdot \lg \left( \frac{d}{d_0} \right),$$

де  $P_0$  - потужність сигналу пристрою, виміряна на одиничній відстані,  $n$  - коефіцієнт втрат потужності сигналу при розповсюдженні в середовищі (для повітря  $n = 2$ ; збільшується за наявності перешкод),  $d$  - відстань від пристрою до смартфона,  $d_0$  - відстань від пристрою до точки, на якій виконувалось вимірювання потужності сигналу.

Дане рівняння впливає з формули передачі Фрісса для поширення радіосигналу в вільному просторі, але є недостовірним для закритих приміщень [8].

У зв'язку з вищезазначеним, для підвищення точності позиціонування в роботі пропонується використання фільтра Калмана (рис. 3) для послідовності вимірювань. Це дозволить знизити шуми та отримати оцінки невідомих змінних, що є потенційно більш точними за базові на самих лише вимірюваннях.

Де  $X$  позначає оцінку стану системи на етапі  $k$  до початку врахування  $k$ -го виміру  $y_k$ ;  $P$  - відповідна невизначеність.

**Експерименти.** Для проведення експериментів використовувалося наступне обладнання:

1. Датчик Bluetooth ноутбуку;
2. Bluetooth навушники;

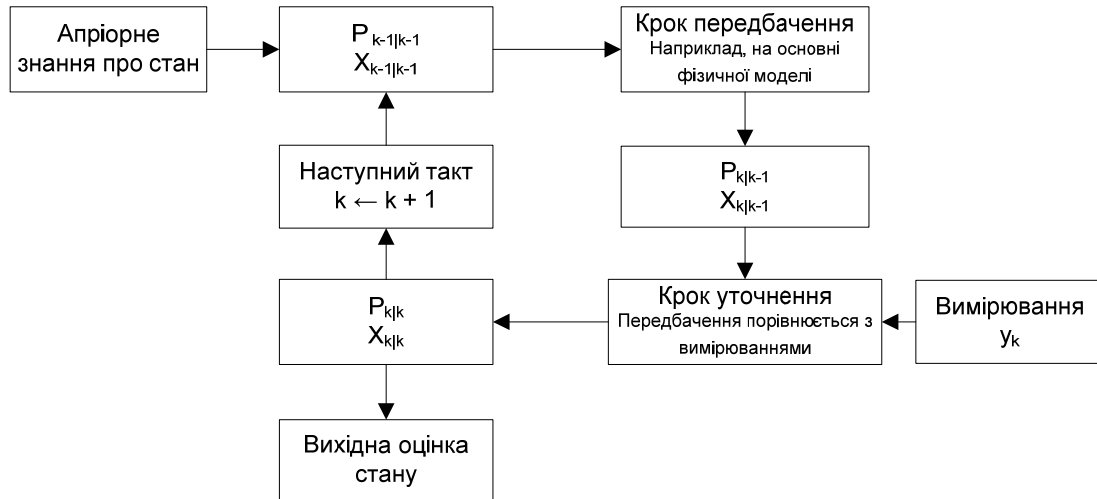


Рис. 3. Принцип дії фільтра Калмана

3. Мобільний телефон на основі OS Android;
4. Лінійка для вимірів.

Вихідні дані. Дані надходять у integer значенні (кожні 5-10 с.) та зберігаються у масиві.

Час	5	10	17
Дані	[-35]	[-35, -37]	[-35, -37, -36]

План експерименту. Експеримент складається з пошуку Bluetooth-маяків, в ролі яких виступали Bluetooth-гарнітура та ноутбук. Сам пошук складався з двох етапів:

1. Пошук нерухомого маяку;
2. Пошук рухомого маяку.

Сам пошук відбувався за допомогою мобільного додатку на основі OS Android. Основною задачею цього додатку являється переведення точності сигналу в відстань, а саме на основі даних про точність сигналу розраховується відстань до об'єкту. Для підвищення визначення точності сигналу і використовується фільтр Калмана, так як шуми являються однією з причин неточності даних.

Всі досліді були проведені з маяками, які знаходилися в полі зору, так як маяки, які знаходяться за стінами будуть скриті шумом від цих об'єктів, а для таких розрахунків потрібно використовувати інші моделі та фільтри.

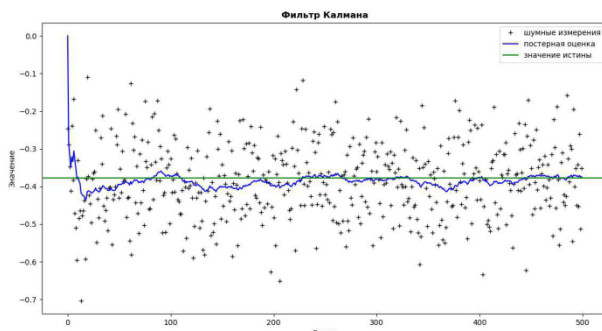


Рис. 4. Результат тестування фільтра Калмана на зашумлення

Було проведено кілька досліджень (рис. 4), завдяки яким можна було вивчити точність даних, що виводяться і правильності настройки системи перетворення сигналу в відстань. Повний пакет вихідних даних на код програми надано у [9].

Точність методу помітно падає, якщо один з пристроїв швидко рухається. Це пов'язано з тим, що між першим і останнім виміром проходить приблизно до 3 секунд. Виходить, що перший вимір відповідає одним координатами, а останні – іншим [10]. Так само на точність сигналу впливають зовнішні чинники, якщо зашумлюють сигнал, серед яких:

1. Деякі зовнішні джерела електричної напруги, такі як лінії електропередач, електрифіковані залізничні колії і силові підстанції;
2. Бездротові передавачі відеосигналу, що працюють в діапазоні 2,4 або 5 ГГц;
3. Коаксіальний кабель і роз'єми, що використовуються з деякими типами супутникових тарілок;
4. Якщо поблизу пристрою Bluetooth або телефону працює мікрохвильова піч;
5. Деякі монітори створюють гармонійні перешкоди, які особливо помітні в діапазоні між 11 і 14 каналами на частоті 2,4 ГГц;
6. Зовнішні жорсткі диски або інші пристрої з недостатньо екранованими кабелями;
7. Заважати роботі пристроїв, підключених по мережі Wi-Fi або Bluetooth, можуть і інші бездротові прилади, що працюють в діапазоні 2,4 або 5 ГГц, зокрема мікрохвильові передавачі, бездротові камери, радіоняні і пристрої сусідів, підключені по Wi-Fi.

Виходить, що для того, щоб змінювати канали передачі даних за допомогою Bluetooth, необхідно всього 625 мікросекунд. Саме вони і є тим інтервалом часу, в якому відбувається передача даних у пакеті. В пакетах в такій ситуації вимірюють потік інформації, що передається, і один пакет може знаходитися «в дорозі» протягом декількох інтервалів (це залежить від розмірів).

Коли пакети будуть передані - частота змінюється [11]. Задіюється зазвичай також і застосування так званої адаптивної стрибкоподібної зміни частот. Її використовують при обмеженні передачі даних з пристроїв, які мають певну кількість каналів. Важливо, що при цьому відкриваються діапазони частот, які можуть бути використані й іншими приладами для передачі інформації. Цим самим можливість ризику при виникненні перешкод частот значно зменшується [12, 13].

Програмний код реалізації фільтрації від зашумлення:

```
for (int k = 1; k < 100; k++) {
    xhatminus[k] = xhat[k - 1];
    mRSSI[k] = p[k - 1] + q;
    kMas[k] = mRSSI[k] / (mRSSI[k] + r);
    xhat[k] = (int) (xhatminus[k] + kMas[k] *
(mRSSI[k] - xhatminus[k]));
    p[k] = (int) ((1 - kMas[k]) * mRSSI[k]);
}
```

Програмний код реалізації переведення фільтрованих даних у довжину:

```
@Override
public void onBindViewHolder(ViewHolder
holder, int position) {
    holder.tv_device_name.setText(mList.get(position).getDevice().getName());
    holder.tv_device_address.setText("Device address:" + mList.get(position).getAddress());
    int rssi = Math.abs(mList.get(position).getRssi());
    if (rssi >= 0 && rssi < 70) {
        holder.tv_device_rssi.setText("RSSI (dBm) : -" + rssi);
        holder.tv_device_rssi.setTextColor(holder.view.getContext().getResources().getColor(R.color.distance_high));
    } else if (rssi >= 70 && rssi < 120) {
        holder.tv_device_rssi.setText("RSSI (dBm) : -" + rssi);
        holder.tv_device_rssi.setTextColor(holder.view.getContext().getResources().getColor(R.color.distance_mid));
    } else if (rssi >= 120) {
        holder.tv_device_rssi.setText("RSSI (dBm) : -" + rssi);
        holder.tv_device_rssi.setTextColor(holder.view.getContext().getResources().getColor(R.color.distance_low));
    } else {
        holder.tv_device_rssi.setText("RSSI (dBm) : -" + rssi);
        holder.tv_device_rssi.setTextColor(holder.view.getContext().getResources().getColor(R.color.distance_low));
    }
    holder.tv_device_distance.setText("Distance(m) : " + calculateDistance(rssi) + "m");
    holder.tv_device_timestamp.setText("Scan time:" + mList.get(position).getTimestamp());
    if (mList.get(position).isConnected() == true) {
        holder.btn_connect.setText("disconnect");
        holder.btn_connect.setTextColor(holder.view.getContext().getResources().getColor(R.color.device_connected));
    } else {
```

```
        holder.btn_connect.setText("connection");
        holder.btn_connect.setTextColor(holder.view.getContext().getResources().getColor(R.color.device_disconnected));
    }
}
```

Реалізація коду переведення RSSI сигналу у дистанцію:

```
int txPower = -55..-65 // number RSSI equal to a distance of 1 meter
double ratio = xhat[99]*1.0/txPower;
//беремо останнє значення відфільтрованих даних і переводимо його в метри, спершу поділивши на значення відстані 1-го метра
if (ratio < 1.0) {
    srDis = Math.pow(ratio,10);
}
else {
    srDis = (0.89976)*Math.pow(ratio,7.7095) + 0.111;
}
```

На поточний момент розвиток системи направлено на поліпшення часу сканування, оскільки в ході експериментів були виявлені недоліки (точність показників приблизно 90%, а час обробки більше 3 секунд, що є незадовільним результатом) особливо для складних об'єктів з поворотною структурою, а також з товстими стінами. На даний момент програма відрізняється від інших розробок більшим часом обробки сигналу. Точність виявлення об'єкту відповідає аналогічним системам, що представлені в огляді, але за допомогою більш детального оброблення сигналу та збільшення потужності пристрою обробки сигналу цілком можливо її збільшити; крім того можливе здійснення багатопоточної обробки даних та триангуляції маяків за рахунок збільшення кількості цих самих маяків [15].

**Висновок.** В роботі запропоновано метод виявлення місцезнаходження Bluetooth-маяків у кімнаті. Метод базується на формулі передачі Фрііса, фільтрі Калмана і використанні RSSI. Пропонований підхід дозволяє будувати систему автоматичного позиціонування без додаткових апаратних засобів, але використання BLE маяків (або аналогів) дозволить отримати більше даних і підвищити точність розрахунків. Тестування системи показало, що кількість даних та відстань суттєво впливають на точність локалізації. Представлено результати, які показують, що RSSI забезпечує значно кращу теоретичну точність локалізації вузла, ніж інші добре відомі алгоритми, представлені в літературі, але на практиці зіштовхнулися з неточністю розрахунків, на які могла впливати більша кількість шумів, ніж було розраховано попередньо.

В перспективі планується додавання можливості вимірювання висоти для отримання даних про положення пристрою відносно поверху будинку, покращення програмного та апаратного забезпечення. Також залишаються питання поліпшення якості локалізації, зменшення часу

обробки сигналу та розвиток більш компактної Bluetooth системи з видачею інформації у найкоротший час.

### Література

1. Wang C. RSSI-based indoor location with circularly polarized antennas and LUDM algorithm for wireless sensor network / C. Wang, R. Huang, M. Gu, G. Xiao // 2017 Sixth Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP). – 2017.
2. Pease S.G. Hybrid ToF and RSSI real-time semantic tracking with an adaptive industrial internet of things architecture / S. G. Pease, P.P. Conway, A.A. West // Journal of Network and Computer Applications. – 2017. – vol. 99. – pp. 98–109.
3. Xue W. Improved Wi-Fi RSSI Measurement for Indoor Localization. / Xue, W., Qiu, W., Hua, X., & Yu, K. (2017). IEEE Sensors Journal. – 2017. – vol. 17(7), 2224–2230.
4. Xiao, H., Zhang, H., Wang, Z., & Gulliver, T. A. (2017). An RSSI based DV-hop algorithm for wireless sensor networks. 2017 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM).
5. Kajioka S. Experiment of indoor position presumption based on RSSI of Bluetooth LE beacon / S. Kajioka, T. Mori, T. Uchiya, I. Takumi, H. Matsuo // 2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). – 2014. – pp. 337-339.
6. Метод FHSS [Електронне видання] – Режим доступу [www. URL: http://it-servis.ru/dokum/lan/wlan\\_metod\\_fhss.php](http://it-servis.ru/dokum/lan/wlan_metod_fhss.php) (23.10.2018).
7. Розширення спектру стрибкоподібної перебудовою частоти [Електронне видання] – Режим доступу [www. URL: http://iptcp.net/rasshirenje-spektraskachkoobraznoi-perestroikoi-chastoty.html](http://iptcp.net/rasshirenje-spektraskachkoobraznoi-perestroikoi-chastoty.html)(23.10.2018).
8. Wang Y. Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods / Y. Wang, Xu Yang, Y. Zhao, Y. Liu, L. Cuthbert // 2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). – 2013.
9. Севост'янов О.Р. Програмний код тестування [Електронне видання] – Режим доступу [www. URL: https://github.com/AS-13/test-Kalman-filter](https://github.com/AS-13/test-Kalman-filter)
10. OFDM FHSS и DSSS [Електронне видання] – Режим доступу [www. URL: http://it-wave.ru/background/technology/ofdm-fhss-and-dsss/](http://it-wave.ru/background/technology/ofdm-fhss-and-dsss/) (23.10.2018).
11. Bandara U. Design and implementation of a Bluetooth signal strength based location sensing system / U. Bandara, M. Hasegawa, M. Inoue, H. Morikawa, T. Aoyama // Proceedings. 2004 IEEE Radio and Wireless Conference (IEEE Cat. No.04TH8746). – 2004.
12. Pascoe R., Miller B. Mapping Salutation Architecture APIs to Bluetooth Service Discovery Layer / Bluetooth Special Interest Group, 1999. – 26 p.
13. Wi-Fi выдает координаты смартфона с точностью до 65 см. Исследование из Массачусетского технологического института (MIT) [Електронне видання] – Режим доступу [www. URL: https://xakep.ru/2016/04/05/chronos-wi-fi/](https://xakep.ru/2016/04/05/chronos-wi-fi/) (23.10.2018).
14. Simon H. Bluetooth Tracking without Discoverability / H. Simon, R. Harle // houdhury T., Quigley A., Strang T., Suginuma K. (eds) Location and Context Awareness. LoCA 2009. Lecture Notes in Computer Science. – 2009. – vol 5561. – pp. 120-137.

15. Ahmetovic D. Smartphone-based Indoor Localization for Blind Navigation across Building Complexes / D. Sato, H. Takagi, K. M. Kitan // IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), At Athens, Greece - 2018. - pp.

### References

1. Wang C. RSSI-based indoor location with circularly polarized antennas and LUDM algorithm for wireless sensor network / C. Wang, R. Huang, M. Gu, G. Xiao // 2017 Sixth Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP). – 2017.
2. Pease S.G. Hybrid ToF and RSSI real-time semantic tracking with an adaptive industrial internet of things architecture / S. G. Pease, P.P. Conway, A.A. West // Journal of Network and Computer Applications. – 2017. – vol. 99. – pp. 98–109.
3. Xue W. Improved Wi-Fi RSSI Measurement for Indoor Localization. / Xue, W., Qiu, W., Hua, X., & Yu, K. (2017). IEEE Sensors Journal. – 2017. – vol. 17(7), 2224–2230.
4. Xiao, H., Zhang, H., Wang, Z., & Gulliver, T. A. (2017). An RSSI based DV-hop algorithm for wireless sensor networks. 2017 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM).
5. Kajioka S. Experiment of indoor position presumption based on RSSI of Bluetooth LE beacon / S. Kajioka, T. Mori, T. Uchiya, I. Takumi, H. Matsuo // 2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). – 2014. – pp. 337-339.
6. Метод FHSS [Електронне видання] – Режим доступу [www. URL: http://it-servis.ru/dokum/lan/wlan\\_metod\\_fhss.php](http://it-servis.ru/dokum/lan/wlan_metod_fhss.php) (23.10.2018).
7. Розширення спектру стрибкоподібної перебудовою частоти [Електронне видання] – Режим доступу [www. URL: http://iptcp.net/rasshirenje-spektraskachkoobraznoi-perestroikoi-chastoty.html](http://iptcp.net/rasshirenje-spektraskachkoobraznoi-perestroikoi-chastoty.html)(23.10.2018).
8. Wang Y. Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods / Y. Wang, Xu Yang, Y. Zhao, Y. Liu, L. Cuthbert // 2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). – 2013.
9. Sevostyanov O.R. Source Code. Available from: <https://github.com/AS-13/test-Kalman-filter> (26 Nov. 2018).
10. OFDM FHSS и DSSS [Електронне видання] – Режим доступу [www. URL: http://it-wave.ru/background/technology/ofdm-fhss-and-dsss/](http://it-wave.ru/background/technology/ofdm-fhss-and-dsss/) (23.10.2018).
11. Bandara U. Design and implementation of a Bluetooth signal strength based location sensing system / U. Bandara, M. Hasegawa, M. Inoue, H. Morikawa, T. Aoyama // Proceedings. 2004 IEEE Radio and Wireless Conference (IEEE Cat. No.04TH8746). – 2004.
12. Pascoe R., Miller B. Mapping Salutation Architecture APIs to Bluetooth Service Discovery Layer / Bluetooth Special Interest Group, 1999. – 26 p.
13. Wi-Fi выдает координаты смартфона с точностью до 65 см. Research from MIT. Available from: <https://xakep.ru/2016/04/05/chronos-wi-fi/> (23.10.2018).
14. Simon H. Bluetooth Tracking without Discoverability / H. Simon, R. Harle // houdhury T., Quigley A., Strang T., Suginuma K. (eds) Location and Context Awareness. LoCA 2009. Lecture Notes in Computer Science. – 2009. – vol 5561. – pp. 120-137.

15. Ahmetovic D. Smartphone-based Indoor Localization for Blind Navigation across Building Complexes / D. Sato, H. Takagi, K. M. Kitan // IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), At Athens, Greece - 2018. - pp.

**Севостьянов А.Р., Скарга-Бандурова И.С., Ардель А.В. Отслеживание RSSI в реальном времени с маяков Bluetooth для улучшения точности позиционирования в помещениях**

*В работе представлены основные этапы разработки и тестирования системы позиционирования в закрытом пространстве с помощью Bluetooth передатчиков и приложения на смартфоне. Принцип действия системы основан на алгоритме Frequency Hopping Spread Spectrum и формуле передачи Фриис. Проведена серия экспериментов по оценке точности данных и правильности перевода сигнала в расстояние. С целью улучшения точности позиционирования внутри помещений в работе использован фильтр Калмана. В результате, получена точность обнаружения объекта до 90%, а время обработки сигнала более 3 секунд. Сделан вывод, что в дальнейшем есть возможность улучшить эти показатели с помощью более детальной обработки сигнала и увеличения мощности устройств обработки сигнала в телефоне.*

**Ключевые слова:** Bluetooth, RSSI, система позиционирования, обработка данных.

**Sevostyanov O.R., Skarga-Bandurova I.S., Ardel O.V. Real-time RSSI tracking from Bluetooth beacons to improve indoor positioning accuracy**

*The paper presents the main stages of the development and testing of a positioning system in an enclosed space using Bluetooth transmitters and an application on a smartphone. The principle of the system is based on the Frequency Hopping Spread Spectrum algorithm and the Friis transmission formula. A series of experiments to assess the accuracy of the data and the correctness of the transfer signal in the distance are performed. In order to improve the accuracy of indoor positioning, a Kalman filter was used in the work. As a result, the accuracy of object detection is obtained up to 90%, and the signal processing time is more than 3 seconds. It was concluded that in the future it is possible to improve these indicators with the help of more detailed signal processing and an increase in the power of signal processing devices in the phone.*

**Keywords:** Bluetooth, RSSI, positioning system, data processing.

**Севост'янов Олександр Романович**, магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: [torresanya94@gmail.com](mailto:torresanya94@gmail.com)

**Скарга-Бандурова Інна Сергіївна**, д.т.н., зав. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, email: [skarga-bandurova@snu.edu.ua](mailto:skarga-bandurova@snu.edu.ua)

**Ардель Олександр Вікторович**, аспірант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: [aleksandrardel@gmail.com](mailto:aleksandrardel@gmail.com)

*Рецензент:* д.т.н., доц. **Смолій В.М.**

Стаття подана 25.10.20182018