

DOI:

УДК 004.75

**О.Д. Федій**, аспірант, [aleksandra.fedii@gmail.com](mailto:aleksandra.fedii@gmail.com)

**Л.М. Божуха**, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри МЗЕОМ, [bozhukha.li@gmail.com](mailto:bozhukha.li@gmail.com)

Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро

## ПРО ПІДХОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ

*Останнім часом значно збільшився інтерес до систем контролю персоналу, визначення місця розташування об'єкта, визначення місця розташування людини для розрахунку дистанції між людьми. На перший план виходять системи позиціонування в режимі реального часу. Актуальним питанням при проектуванні системи є обрання технологічних підходів пошуку відстані до об'єкту та методів пошуку та усунення завад при визначенні місцезнаходження об'єктів. У роботі виконаний аналіз сучасних технологій та програмних засобів щодо визначення місцезнаходження об'єкта, що рухається. Пропонуються підходи щодо формування стратегії обрання принципів архітектури мережі при проектуванні системи для подальшого розроблення технології усунення всіх можливих факторів, які впливають на визначення місця розташування з максимальною точністю. Проведено експерименти і надані результати порівняння використання різних підходів.*

**Ключові слова:** визначення місцезнаходження об'єктів; використання супутникової навігації; GPS; бездротова мережа Wi-Fi; сотова вежа; Bluetooth-технології; візуальні методи визначення місцезнаходження.

*Object recognition and distance measurement are necessary options in many areas. An important issue in the design of the system is the choice of technological approaches to finding the distance to the object and methods of searching and eliminating obstacles in determining the location of objects. The paper analyzes modern technologies and software to determine the location of a moving object. Approaches to the formation of a strategy for choosing the principles of network architecture in the design of the system for further development of technology to eliminate all possible factors that affect the location with maximum accuracy. Experiments were performed and the results of comparing the use of different approaches were presented.*

**Keywords:** location of objects; use of satellite navigation; GPS; Wi-Fi wireless network; cellular tower; Bluetooth-technologies; visual methods of location.

## Постановка проблеми

В даний час знаходять широке застосування система вимірювання відстані до об'єкта з елементами штучного інтелекту. Одними з основних компонентів таких комплексів є модулі отримання зображень, розпізнавання окремих об'єктів на ньому, управління параметрами системи для найкращого розпізнавання і подальшого прийняття рішень про доступність об'єкту тих чи інших можливостей. Такі системи отримали широке поширення в області комплексної безпеки, автоматичної обробки графічних даних, систем виявлення порушень правил дорожнього руху і тощо. При проектуванні системи актуальним є питання щодо обрання технологічних підходів пошуку відстані та методи пошуку завад при визначенні місцезнаходження об'єктів. Продовженням розв'язання цього питання може стати усунення виділених завад при уточненні координат об'єкта для збільшення швидкості, точності та достовірності отримання параметрів.

Для вирішення завдання необхідно проведення порівняльного огляду існуючих методів та алгоритмів визначення місцезнаходження об'єктів. Зокрема, проведенню аналізу технологій та програмних засобів щодо визначення місцезнаходження об'єкта, що рухається, присвячена ця публікація.

## Аналіз останніх досліджень та публікацій

Одна з найпопулярніших категорій мобільних додатків сьогодні та, що надає послуги з визначенням місця розташування пристрою. Багато людей використовують системи позиціонування на своїх навігаційних пристроях, смартфонах і планшетах.

Слабка сторона цих рішень в тому, що існує багато завд, таких як недоступність всередині приміщень через сильне погашення сигналів стінами і перекриттями будівель. Таким чином відкривається ніша для надійних рішень з позиціонуванням в приміщеннях.

Сьогодні існує ряд підходів і технологій для вирішення цього завдання. Компанія Cisco вже кілька років працює над позиціонуванням за допомогою технології Wi-Fi, з огляду на поширеність мереж і пристроїв. Технологіями позиціонування та навігації користувача всередині закритих приміщень на базі GSM мереж займаються дослідники з університету імені П'єра та Марії Кюрі [6].

#### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз технологій щодо вирішення задачі для визначення місцезнаходження об'єктів. Задачею на даному етапі дослідження є формування стратегії обрання принципів архітектури мережі при проектуванні системи для подальшого розроблення технології усунення всіх можливих факторів, які впливають на визначення місця розташування з максимальною точністю.

Для вирішення цієї задачі використовуються методи та підходи, які формують різні моделі при використанні супутникової навігації (GPS), навігації за допомогою сотових веж, технології бездротового зв'язку (Bluetooth), місця розташування по бездротових мережах Wi-Fi.

#### Виклад основного матеріалу

Принцип дії визначення місця розташування за допомогою сотових веж полягає в тому, що мобільний телефон (або модуль сотового зв'язку) знає, яким приймачем базової станції він обслуговується і маючи базу даних координат передавачів базової станції можна приблизно визначити своє місце розташування. Ця база даних наповнюється різними способами, найбільш простий — це установка на смартфон програми, яка записує координати телефону обслуговуючу базову станцію, а потім відсилає на сервер всі вимірювання. На сервері OpenCellID відбувається обчислення приблизного місця розташування об'єкту на підставі великого числа вимірювань [4]. Таким чином, координати бездротової мережі обчислюються автоматично і є дуже приблизними.

Схематичне зображення принципу дії визначення місця розташування за допомогою сотових веж наведено на рис. 1, для використання якого при моделюванні обрано три сотові вежі.

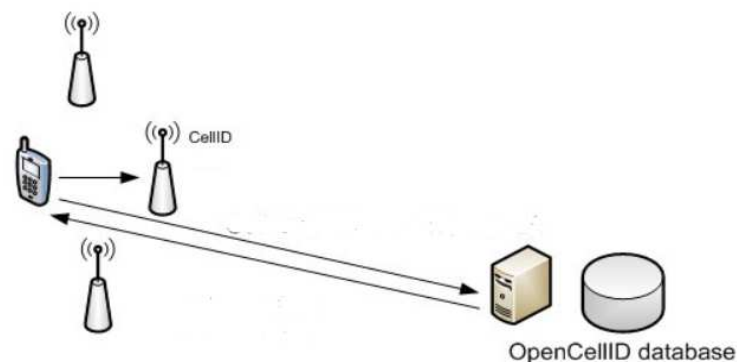


Рис. 1. Принцип дії визначення місця розташування за допомогою сотових веж

Результати обчислення за принципом визначення відстаней між розташуванням об'єкта до сотових веж наведено в табл. 1. Отримані дані щодо зафіксованих зберігаються на сервері (OpenCellID database).

Недоліком цього методу є те, що обробка сигналу гаджета веде до значних помилок у визначенні місця розташування по Cell ID.

Таблиця 1. Принцип дії визначення місця розташування за допомогою сотових веж

Сотова вежа	Отримані дані, км	Реальні дані, км
t1	2	3
t2	3	2
t3	4	4

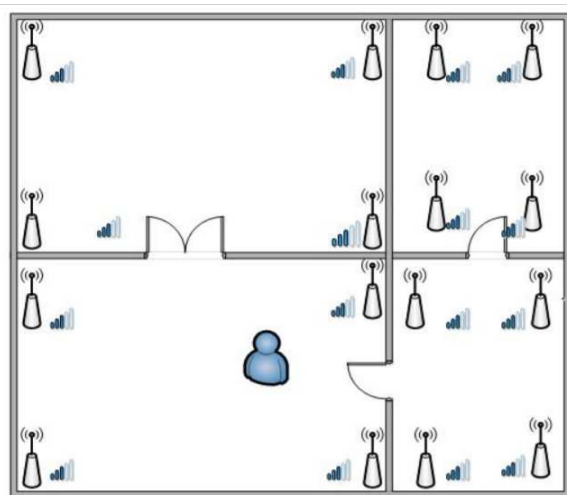


Рис. 2. Принцип дії визначення місця розташування за допомогою Wi-Fi точок

Принцип дії визначення місця розташування за допомогою Wi-Fi точок є більш результативним методом для визначення координат в просторі, та як наслідок — відстаней між ними. За цим принципом підключення до інтернету не потрібно та вимагається тільки унікальний номер мережі для роботи з об'єктами. Ідея цього підходу полягає в тому, що інформація про велику кількість існуючих стаціонарних точок доступу Wi-Fi зібрана в глобальну базу даних [5]. Перевагами принципу можна вважати те, що кожна стаціонарна точка доступу має свою точну гео-координату та радіус сигналу бездротових мереж відносно невеликий. При вимірюванні сили цього сигналу за допомогою вбудованого датчика та спеціального алгоритму, на об'єкті можна з відносно невеликою похибкою обчислити гео-координати. Інформацію про місцезнаходження точок Wi-Fi можна отримати через різні сервіси (платні і безкоштовні), які є доступними в мережі (Google).

На рис. 2 зображено схему можливого розташування Wi-Fi точок та об'єкта, гео-координати якого обчислюються. Для представлення результатів щодо порівняння обраних принципів роботи визначення місця розташування об'єкту обрано 4 прямокутних кімнати та по 4 Wi-Fi точки на кімнату, які організовані у єдину мережу.

Результати обчислення відстані до об'єкта від Wi-Fi точок за цим принципом наведено в табл. 2. Наявність гео-координат Wi-Fi точок та відстаней до об'єкта приводить задачу обчислення точних координат об'єкта до меншого радіусу дії сигналів.

Таблиця 2. Принцип дії визначення місця розташування за допомогою Wi-Fi точок

Wi-Fi точка локальної мережі	Отримані дані, м	Реальні дані, м
t1	3	3
t2	2	2
t3	4	4
t4	5	5
t5	7	6
t6	6	6
t7	10	10
t8	11	10
t9	5	5
t10	5	5
t11	12	12
t12	14	14
t13	16	15

Продовження таблиці 2

t14	14	15
t15	6	6
t16	8	8
Координати об'єкта	50.435518, 30.5458358	50.4387279, 30.5231726

Перевагами використання принципу Wi-Fi точок є висока точність, низьке енергоспоживання, пасивний режим та той факт, що надана можливість визначення координат об'єктів в приміщеннях.

До недоліків можна віднести тільки той факт, що необхідно постійне підключення до мережі. Завади суттєво впливають на силу сигналу. Як приклад, внутрішньою завадою є стіна та її структура. До зовнішніх завад можна віднести погодні умови.

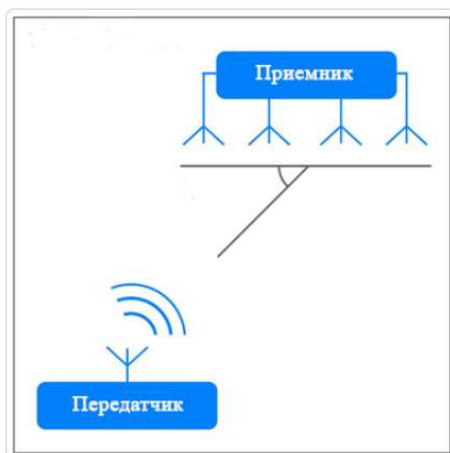


Рис. 3. Принцип дії визначення місця розташування об'єкта за допомогою Bluetooth-технології

Принцип дії визначення місця розташування об'єкта за допомогою Bluetooth-технології (визначення місця розташування за допомогою радіохвиль). Для визначення місця розташування з Bluetooth-технологією використовується той же принцип, що і з мережами Wi-Fi точок (рис. 3). Різницею є тільки те, що в якості точок відліку координат (Wi-Fi точки) використовуються спеціальні Bluetooth-маяки з технологією iBeacon від Apple або Eddystone від Google [2]. При використанні розробок з Bluetooth-технологією зібрана велика кількість даних про місцезнаходження сотень тисяч таких точок, які є встановленими в громадських місцях. Простота в установці і низька вартість подібних Bluetooth-маяків дозволяє даній технології розвиватися дуже швидкими темпами, що відкриває великі перспективи для визначення місцезнаходження як всередині приміщення, так і на вуличних просторах.

Результати обчислення відстані до об'єкта від Bluetooth-маяків за цим принципом наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Принцип дії визначення місця розташування об'єкта за допомогою Bluetooth-технології

Точка Bluetooth	Отримані дані, м	Реальні дані, м
t1	0,1	0,1

Перевагами використання принципу з Bluetooth-технологією є низьке енергоспоживання і той факт, що надана можливість точного визначення координат об'єктів в приміщенні.

Недоліками принципу з Bluetooth-технологією є маленький радіус хвиль при підключенні до Bluetooth-маяка.

Популярність набирають алгоритми машинного навчання. Зокрема, можна виділити принцип визначення місця розташування об'єкта за допомогою візуальних методів при використанні алгоритмів роботи з зображеннями та відеопотоками. Такий принцип заснований на методах комп'ютерного зору і на алгоритмах глибокого навчання. Більша частина алгоритмів реалізована у бібліотеках OpenCV, GEOS/OGR/GDAL, Pyproj, Shapely, Mapnik.

Надалі в роботі буде акцентована увага на використанні розроблених підходів для вирішення задачі визначення місця розташування об'єкта та порівнянні дії, часу та точності використаних алгоритмів. У комбінованому застосуванні методів комп'ютерного зору застосовується

ся виявлення об'єктів на основі даних 2D/3D LiDAR та видимих зображень однієї і тієї ж сцени. Для додатків візуального спостереження використовують алгоритми роботи з фоном [3].

Підходи на основі штучного інтелекту є гарними рішеннями, які дають якісні результати. Але такі підходи є затратними в часі з точки зору навчання і збору даних та вимагають великих обчислювальних одиниць для зберігання інформації, що обмежує їх доступність.

Використання методів комп'ютерного зору щодо виявлення пішоходів у відео потоці приводять до постійного перетворення координат (рис. 4, рис. 5).

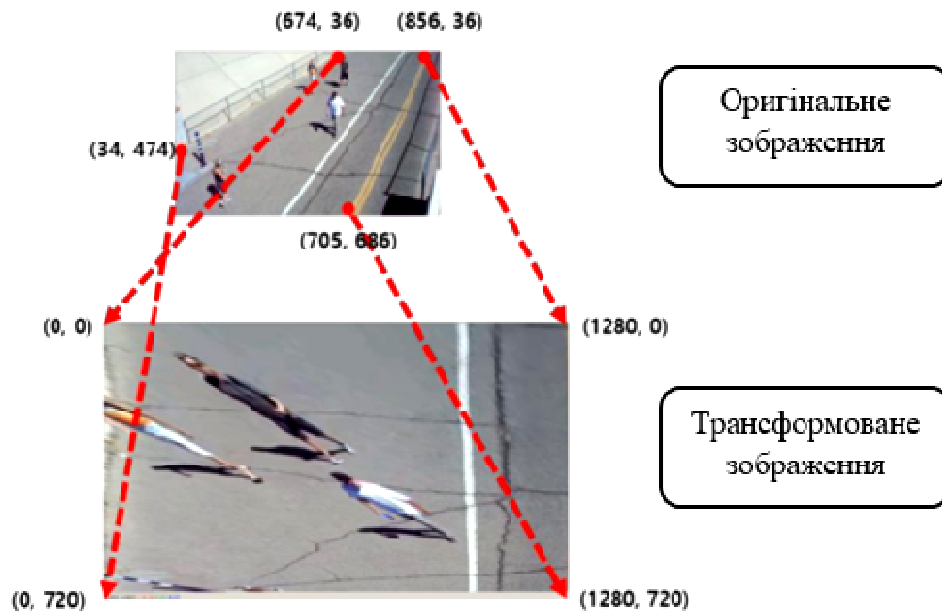


Рис. 4. Виділення кадру з відео потоку



Рис. 5. Виділення координат об'єкта на зображенні

Обмеження принципу визначення місця розташування об'єкта за допомогою візуальних методів при використанні алгоритмів роботи з зображеннями та відеопотоками полягає в тому, що існує багато завад: сильний вітер, тварини або птахи, які з'явилися в кадрі, швидкість зчитування інформації, обробка інформації, інтервали сигналу.

Для перелічених вище методів виділяють проблеми складності реалізації: точність, вартість, конфіденційність, доступність або енергоспоживання.

Для розуміння роботи декотрих алгоритмів та подальшого їх порівняння у роботі надалі обрано принцип визначення місця розташування об'єкта при використанні даних супутникової системи навігації GPS.

Визначення координат за допомогою GPS засноване на вимірі відстані від супутників до GPS приймача (об'єкта), що знаходиться на поверхні Землі. Це відстань до кожного супутника може бути визначено об'єктом. При наявності координат декількох супутників, можна визначити координати об'єкту [1]. Положення об'єкта є точкою на поверхні уявної сфери, центром якої є супутник. При визначенні точки перетину трьох уявних сфер супутників отримується положення об'єкта (рис. 6).

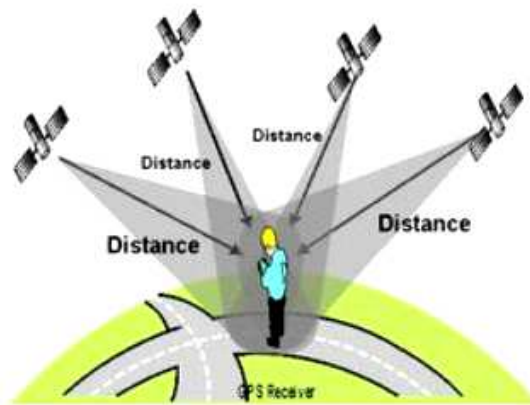


Рис. 6. Визначення координат за допомогою GPS

Проблемою цього підходу є визначення лише псевдо координат та часу по сигналу GPS. Отже, для вирішення задачі розглянемо чотири невідомі величини: координати ( $X, Y, Z$ ) і час проходження сигналу. Виконавши вимірювання сигналів від чотирьох супутників отримуємо чотири рівняння, які вирішуються та дозволяють визначити ці невідомі величини.

Місцезнаходження визначається трьома координатами приймача супутникової навігації в деякій системі координат. Якщо координати приймача не змінюються, то об'єкт вважається статичним. Для того, щоб підвищити точність визначення координат, використовують наземні станції, а також угруповання супутників (більше 2-х).

Одним з GPS підходів визначення місця розташування об'єкта є метод позиціонування при використанні методу перетину сфер. Супутники постійно передають пакети, які містять час відправки і координати супутника. Далі йде порівняння часу відправки сигналу з супутника згодом його отримання на Землі. Ця різниця в часі говорить приймачу про відстані до конкретного супутника. Отримана аналогічна інформація від декількох інших супутників дозволяє визначити своє місце розташування. Місце розташування об'єкта обчислюється перетином сфер від різних супутників. Радіуси сфер визначаються неточно через тропосферну і іоносферну затримки, ефекту прийому відбитого сигналу та інших чинників. Похибка обчислення відстані до об'єкту може становити 30—50 метрів.

Щоб зменшити порядок похибки необхідна наземна база (приймач), координати якого будуть відомі. Притому приймач повинен знаходитися максимально близько до вимірюваного об'єкта. Таким чином буде скорочено тропосферний і іоносферних затримки.

Недоліком цього принципу є те, що неможливо знайти точне місце розташування об'єкта (приймача). У підрахунку є невраховані помилки: помилка годин супутника, помилка годин-

ника приймача, тропосферні і іоносферні затримки, супутникові інструментальні затримки.

Джерелами виникнення помилки обчислень при використанні цього підходу можуть бути наступні завади: іоносферні і атмосферні затримки, помилки годин супутника і приймача, перевідбиттів, геометричне зниження точності, виборчий доступ (S/A), шифрування кодових даних — Anti Spoofing (A-S).

Основною завадою по вирішенню задачі визначення місця розташування об'єкта є обчислення третьої сферичної координати, яка пов'язана з висотою.

Принцип роботи GPS впливає на обчислення координат, отже і на вимірювання висоти. Всі висоти, які вимірюються за допомогою технології GPS відносяться до поверхні еліпсоїда WGS84, які називаються еліпсоїдальними висотами. В існуючих каталогах зазвичай вказані ортометричні висоти (відмітки), які виміряні щодо кількісної характеристики середнього рівня моря. Оскільки на більшості існуючих карт вказані ортометричні висоти, більшість споживачів GPS також вимагають, щоб їх висоти були ортометричними. Ця проблема вирішена за допомогою побудови моделі поверхні (геоїд), яка призначена для перетворення еліпсоїдальних висот в ортометричні. На відносно рівнинних територіях поверхню геоїда можна прийняти за порівняно рівномірну. У таких регіонах за допомогою деяких методів перетворення можна створити модель висот, по якій можна інтерполювати геоїдальні висоти.

Для роботи з цією моделлю обирають методи виключення похибок для підвищення точності навігаційних визначень:

- обчислення похибки (корекція тропосферної затримки, корекція координат відповідно до геофізикою, а саме приливи, відливи, облік зсуву центру приймача і супутника);
- використання двочастотного приймача (приймач, який приймає з супутника одні й ті ж дані, але на різних частотах), основним завданням якого є виключення іоносферної затримки;
- використання диференціального (відносного) режиму визначень при роботі з одним або більшою кількістю базових приймачів, які розміщені в точках з відомими координатами та одночасно з приймачем споживача (рухомим, або мобільним) здійснюють прийом сигналів одних і тих же супутників.

Підвищення точності навігаційних визначень досягається за рахунок того, що помилки вимірювання навігаційних параметрів споживчого та базових приймачів є корельованими. При формуванні різниць реальні показники можуть відрізнитися та велика частина таких похибок компенсується.

В основі диференціального методу лежить знання координат опорної точки — контрольно-корегуючої станції (ККС) або системи опорних станцій, щодо яких можуть бути обчислені поправки до визначення псевдодальностей до навігаційних супутників. Якщо ці поправки врахувати в апаратурі споживача, то точність розрахунку, зокрема, координат може бути підвищена в десятки разів.

### Висновки

Запропоновано певна кількість підходів щодо вирішення задачі для визначення місцезнаходження об'єктів. Проведений аналіз передбачає можливості формування стратегії обрання принципів архітектури мережі при проектуванні системи для подальшого розроблення технології усунення всіх можливих факторів, які впливають на визначення місця розташування з максимальною точністю.

Засобами розробленого додатку проведено аналіз отриманих даних. Дослідження кількісних характеристик отриманих результатів дає можливість обрати стратегію побудови архітектури системи та технології для вирішення задачі знаходження координат об'єкта.

Досліджені похибки засобів вимірювання місцезнаходження об'єктів з різними підходами побудови архітектури мережі. Для цього були проведені експериментальні дослідження, що представляють собою порівняння результатів вимірювання зі стандартизованими засобами вимірювань. Проведено обробку отриманих даних.

Всі розглянуті вище методи мають свої переваги і недоліки та мають місце в сучасних системах позиціонування. Для подальших досліджень обрано метод визначення координат за допомогою GPS.

### Список використаної літератури

1. Chalermchon S., Somchai K. Performance of Open Source Precise Point Positioning Software Using Single-frequency GPS Data : Geo-Image Technology Research Unit Department of Survey Engineering Chulalongkorn University, 2006. pp. 50.
2. Danie F. S. Model-Based Localization and Tracking Using Bluetooth Low-Energy Beacons : Cemgil AT, 2017. pp. 17.
3. Shawe-Taylor J. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods : Nello Cristianini, 2000. pp. 204.
4. Kirichek R. V., Kucheryavy A. E., Paramonov A. I., Prokop'ev A.V. Evolution of Research in the Field of Wireless Sensor Network : Telecom IT, 2014. pp. 29–41.
5. Kostyk I. N., Kucheryavy A. E., Prokop'ev A.V. Comparison of the Effectiveness of Positioning for Bluetooth Networks, Wi-Fi and ZigBee : Telecom IT, 2015. pp. 53–61.
6. Ye Tian, Bruce Denby, Iness Ahriz, Pierre Roussel, Gerard Dreyfus Robust indoor localization and tracking using GSM fingerprints : EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015. pp. 12.

### ABOUT APPROACHES TO DETERMINATION OF LOCATION OF OBJECTS

**Fedii O., Bozhukha L.**

#### **Abstract**

Object recognition and distance measurement are necessary options in many areas. An important issue in the design of the system is the choice of technological approaches for finding the distance to the object and methods of searching and eliminating obstacles in determining the location of objects. Systems for measuring the distance to an object with elements of artificial intelligence are now widely used. The main components of such complexes are modules for obtaining images, recognizing individual objects on them, managing system parameters for the best recognition, and subsequent decision-making about the availability of the object of certain capabilities. Such systems have become widespread in the field of integrated security, automated graphics data processing, systems for detection of a traffic violation, etc.

When designing the system, the question of choosing technological approaches to finding distances, and methods of finding obstacles, in determining the location of objects, is relevant. The solution to this problem can be continued by eliminating the selected obstacles in clarifying the coordinates of the object to increase the speed, accuracy and reliability of the parameters.

This paper analyzes modern technologies and software, to determine the location of a moving object. Approaches to the formation of a strategy for choosing the principles of network architecture in the design of the system for further development of technology to eliminate all possible factors that affect the location with maximum accuracy. Experiments were performed and the results of comparing the use of different approaches were presented.

To solve the problem it is necessary to conduct a comparative review of existing methods and algorithms for locating objects. In particular, this publication is devoted to the analysis of technologies and software to determine the location of a moving object.

One of the most popular categories of mobile applications today is the one that provides location services. Many people use positioning systems on their navigation devices, smartphones, and tablets.

The weakness of these solutions is that there are many obstacles, such as inaccessibility indoors due to strong extinguishing of signals by walls and ceilings of buildings. This opens a niche for reliable solutions with positioning indoors.

Today there are several approaches and technologies to solve this problem. Cisco has been working on Wi-Fi positioning for several years, given the proliferation of networks and devices.



Researchers from Pierre and Marie Curie University are involved in the positioning and navigation of the user indoors based on GSM networks.

The purpose of the study is to analyze the technology to solve the problem to determine the location of objects. At this stage of the study, the task is to form a strategy for choosing the principles of network architecture in the design of the system for further development of technology to eliminate all possible factors that affect the location with maximum accuracy.

To solve this problem, methods and approaches are used, which form different models when using satellite navigation (GPS), navigation using cell towers, wireless communication technology (Bluetooth), locations on wireless Wi-Fi networks.

A number of approaches to solving the problem of locating objects are proposed. The analysis involves the possibility of forming a strategy for choosing the principles of network architecture in the design of the system for further development of technology to eliminate all possible factors that affect the location with maximum accuracy.

The analysis of the obtained data was carried out by means of the developed application. The study of the quantitative characteristics of the obtained results makes it possible to choose a strategy for building the architecture of the system and technology to solve the problem of finding the coordinates of the object.

The errors of the means of measuring the location of objects with different approaches to building a network architecture have been investigated. For this purpose, experimental studies were conducted, which represent a comparison of measurement results with standardized measuring instruments. The received data were processed.

All the above methods have their advantages and disadvantages and take place in modern positioning systems. For further research, the method of determining coordinates using GPS was chosen.

### References

- [1] Chalermchon, S., & Somchai, K. (2006). *Performance of Open Source Precise Point Positioning Software Using Single-frequency GPS Data*. Bangkok: Geo-Image Technology Research Unit Department of Survey Engineering Chulalongkorn University.
- [2] Danie, F. S. (2017). *Model-Based Localization and Tracking Using Bluetooth Low-Energy Beacons*. : Indonesia: Cemgil AT.
- [3] Shawe-Taylor, J. (2000). *An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods*. London: Nello Cristianini.
- [4] Kirichek, R. V., Kucheryavy, A. E., Paramonov, A. I. & Prokop'ev, A.V. (2014). *Evolution of Research in the Field of Wireless Sensor Network*. СПб.: Telecom IT.
- [5] Kostyk, I. N., Kucheryavy, A. E. & Prokop'ev A.V. (2015). *Comparison of the Effectiveness of Positioning for Bluetooth Networks, Wi-Fi and ZigBee*. СПб.: Telecom IT.
- [6] Ye, T., Denby, B., Ahriz, I., Pierre, R. & Dreyfus, G. (2015). *Robust indoor localization and tracking using GSM fingerprints*. Italy: EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking.