

УДК 621.396.4

Брагін А.С., к.т.н., доцент,
Новіков В. І., ст. викладач,
Прищеп Т.А., асистент,
Понедільченко Р.С., магістр,
Національний технічний
університет України «КПІ»,
м. Київ

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ МОБІЛЬНИХ АБОНЕНТІВ

Запропоновано метод підвищення точності позиціонування мобільних абонентів шляхом почергового використання технологій E-OTD та A-GPS.

Предложен метод повышения точности позиционирования мобильных абонентов путем поочередного использования технологий E-OTD та A-GPS.

Proposed a method for improving positioning accuracy of mobile subscribers by the use of technologies E-OTD and A-GPS.

Вступ. У всіх поколіннях систем стільникового зв'язку функції визначення місцеположення абонентів є необхідними. У існуючих стандартах стільникового зв'язку місцеположення абонента визначає сама система стільникового зв'язку, при цьому точність визначення місцеположення може змінюватися від кілометрів до сотень метрів. Проте для розвитку послуг нового покоління, пов'язаних з місцеположенням абонентів (навігаційні, допомога при аваріях, термінова медична допомога, довідкові послуги і т.д.), потрібна вища точність визначення географічних координат абонента та їх однозначна прив'язка до цифрової карти місцевості.

Аналіз досліджень і публікацій. Точність визначення місцеположення мобільного абонента у форматі «в якій соті», яка доступна в умовах функціонування стільникових мереж першого і другого покоління, недостатня. Проведений аналіз технологій визначення місцеположення [1,2] показує, що можливості таких систем, як наприклад, глобальні навігаційні супутникові систем (GPS, ГЛОНАСС), забезпечують точніше визначення координат об'єктів. Проте основною проблемою супутникових навігаційних систем GPS є сильна залежність якості сигналу від погодних умов, оскільки в основі їх принципу роботи лежить зв'язок з супутником на низькостационарній орбіті. За поганих погодних умов точність даних технологій сильно погіршується. Внаслідок цього, клієнти не отримуватимуть заявлену якість послуг. В той же час на технології, що

використовують в своїй роботі тільки мережі стільникового зв'язку, погода практично не впливає на якість отриманих послуг, але вони поступаються в точності в ясну погоду. У даній ситуації потрібно знайти компроміс, який дозволить, практично безболісно для клієнтів, отримувати якісні послуги в будь-яких умовах. В основному в ролі таких клієнтів виступають аеропорти і морські порти.

Постановка завдання. Для підвищення точності позиціонування мобільних абонентів був запропонований метод почергового використання двох технологій: E-OTD і A-GPS. Технологія E-OTD (Enhanced Observed Time Difference) використовується для вимірювання спостережуваної різниці часу прийому сигналів для систем GSM. Технологія A-GPS (Assisted GPS) є методом диференціальної корекції координат, обчислених по сигналах навігаційних супутників.

При цьому в сонячну безхмарну погоду працюватиме тільки A-GPS, а при погіршенні погоди і зниженні точності позиціонування нижче заданого порогу відбуватиметься перемикання клієнтів на E-OTD. В цьому випадку ми отримуємо зменшення точності до 15-20 метрів, але при цьому точність буде вища, ніж при A-GPS при погіршенні зв'язку з супутником або взагалі при її зникненні.

Для аналізу запропонованого методу була розроблена наступна математична модель та проведено математичне моделювання.

Розробка математичної моделі. Математична модель була побудована в чотири етапи:

- 1) Точність позиціонування GPS
- 2) Точність позиціонування A-GPS(буде використовуватися модель GPS з урахування корекції через стільникову мережу)
- 3) Модель при використанні в різних погодних умовах A-GPS
- 4) Модель при використанні перемикання між A-GPS та E-OTD в різних погодних умовах

Математична модель точності позиціонування GPS. Результуюча помилка GPS визначається сумісним впливом похибок від різних джерел. Вклад кожного з них змінюється в залежності від атмосферних умов і якості обладнання. Крім цього, точність може бути цілеспрямовано знижена в результаті встановлення на супутниках GPS так званого режиму SIA (“Seletive Availability” – обмежений доступ). Цей режим розроблений для того, щоб не дати можливому супротивнику тактичного переваги в визначенні місцеположення завдяки GPS. Якщо цей режим встановлений, він створює найбільшу компоненту сумарної похибки GPS.

Основні види похибок GPS:

1. Похибка годинника супутника - $\Delta_{гс}$
2. Ефемеридна похибка - Δ_e
3. Похибка приймача - $\Delta_{пр}$
4. Іоносферні затримки - $\Delta_{іон}$

5. Тропосферні затримки - $\Delta_{\text{троп}}$
6. Сумарна похибка від SIA-режиму - Δ_{sia}

Для визначення дійсної похибки слід помножити сумарну похибку на геометричний фактор GDOP.

Розкриємо сутність цих факторів.

- Похибка годинника супутника – як би не були точні, все ж і в них є джерела невеликих похибок. За ціма годинниками слідкують і можуть «підвести», тобто звірити їх, якщо виявиться похибка хоча б незначного відходу. Але навіть при цьому створені невеликі похибки значно впливають на результати вимірів.

- Ефемеридна похибка – ця похибка виникає внаслідок розходження між фактичним положенням GPS - супутника та його розрахунковим положенням, яке визначається по даним ефемерид, переданих з борту супутника. Наземні станції спостереження цілодобово спостерігають за усіма супутниками і уточнюють елементи їх місцеположення. Отримані дані передаються в центр управління, де вироблюють визначення нових елементів орбіти і поправки атомних годинників. Уточнені дані зводяться в альманах, після чого пересилають на супутники. GPS - супутники, в свою чергу, передають ці данні GPS-приймачам.

- Похибка приймача – аналогічно атомним годинникам на супутниках, приймачі на Землі теж іноді помиляються. Комп'ютер приймача може допустити помилку, виконуючи математичну операцію. Електричні помилки можуть призвести до помилкової обробки псевдовипадкового коду. Звичайно похибки цього роду бувають або дуже малими, або дуже великими. Великі легше виправляються, бо вони очевидні. Складніше знайти малі відхилення в процесі обчислення. Але і вони можуть привнести декілька часток метра похибки в координати місцеположення.

- Іоносферні похибка – коли ми використовуємо супутникову систему навігації, то припускаємо, що швидкість розповсюдження сигналів від супутників завжди постійна і рівна швидкості світла. Насправді це справедливо тільки для вакууму. В реальності радіосигналу приходится проходити через іоносферу Землі – шар заряджених частинок на висоті приблизно 120-200км. При цьому виникають затримки, які знижують точність визначення відстані до супутників, отже, не дозволяють точно визначити координати.

- Тропосферна помилка – після того, як радіосигнали супутників GPS пройшли розташовану дуже високо іоносферу, вони потрапляють в тропосферу, в якій проходять всі погодні явища. Волога в тій чи іншій її формі, практично постійно знаходячись в тропосфері, також робить затримки в розповсюдженні радіохвиль, котрі, проте, більш складно виявити.

- Похибка від S/A-режиму (S/A-selective availability – вибірковий доступ) – Міністерство оборони США спеціально займалося внесенням штучних похибок в навігаційні дані, транслюючи з супутників. При активованому режимі S/A величина середньоквадратичного відхилення визначення місцеположення складала близько 30 метрів.

- GDOP (geometric dilution of precision) – геометричний фактор пониження точності. В залежності від кута між напрямками на супутники область перетину розмитих окружностей (область невизначеності місцеположення) може бути або акуратним квадратом, або більш витягнутим чотирикутником. Чим більше кут між напрямками на супутники, тим кращі виміри. Виходячи з цього, добрі приймачі постачають обчислюваними процедурами, які аналізують відносно положення доступних для нагляду супутників і обирають з низ чотири кандидата, тобто найкращим чином розташовані супутники, для яких протяжність «прямокутників невизначеності» в даний відрізок часу мінімальна. На основі цих похибок отримуємо:

$$\Delta_{\text{gps}} = \text{GDOP} * (\Delta_{\text{rc}} + \Delta_{\text{e}} + \Delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{іон}} + \Delta_{\text{троп}} + \Delta_{\text{sia}})$$

Математична модель точності позиціонування А-GPS.

За основу беремо математичну модель точності позиціонування GPS.

$$\Delta_{\text{a-gps}} = k_{\text{a-gps}} * \Delta_{\text{gps}}, \text{ де}$$

$k_{\text{a-gps}}$ – коефіцієнт корекції точності даних GPS за допомогою мережі стільникового зв'язку.

$k_{\text{a-gps}}$ не є постійною величиною і змінюється в залежності від того наскільки велика помилка GPS, але він постійно менший за 1.

$$\Delta_{\text{a-gps}} = k_{\text{a-gps}} * \text{GDOP} * (\Delta_{\text{rc}} + \Delta_{\text{e}} + \Delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{іон}} + \Delta_{\text{троп}} + \Delta_{\text{sia}})$$

Математична модель точності позиціонування А-GPS в різних погодних умовах.

Тропосферні затримки розраховуються:

$$\Delta_{\text{троп}} = \frac{k(\text{хм}) + k(\text{вол})}{50}, \text{ де}$$

$k(\text{хм})$ – коефіцієнт хмарності

$k(\text{вол})$ – коефіцієнт вологості

Отримуємо:

$$\Delta_{\text{a-gps-pog}} = k_{\text{a-gps}} * \text{GDOP} * (\Delta_{\text{rc}} + \Delta_{\text{e}} + \Delta_{\text{пр}} + \frac{k(\text{хм}) + k(\text{вол})}{50} + \Delta_{\text{іон}} + \Delta_{\text{sia}})$$

Математична модель точності позиціонування при використанні перемикання між А-GPS та Е-OTD в різних погодних умовах.

За цими результатами можемо промоделювати точність трьох різних моделей при різних параметрах $k(\text{хм})$ та $k(\text{вол})$. Математична модель матиме вигляд:

$$\Delta = \{ \Delta_{\text{a-gps-pog}} ; \Delta_{\text{e-otd}} \};$$

$$\Delta = \{ k_{\text{a-gps}} * \text{GDOP} * (\Delta_{\text{rc}} + \Delta_{\text{e}} + \Delta_{\text{пр}} + \frac{k(\text{хм}) + k(\text{вол})}{50} + \Delta_{\text{троп}} + \Delta_{\text{sia}}) ; \Delta_{\text{e-otd}} \}, \text{ де}$$

Отже маємо кінцеву математичну модель:

$$\Delta = \left\{ k_{a-gps}(\Delta_{gps}) * GDOP * (\Delta_{rc} + \Delta_e + \Delta_{pp} + \frac{k(xm) + k(вол)}{50} + \Delta_{троп} + \Delta_{sia}) ; \Delta_{e-otd} \right\}$$

Дані для імітаційного моделювання.

Моделювання було проведено на основі даних щодо вологості та хмарності в місті Києві отриманих від Гідрометцентру України за 2010 рік за підготовкою доктора географічних наук, професором Вишневським В.І. Дані були взяті за рік по кожному місяцю та апроксимовані на менші частини для більш детального дослідження.

Похибки GPS на території України були взяті в компанії «КМС» - офіційного мастер-дистриб'ютору в Україні компанії Trimble Navigation (США) – світового лідера з виготовлення GPS, оптичних та лазерних систем позиціонування.

Помилка супутника – 0,6

Ефемеридна помилка – 0,6

Помилка приймача – 1,2

Іоносферна помилка – 1,7

S/A – 7,6

GDOP – від 4 до 6 (візьмемо усереднене значення 5).

K_{a-gps} - 0,367

Поетапне імітаційне моделювання.

Проведемо імітаційне моделювання згідно розробленим раніше математичним моделям.

Моделювання тропосферних затримок проводиться за математичною моделлю:

$\Delta_{троп} = \frac{k(xm) + k(вол)}{50}$, дані ми отримали від Гідрометцентру України і в результаті представимо графічно отримані дані (рис. 1):

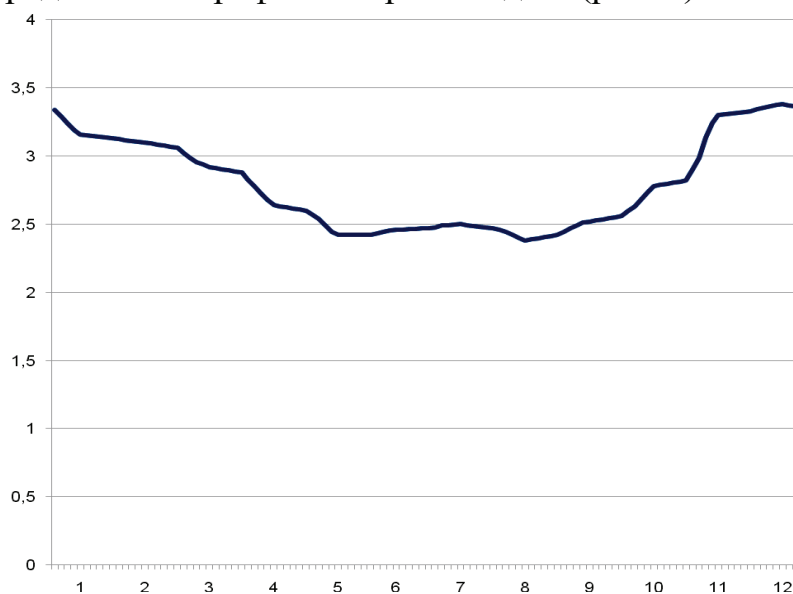


Рис.1. Тропосферні похибки

Похибку GPS без S/A режиму розрахуємо за допомогою математичної моделі $\Delta_{\text{gps}} = \text{GDOP} * (\Delta_{\text{гс}} + \Delta_{\text{е}} + \Delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{іон}} + \Delta_{\text{троп}})$ і отримаємо (рис.2):

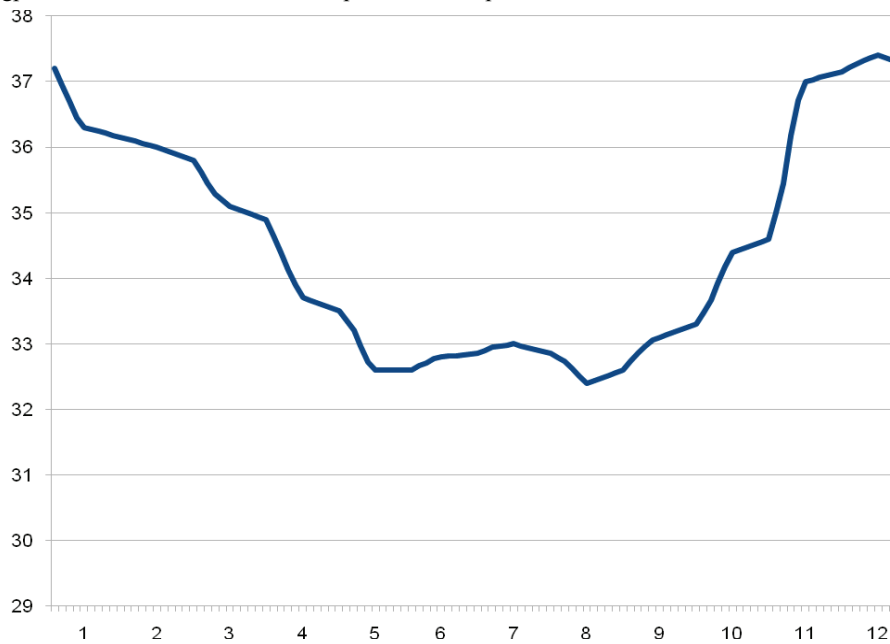


Рис.2. Похибка GPS без режиму S/A

Похибку GPS з режимом S/A розрахуємо за допомогою математичної моделі $\Delta_{\text{gps-s/a}} = \text{GDOP} * (\Delta_{\text{гс}} + \Delta_{\text{е}} + \Delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{іон}} + \Delta_{\text{троп}} + \Delta_{\text{s/a}})$ і отримаємо (рис.3):

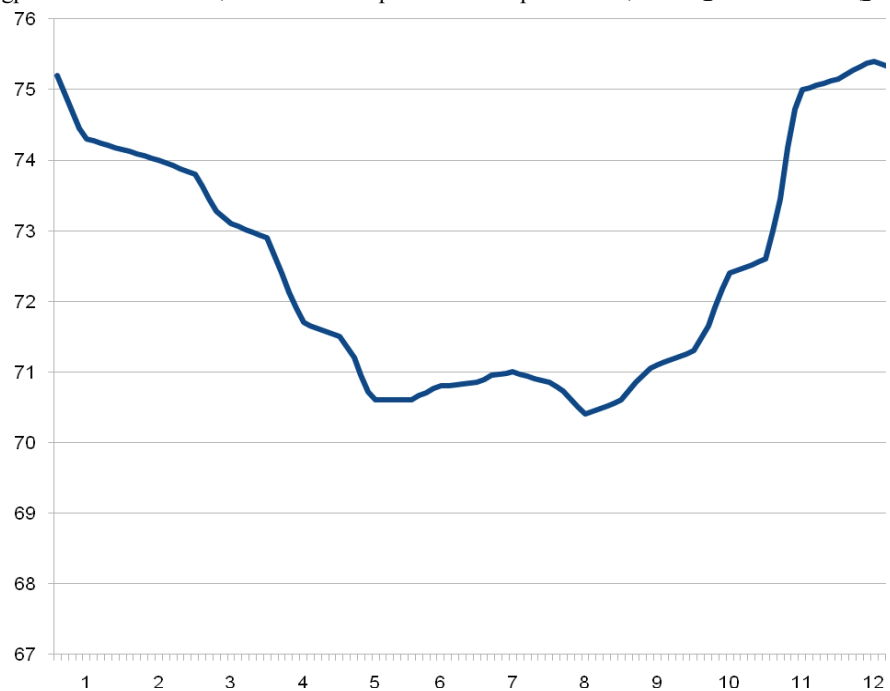


Рис.3. Похибка GPS з режимом S/A

Похибку А-GPS без режиму S/A розрахуємо за допомогою математичної моделі $\Delta_{\text{a-gps}} = k_{\text{a-gps}} * \text{GDOP} * (\Delta_{\text{гс}} + \Delta_{\text{е}} + \Delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{іон}} + \Delta_{\text{троп}})$ і отримаємо (рис. 4):

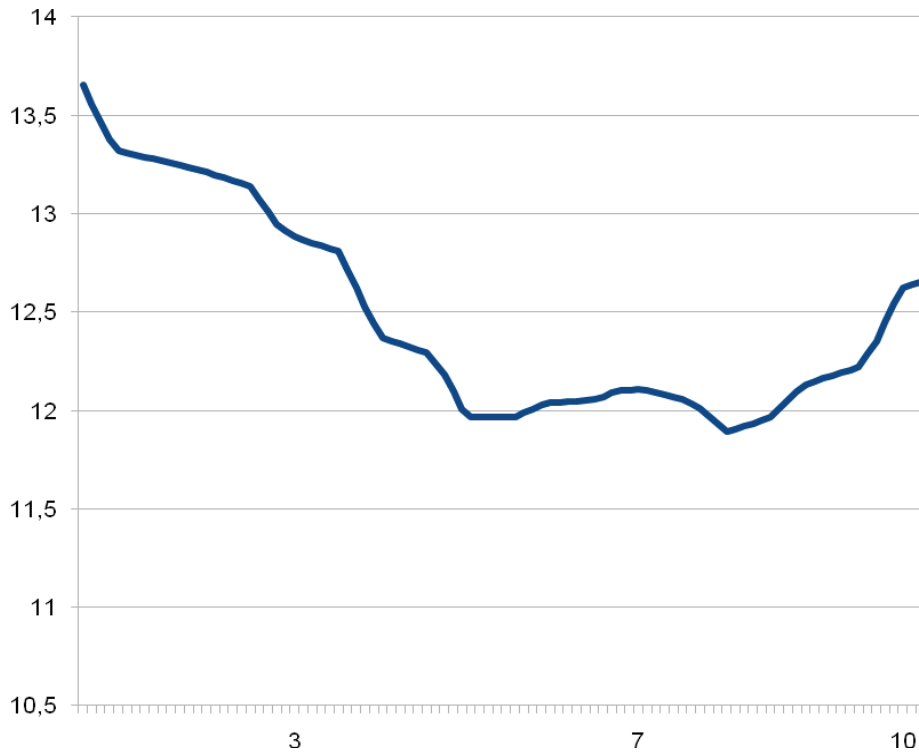


Рис.4. Похибка А-GPS без режиму S/A

Похибку А-GPS з режимом S/A розрахуємо за допомогою математичної моделі $\Delta_{a-gps-s/a} = k_{a-gps} * GDOP * (\Delta_{Гс} + \Delta_e + \Delta_{пр} + \Delta_{іон} + \Delta_{троп} + \Delta_{s/a})$ і отримаємо (рис. 5):

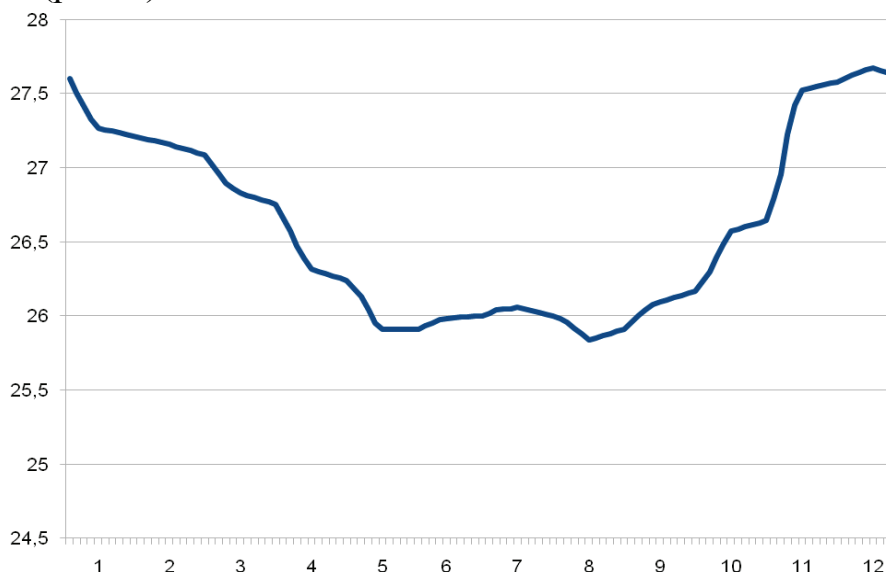


Рис.5. Похибка А-GPS з режимом S/A

Похибку А-GPS та E-OTD в різних погодних умовах без режиму S/A розрахуємо і отримаємо (рис.6):

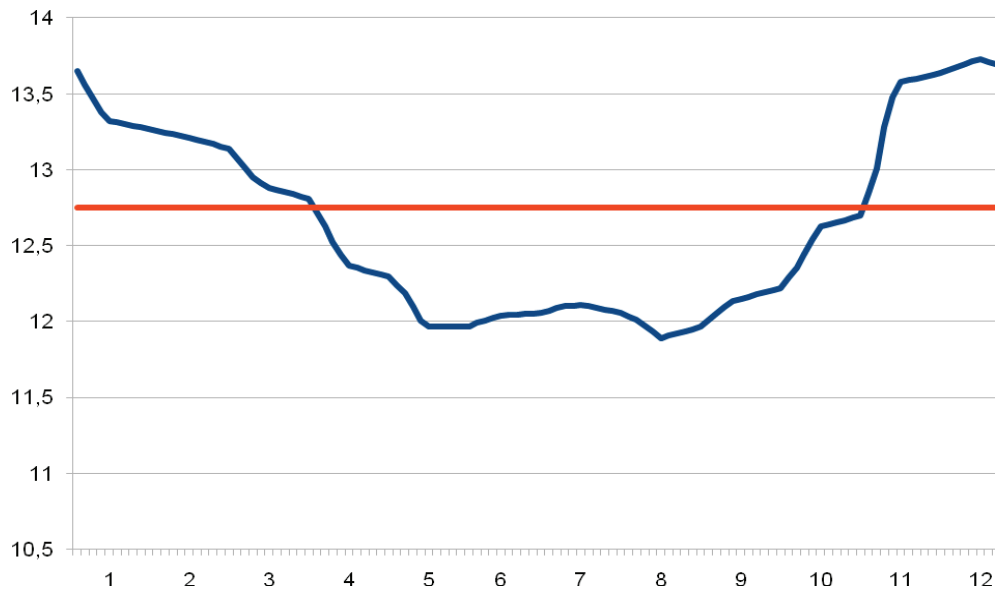


Рис. 6. Похибка А-GPS та Е-ОТД в різних погодних умовах без режиму S/A

Похибку А-GPS та Е-ОТД в різних погодних умовах з режимом S/A розрахуємо і отримаємо(рис. 7):

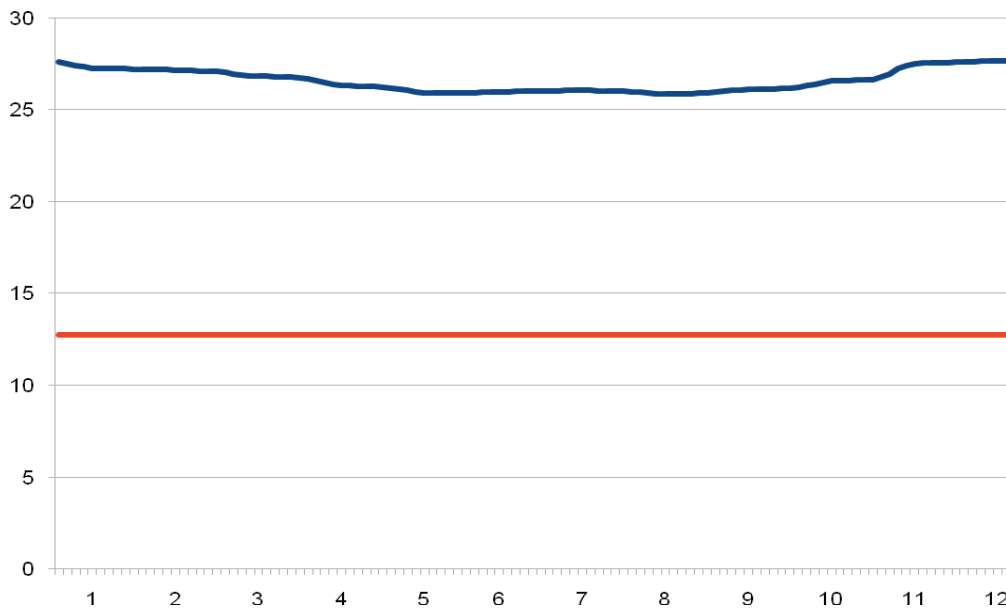


Рис. 7. Похибка А-GPS та Е-ОТД в різних погодних умовах з режимом S/A

Розрахувавши кінцеву математичну модель ми отримали (рис. 8) :

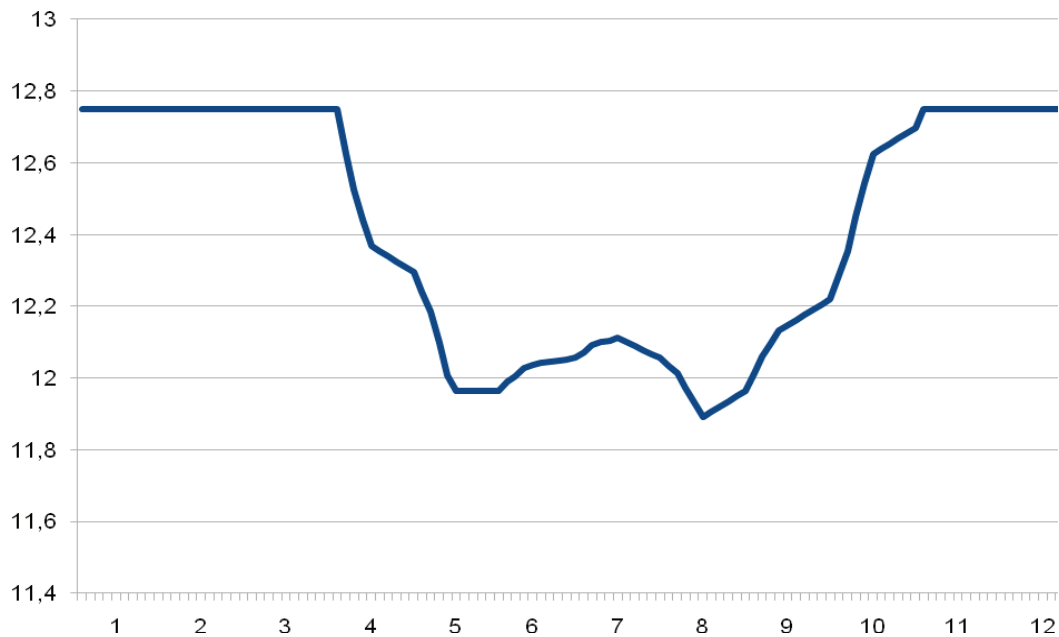


Рис. 8. Результуюча похибка розробленого методу

Результати моделювання. Аналіз результатів моделювання показує, що при використанні цього методу можливо підвищити якість послуги в зимові місяці. Приведенні дані у графіках підтверджують це, проте треба зауважити що данні відносні і можуть мінятися в межах годин і хвилин з-за швидкої зміни погодних умов, які неможливо передбачити в такому короткому проміжку часу.

Висновки. Запропоновано метод підвищення точності позиціонування мобільних абонентів шляхом почергового використання технологій E-OTD та A-GPS. Згідно методу розроблена математична модель точності позиціонування мобільних абонентів. Розроблена математична модель не є кінцевою, є можливість її доробки шляхом додавання різноманітних похибок GPS та погодних умов. Приведені похибки являють собою найбільш впливаючі на точність позиціонування.

Використані джерела інформації:

1. Громаков Ю.А., Северин А.В., Шевцов В.А. Технологии определения местоположения в GSM и UMTS. – М., 2005. – 140 с.
2. Брагин А.С., Мильковский А.Г. Радиотелекоммуникационные системы. Часть 3. Технологии наземной радиосвязи. – Киев, 2006. – 374 с.