

УДК 004

Д.Яценко, магістр гр. КН-22М-1,
Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ GPS НАВІГАТОРА НА ОСНОВІ ЧИПУ СЕРІЇ SIRF ATLAS V

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V. Об'єктом дослідження є процес GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V. Предметом дослідження є методи GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V. Методи дослідження базуються на методах теорії геопозиціонування, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Деякі GPS-приймачі настільки точні, що можуть визначити своє місцезнаходження з точністю до 1 сантиметра. Приймачі GPS забезпечують визначення місцезнаходження за широтою, довготою та висотою. Вони також дають точний час. GPS включає 24 супутники, які обертаються навколо Землі на точних орбітах. Кожен супутник робить повний оберт навколо Землі кожні 12 годин. Ці супутники постійно посилають радіосигнали. Приймачі GPS запрограмовані на отримання інформації про те, де кожен супутник знаходиться в будь-який момент. GPS-приймач визначає своє власне місцезнаходження, вимірюючи час, потрібний для надходження сигналу до його місцезнаходження принаймні з чотирьох супутників. Оскільки радіохвилі поширюються з постійною швидкістю, приймач може використовувати вимірювання часу для розрахунку відстані від кожного супутника. Використання кількох супутників робить дані GPS більш точними. Якщо приймач GPS обчислює свою відстань лише від одного супутника, це може бути точна відстань від супутника в будь-якому напрямку. Думайте про супутник як про ліхтарик. Коли ви посвітите ним на землю, ви отримаєте коло світла. З одним супутником GPS-приймач може бути де завгодно в цьому колі світла. З двома супутниками більше, є ще два кола. Ці три кола перетинаються, або перетинаються, лише в одному місці. Це місцезнаходження GPS-приймача. Такий спосіб визначення місця розташування називається трилатерацією. Літаки, кораблі, підводні човни, потяги та космічні човники використовують GPS для навігації. Багато людей користуються магнітолами під час водіння автомобіля. GPS-приймач наносить на електронну карту місце розташування автомобіля, яке постійно змінюється. Карта показує напрямки до місця призначення людини. І місцезнаходження, і транспортний засіб наносяться за допомогою супутникових даних. Деякі туристи використовують GPS, щоб допомогти їм знайти дорогу, особливо коли вони не на маркованих стежках. Іноді виникають перешкоди для отримання чіткого сигналу GPS. Гравітація може трохи вивести супутники GPS з орбіти. Частини земної атмосфери іноді спотворюють супутникові радіосигнали. Деревя, будівлі та інші споруди також можуть блокувати радіохвилі. GPS контроль і станції моніторингу по всьому світу відстежують супутники та постійно контролюють їхні сигнали. Потім вони обчислюють поправки, які транслуються на приймачі GPS. Ці поправки роблять GPS набагато точнішим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-20] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи GPS навігатора на основі чипу серії SIRF ATLAS V.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V.
- Дослідження системи GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V.
- Програмна реалізація системи GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V.

Об'єктом дослідження є процес GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V.

Предметом дослідження є методи GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V.

Методи дослідження базуються на методах теорії геопозиціонування, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Перш, ніж ми почнемо розглядати різні режими роботи навігаторів, необхідно визначитися з термінологією. У перекладах описів до навігаторів зустрічається різна термінологія, але ми будемо дотримуватися загальновідомої.

Шляхова точка (Waypoint) – точка зі своїм номером або назвою, занесена вами до пам'яті навігатора й зберігається там до того, поки ви її примусово не зітрете. Звичайно в пам'яті сучасного навігатора можна зберігати 250 – 500 шляхових точок.

Шляхову точку можна запам'ятати, безпосередньо перебуваючи на конкретному місці. Наприклад, можна відзначити місце залишеної машини, намет, знайдені у водоймі за допомогою ехолота яму, банку, звалення й т.д.

Шляхову точку можна екстраполювати, тобто нанести на карту й відзначити, як таку, що представляє для нас який-небудь інтерес. Цей випадок добре використовувати для визначення відстаней і напрямків до тих точок, у яких ми ще не були, але куди прагнемо потрапити. Даний режим повною мірою можна використовувати тільки в тих навігаторах, у яких є можливість завантаження карт місцевості (тут не розглядається випадок, коли у вас є звичайна «паперова» карта з топографічною сіткою). Приклад роботи в цьому режимі розглянемо в наступній статті. Там же, для користувачів найпростіших навігаторів, покажемо, як «прив'язати» точку, задану навігатором, до звичайної карти.

Ну й, нарешті, шляхову точку можна поставити, просто вводячи її географічні координати, тобто широту й довготу. Цей режим найбільше часто використовується у всіляких змаганнях типу спортивного орієнтування, які проводяться з використанням супутникового навігатора.

Рух до обраної шляхової точки – це основний режим використання навігатора. Будь-який, навіть найпростіший і дешевий навігатор, здатний надати вам можливість працювати в цьому режимі.

Шлях (Track) – траєкторія вашого руху, що теж складається із точок, але нумерованих і запам'ятовуваних навігатором автоматично в той час, коли він включений, і коли сила сигналів від супутників достатня для визначення місця розташування. У більшості простих моделях ці точки відносяться навігатором через постійний проміжок часу (звичайно через 1 секунду). Краще зроблені моделі дозволяють програмувати режим установки точок шляхи через обраний вами проміжок часу або яку-небудь пройдену відстань (допустимо, через кожні 10 метрів).

Взагалі, режим установки точок шляхи через обрану відстань більше зручний з точки зору економії пам'яті приладу. Справа в тому, що під точку шляху приділяється цілком певне місце в пам'яті приладу. У простих моделях – це 1500-2000 точок, у більшості сучасних – 10000 і більше. У міру заповнення пам'яті, відведеної підточування шляху, координати нових точок записуються на місце старих, і інформація про більше ранні точки безповоротно губиться.

При включенні режиму Інверсія шляху (Track Back) можна дуже точно пройти свій шлях у зворотному напрямку. Цей режим іноді буває дуже корисний, наприклад, коли потрібно пройти в темряві по фарватеру.

Маршрут (Route) – серія зв'язаних між собою шляхових точок. Цей режим руху використовується для переміщення від точки до точки. Основних способів використання цього режиму руху – два. Перший, це пересування по дорогах від перехрестя до перехрестя. Другий, перетворення режиму Шлях у режим Маршрут. Справа в тому, що зберігати траєкторію вашого пересування в режимі Шлях не вигідно з погляду економії пам'яті навігатора. Тому дуже часто буває розумно перетворити Шлях у Маршрут, розставивши в характерних місцях шляхові точки вже після закінчення руху, і внести його до пам'яті під своїм ім'ям.

Так як навігатор призначений для роботи в різних режимах, вивід інформації на дисплей організований у вигляді так званих екранів або Сторінок (Page).

Основних сторінок (Main Page Basics) у навігаторі Vista усього шість: Супутники, Карта, Навігація, Висотомір, Шляховий комп'ютер і Головне меню. Звичайно у всіх моделей навігаторів є кнопка Page для перемикання між основними сторінками. Вибравши одну з Основних сторінок, можна викликати сторінки нижніх рівнів, призначені для відображення інформації в іншому виді або для налаштування основної сторінки. Завдяки такій простій і логічній організації подання даних, розібратися в роботі будь-якої моделі навігатора можна легко й швидко.

Сторінка «СУПУТНИКИ» («SATELLITE»)

Відсутня тільки в самих примітивних навігаторів, призначених для дітей і домогосподарок. Дуже важлива сторінка.

Дозволяє в умовах затінення (якщо ви перебуваєте в місті, у горах або в густому лісі) правильно зорієнтуватися й вибрати потрібну позицію для поліпшення прийому. Показує розташування супутників на небі в цей момент, силу сигналу від кожного, що течуть координати й точність їхнього визначення.

Ще раз нагадаємо, що для визначення координат приймач повинен одержати стійкий сигнал мінімум від трьох супутників.

Сторінка «КАРТА» («MAP»)

У тому або іншому виді присутня у будь-якому навігаторі. На ній відображаються ваші Шляхові точки, Шляхи й Маршрути. Масштаб карти може мінятися від сотень км/см до одиниць м/см. Для зміни масштабу існують спеціальні кнопки. У навігаторах, що мають можливість завантаження електронних карт, на сторінці Карта відображаються електронні карти місцевості. На жаль, на електронних картах не всі ділянки місцевості однаково пророблені у всіх масштабах. Дуже часто зустрічаються «провали». Доцільно ретельно тестувати електронні карти у місцях, що вас цікавлять.

Сторінка «НАВІГАЦІЯ» («NAVIGATION»)

Основна сторінка при використанні приладу. Навігатори бувають дорогі і дешеві, прості і складні, але такий екран є в кожному. Як уже говорилося, головний і найбільше часто використовуваний режим навігації – це рух до наміченої точки. Даний режим наочніше всього реалізується на цій сторінці.

Сторінка «ВИСОТОМІР» («ALTIMETER»)

Висоту, щоправда, дуже приблизно, визначає будь-який навігатор, що «бачить» не менш 4-х супутників. Висота обчислюється відповідно до тієї моделі Землі, що обрана в початкових установках навігатора. Для точного виміру висоти служить Альтиметр (Барометричний висотомір).

Ця функція є не у всіх навігаторів, тільки в дорогих моделях. Принцип роботи – у визначенні атмосферного тиску й перерахування його у висоту над рівнем моря або над рівнем поверхні землі. Зрозуміло, що Висотомір має потребу в калібруванні перед кожним його використанням. Якщо атмосферний тиск міняється по яких-небудь погодних причинах, відповідно до зміни тиску будуть змінюватися й показання Висотоміра. Так як Висотомір по

своїй суті є барометром, то з його допомогою корисно стежити за зміною атмосферного тиску для прогнозування зміни погоди.

Сторінка «ШЛЯХОВИЙ КОМП'ЮТЕР» («TRIP COMPUTER»)

Дуже цікава й корисна навігаційна функція. У найпростіших приладах як окрема сторінка відсутня, але основні елементи є на сторінці Навігації.

Шляховий комп'ютер визначає безліч параметрів вашого руху й видає їх на екран у зручному для вас виді. Цих параметрів може бути дуже багато, і кожний може для себе вибрати ті, які йому потрібні в цей момент. Перелічу деякі з них:

- Пройдена відстань.
- Час у русі.
- Час стоянок.
- Передбачуваний час прибуття в намічену точку.
- Поточна швидкість.
- Середня швидкість.
- Середня швидкість переміщення по всьому маршруті з урахуванням стоянок.
- Максимальна швидкість.
- Відстань до поточної точки.
- Відстань до кінця маршруту.
- Курс.
- Відхилення від курсу.
- Інші.

Сторінка «ГОЛОВНЕ МЕНЮ» («MAIN MENU»)

Як і сторінка Навігація, є в кожному GPS-приймачі. Із цієї сторінки можна викликати будь-яку функцію навігатора, там же зосереджені основні налаштування.

Підміну розділів Головного меню позначені піктограмами, які у всіх навігаторах виглядають приблизно однаково.

Відзначити (Mark) – дозволяє відзначити ваше місце розташування у вигляді шляхової точки. Кожній шляховій точці автоматично привласнюється тризначний номер. Ви можете відредагувати назву, замінивши номер ім'ям і призначивши точці який-небудь значок у вигляді піктограм (будинку, табору, готелю й т.д.).

Пошук (Find). Як уже було сказано, у пам'яті навігатора можна зберігати кілька сотень шляхових точок і цей режим допомагає швидко орієнтуватися у всьому їхньому великому списку.

Маршрути (Routes). У цьому режимі ви можете створювати й редагувати потрібні вам маршрути з наявних у пам'яті вашого приймача шляхових точок.

Шляхи (Tracks). Тут ви зберігаєте шляхи ваших переміщень, активізуєте режим руху уздовж обраного шляху, здійснюєте необхідні налаштування.

Налаштування (Setup). Всі загальні установки приладу перебувають у цьому підменю. Ви задаєте одиниці виміру навігаційних параметрів (відстань, швидкість, кути й т.д.), формат подання географічних координат, установлюється формат часу, налаштовуєте екран дисплея, робите всі системні установки.

Додатки (Accessories). Тут можуть бути зібрані додаткові функції приладу, безпосередньо не пов'язані з навігацією. Наприклад, у навігатора Garmin Etrex Vista – це дані про розташування й рух Сонця й Місяця (при активізації нагадує мініатюрний планетарій – дуже цікаво). До додаткових функцій також відносяться щоденник-календар, калькулятор, інформатор про найбільш сприятливий час для полювання й риболовлі в місці вашого розташування (дуже сумнівна, по-моєму, функція). Іноді в Додатки включають які-небудь іграшки й ще щось, що не має істотного значення.

Деякі навігатори (звичайно більше дорогі моделі, оснащені барометричним висотоміром) забезпечуються убудованим електронним компасом. Для чого він потрібний? Справа в тому, що якщо ви не рухаєтесь, то навігатор може визначити тільки ваше місце розташування, але не напрямок на яку-небудь точку. Для визначення напрямку ви повинні

переміщатися, і чим вище швидкість вашого переміщення, тим точніше прилад визначає обраний напрямок. Електронний компас – корисна функція, але разом з барометром, вони значно підвищують загальну вартість приладу.

Необхідно сказати й про сучасну моду застосування в навігаторах кольорових дисплеїв. Так, кольоровий дисплей дуже гарний і інформативний, але він чи ледве не в півтора рази зменшує час роботи приладу від комплекту батарей.

Із приводу живлення. В основному, навігатори живляться від двох батарейок розміру AA. Більш раннім моделям потрібно 4 такі батарейки. Існують малогабаритні моделі, що живляться від двох батарейок AAA. Ну й, нарешті, є навігатори з убудованими літєвими акумуляторами. Якщо ви робите нетривалі подорожі й щодня вертаєтеся на базу, де є джерело електроенергії, то варіант із убудованим акумулятором вам може дуже підійти. Для тих, хто відривається від цивілізації на кілька днів, необхідний навігатор з батареями. У подорож звичайно беруть ще ліхтарики, радіостанції, фотоапарати й іншу техніку, і якщо всі вони працюють на батареях одного типу (це в ідеалі), те в критичний момент знайдеться, чим захарчувати навігатор. До багатьох навігаторам продаються адаптери для живлення від автомобільного прикурювача.

Практично всі сучасні навігатори мають інтерфейсний роз'єм для зв'язку з комп'ютером. У комп'ютері ви можете зберігати свої шляхові точки й маршрути, завантажувати їх у навігатор у міру потреби, можете завантажувати з Інтернету електронні карти місцевості (якщо така можливість є у вашого навігатора).

Чутливість прийомної частини навігаторів можна підвищити, підключивши зовнішню антену. Зовнішня антена корисна при використанні навігатора в автомобілі або на катері. Жаль тільки, що роз'єм для зовнішньої антени є тільки в самих «навернених» і найдорожчих моделях.

На закінчення додам, що навігатори мають 7-й клас вологозахисності, а це означає, що їх можна короткочасно роняти в неглибокі калюжі. Деякі з них при цьому ще й мають позитивну плавучість, тобто не тонуть.

Розробка структурної схеми

На рисунку 1 представлена структурна схема роботи системи. Приймачі GPS працюють, визначаючи місцезнаходження чотирьох або більше цих супутників, визначаючи відстань до кожного з них і використовуючи цю інформацію для визначення свого власного місцезнаходження.

Ця операція базується на простому математичному принципі, який називається трилатерація. Трилатерація в тривимірному просторі може бути трохи складною, тому ми почнемо з пояснення простої двовимірної трилатерації.

2D трилатерація

Уявіть, що ви перебуваєте десь у Україні і повністю, повністю заблукали; з будь-якої причини ви абсолютно не знаєте, де ви знаходитесь. Ви знаходите доброзичливого місцевого жителя і запитуєте: "Де я?" Він каже: «Ви в 325 кілометрах від Києва».

Це приємний, важкий факт, але сам по собі він не особливо корисний. Ви можете бути де завгодно на колі навколо Києва, радіус якого становить 325 кілометрів, наприклад:

Ви запитуєте когось іншого, де ви знаходитесь, і вона відповідає: "Ви знаходитесь у 290 кілометрах від Дніпра". Тепер ви досягаєте чогось.

Якщо поєднати цю інформацію з інформацією Києва, ви отримаєте два кола, які перетинаються. Тепер ви знаєте, що ви повинні бути в одній із цих двох точок перетину, якщо ви перебуваєте в 325 кілометрах від Києва та в 290 кілометрах від Дніпра:

Якщо третя особа скаже вам, що ви перебуваєте в 715 кілометрах від Львова, ви можете усунути одну з можливостей, оскільки третє коло перетинатиметься лише з однією з цих точок. Тепер ви точно знаєте, де знаходитесь: Кропивницький.

Цей процес називається двовимірною трилатерацією, оскільки всі точки перетину розташовані на двовимірній площині. Коли ми починаємо залучати висоту/висоту – привіт, третій вимір – у гру вступає тривимірна трилатерація.

Тривимірна трилатерація

По суті, тривимірна трилатерація мало чим відрізняється від двовимірної трилатерації, але її трохи складніше візуалізувати. Уявіть, що радіуси з попередніх прикладів розходяться в усіх напрямках. Тож замість серії кіл ви отримаєте серію сфер. Якщо ви знаєте, що перебуваєте в 10 кілометрах від супутника А в небі, ви можете бути де завгодно на поверхні величезної уявної сфери з радіусом 10 кілометрів. Якщо ви також знаєте, що перебуваєте в 15 кілометрах від супутника В, ви можете перекрити першу сферу іншою, більшою сферою.

Сфери перетинаються по ідеальному колу. Якщо ви знаєте відстань до третього супутника, ви отримаєте третю сферу, яка перетинається з цим колом у двох точках.

Сама Земля може діяти як четвертий «супутник» або сфера; тільки одна з двох можливих точок буде фактично на поверхні планети, тому ви можете усунути одну в космосі. Однак приймачі зазвичай орієнтуються на чотири або більше супутників, щоб підвищити точність і надати точну інформацію про висоту.

Як пристрої GPS обчислюють ваше місцезнаходження

Щоб правильно функціонувати, пристрій GPS повинен знати дві речі:

1. Розташування щонайменше трьох супутників над вами
2. Відстань між вами та кожним із цих супутників

Приймачі GPS визначають обидві ці речі, аналізуючи високочастотні малопотужні радіосигнали від супутників, що обертаються навколо Землі. Кращі пристрої мають кілька приймачів, тому вони можуть приймати сигнали з кількох супутників одночасно.

Радіохвилі – це електромагнітна енергія, тобто вони поширюються зі швидкістю світла (приблизно 186 000 кілометрів на секунду, або 300 000 км на секунду у вакуумі). Приймач може визначити, яку відстань подолав сигнал GPS, вимірявши час, який знадобився для отримання сигналу.

Математика GPS: використання часу для розрахунку відстані

На цьому етапі ви можете впевнено сказати комусь, на кого хочете справити враження, що GPS працює через трилатерацію. Але ви повинні бути готові до наступного запитання: як пристрій GPS дізнається відстань до цих супутників GPS? Як виявилось, це питання часу. У певний момент (скажімо опівночі) супутник починає передавати довгий цифровий шаблон, який називається псевдовипадковим кодом. Приймач починає запускати той самий цифровий шаблон також рівно опівночі. Коли сигнал супутника досягає приймача, його передача шаблону буде трохи відставати від відтворення шаблону приймачем.

Тривалість затримки дорівнює часу проходження сигналу. Приймач множить цей час на швидкість світла, щоб визначити, як далеко поширився сигнал. Якщо припустити, що сигнал поширюється по прямій лінії, це відстань від приймача до супутника.

Підтримання синхронності

Одне головне застереження полягає в тому, що вимірювання працює, лише якщо і пристрій GPS, і супутник мають годинники, які можна синхронізувати з точністю до наносекунд. Такий рівень точності можливий лише за допомогою атомних годинників, але вони коштують від 50 000 до 100 000 доларів за штуку. Супутники GPS уже оплачуються нашими податками, а як щодо приймачів GPS? Навіть Apple було б важко продавати iPhone за такою ціною. Глобальна система позиціонування має розумне та ефективне рішення цієї проблеми: кожен супутник містить дорогий атомний годинник, але сам приймач використовує звичайний кварцовий годинник, який постійно скидає. У двох словах, приймач переглядає вхідні сигнали від чотирьох або більше супутників і оцінює власну неточність. Постійно скидаючи та повторно звіряючи свій час із сигналами GPS, що надходять із супутників, недорогий смартфон отримує точність атомного годинника «безкоштовно».

Диференціальний GPS

GPS працює досить добре, але трапляються неточності. По-перше, цей метод передбачає, що радіосигнали будуть проходити через атмосферу з постійною швидкістю (швидкістю світла). Але супутникові сигнали постійно стикаються з перешкодами. Земна

атмосфера сповільнює сигнали, і великі об'єкти, як-от хмарочоси, також можуть впливати на їхній шлях. Диференціальний GPS (DGPS) допомагає виправити ці помилки. Основна ідея полягає в тому, щоб виміряти неточність GPS на стаціонарній приймальній станції з відомим розташуванням. Оскільки апаратне забезпечення DGPS на станції вже знає своє власне положення, воно може легко обчислити похибку свого приймача.

Потім станція транслює радіосигнал на всі приймачі, обладнані DGPS у цьому районі, надаючи інформацію про корекцію сигналу для цього району. Загалом доступ до цієї коригуючої інформації робить приймачі DGPS набагато точнішими, ніж звичайні приймачі.

Система глобального позиціонування (Global Positioning System)

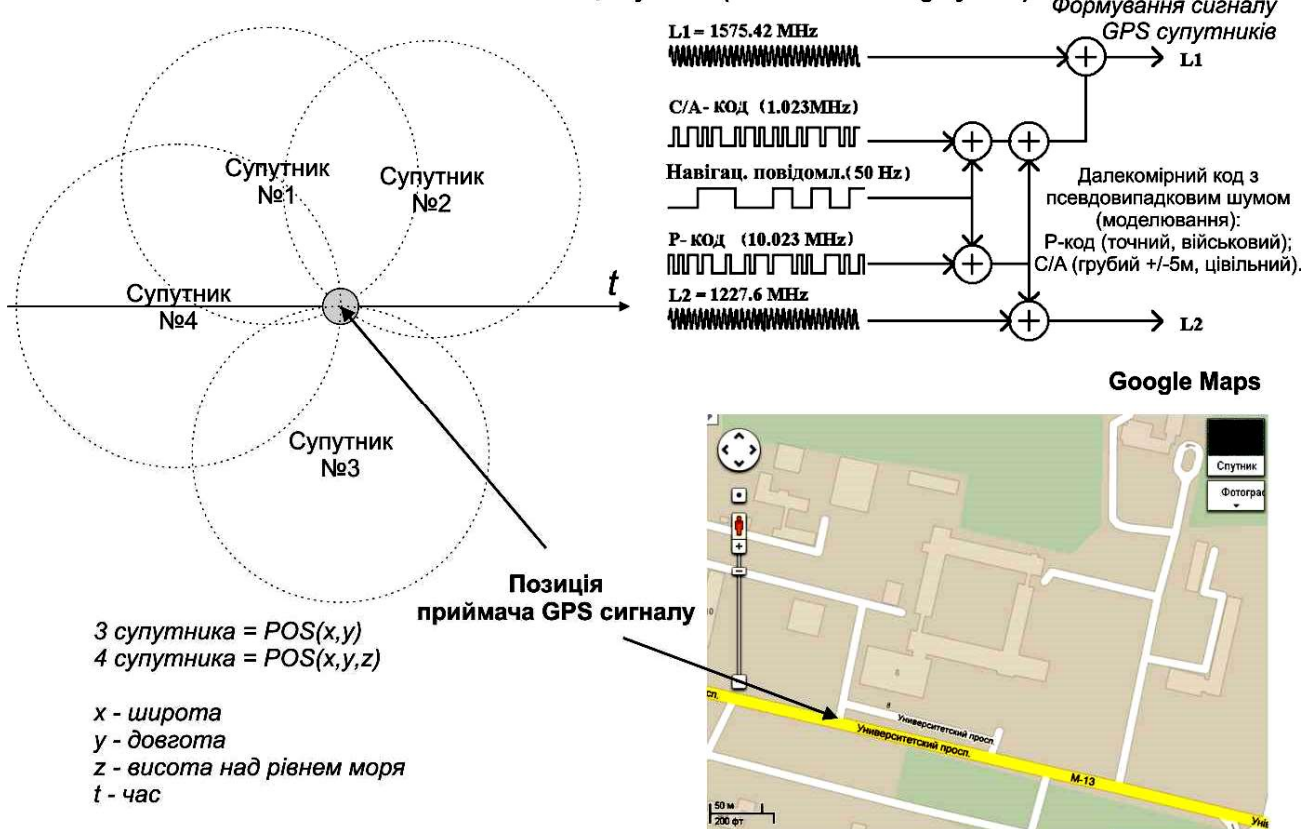


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V; Досліджена система GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання GPS навігатора на основі чипу серії SiRF Atlas V. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Список літератури

1. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2023, 178, pp. 208–223.
2. Smirnov, O., Karapetyan, A., Fedorov, E., «Creating Neural Network and Single Solution Human-Based Metaheuristic Methods of Solving the Traveling Salesman Problem». CEUR Workshop Proceedings, Volume

3312, 2022, pp. 47-58.

3. Smirnov O., Kuznetsov A., Kryvinska N., Kiian A., Kuznetsova K. «Full Non-Binary Constant-Weight Codes». *SN Computer Science*, Vol 2, 337, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00739-w>.
4. Smirnov O., Kovalenko O., Kovalenko A., Kavun S. «Quantitative Risk Assessment Method Development in the Context of the SDLC-model». 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2021, pp. 203-208, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772143
5. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». *Communications in Computer and Information Science*, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.
6. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». *International Journal of Computing*; 2020, Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020. – P. 247-256.
7. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings*. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
8. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
9. Smirnov, O., Shekhanin, K., Kuznetsov, A., Krasnobayev, V. «Detecting Hidden Information in FAT». *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*. Vol. 12, No. 3, 2020. PP.33-43.
10. Smirnov, O., Drievieva, H., Drieviev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», *CEUR Workshop Proceedings Volume 2608*, 2020, Pages 633-645.
11. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019*; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
12. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». *International Journal of Computing*; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
13. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019. P.517-522.
14. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». *CEUR Workshop Proceedings*, Vol 2588, P. 90-106, 2019.
15. Kuznetsova, T., «Code-Based Schemes for Post-Quantum Digital Signatures», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P. 707-712.
16. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Stefanovych, O., Gorbenko, Y., Krasnobayev, V., Kuznetsova K. «Information Hiding Using 3D-Printing Technology», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P.701-706.
17. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.
18. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко А.С., Смірнов С.А., Буравченко К.О. «Дослідження вимог міжнародних стандартів ІЕС60880 та ІЕС62138 з розробки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2023, вип. 3(73), С. 155-166.
19. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Кравчук, О., Козірова, Н., Савеленко, Г., Коваленко, А. «Дослідження вимог та аналіз кібербезпеки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2024. №3(23), С. 111-131.
20. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко О.В., Смірнов С.А., Коваленко А.С. «Дослідження нормативних документів та галузевих стандартів розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем управління АЕС, важливих для безпеки». *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2023, вип. 2(72), С. 170-178.
21. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». *Сучасні інформаційні системи*, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.