

ДОДАТОК А

Програмна реалізація обчислення дистанції до маячка:

```

/// метод розрахунку відстані до маячка
static func getDistance(rssi: Double, tx: Double) -> Double {
    //У випадку, якщо значення прийнятої потужності = 0, повертаємо -1 (помилка)
    guard !rssi.isZero else { return -1 }
    //розрахунок ступеня для 10 за формулою 20
    let degree = (rssi - tx) / (-10 * 4)
    return pow(10, degree)
}

```

Програмна реалізація фільтру Калмана:

```

{
    private(set) var x0: Double = 0 // передбачене значення
    private(set) var p0: Double = 0 // передбачувана коваріація

    private(set) var f: Double // коефіцієнт співвідношення попереднього реального
    значення до реального значення
    private(set) var q: Double // рівень шуму обчислень
    private(set) var h: Double // коефіцієнт відношення обчислень
    private(set) var r: Double // рівень шуму навколишнього оточення

    public var state: Double = 0
    public var covariance: Double = 0

    init(q: Double, r: Double, f: Double = 1, h: Double = 1) {
        self.q = q
        self.r = r
        self.f = f
        self.h = h
    }
}

```

```

public func set(state: Double, covariance: Double) {
    self.state = state
    self.covariance = covariance
}

public func correct(data: Double) {
    // передбачення
    x0 = f * state
    p0 = f * covariance * f + q
    // корекція
    let k = h * p0 / (h * p0 * h + r)
    state = x0 + k * (data - h * x0)
    covariance = (1 - k * h) * p0
}
}

```

Програмна реалізація пошуку координат з використанням фільтру:

```

class Beacon {
    public let tx: Double
    public let index: Int

    init(r: Double, i: Int) {
        self.tx = r
        self.index = i
    }

    func main() {
        let m1 = Beacon(r: -59, i: 1)
        let m2 = Beacon(r: -59, i: 2)
        let m3 = Beacon(r: -66, i: 3)

        let m1Raw = getData(m1.tx, 500)
    }
}

```

```

let m2Raw = getData(m2.tx, 10)
let m3Raw = getData(m3.tx, 10)

display(m1Raw, m1.index, "Data from ")
display(m2Raw, m2.index, "Data from ")
display(m3Raw, m3.index, "Data from ")

var filteredM1 = [Double]()
let kalman = KalmanFilter(q: 10, r: 15, f: 0.9, h: 1)
kalman.set(state: m1Raw[0], covariance: 0.001)

for i in 0..

```

ДОДАТОК В
Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Навчально-науковий центр заочної форми навчання _____

Кафедра _____ Інформаційних управляючих систем _____

МАГІСТЕРСЬКА АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Дослідження методів і технологій позиціонування мобільного об'єкту в віртуальних просторах великих публічних центрів

(тема роботи)

Магістрант гр. ІУСТзм-18-1 _____

(шифр групи)

(підпис)

Коваленко О. І

(прізвище, ініціали)

Науковий керівник роботи _____

(підпис)

проф. Саєнко В. І.

(посада, ініціали, прізвище)

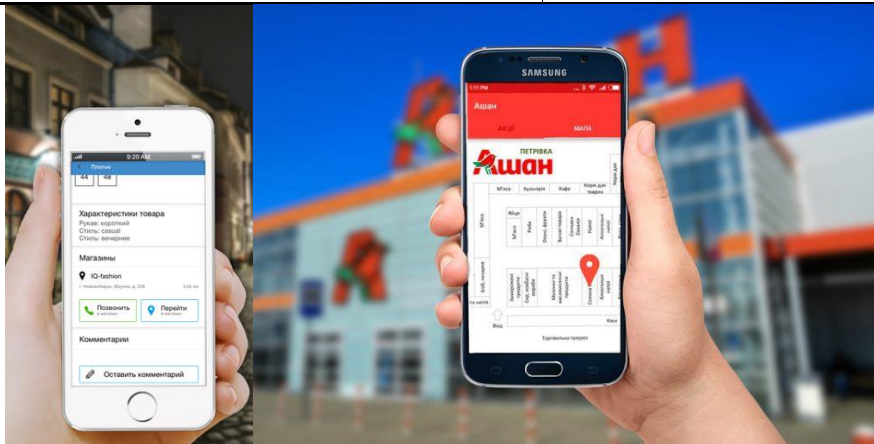
2019 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Предметна область	Системи визначення місцезнаходження
Об'єкт дослідження	Поточний процес позиціонування мобільного об'єкта у різних віртуальних просторів великих торгових центрів.
Предмет дослідження	Системи та технології позиціонування мобільного об'єкта для різних віртуальних просторів великих торгових центрів.
Ціль роботи	Підвищення інформаційної зручності відвідувачів великих торгових центрів за допомогою надання особливих інформаційних сервісів.
Наукова задача	Дослідження методів і технологій позиціонування мобільного об'єкта для різних віртуальних просторів великих торгових центрів.
Наукова новизна	Поліпшення методів і технологій позиціонування мобільного об'єкта для різних віртуальних просторів великих торгових центрів за рахунок впровадження методів на основі вимірювань потужності сигналів маячків і даних про їх місцезнаходження без фільтрації та з використанням фільтра Калмана.
Практична цінність	Результатами дослідження можливо користуватися на різних періодах життєвого циклу системи позиціонування мобільного об'єкта для різних віртуальних просторів - від проектування до розробки та впровадження.
Перелік задач	<p>Проаналізувати сучасні методи та технології локального позиціонування.</p> <p>Удосконалити існуючі алгоритми визначення місцезнаходження користувача та розробити нові на основі вимірювань потужності сигналів маячків і даних про їх місцезнаходження.</p> <p>Розробити приклад мобільного додатку, що забезпечує відображення місця розташування користувача на карті приміщення.</p> <p>Розробити тестові програмні засоби забезпечуючи конфігурацію маячків і оцінку похибки визначення місцеположення.</p>

МОЖЛИВА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

№	Найменування типу об'єкта	Особливості	Можливі складності позиціонування
1	Моли або багатоповерхові торгові центри	Велика кількість поверхів та переходів між ними	Складності виникаючі при переході між поверхами та інші помилки локалізації
2	Торгово-розважальні центри	Велика щільність відвідувачів	Пошук конкретної людини ускладнюється
3	Багатокорпусні торгові центри	Розподіленість корпусів на великій території	Складність розміщення маячків Beacon, внаслідок чого отримуємо великі фінансові затрати або нестійкість сигналу.



Мобільний додаток торгово-розважального центру «Ашан», розташованого у Києві, Україна.

Можливі типи сервісів:

- надання відвідувачу інформації про поточне місцезнаходження
- надання відвідувачу інформації щодо оточуючих інфраструктурних об'єктів,
- надання відвідувачу найкоротшого маршруту до потрібного місця,
- надання відвідувачу інформації про те, як знайти друзів, машину, дітей, та інше.

Головний недолік цього додатку – неможливість визначити місцезнаходження користувача, тому й надання інформації. На жаль, цей додаток не здатний визначати місцезнаходження користувача, тому надання релевантної інформації щодо оточуючих інфраструктурних об'єктів, друзів, машин, дітей та створення маршруту до потрібного місця не є можливим.

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ТА КРИТЕРІЇ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЗРУЧНОСТІ

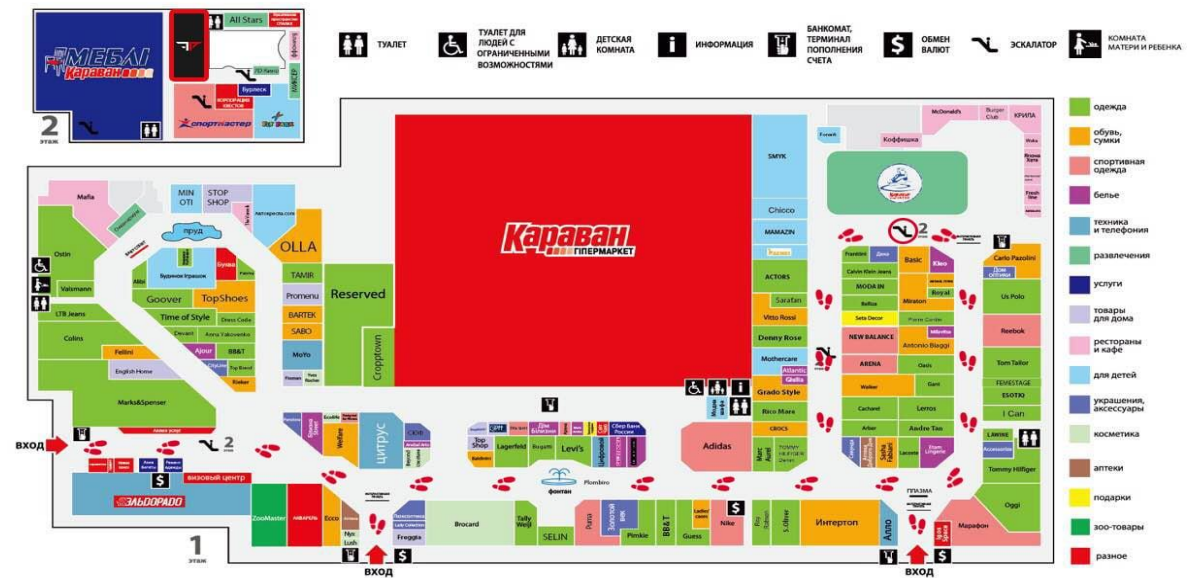
Проблема використання технології позиціонування:

Критерії підвищення інформаційної зручності відвідувачів великих торгових центрів:

Підвищення інформаційної зручності (I) відвідувачів великих торгових центрів за впровадження та надання особливих інформаційних сервісів. $I \rightarrow \text{optim}$,

Зменшення часу потрібного користувачам для пошуку та вибору певного товару, тим самим надавав можливість більше часу потратити на нові покупки. $T \rightarrow \text{min}$

Схема торгово-розважального центру «Караван»



Загальна площа: 84 000 м².

Проблема позиціонування

інтеграція з існуючими інформаційними системами та базами даних торговельного центру,

$\text{Inf}(\text{App1}) \rightarrow \text{Inf}(\text{Exist})$

придбання і правильне розташування маячків Beacon у торговому центрі,

$\text{Str}(\text{App}) \subset \text{Str}(\text{Exist}), I(\text{Str}(\text{App})) \rightarrow \text{opt}$

пояснення правил застосування та поширення додатку серед відвідувачів.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ

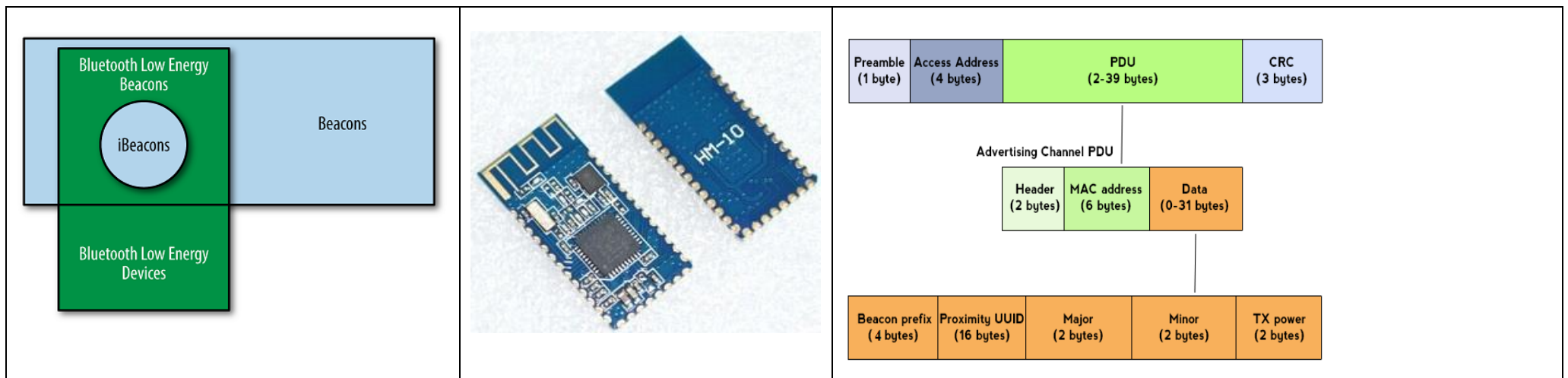
Таблиця 5 Загальний порівняльний аналіз технологій, що реалізує функції внутрішнього позиціонування

Технології	Типова точність	Типове покриття (м)	Типові методи вимірювання	Типове застосування
WLAN WiFi Bluetooth	м	20-50	fingerprinting	Пішохідна навігація та інші сервіси працюючі на основі місцезнаходження користувача.
Радіонавігаційні	см-м	1-1000	proximity detection, fingerprinting, body reflection, time of arrival	Пішохідна навігація, робототехніка та інша автоматизація.
З використанням CCTV камер	0.1м м-дм	1-10	angle measurements from images	Метрологія, навігація роботів.
Інфрачервоні	см-м	1-5	thermal imaging, active beacons	Виявлення та відстеження людей.
Акустичні	см	2-10	distance from time of arrival	Лікарні та спостереження, паркувальні системи
Високочутливі GNSS	10м	глобальне	parallel correlation, assistant GPS	Послуги на основі місцезнаходження
Геоманітні	мм-см	1-20	fingerprinting and ranging	Лікарні, шахти, пішохідна навігація
Tactile & Polar Systems	мкм-мм	3-2000	mechanical, interferometry	Автомобілебудування, метрологія.

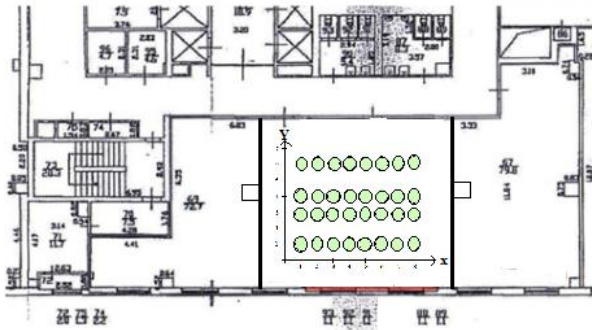
З таблиць 3 та 4 видно, що всі існуючі технології мають свої переваги, та недоліки, але насправді до останнього часу більшість комерційних програм, доступних на ринку покладається на WLAN / WiFi або Bluetooth, які мають більшу площу покриття порівняно з іншими підходами, тому розглянемо найбільш відповідні технології більш детально у таблиці 5.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НАЙБІЛЬШ ВІДПОВІДНИХ ДО ПОЗИЦІОНУВАННЯ МОБІЛЬНОГО ОБ'ЄКТУ В ВІРТУАЛЬНИХ ПРОСТОРАХ ВЕЛИКИХ ПУБЛІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

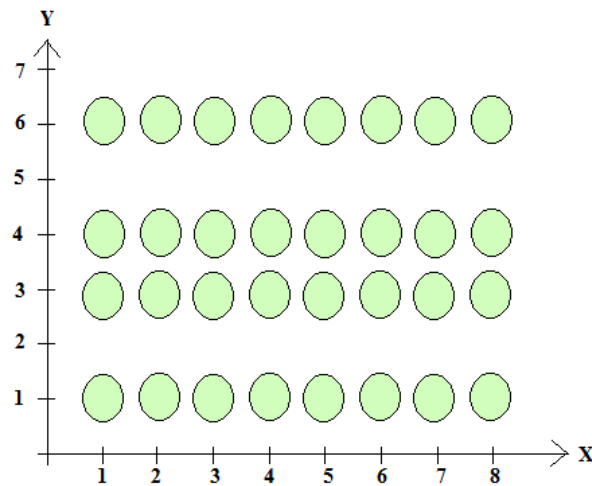
Характеристика	Wi-Fi	Beacon	Промислові RTLS	Геомагнітне позиціонування
Вартість	Низька (залежить від наявності покриття)	Середня	Велика	Низька
Точність	Середня (залежить від покриття)	Добра	Дуже добра	Низька
Можливість використання на мобільних пристроях	Так	Так	Ні	Так
Технологія спрямована на визначення місцезнаходження	Ні	Ні	Так	Так
Можливість точно ідентифікувати конкретний об'єкт в просторі	Ні	Так	Так	Ні



ОПИС ТЕХНОЛОГІЇ BEACON



Приклад встановлення набору маячків у приміщенні



Загальний приклад розташування маячків з використанням умовних координат

Формалізація процесу роботи додатка заснованого на технології Beacon:

1. Beacon надсилає унікальний сигнал, де потужність сигналу на відстані 1 м від маячка розраховується як:

$P = 256 - TX$, де P – величина потужності на відстані 1м.

2. Пристрій користувача отримує сигнал та викликає відповідний додаток, де індикатор потужності прийнятого сигналу (RSSI) розраховується як:

$$RSSI = -10n \log_{10} d - Tx,$$

де RSSI – значення потужності прийнятого сигналу в дБ,

n – константа, що описує згущання сигналу в повітрі,

d – відстань до маячка T

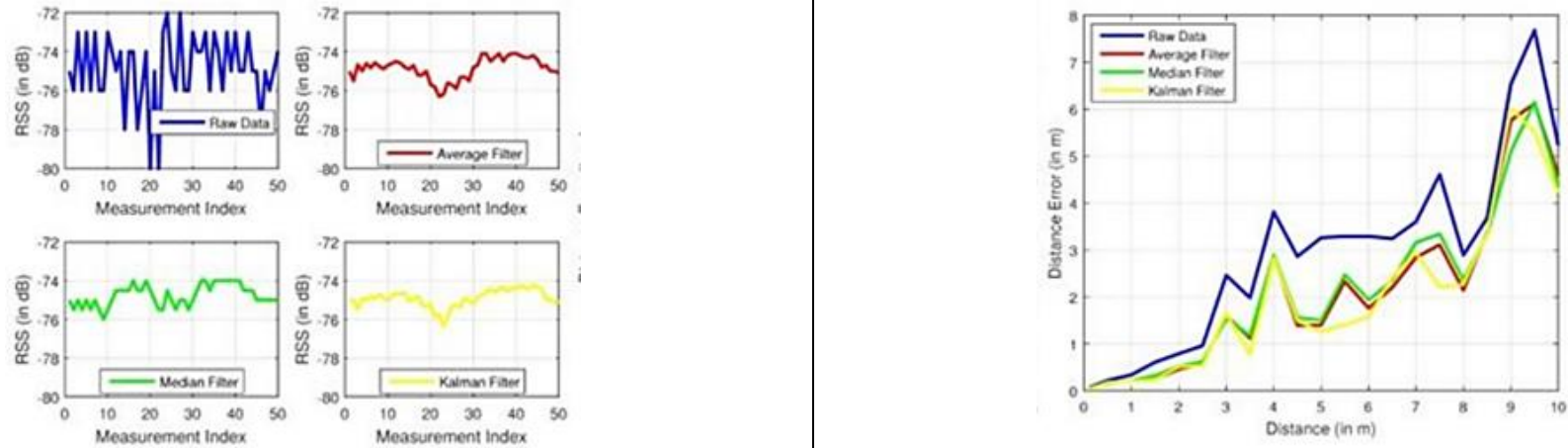
x – значення потужності, виміряне на заводі виробнику на відстані один метр від маячка.

3. Додаток впізнає маячок по унікальному ідентифікатору (UUID + Major + Minor)

4. Додаток виконує необхідну роботу пов'язану з отриманням нового маяка

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФІЛЬТРАЦІЇ НА БАЗІ ФІЛЬТРА КАЛМАНА

Приклади дії різних фільтрів



Фільтрація визначених координат

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ МОБІЛЬНОГО ОБ'ЄКТА ДЛЯ РІЗНИХ ВІРТУАЛЬНИХ

ПРОСТОРІВ ВЕЛИКИХ ТОРГОВИХ ЦЕНТРІВ

A - отримана відстань за допомогою RSSI

B - висота розташування маячка від двовимірної площини

C - відстань до маячка в даній площині, яке і потрібно знайти

s_k - передбачення стану системи, в даний період часу

F - матриця переходу між станами (динамічна модель системи)

s_{k-1} - стан системи в минулий період часу

B - матриця застосування керуючого впливу

u_{k-1} - керуючі вплив в минулий період часу

P_k - пророкування помилки

P_{k-1} - помилка в минулий період часу

Q - коваріація шуму процесу

R_k - посилення Калмана

H - матриця вимірювань, що відображає ставлення вимірювань і станів

R - коваріація шуму вимірювання

L - матриця ідентичності

МЕТОД ПОЗИЦІОНУВАННЯ МОБІЛЬНОГО ОБ'ЄКТА ДЛЯ РІЗНИХ ВІРТУАЛЬНИХ ПРОСТОРІВ ВЕЛИКИХ ТОРГОВИХ ЦЕНТРІВ (БЕЗ ФІЛЬТРАЦІЇ)

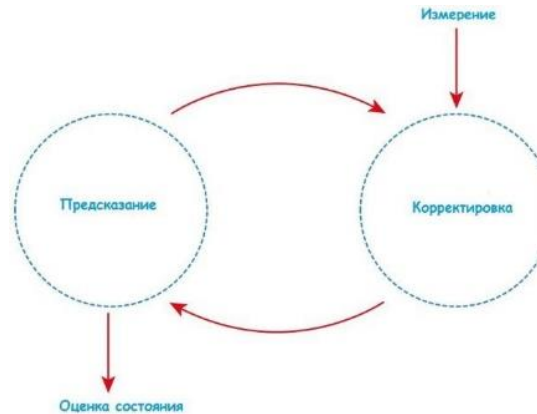
- Крок 1. Усереднимо значення RSSI з кожного з маячків
- Крок 2. Налаштуємо їх на видачу даних з максимальною частотою
- Крок 3. Будемо накопичувати дані в буфері і з певною періодичністю рахувати середній показник RSSI
- Крок 4. Виберемо три маячка з кращими середніми показниками RSSI
- Крок 5. Визначимо за координатами цих маячків положення в просторі за допомогою трилатерації
- Крок 6. Так як розрахунки виконуються в двовимірному просторі, а відстань до маячків - в тривимірному, відповідно, якщо різниця по осі Z між спостерігачем і маячками відчутна, необхідно будувати проекції на осі X, Y:

$$C = \sqrt{A^2 - B^2}$$

- Крок 7. Оскільки утворений трикутник - прямокутний, то в такому випадку, відповідно до теореми Піфагора знайдемо шукану відстань, і застосуємо його в своїх розрахунках. Але обчислення такого роду обмежені і надають точність до трьох метрів.

МЕТОД ПОЗИЦІОНУВАННЯ МОБІЛЬНОГО ОБ'ЄКТА ДЛЯ РІЗНИХ ВІРТУАЛЬНИХ ПРОСТОРІВ ВЕЛИКИХ ТОРГОВИХ ЦЕНТРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФІЛЬТРА КАЛМАНА

Застосуємо фільтр Калмана. На початковій стадії - прогнозі розраховується стан системи в наступний період часу, а на другому - коригування, виправляється прогноз, застосовуючи результат чергового вимірювання:



Крок 1. При початкових значеннях x_{k-1} P_k^- , спершу розраховується прогноз стану системи

$$c_k = F c_{k-1} + B u_{k-1},$$

Крок 2. Розрахунок передбачення помилки обчислюється:

$$P_k = F P_{k-1} F^T + Q,$$

Крок 3. На стадії коригування спочатку обчислюють посилення Калмана:

$$K_k = P_k H^T (H P_k H^T + R)^{-1}$$

Крок 4. Після чого проводиться оновлення оцінки з урахуванням виміру в поточний момент часу a_k :

$$c^k = c_k + K_k (a_k - H c_k)$$

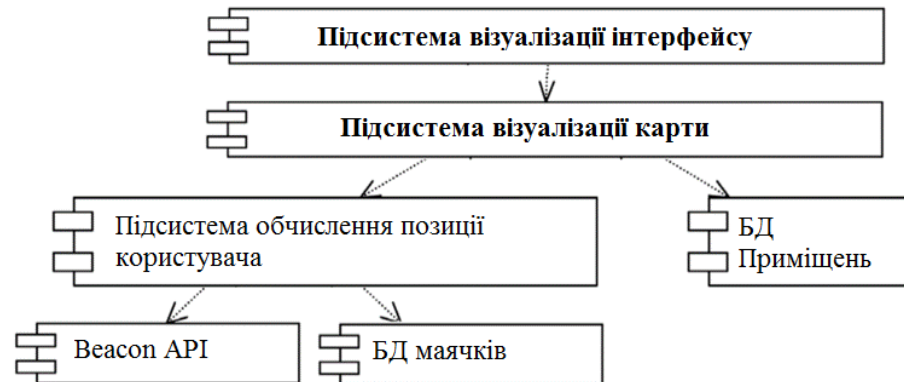
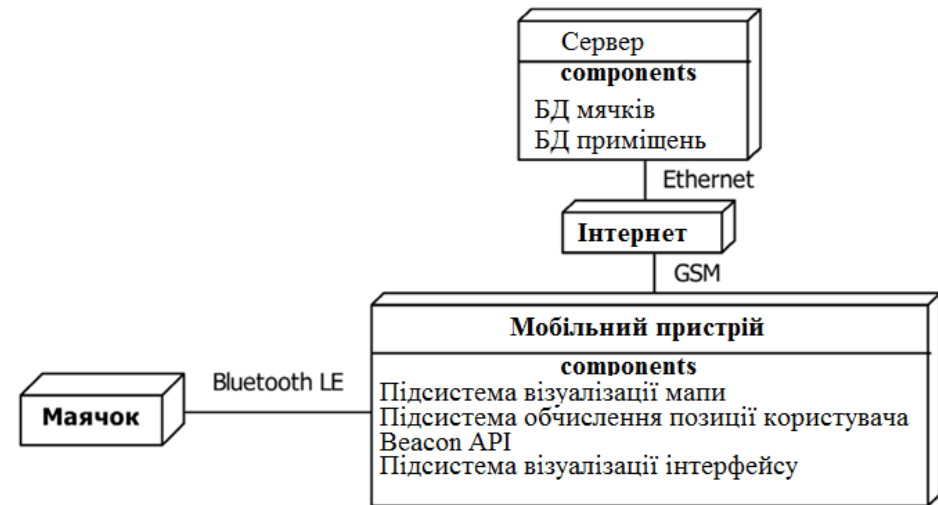
Крок 5. Далі визначається оновлення помилки коваріації:

$$P_k = (L - K_k H) P_k$$

ТЕХНОЛОГІЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

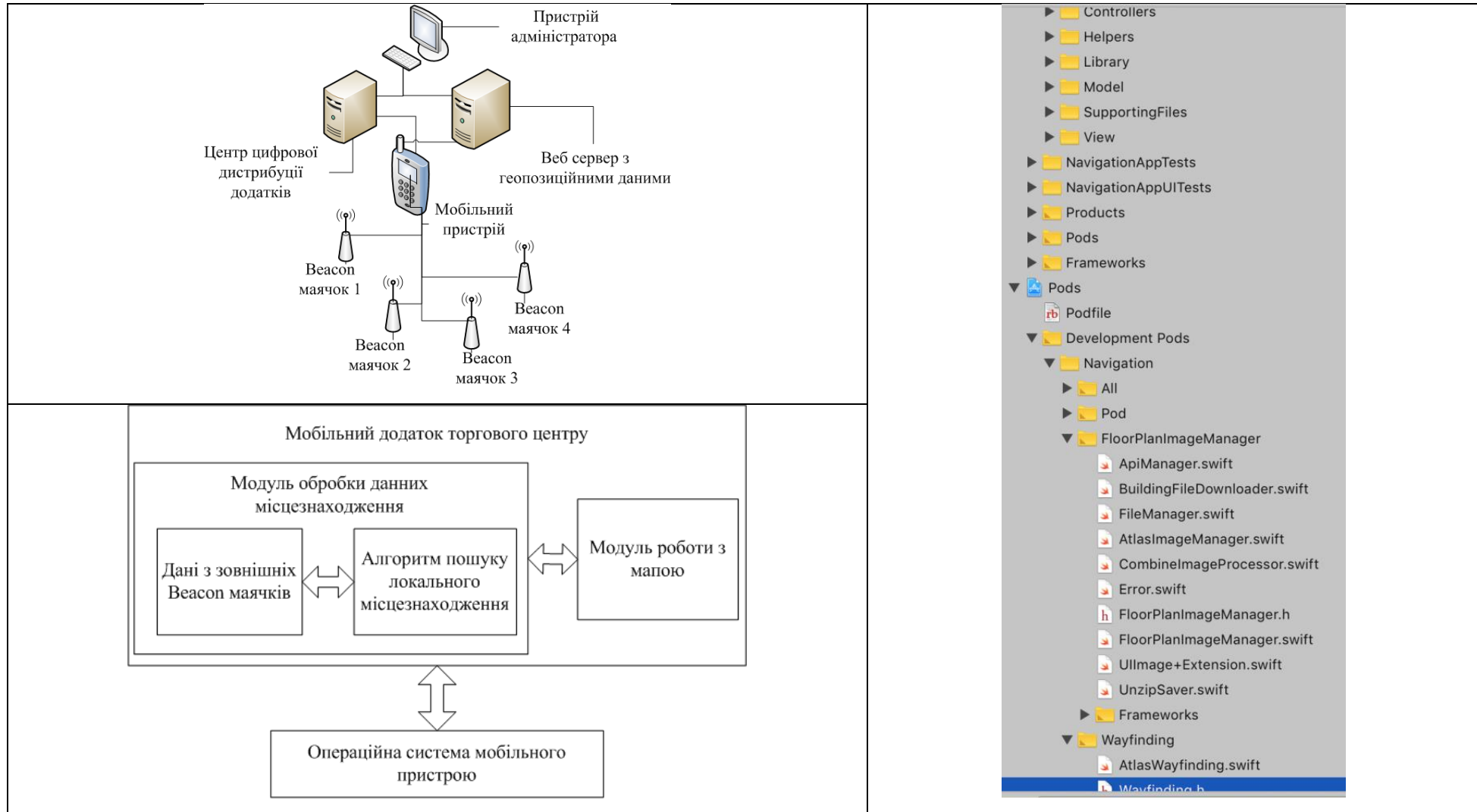
Етапи реалізації використання методів позиціонування

1. Створення програмних додатків до пристроїв користувачів
2. Створення та розгортання серверної частини та бази даних маячків і приміщень
3. Розміщення Weacon маячків у приміщеннях
4. Формування карт приміщень
5. Створення плану розміщення маячків
6. Додавання маячків та карт приміщень до бази даних.
7. Відображення місцезнаходження користувача



Діаграма компонентів

ЗАГАЛЬНА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ



ДОКУМЕНТИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В СИСТЕМІ

Plist файл, що описує кожне доступне приміщення

▼ Root	Array	(2 items)
▼ Item 0	Dictionary	(6 items)
wayfinding	String	{"nodes":{"latitude":49.973716146460454,"longitude":36.2577447295189,"floor":3},{"latitude":49.97376617239459
uniqueMapId	String	Atlas_Demo
apiKey	String	2222222-1111-49e8-afbd-66ec4a5bf509
apiSecret	String	dfgjdfkjgdfpgoedog-ohu0dG3Gs6uL8w6QNZY87Q/tovMOs3KD/3q8a56Mov7Bk558cnxuZB5KkamY1dEIKf/prO9atI4eKTI
floorId	String	11123-8f61-479b-bd9e-ba47aaed29e1
name	String	Atlas Demo
▼ Item 1	Dictionary	(6 items)
wayfinding	String	{"nodes":{"latitude":49.973716146460454,"longitude":36.2577447295189,"floor":3},{"latitude":49.97376617239459
uniqueMapId	String	DemoVenue_338c0a46
apiKey	String	338c0a46-e9de-49e8-afbd-66ec4a5bf509
apiSecret	String	bifgfo4539453030f3r4Gs6uL8w6QNZY87Q/tovMOs3KD/3q8a56Mov7Bk558cnxuZB5KkamY1dEIKf/prO9atI4eKTIrhZ6c
floorId	String	45lpfgerger-8f61-479b-bd9e-ba47aaed29e1
name	String	Atlas 3D Demo

JSON файл для побудови маршрутів

```
{
  "latitude": 49.97388433689461, "longitude": 36.257614642381675, "floor": 3},
  {"latitude": 49.97388347438106, "longitude": 36.257587820291526, "floor": 3},
  {"latitude": 49.97390158716233, "longitude": 36.257567703723915, "floor": 3},
  {"latitude": 49.97392314998825, "longitude": 36.25753685832024, "floor": 3},
  {"latitude": 49.97395161290367, "longitude": 36.257504671812065, "floor": 3},
  {"latitude": 49.97396282556272, "longitude": 36.257530152797706, "floor": 3},
  {"latitude": 49.973978350778594, "longitude": 36.25755831599236, "floor": 3}], "edges":
  [{"begin": 0, "end": 1}, {"begin": 1, "end": 2}, {"begin": 1, "end": 12}, {"begin": 1, "end": 13},
  {"begin": 2, "end": 3}, {"begin": 2, "end": 8}, {"begin": 2, "end": 13}, {"begin": 3, "end": 4},
  {"begin": 4, "end": 5}, {"begin": 5, "end": 36}, {"begin": 6, "end": 7}, {"begin": 7, "end": 8},
  {"begin": 7, "end": 12}, {"begin": 8, "end": 9}, {"begin": 9, "end": 10}, {"begin": 10, "end": 11},
  {"begin": 10, "end": 13}, {"begin": 10, "end": 14}, {"begin": 10, "end": 17}, {"begin": 11, "end": 19},
  {"begin": 11, "end": 20}, {"begin": 14, "end": 15}, {"begin": 15, "end": 16}, {"begin": 16, "end": 17},
  {"begin": 17, "end": 18}, {"begin": 18, "end": 19}, {"begin": 21, "end": 22}, {"begin": 22, "end": 23}],
```

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ З ФІЛЬТРОМ

<pre> ;Параметр Tx_power 1-го маячка = -66.0 дБ; При затуханні в -98.80 дБ Відстань до 1-го маячка становить = 6.61 (м) на 1-й ітерації При затуханні в -88.05 дБ Відстань до 1-го маячка становить = 3.56 (м) на 2-й ітерації При затуханні в -81.15 дБ Відстань до 1-го маячка становить = 2.39 (м) на 3-й ітерації При затуханні в -80.13 дБ Відстань до 1-го маячка становить = 2.26 (м) на 4-й ітерації При затуханні в -70.72 дБ Відстань до 1-го маячка становить = 1.31 (м) на 5-й ітерації При затуханні в -72.45 дБ Відстань до 1-го маячка становить = 1.45 (м) на 6-й ітерації При затуханні в -76.47 дБ Відстань до 1-го маячка становить = 1.83 (м) на 7-й ітерації При затуханні в -87.62 дБ Відстань до 1-го маячка становить = 3.47 (м) на 8-й ітерації При затуханні в -76.57 дБ Відстань до 1-го маячка становить = 1.84 (м) на 9-й ітерації При затуханні в -72.23 дБ Відстань до 1-го маячка становить = 1.43 (м) на 10-й ітерації Середнє значення відстані становитиме: 2.61 м </pre>	<pre> ;Параметр Tx_power 2-го маячка = -59.0 дБ; При затуханні в -73.23 дБ Відстань до 2-го маячка становить = 2.27 (м) на 1-й ітерації При затуханні в -67.16 дБ Відстань до 2-го маячка становить = 1.60 (м) на 2-й ітерації При затуханні в -68.53 дБ Відстань до 2-го маячка становить = 1.73 (м) на 3-й ітерації При затуханні в -95.00 дБ Відстань до 2-го маячка становить = 7.94 (м) на 4-й ітерації При затуханні в -76.49 дБ Відстань до 2-го маячка становить = 2.74 (м) на 5-й ітерації При затуханні в -86.85 дБ Відстань до 2-го маячка становить = 4.97 (м) на 6-й ітерації При затуханні в -72.59 дБ Відстань до 2-го маячка становить = 2.19 (м) на 7-й ітерації При затуханні в -71.07 дБ Відстань до 2-го маячка становить = 2.00 (м) на 8-й ітерації При затуханні в -87.53 дБ Відстань до 2-го маячка становить = 5.17 (м) на 9-й ітерації При затуханні в -87.14 дБ Відстань до 2-го маячка становить = 5.05 (м) на 10-й ітерації Середнє значення відстані становитиме: 3.57 м </pre>	<pre> ;Параметр Tx_power 3-го маячка = -62.0 дБ; При затуханні в -89.07 дБ Відстань до 3-го маячка становить = 4.75 (м) на 1-й ітерації При затуханні в -79.50 дБ Відстань до 3-го маячка становить = 2.74 (м) на 2-й ітерації При затуханні в -71.83 дБ Відстань до 3-го маячка становить = 1.76 (м) на 3-й ітерації При затуханні в -88.68 дБ Відстань до 3-го маячка становить = 4.65 (м) на 4-й ітерації При затуханні в -69.97 дБ Відстань до 3-го маячка становить = 1.88 (м) на 5-й ітерації При затуханні в -95.44 дБ Відстань до 3-го маячка становить = 6.85 (м) на 6-й ітерації При затуханні в -75.72 дБ Відстань до 3-го маячка становить = 2.20 (м) на 7-й ітерації При затуханні в -91.96 дБ Відстань до 3-го маячка становить = 5.61 (м) на 8-й ітерації При затуханні в -81.87 дБ Відстань до 3-го маячка становить = 3.14 (м) на 9-й ітерації При затуханні в -96.11 дБ Відстань до 3-го маячка становить = 6.35 (м) на 10-й ітерації Середнє значення відстані становитиме: 3.96 м Шуканий об'єкт знаходиться по координатам: 0.52 по осі X 1.68 по осі Y +1.93 по осі Z </pre>
--	--	--

Код програми:

```

//Модельовання 10-ти вимірювань для i-го маячка
static func forBeacon(x: Int, rssiGiven: Double) -> Double {
    let realTxPower = rssiGiven
    var sum1 = 0.0

    print(";Параметр Tx_power \ \(x)-го маячка = \ \(realTxPower) дБ;\n")

    for i in 0..<10 {
        //Гіпотетична відстань до 1-го маячка
        let realRSSI = -66 - Double.random(in: 0...35) // Зашумлення показника RSSI
        //Розрахунок за формулою з розр. частини відстані до маячка
        let distance = getDistance(rssi: realRSSI, tx: realTxPower)

        print("При затуханні в \ \(realRSSI.rounded()) дБ")
        print("Відстань до \ \(x)-го маячка становить = \ \(distance.rounded()) (м) на \ \(i+1)-й ітерації")

        Thread.sleep(forTimeInterval: 1)
        sum1 += distance
    }
    //Визначення середнього значення відстані
    let midDistance = sum1 / 10
    print("\n Середнє значення відстані становитиме: \ \(midDistance.rounded()) м\n")

    return midDistance
}

```

```

static func main() {
    //Встановлення значень a,b, c які відповідають двох інших маячків до 1-го
    let a = 3.0, b = 5.0, c = 1.5

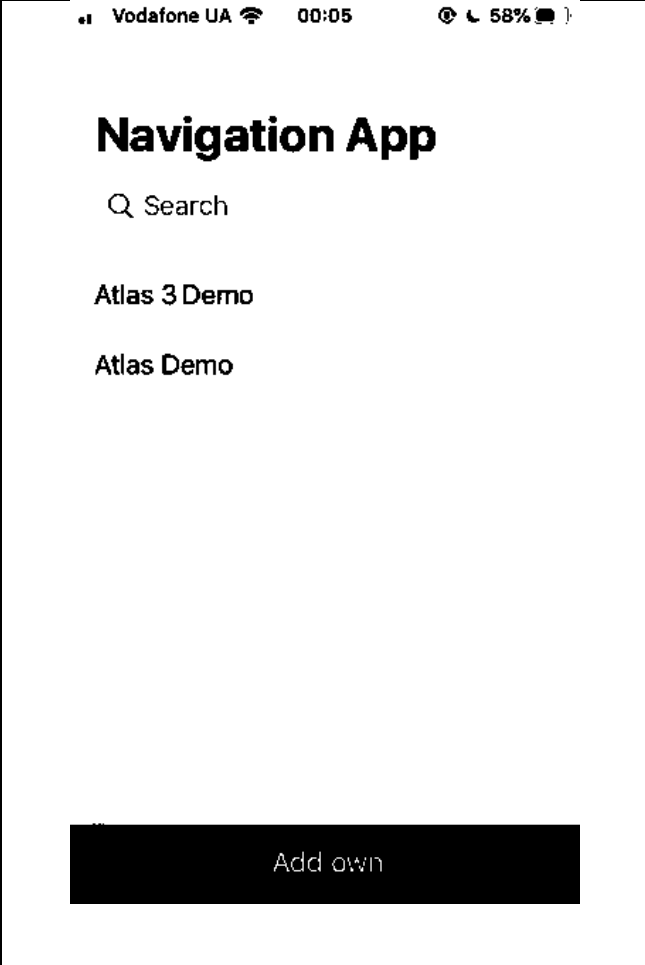
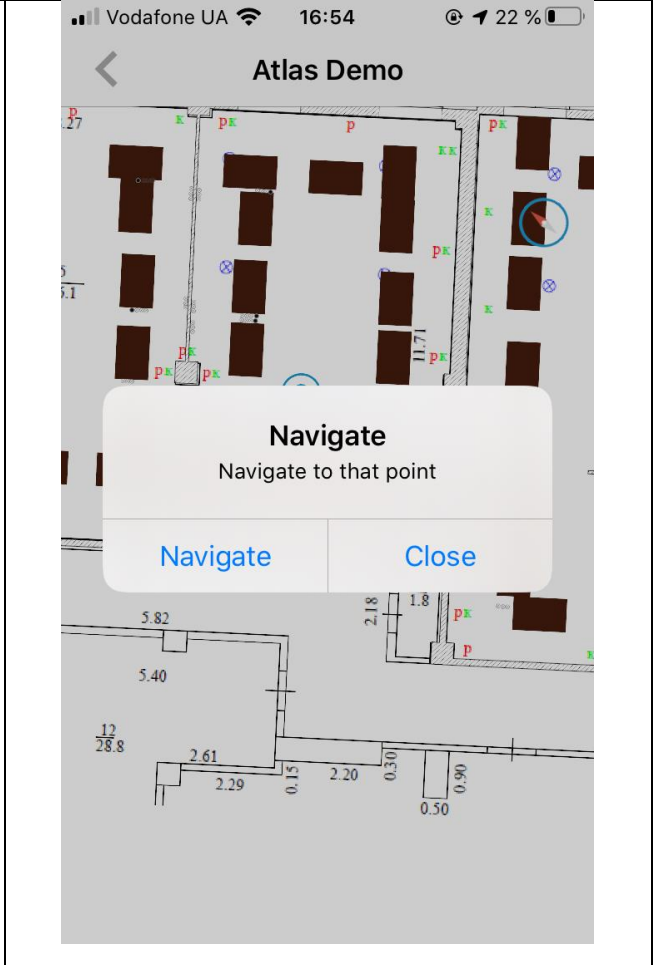
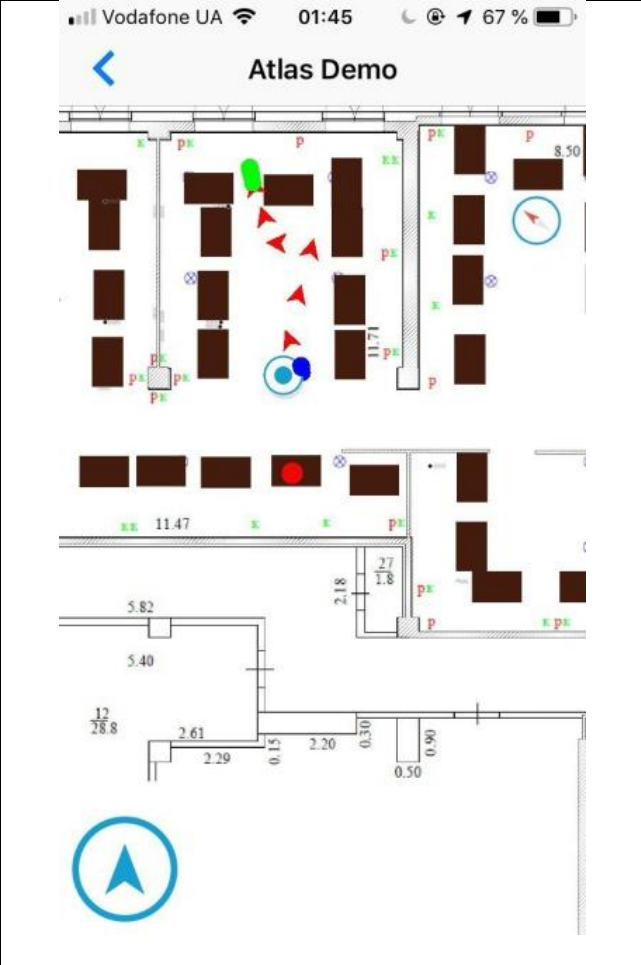
    //Вимірювання відстані до кожного з маячків
    let r1 = forBeacon(x: 1, rssiGiven: -66)
    let r2 = forBeacon(x: 2, rssiGiven: -59)
    let r3 = forBeacon(x: 3, rssiGiven: -62)

    //Визначення координати X приймача
    let x = (pow(r1, 2) - pow(r2, 2) + pow(a, 2)) / (2 * a)
    //Визначення координати Y
    let y = ((pow(r1, 2) - pow(r3, 2) + pow(b, 2) + pow(c, 2)) / (2 * b)) - (c * x) / b
    //Визначення координати Z
    let z = sqrt(pow(r1, 2) - pow(x, 2) - pow(y, 2))

    print("""
Шуканий об'єкт знаходиться по координатам:
\ \(x.rounded()) по осі X
\ \(y.rounded()) по осі Y
+ \ \(z.rounded()) по осі Z
""")
}

```

ПРИКЛАДИ РОБОТИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ

		
<p>Приклад зовнішнього вигляду головного вікна мобільного додатку</p>	<p>Приклад вибору точки для побудови маршруту</p>	<p>Приклад побудованого маршруту</p>

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовані сучасні методи та технології локального позиціонування (плакат 5)
2. Розроблено метод позиціонування мобільного об'єкта для різних віртуальних просторів великих торгових центрів на основі вимірювань потужності сигналів маячків і даних про їх місцезнаходження (без фільтрації) (плакат 10)
3. Розроблено метод позиціонування мобільного об'єкта для різних віртуальних просторів великих торгових центрів на основі вимірювань потужності сигналів маячків і даних про їх місцезнаходження з використанням фільтра Калмана (плакат 11)
4. Розроблено технологію позиціонування мобільного об'єкта для різних віртуальних просторів великих торгових центрів (плакати 12 - 14)
5. Розглянути результати тестування методів та технологій з фільтром (плакат 15)
6. Розроблено приклад мобільного додатку, що забезпечує відображення місця розташування користувача на карті приміщення (плакат 16)

ПУБЛІКАЦІЇ З ТЕМИ MAP

1. Коваленко А.И. Метод позиционирования мобильного объекта для виртуальных пространств больших торговых центров. // 23-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Харків. ХНУРЭ. 2019. Т. 6. с. 106 - 107.
2. Саенко В.И., Коваленко А.И. Исследование методов и технологий позиционирования мобильного объекта для разных виртуальных пространств больших торговых центров / Матеріали третьої міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні та інформаційні системи і технології». 2019. - с. 99-100.