И.М. Проектирование регулируемых перекрестков: Учеб. пособие - Иркутск: Изд - во ИрГТУ, 2007. - 208с.

2. Левтеров А.И., Денисенко О.В. Устройство для определения транспортных задержек на регулируемом перекрестке. Патент на изобретение Украина, Бюл. № 5, 10.03.2015.

Рецензент: Е.В. Нагорный, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редколлегию 1.10.2015 р.

УДК 629.051:004.94

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ ЩІЛЬНОЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

О.В. Мнушка, асистент, ХНАДУ, В.М. Савченко, доцент, НТУ «ХПІ»

Анотація. *Розглянуто альтернативні методи визначення координат транспортного засобу в умовах щільної міської забудови без використання супутникових навігаційних систем. Показано, що використання мереж одночастотного віщання в межах міста дозволяє значно зменшити додаткові похибки визначення координат.*

Ключові слова: *координати, інформаційно-телематичні системи, GPS, SFN, DVB*

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

О.В. Мнушка, ассистент, ХНАДУ, В.Н. Савченко, доцент, НТУ «ХПИ»

Аннотация. *Рассмотрены альтернативные, без использования спутниковых навигационных систем, методы определения координат транспортного средства в условиях плотной городской застройки. Показано, что использование сетей одночастотного вещания в пределах города позволяет существенно уменьшить дополнительные погрешности определения координат.*

Ключевые слова: *координаты, информационно-телематические системы, GPS, SFN, DVB*

POSITIONING TECHNIQUES VEHICLES IN DENSE URBAN AREAS

O. Mnushka, assistant, KhNAHU, V. Savchenko, associate professor, NTU "KhPI"

Abstract. *An alternative, without the use of satellite navigation systems, techniques for determining the coordinates of the vehicle in dense urban areas was considered. It is shown that the use of single-frequency networks within the city can significantly reduce additional errors of the determining coordinates.*

Keywords*: positiomimg, information and telematic systems, GPS, SFN, DVB*

Вступ

Супутникові технології керування автотранспортними засобами (ТЗ) базуються на використанні сервісів глобальних навігаційних середньо-орбітальних (*NAVSTAR GPS*, ГЛОНАСС, а в перспективі – *GALILEO*) та глобальних геостаціонарних супутникових систем. Системи моніторингу, такі як, *Euteltracs*, *Benish GPS Ukraine*, *TELETRACK* та ін., дозволяють здійснювати супровід автотранспортних засобів як територією України, так і за її межами. Останнім часом, такі системи використовують як невід'ємний компонент систем транспортної логістики.

Актуальність досліджень

Поширені системи моніторингу на основі навігаційних систем (НС) *GPS* забезпечують похибку визначення координат порядку декількох метрів, але мають ряд недоліків:
- відносно довгий час «холодного» старту НС (до 30 хвилин), обумовлений способом отримання та зберігання навігаційних даних (у вигляді альманаху, що передається сигналом *GPS*, а також від орбітальних даних);
- обмежена видимість супутників *GPS* в умовах великого міста;
- достатньо велика споживана потужність.

Для подолання вказаних недоліків застосовують систему *A-GPS* (з використанням стільникового зв'язку), що забезпечує швидкий «холодний» старт за рахунок отримання необхідної інформації про місцезнаходження з альтернативних джерел та дозволяє зменшити старт системи навігації до однієї секунди. Недоліком є залежність від покриття території стільниковим зв'язком і трафік (*GPRS*), що виникає при необхідності корегування даних про місце знаходження, що дещо обмежує застосування таких систем за межами країни у роумінгу. Похибка визначення координат також залежить від цільності покриття території базовими станціями та коливається від (200…500) до (1500…2000) м. Більшість систем *A-GPS* працюють у двох режимах: он-лайн (основний, забезпечує постійне оновлення даних та координат оператором послуги) та оф-лайн (визначення координат та отримання всієї потрібної інформації здійснюється самостійно клієнтом) [1].

Глобальні інформаційно-телематичні системи, як правило, використовують супутникові системи з орбітальним угрупуванням, розташованими на геостаціонарній або середніх орбітах. У порівнянні з роумінгом супутникові системи забезпечують дешевший зв'язок. Недолік – тіньові зони у великих містах, багатопроменевий прийом, завади від інших супутникових систем, високі вимоги до обладнання, в першу чергу антенного пристрою та точності його позиціонування на супутник [2]. У той же час відомі випадки надання персонального мобільного зв'язку за допомогою таких систем (*Thuraya*, ОАЕ).

Таким чином, однією з основних проблем при розробці систем моніторингу є забезпечення безперервного зв'язку з автотранспортним засобом в умовах щільної висотної забудови в містах , в інших складних рельєфах місцевості, поблизу джерел електромагнітного випромінювання, таких як лінії високовольтних електропередач.

Задача побудови та вдосконалення телематичних систем контролю стану та керування автотранспортом є актуальною, а її вирішення пов'язане з комплексом заходів, серед яких пошук альтернативних та вільних від недоліків традиційних навігаційних систем методів визначення координат на місцевості.

Постановка задачі

Огляд та аналіз традиційних та альтернативних методів визначення координат автотранспортних засобів на місцевості, з метою вирішення проблеми забезпечення безперервного моніторингу в складних умовах щільної забудови великих міст.

Методи визначення координат на місцевості з використанням супутникових та інших технологій

Останнім часом поширення набули системи надання цифрових, в т.ч. супутникових, телекомунікаційних послуг безпосередньо користувачу (*DBS, direct broadcasting satellite*), а також системи цифрового телебачення *DVB-T*, *DVB-T*2. На їх основі створюють мережі одночастотного віщання (*SFN*, *single frequency network*, рис. 1) [3], а сигнали синхронізації таких мереж використовують для потреб навігації. Для функціонування *SFN* потрібно, щоб всі базові станції (*BS*) передавали на одній й тій же частоті в той самий час один й той же набір символів.

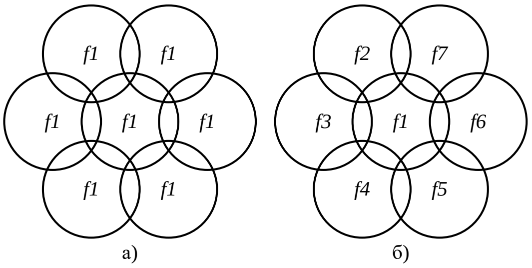

Рис. 1. Одночастотні (а) та багаточастотні (б) системи віщання

В [4, 5] вперше запропоновано застосовувати ТБ-сигнали в НС та показано, що основними перевагами таких систем є широка полоса спектру ТБ-сигналу, велика потужність передавачів та гарне покриття (території США). Запропоновано алгоритм на основі вимірювання різниці часу приходу сигналів (*time-of-arrival, TOA*) для визначення координат абонента та проведено дослідження простої (тільки *ATSC-DVB* (США)) та гібрідної (*ATSC-DVB+GPS*) НС. Також показано, що для потреб навігації можливе використання аналогових сигналів ТБ-передавачів, а також комбіновані системи.

Для визначення координат в НС використовують сигнали синхронізації мережі DTV (рис. 2).

Рис. 2. Схема синхронізації

За допомогою опорної станції визначають сигнали синхронізації передавача з високою точністю та передають на сервер навігаційної служби. Встановлення точних координат можливе при наявності сигналів трьох передавачів. Для виділення сигналу синхронізації використовують виміри часу розповсюдження сигналу від джерела до користувача та опорної станції (1)

$$\begin{aligned}\phi_{ru,t} &= \phi_{ref,t}(t_r) - \phi_{usr,t}(t_u) = \\ &= \hat{t}_u + d_{rt} - d_{ut} + c\big(\tau_r(t_r) - \tau_u(t_u)\big) - \\ &- c\big(\tau_t(t_r) - \tau_t(t_u)\big) - N_{ru,t}\lambda_t,\end{aligned} \qquad (1)$$

де $N_{ru,t} = N_{rt} - N_{ut}$ – невідомі цілі числа; d_{rt}, d_{rt} – відстань до користувача та опорної станції; $\tau_r(t_r)$, $\tau_u(t_u)$, $\tau_t(t_r)$, $\tau_t(t_r)$ – різниця між виміряним та реальним часом.

З урахуванням того, що частота передавача є стабільною, (1) можна спростити і привести до форми, зручної для побудови систем стеження (2)

$$\phi_{ru,t} = d_{rt} - d_{ut} + c\big(1 + \partial\tau_t(t_r)/\partial t\big) - N_{ru,t}\lambda_t\,. \qquad (2)$$

Для *М-передавачів* можна визначити вектор похибок вимірювань

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\Delta\mathbf{x} + v\,, \qquad (3)$$

де $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} d_{u,lat} & d_{u,lon} & \tau_{ru} & N_{ru,1}...N_{ru,M} \end{bmatrix}^M$;

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} -\vec{1}_{u1}^{M} & 1+\partial\tau_1(t_r)/\partial t & -\lambda_1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ -\vec{1}_{uM}^{M} & 1+\partial\tau_M(t_r)/\partial t & 0 & 0 & -\lambda_M \end{bmatrix};$$

v – швидкість ТЗ.

Показано, що для визначення координат потрібно розв’язувати систему нелінійних рівнянь високих порядків або лінеарізувати параметри. Проведені в [4] дослідження показали, що теоретична роздільна здатність такої системи становить близько 0,1 м, але в реальних умовах така НС теж не спроможна забезпечити постійний зв’язок, похибки визначення координат на 20-30% менші за *GPS*.

В [6] запропоновано НС на основі сигналів ідентифікації передавачів (*TxID*) та алгоритм визначення координат основі *TOA* та часу затримки від чотирьох базових станцій $t_i'c = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2}$, $i = 1...4$, де $t_i' = t_i - \Delta t$; Δt – абсолютна затримка сигналу; c – швидкість світла; x, y, z – координати об’єкту; x_i, y_i, z_i – координати базових станцій. Показано способи реалізації алгоритму та його можливі покращення.

Похибки визначення координат обмежені колом радіусом 5 метрів.

В [7] запропоновано НС на основі *SFN* та *DVB-SH*, алгоритм визначення координат на основі *TDoA*. Вимірювання часу розповсюдження сигналу від двох (або більше) базових станцій транслюється в точку на перетині двох (або більше) гіперболічних кривих. Для роботи системи можна використовувати різні параметри сигналу *DVB-SH*. Проблему розв'язування (3) запропоновано вирішити за допомогою методу найменших квадратів, зважаючи на те, що для *OFDM* сигналів повністю відомі параметри сигналу.

В [8] запропоновано НС на основі *SFN* та *DVB-T*2, алгоритм визначення координат на основі вимірювання різниці часу розповсюдження сигналу між користувачем та передавачами (*time-difference-of-arrival, TDoA)*. Показано, що для реалізації НС не потрібно вносити зміни в існуюче обладнання базових станцій. Проведено імітаційне моделювання системи, отримані результати дозволяють зробити висновок, що запропонована НС має малі похибки визначення координат.

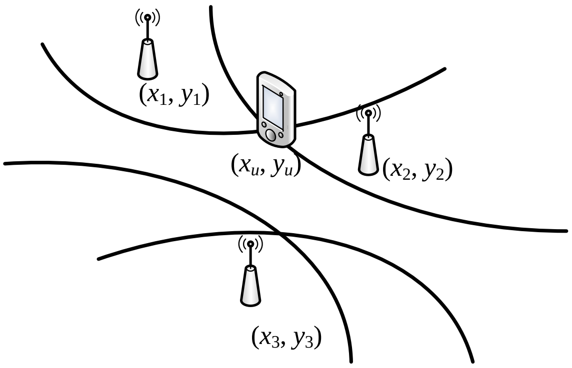

Рис. 3. Визначення координат за методом TDoA

В [9, 10] запропоновано алгоритми визначення координат на основі *ad-hoc* мереж, в яких вузли мережі обмінюються даними тільки з безпосередніми сусідами.

В [9] запропоновано використання методу вимірювання напрямку надходження сигналів (*angle-of-arrival, AOA)* для визначення координат. Основною ідеєю *AOA* є визначення напрямку на основі кутових вимірювань, які здійснюють за допомогою антенних решіток або кількох високочастотних приймачів. Показано, що для потреб навігації можна використовувати сенсорні мережі, в яких тільки частина вузлів має властивість до позиціонування на місцевості.

Із курсу геометрії відомо, якщо визначено координати (або центральні кути) двох точок (*A, B*), то для внутрішньої точки (*C*), що «бачить» ці дві точки, ми можемо знайти координати за допомогою елементарних геометричних побудов (точка *C* може займати одне з двох визначених місць на окружності, яку проведено через *A* та *B*). Напрямок руху визначається за допомогою обчислення вектору напрямку та (або) кута за допомогою тріангуляції.

В [9] запропоновано гібридний розподілений алгоритм визначення координат, що поєднує визначення параметрів вектора напрямку та тріангуляції *GPS*. Запропоновано три різних методи навігації, які різняться складністю, точністю, покриттям та ізотропністю мережі. Показано, реальні координати відрізняються від розрахованих на відстань, що не перевищує довжини радіохвилі в системі, що становить приблизно 6%.

В [11] запропоновано систему та метод визначення координат на основі сигналів пілот-тонів *FM*-радіостанцій. Алгоритм використовує *TDoA* та дозволяє визначити координати абонента НС по сигналам трьох базових станцій, на основі вимірювання різниці фаз у прийнятих пілот-тонів від різних джерел в пристрої користувача. В цілому система аналогічна до розглянутих вище, але використовує менш високочастотні сигнали (частота пілот-тону 19 кГц).

Висновки

Навігаційні системи використовують один із методів: *TOA*, *TDOA*, *AOA* та *RSS* (*the received-signal-strength*). *TDOA* та *TOA* використовують інформацію про час розповсюдження сигналу для визначення координат ТЗ, є доволі складними, але забезпечують дуже малі похибки визначення координат. *AOA* використовує інформацію про напрямок надходження сигналу та вимагає потужного обладнання (як в високочастотному тракті, так і в обчислювальному), що стримує його впровадження у комерційні рішення. *RSS* оснований на постійному вимірюванні змін рівня прийнятого сигналу, є простішим за попередні, але забезпечує більші похибки визначення координат, як правило використовується в антенних системах, що працюють в режимі стеження (супроводу).

Для зменшення похибок визначення координат потрібно мати три-чотири джерела опорних сигналів. Як правило цього достатньо, для досягнення роздільної здатності кількох метрів (десятків сантиметрів диференціальними методами), але в умовах міста та складного рельєфу похибки значно зростають. Також на точність впливає висота навігаційних супутників над горизонтом.

Системи моніторингу на основі *SFN* у порівнянні з *GPS* забезпечують ряд переваг: 1) за рахунок більшої потужності сигналу (приблизно на 40 Дб) є можливість використання таких систем в складних міських умовах як поза межами приміщень, так й у середині; 2) за рахунок в 6 разів більшої полоси спектру пом'якшується ефект від багатопроменевого розповсюдження сигналів; 3) за рахунок великого діапазону частот ТБ-сигналу навігаційна система може справлятися з затуханнями сигналу в наслідок поглинання радіохвиль, багатопроменевого прийому та інших ефектів.

У порівнянні з мережними навігаційними системами *SFN* має такі преваги: 1) визначення координат в режимі «реального часу»; 2) така система використовує тільки прийнятий сигнал, отже не потрібний передавач, що зменшує габарити та спрощує систему; 3) навігаційна система використовує вже працююче обладнання *SFN*, що здешевлює систему; 4) не має додаткових випромінювань та завад до існуючих телекомунікаційних та інших систем; 5) обладнання абонента можна реалізувати у вигляді одноплатного бюджетного комп'ютера розміром з банківську картку, наприклад *Raspberry Pi* [12].

В умовах впровадження в Україні системи цифрового ТБ *DVB-T*2 розглянуті альтернативні методи визначення координат абонента можуть бути застосовані в процесі розробки нового навігаційного обладнання інформаційно-телематичних систем.

Перспективами подальших досліджень є адаптація розглянутих методів до умов України та розробка гібридних навігаційних систем.

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф62/040.

Література

1. Liu Y. Research on GPRS Vehicle Location Network Service System [Текст] / Y. Liu, B. Ba // 2010 Int. Conf. on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering. – 2010. – vol. 4. – PP. 401-404.
2. Левтеров А. И. К вопросу о точности определения координат транспортных средств в навигационно-информационных системах [Текст] / А.И. Левтеров, Ю.Е. Онуфрей, В.А. Тимонин // Системи упр., навігації та зв'язку. – 2008. – Вип. 1. – С. 27-29.
3. Technical overview of Single Frequency Network [Електронний ресурс] / http://www.enensys.com/documents/whitePapers/ENENSYS%20Technologies%20-%20Single_frequency_network%20Overview.pdf. – 10.2015.
4. Rabinowitz M. A New Positioning System Using Television Synchronization Signals [Текст] / Rabinowitz M., Spilker J.J. // IEEE Trans. on Broadcasting. – 2005. – vol. 51. – no.1. – PP. 51-61.
5. Ju-Yong Do Performance of Hybrid Positioning System Combining GPS and Television Signals [Текст] / Ju-Yong Do, Rabinowitz M., Enge P. // IEEE Position, Location, And Navigation Symposium. – 2006 – PP. 556-564.
6. Wang X. A New Position Location System Using DTV Transmitter Identification Watermark Signals [Текст] / X. Wang, Y. Wu, J.-Y. Chouinard // EURASIP Journal on Applied Signal Processing. – 2006. – Vol. 26. – PP. 1-11.
7. Positioning Principles with a Mobile TV System using DVB-SH Signals and a Single Frequency Network [Текст] / [Thevenon P., Julien O., Macabiau C. and others] .– Proc of the 16th Int. Conf. on Digital Signal

Processing. – 2009. – PP. 1-8.
8. A New Positioning System Using DVB-T2 Transmitter Signature Waveforms in Single Frequency Networks [Текст] / [Yang J., Wang X., Rahman M.J and others] // IEEE Trans. on Broadcasting. – 2012. – vol. 58. – no.3. – PP. 347-359.
9. Niculescu D. Ad Hoc Positioning System (APS) using AOA [Текст] / D. Niculescu, B. Nath // Proc of 22nd IEEE INFOCOM. – 2003– vol.3. – PP. 1734-1743.
10. Niculescu D. Ad Hoc Positioning System (APS) [Текст] / Niculescu D., Nath B. // IEEE Global Telecom. Conf. – 2001.– vol. 5. – PP. 2926-2931
11. Pat. US 7990314 USA B2, Method And System For Locating A Geographical Position Using Broadcast Frequency Modulation Signals [Текст] / Henry H. Liao. – 02.08.2011.
12. Shinde P.A. Real Time Vehicle Monitoring and Tracking System Based on Embedded Linux Board and Android Application [Текст] / Shinde P.A., Mane Y.B., Tarange, P.H. // Int. Conf. on Circuit, Power and Computing Technologies. – 2015. – PP. 1-7.

Рецензент: О.Я. Ніконов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 09.11.2015 р.