

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ВІДСТАНІ ДЛЯ ОКРЕМИХ СЕГМЕНТІВ МАРШРУТУ

УДК 004.23

ДЕРКАЧ Марина Володимирівна

асистент кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

Наукові інтереси: інформаційні технології в інтелектуальних транспортних системах, бази даних.

СКАРГА-БАНДУРОВА Інна Сергіївна

д.т.н., завідувач кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

Наукові інтереси: теорія прийняття рішень, інформаційні технології в промисловості, екології, медицині.

Сучасна тенденція розвитку міста призводить до збільшення кількості транспортних засобів у мережах дорожнього руху. Дорожній рух вимагає точної та найсучаснішої інформації про поточну ситуацію та доступні послуги. Покращення дорожніх умов є важливим для всієї інфраструктури. Проте лише це покращення не може задовольнити постійно зростаючим вимогам до безпечних, зручних, економічно ефективних та комфортних послуг дорожнього руху. До того ж саме рівень розвитку транспортної системи є однією з головних ознак економічної стабільності та процвітання міста. Єдина транспортна система має забезпечувати розвиток і функціонування всіх видів транспорту та максимально відповідати потребам міста при мінімальних витратах. За для вирішення цієї проблеми останні десятиріччя ведуться активні розробки та впровадження сучасних інтелектуальних транспортних систем, зокрема апаратно-програмних комплексів, побудованих за технологією IoT, призначених для інформування про час прибуття громадського транспорту на зупинки міста. Прогнозування часу руху транспортних засобів є найбільш затребуваним і зрозумілим завданням для кінцевого споживача, як учасника дорожнього руху.

Це перший крок для підвищення рівня доступності та поліпшення якості обслуговування в громадському транспорті міста, завдяки збереженню вільного часу населення, що марно витрачається на очікування транспорту на зупинках міста. Особливо актуально прогнозування часу прибуття транспорту в містах, які не ма-

ють чіткої відповідності з розкладом руху пасажирського транспорту до часу.

Але саме прогнозування часу прибуття транспорту на зупинки залишається одним із багатьох найскладніших завдань, що потребують вирішення. За для отримання надійного алгоритму, який може бути прийнятий для прогнозування часу прибуття міського громадського транспорту, перш за все треба знайти ефективний метод розрахунку відстані між географічними координатами місцезнаходження транспортного засобу, зупинок міста.

Протягом багатьох років було здійснено величезну роботу для виявлення ефективних методів, що дозволяють розрахувати відстань між географічними координатами, але однозначного рішення цієї проблеми досі не знайдено. Дане дослідження намагається порівняти ефективність методів розрахунку відстані для окремих сегментів маршруту для реального набору даних.

Мета роботи полягає в пошуку найкращого методу для розрахунку відстані між поточним місцезнаходженням транспортного засобу до цільової точки на різних ділянках маршруту.

Системи, що дозволяють прогнозувати прибуття міського транспорту, ефективно працюють у багатьох країнах світу таких, як Китай [1, 2], Великобританія, Нідерланди, Чехія, Румунія, Пакистан [3] та інші. Тим не менш, в Україні впровадження таких систем все ще знаходиться на стадії розвитку. Оскільки інноваційні

системи управління трафіком та інформаційної підтримки пасажирів спроможні зробити міський пасажирський транспорт більш безпечним, ефективним і зручним для усіх учасників руху, постає завдання розробити ефективний метод для прогнозу в реальному часі руху міського транспорту, а це важлива складова транспортної інфраструктури міста [4].

Одним з ключових етапів такого прогнозу є розрахунок відстані між географічними координатами, а саме для отримання траєкторії руху транспортного засобу, пошуку оптимального маршруту, оцінки пройденого шляху або відстані, що залишилось подолати до контрольної точки, тощо.

У геодезії така відстань розуміється як найкоротша відстань між двома точками на поверхні еліпсоїда, методами для отримання геодезичної ділянки можуть бути метод, заснований на формулах гаверсинусів, методи Вінсенті та Евклідової відстані. До того ж ці методи припускають, що земля являє собою сферу, в той час як метод Вінсенті припускає, що це еліпсоїд. У зв'язку з чим, необхідно врахувати такі чинники, як:

- радіус Землі (радіус еліпсоїда) не є постійною величиною, і залежить від широти даної точки;
- широта (геодезична широта) визначається кутом між площиною екватора і нормаллю до поверхні еліпсоїда в даній точці, на відміну від геоцентричної широти, яка визначається кутом між екваторіальної площиною та центром еліпсоїда.

Формули гаверсинусів використовували автори в роботі [5]. Вони вважають, що розрахункова відстань, отримана завдяки саме цьому методу, добре узгоджується з фактичною відстанню, має відхилення лише 0,001 милі. Під час практичної реалізації автором була використана евклідова відстань [6]. В роботі [7] автори наводять оцінку похибки методу Вінсенті, пов'язаному з наближенням урахуванням еліпсоїдної форми Землі при розрахунку відстаней між двома точками на її поверхні. Показують, що похибка, яка виникає, стає сумірною похибці GPS / ГЛОНАСС навігаторів при розрахунку відстаней величиною понад 200 км. Формули гаверсинусів також використовували у своїх роботах автори [8, 9, 10], евклідову відстань застосовували автори [8, 11]. Для досягнення поставленої мети та

вирішення задачі в роботі розглянуто наступні методи: метод, заснований на формулах гаверсинусів, метод Вінсенті та Евклідової відстані.

Евклідова відстань. Евклідова відстань - це зазвичай найкоротший шлях, виміряний вздовж транспортної мережі. Прямолінійна (евклідова) відстань найчастіше використовується через легкість її розрахунку, тому що відстані виражається в географічних одиницях, таких як кілометри, завдяки простій функції прямої лінії між двома місцями. Зазвичай використовується для наближення відстані, але рідко має практичне застосування. Тобто маючи дві точки на земній поверхні, задані широтою та довготою, можна розрахувати відстань між ними безпосередньо, крізь Землю. Широта і довгота є частиною сферичних координат в тривимірному просторі, а саме: радіус - це радіус Землі, кут нахилу - це широта, і азимут - це довгота. У разі перетворення сферичних координат в Декартові координати x, y, z , знайти відстань напряму між цими точками, використовуючи формулу Евклідової відстані, можна наступним чином:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}. \quad (1)$$

Метод Вінсенті. Вінсенті [12] розробив метод для розрахунку геодезичних відстаней між парою точок широти та довготи на земній поверхні, використовуючи точну еліпсоїдальну модель землі. Це набір формул, які ґрунтуються на ітераційній процедурі, але кількість ітерацій, необхідних для рішення, як правило становить три чи чотири. Метод обчислює відстань між двома координатами, початковий шляховий кут, кінцевий шляховий кут, а також путні кути в проміжних точках. Метод Вінсенті включає прямий та зворотний метод, де: прямий метод обчислює розташування точки, якщо задана відстань та азимут від іншої точки, а інверсний метод обчислює географічну відстань та азимут між двома заданими точками. Як згадувалося вище, формули є ітераційними процесами, що означає, що розраховується послідовність рівнянь, коли виводиться повторно в ту ж послідовність рівнянь. Мета полягає в тому, щоб мінімізувати вихідне значення після встановленої кількості ітерацій. Цей метод, тобто набір формул, використовуються у наступному скрипті:

$$\begin{aligned}
 & a, b = \text{major \& minor semi-axes of the ellipsoid} \\
 & f = \text{flattening } (a-b)/a \\
 & \varphi_1, \varphi_2 = \text{geodetic latitude} \\
 & L = \text{difference in longitude} \\
 & \tan U_{1/2} = (1-f) \cdot \tan \varphi_{1/2} \\
 & \cos U_{1/2} = 1 / \sqrt{1 + \tan^2 U_{1/2}}, \sin U_{1/2} = \tan U_{1/2} \cdot \cos U_{1/2} \\
 & \lambda = L \text{ (first approximation)} \\
 & \text{iterate until change in } \lambda \text{ is negligible (e.g. } 10^{-12} \approx 0.006\text{mm)} \{ \\
 & \sin \sigma = \sqrt{[(\cos U_2 \cdot \sin \lambda)^2 + (\cos U_1 \cdot \sin U_2 - \sin U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \cos \lambda)^2]} \\
 & \cos \sigma = \sin U_1 \cdot \sin U_2 + \cos U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \cos \lambda \\
 & \sigma = \text{atan}(\sin \sigma / \cos \sigma) \\
 & \sin a = \cos U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \sin \lambda / \sin \sigma \\
 & \cos^2 a = 1 - \sin^2 a \\
 & \cos 2\sigma_m = \cos \sigma - 2 \cdot \sin U_1 \cdot \sin U_2 / \cos^2 a \\
 & C = f/16 \cdot \cos^2 a \cdot [4 + f \cdot (4 - 3 \cdot \cos^2 a)] \\
 & \lambda' = L + (1 - C) \cdot f \cdot \sin a \cdot \{ \sigma + C \cdot \sin \sigma \cdot [\cos 2\sigma_m + C \cdot \cos \sigma \cdot (-1 + 2 \cdot \cos^2 2\sigma_m)] \\
 & \quad \quad \quad \} \\
 & u^2 = \cos^2 a \cdot (a^2 - b^2) / b^2 \\
 & A = 1 + u^2/16384 \cdot \{4096 + u^2 \cdot [-768 + u^2 \cdot (320 - 175 \cdot u^2)]\} \\
 & B = u^2/1024 \cdot \{256 + u^2 \cdot [-128 + u^2 \cdot (74 - 47 \cdot u^2)]\} \\
 & \Delta\sigma = B \cdot \sin \sigma \cdot \{ \cos 2\sigma_m + B/4 \cdot [\cos \sigma \cdot (-1 + 2 \cdot \cos^2 2\sigma_m) \\
 & \quad - B/6 \cdot \cos 2\sigma_m \cdot (-3 + 4 \cdot \sin^2 \sigma) \cdot (-3 + 4 \cdot \cos^2 2\sigma_m)] \} \\
 & s = b \cdot A \cdot (\sigma - \Delta\sigma) \\
 & \alpha_1 = \text{atan}(\cos U_2 \cdot \sin \lambda / \cos U_1 \cdot \sin U_2 - \sin U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \cos \lambda) \\
 & \alpha_2 = \text{atan}(\cos U_1 \cdot \sin \lambda / -\sin U_1 \cdot \cos U_2 + \cos U_1 \cdot \sin U_2 \cdot \cos \lambda)
 \end{aligned}$$

Де s - геодезична відстань уздовж поверхні еліпсоїда,
 α_1 - перший азимут,
 α_2 - кінцевий азимут (у напрямку $p_1 \rightarrow p_2$).

$\Delta\sigma$ – кутова різниця, що розраховується за формулою (3):

$$\Delta\sigma = 2 \arcsin \left\{ \sqrt{\sin^2 \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \sin^2 \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right\}, \quad (3)$$

де $\varphi_1, \lambda_1; \varphi_2, \lambda_2$ – широта та довгота двох точок відповідно;

$\Delta\lambda$ – різниця координат за довжиною;
 $\Delta\sigma$ – кутова різниця.

Метод, заснований на формулах гаверсинусів, є дуже точним методом обчислення відстаней між двома точками на поверхні сфери з використанням широти та довготи двох точок. Цей метод являє собою реформування сферичного закону косинусів, але формулювання з точки зору гаверсинусів є більше корисним для малих кутів та відстаней. Фактично, відстань d між двома точками є добутком кутової різниці та радіусу:

$$d = \Delta\sigma \cdot R, \quad (2)$$

де R – радіус Землі;

Обчислення довжини маршруту проводиться для реального набору даних з використанням інформації про географічні координати зупинок міста. Розрахунок відстані здійснювався на реальних вхідних даних, за основу були взяті географічні координати тролейбусних зупинок початку та кінця чотирьох діючих маршрутів міста Севе́родонецьк (табл. 1).

Таблиця 1

Маршрути міста Северодонецьк

Номер маршруту	Координати початкової зупинки	Координати кінцевої зупинки	Кількість додаткових контрольних точок
1	(48.933256, 38.520513)	(48.951085, 38.468542)	3
2	(48.943869, 38.536434)	(48.951085, 38.468542)	5
5	(48.930282, 38.490000)	(48.951085, 38.468542)	5
6	(48.943869, 38.536434)	(48.961398, 38.460732)	5

Виходячи з отриманих даних (табл. 2), маємо суттєве відхилення від фактичної довжини маршруту. Це пов'язано з тим, що запропоновані методи повертають значення найкоротшої відстані між двома точками, як

показано на рисунку 1а. Але такий результат також дає підставу для наступного припущення: є сенс розробити метод, який на основі існуючих надав би результат близький до дійсного.

Таблиця 2

Отримані результати розрахунку відстані між початком та кінцем маршруту міста

Назва методу Номер маршруту	Формула гаверсинусів		Формула Вінсенті, км		Евклідова відстань, км		Фактична відстань, км
	Відстань, км	Відхилення, %	Відстань, км	Відхилення, %	Відстань, км	Відхилення, %	
1	5,39	26,47	4,42	39,7	4,50	38,61	7,33
2	5,05	28,17	5,06	28,02	5,06	28,02	7,03
5	2,81	71,79	2,78	72,09	2,81	71,79	9,96
6	5,90	50,34	5,92	50,17	5,90	50,34	11,88
Загальне відхилення, %	44,19		47,49		47,19		

Для покращення результатів здійснено лінеаризацію маршрутів, повторно використано три методи для обчислення відстані та проведено порівняння з фактичною довжиною маршруту для отримання оцінки ефективності роботи методів.

Оскільки відстань між контрольними точками маршруту часто неможливо визначити як довжину прямої лінії між цими точками, кожний маршрут було розбито на дрібніші сегменти, довжини яких можна складати, отримуючи відстані між контрольними точками (4), що являє собою лінеаризацію маршрутів (рис. 1б).

$$d = \sum_{i=1}^{N-1} d_i, \quad (4)$$

де d – відстань між двома точками;

d_i – відстань між додатковими точками;

i – індекс сегменту;

N – кількість контрольних точок.

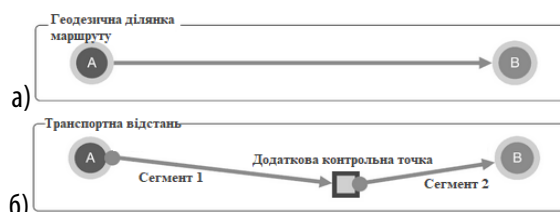


Рисунок 1 – Різниця між геодезичною ділянкою та фактичним маршрутом транспорту

Довжина сегмента, що представляє пряму лінію, при цьому може бути визначена за формулами гаверсинусів, методами Вінсенті та Евклідової відстані, відповідно. Відстані між початком маршруту, додатковими точками, тобто зупинками, та кінцем маршруту представлені у таблиці 3.

Таблиця 3

Отримані результати розрахунку відстані між початком та кінцем маршруту міста після лінеаризації

Назва методу Номер маршруту	Формула гаверсинусів		Формула Вінсенті, км		Евклідова відстань, км		Фактична відстань, км
	Відстань, км	Відхилення, %	Відстань, км	Відхилення, %	Відстань, км	Відхилення, %	
1	7,422	1,26	7,043	3,92	7,425	1,3	7,33
2	6,628	5,72	6,633	5,65	6,622	5,8	7,03
5	9,917	0,43	9,544	4,18	9,922	0,38	9,96
6	11,313	4,77	11,336	4,58	11,318	4,73	11,88
Загальне відхилення, %	3,04		4,58		3,05		

Продовжуючи дослідження на прикладі міста Северодонецьк, крім початкової та кінцевої зупинки були обрані додаткові контрольні точки для кожного маршруту, в якості яких виступили зупинки на ділянках доро-

ги, що мають поворот (рис. 2). А саме для маршруту №1 використали 3 додаткові контрольні точки, для усіх інших по 5 (табл. 1).



Рисунок 2 – Діючі маршрути міста Северодонецьк

За оцінкою отриманих результатів зроблено наступний висновок: на відміну від попереднього випадку, де відстань визначалась, як найкоротший шлях між двома географічними координатами, лінеаризація маршрутів дозволила урахувати відстань між точками за існуючим маршрутом, який включає увесь нерівний шлях, що значно зменшило загальне відхилення. Найбільш прийнятним методом розрахунку відстані для окремих сегментів маршруту виявився метод, заснований на формулах гаверсинусів. Використовуючи лінеаризацію, відхилення становить лише 3,04 %, при чому точність розрахунків напряму залежить від кількості додаткових контрольних точок.

ВИСНОВКИ

Технології, що базуються на інтелектуальних транспортних системах, широко застосовуються в управлінні дорожнім рухом, завдяки тому, що містять засоби інформування учасників дорожнього руху, системи контролю та оптимізації маршрутів, засоби і технології управління при надзвичайних ситуаціях, тощо. Покращення послуг громадського транспорту є важливим аспектом. В цьому сенсі одним з найбільш затребува-

них і зрозумілих для кінцевого споживача, як учасника дорожнього руху, завдань є прогнозування часу руху транспортних засобів. Вирішення цього завдання дозволяє контролювати рух міського транспорту, ввести своєчасні коригування диспетчерськими службами, сповістити пасажирів про час прибуття громадського транспорту на зупинки. Завдяки зібраній в реальному часі, інформації транспортні підприємства отримують можливість планувати, керувати та контролювати транспортні засоби, що суттєво вдосконалює сервіс.

Напрямок цього дослідження було направлено за для отримання належного методу розрахунку відстані між географічними координатами для подальшого використання в системі прогнозування часу прибуття громадського транспорту на зупинки міста. Було розглянуто три методи, а саме метод, заснований на формулах гаверсинусів, методи Вінсенті та Евклідову відстань. Вибір методу розрахунку відстані суттєво впливає на кінцевий результат, а попередній висновок дає змогу вважати, метод, заснований на формулах гаверсинусів, доцільним для використання у подальшій роботі.



ЛІТЕРАТУРА:

1. Hua X. Bus arrival time prediction using mixed multi-route arrival time data at previous stop / X. Hua, W. Wang, Y. Wang, M. Ren // Transport ISSN 1648-4142 / eISSN 1648-3480. – 2015.
2. Bai C. Dynamic Bus Travel Time Prediction Models on Road with Multiple Bus Routes / C. Bai, Z.-R. Peng, Q.-C. Lu, J. Sun // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2015. – Vol. 2015, doi:10.1155/2015/432389.
3. Asfandyar M. Real-Time Public Transport Arrival Information System / Student Research Paper Conference. - 2015. -Vol. 2, No. 13, PP. 67-71.
4. Fabbri G. An Innovative System for a Clean and Sustainable Public Transport System in Smart Cities / G.Fabbri, C.M. Medaglia, M. Ippolito, E. Saraceno, M. Antonucci, L. Fiorentino, M. Bistolfi, P. Cozzolino, M. Gallarate // Proceedings of the IEEE 25th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Santa Clara, CA, USA. 8-10 June 2016. – pp. 974-979.
5. Grinshpan A. Comparative Analysis of GPS Data / A.Grinshpan, S.Campbell // Undergraduate Journal of Mathematical Modeling: One + Two, 2014. - Vol. 5, Iss. 2.
6. Topolska K. Model of hierarchical regression in decision problems of transportation systems // Archives of Transport System. Telematics, 2017. – Vol. 10, Iss. 2.
7. Кукало И.А. Линейное отображение географических координат подвижного объекта на линейную часть магистрального нефтепровода / И.А. Кукало, С.Н. Гривцов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2015. - Т. 326, № 11, С. 31–43.
8. Biswas A. Microsegmenting: An approach for precise distance calculation for GPS based ITS applications/ A.Biswas, G.Pilla, B.Tamma // IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS), 2013.
9. Basyir M. Determination of Nearest Emergency Service Office using Haversine Formula Based on Android Platform / M.Basyir, M.Nasir, Suryati, Widdha Mellyssa // EMITTER International Journal of Engineering Technology, 2017. - Vol. 5, No. 2.
10. Berlin M. A. Safety Distance Calculation for Collision Avoidance in Vehicular Ad hoc Networks / M. A. Berlin, S. Muthusundari // Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET), 2016. - 4(1). P. 63-69.
11. Gonçalves D. Analysis of the difference between the Euclidean distance and the actual road distance in Brazil / Daniel Neves Schmitz Gonçalves et al. // Transportation Research Procedia 3, 2014. – P. 876 – 885.
12. Thomas C. M. Validation of Vincenty's Formulas for the Geodesic Using a New Fourth-Order Extension of Kivioja's Formula / C.M. Thomas, W E. Featherstone // Journal of Surveying Engineering © ASCE. – 2005.

*Рецензент: д.т.н., проф. В.Ф. Коваленко
Херсонський національний технічний університет*