

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-06>

УДК 004.94:656.02

Лавренчук Світлана Василівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-5453-3924>

Мельник Катерина Вікторівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-9991-582X>

Багнюк Наталія Володимирівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>

Пашук Владислав Юрійович, магістр

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ВІДСТАНЕЙ, ПРОЙДЕНИХ ТОРГОВИМИ АГЕНТАМИ

Лавренчук С.В., Мельник К.В., Багнюк Н.В., Пашук В.Ю. Дослідження методів розрахунку відстаней, пройдених торговими агентами. Розглянуто різні варіанти розрахунку відстаней, пройдених торговими агентами, здійснено їх аналіз та порівняння, надано рекомендації щодо оптимальних параметрів розрахунків залежно від початкових вхідних даних.

Ключові слова: Python, торговий агент, карти Google, OpenStreetMap, розрахунок відстаней

Lavrenchuk S.V., Melnik K.V., Bahniuk N.V., Pashchuk V.Yu. Investigation of methods for calculating the distances traveled by sales agents. Various options for calculating the distances traveled by sales agents are considered, their analysis and comparison are carried out, recommendations are given on the optimal calculation parameters depending on the initial input data.

Keywords: Python, sales agent, Google maps, OpenStreetMap, distance calculation

Постановка проблеми та аналіз досліджень

У зв'язку з активним зростанням цін, для багатьох підприємств питання контролю та прогнозування витрат палива стає все більш актуальним. Зрозуміло, що такі витрати найбільш залежать від довжини пройденого автомобілем шляху. Логістичні компанії, що займаються перевезеннями вантажів, можуть наперед спланувати та оптимізувати свої маршрути (класична транспортна задача) [3, 4], особливості ж роботи торгових представників не дозволяють цього зробити, адже їх маршрути наперед не відомі і змінюються протягом дня. Досить часто торгові агенти користуються власними автомобілями і роботодавець не може бути впевнений в тому, що абсолютно всі поїздки здійснено саме з робочою метою, тому спосіб використання одометра або GPS-трекінгу не підходить. Розрахунок відстаней, пройдених торговими агентами, відбувається на основі вже пройдених точок. Фіксація їх GPS-координат в торгових точках відбувається в спеціально розробленому фірмою-підрядником додатку. На основі отриманих масивів даних підрядник розраховує пройдені відстані за алгоритмом, що базується на формулі гаверсінуса. Якщо здійснювати розрахунки за формулами гаверсінуса як пряму відстань між двома географічними точками, то може виникнути значне відхилення від фактично пройденої відстані у зв'язку з особливостями конфігурації дороги. Наприклад, на рисунку 1 пряма відстань АС значно менша, ніж реально пройдена (4,6 км).

Тому, з метою уникнення таких значних похибок, підрядником запропоновано рахувати відстань за катетами прямокутного трикутника. Координати точок А та С відомі, а координати точки В знаходять як перетин довготи точки А та широти В (або навпаки). Далі за формулами гаверсінуса шукають відстані АВ та ВС і за розрахункову приймають відстань АВ+ВС. Проте, як бачимо з рисунку 1, вона теж відрізняється від фактично пройденої (для даного прикладу відхилення становить майже 22%).

Метою даної роботи є дослідження адекватності алгоритму провайдера для різних категорій торгових агентів та, за потреби, пошук інших методів розрахунку відстаней на основі GPS-координат, адже однозначного вирішення цієї задачі досі не існує.

Розглянуто наступні методи: метод, заснований на формулах гаверсінуса (метод підрядника), Google Maps [7], OpenStreetMap [10] (з різними параметрами). Формули Евкліда для розрахунку відстаней застосовували в працях [2, 4, 5]. Д. Гонсалвес [4] пропонує застосовувати поправочні коефіцієнти до евклідових відстаней.



Рисунок 1 – Різниця між відстанню за формулою гаверсінуса та реально пройденою

Автори роботи [2] вважають, що формули гаверсінусів досить добре узгоджуються з фактичною відстанню за умови застосування методу мікросегментації. Проте в нашій постановці задачі не достатньо GPS-координат для розбиття шляху на сегменти. В роботі [3] розглядається похибка методу Вінсенті, що виникає внаслідок наближеного врахування еліпсоїдної форми Землі. Крім геодезичних методів при розрахунку відстаней між точками на поверхні Землі використовуються також картографічні. В роботах [1, 6] розглядається приклад застосування відкритих карт OpenStreetMap [10] для знаходження відстаней між точками.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів

Для проведення дослідження обрано дві категорії торгових агентів: для аналізу похибок при розрахунку коротких (до 50 км) та довгих (50 км і більше) відстаней. Для знаходження фактичних відстаней використано веб-версії карт Google та метод мікросегментації (маршрут розбито на частини, які складаються максимум з десяти точок). Цей метод знаходження фактичних відстаней (карти Google) досить ресурсо-витратний, тому не може постійно використовуватися для розрахунків відстаней.

Аналіз даних здійснювався засобами мови програмування Python з використанням бібліотек Pandas, OSMnx, NumPy, matplotlib, haversine, vincenty, геору.

Набір даних (DataFrame) має табличну структуру з полями: працівник (employee), назва відвіданої точки (tt), час відвідування (time_start), довгота точки (start_lon) та широта точки (start_lat) (рисунок 2).

	employee	tt	time_start	start_lat	start_lon
0	Працівник1	National Museum Taras Shevchenko	2021-11-01 09:24:43	50.443436	30.515529
1	Працівник1	Kyiv Pechersk Lavra	2021-11-01 09:30:25	50.434809	30.557112
2	Працівник1	St Volodymyr's Cathedral	2021-11-02 09:30:25	50.444952	30.508819
3	Працівник1	Golden Gate	2021-11-02 11:34:43	50.448880	30.513318

Рисунок 2 – Структура даних

На основі GPS-координат відвіданих точок обчислюються відстані між ними (рисунок 3) з використанням різних функцій, в основі яких лежать методи розрахунку відстаней:

- метод гаверсінусів – бібліотека haversine;
- метод Вінсенті – бібліотека vincenty;

- функція distance (ідея Чарльза Карні) - бібліотека geour.

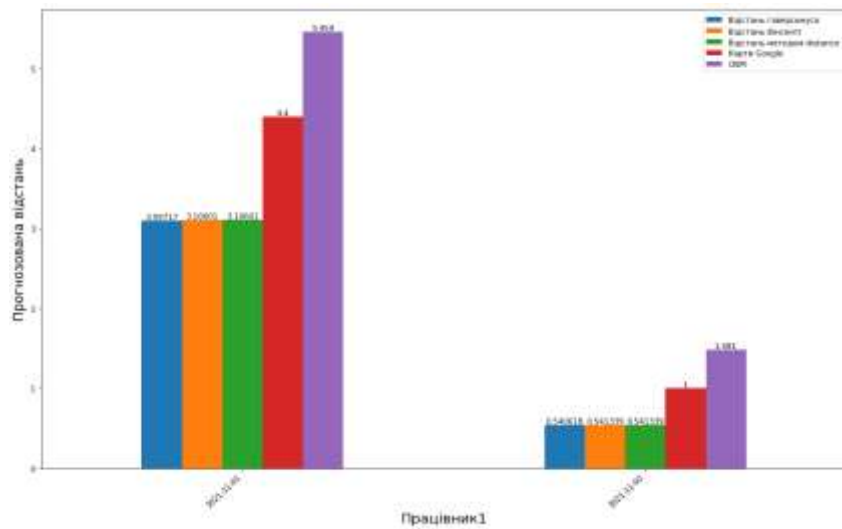


Рисунок 3 – Порівняння функцій обчислення відстаней

З рисунку 3 видно, що три вищезазначені методи дають практично однакові результати, тому надалі використовуватимемо функцію distance бібліотеки geour.

На рисунку 4 наведено порівняння розрахункових відстаней методом підрядника з фактичними.

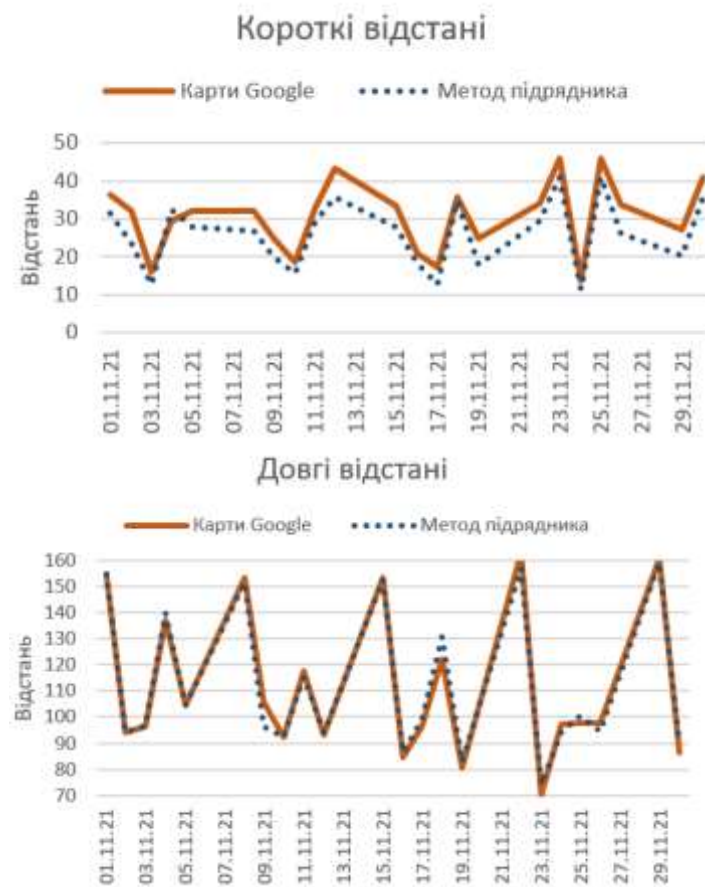


Рисунок 4 – Порівняння методу підрядника та карт Google

Як видно з рисунку 4, для випадку довгих відстаней метод підрядника дає не великі відхилення (в межах 1,5%), а для випадку коротких відстаней розрахунки суттєво занижені (середнє відхилення становить 16%). Тому при компенсації пального торговим агентам, які переміщуються в межах 50 км, слід шукати інші методи розрахунку відстаней.

Застосуємо відкриту платформу OpenStreetMaps (рисунок 5) та програмний модуль для Python OSMnx – інструмент, який дозволяє збирати дані, створювати та досліджувати автомобільні та інші шляхи з точки зору теорії графів. Функції перетворення заданої місцевості в граф містять параметри, які позначають типи шляхів, на основі яких будується граф. Параметр «drive» дозволяє врахувати лише дороги загального користування, а «all» – всі шляхи (вулиці, стежки тощо).

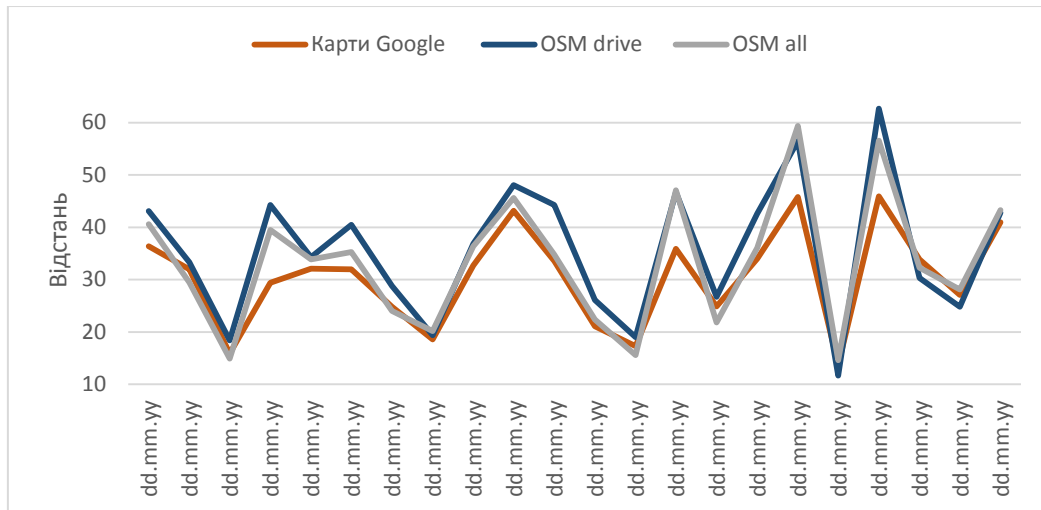


Рисунок 5 – Порівняння методів OSMnx та карт Google

Як бачимо з рисунку 5, застосування функцій OSMnx для розрахунку відстаней дає завищені результати: при застосуванні параметру «drive» – середнє відхилення 15 %, при застосуванні параметру «all» – 7 %. Однак, параметр «all» не підходить для автомобільного транспорту.

Алгоритм підрядника містить математичний розрахунок за трьома вершинами прямокутного трикутника без врахування реальних дорожніх маршрутів, тобто підрядник використовує координати трьох точок. Пропонуємо підхід, в якому не шукаються координати точки В (див.рисунок 1), а задається лише кут нахилу катета до гіпотенузи. За відомими GPS-координатами точок А та С знаходимо довжину гіпотенузи АС прямокутного трикутника. Далі за тригонометричними формулами знаходимо відстані АВ та ВС і за розрахункову приймаємо відстань АВ+ВС. На рисунку 6 наведено результати розрахунків при різних значеннях кута нахилу.

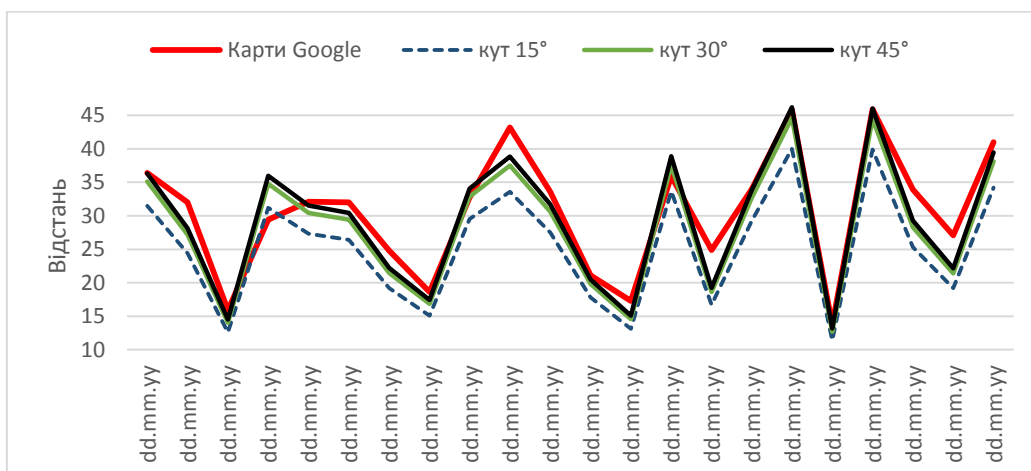


Рисунок 6 – Підбір кута нахилу катета

В таблиці 1 наведено відхилення розрахункових відстаней для різних методів від фактичних (карт Google).

Таблиця 1 – Відхилення розрахункових відстаней від фактичних

дата	Карти Google	Відстань, км					Відхилення, %				
		Розрахунок підрядника	OSM drive	кут 15°	кут 30°	кут 45°	Розрахунок підрядника	OSM drive	кут 15°	кут 30°	кут 45°
01.11.21	36,4	31,5	43,1	31,5	35,09	36,33	-13,5	18,4	-13,5	11,4	-0,2
02.11.21	32	23,5	33,3	24,4	27,19	28,15	-26,6	4,1	-23,8	15,7	-12,0
03.11.21	15,9	12,8	18,4	12,6	14,03	14,53	-19,5	15,7	-20,8	9,6	-8,6
04.11.21	29,4	32,6	44,3	31,2	34,76	35,98	10,9	50,7	6,1	6,6	22,4
...
25.11.21	45,9	40,9	62,7	39,9	44,46	46,03	-10,9	36,6	-13,1	8,7	0,3
26.11.21	33,9	26,2	30,3	25,3	28,27	29,26	-22,7	-10,6	-25,4	7,9	-13,7
29.11.21	27,1	20,3	24,8	19,2	21,41	22,16	-25,1	-8,5	-29,2	5,5	-18,2
30.11.21	41	35,6	42,8	34,2	38,12	39,46	-13,2	4,4	-16,6	7,1	-3,8
Середнє відхилення, %							15,6	14,8	17,4	9,1	4,7

Як видно з рисунку 5 та таблиці 1, найменше відхилення розрахункових значень від фактичних (4,7%) при використанні рівнобедреного прямокутного трикутника (коли кут нахилу катетів до гіпотенузи 45°).

Висновки

Розглянуто задачу контролю та прогнозу витрат пального торговими представниками. Вхідними даними є GPS-координати торгових точок. Розглянуті різні алгоритми розрахунку відстаней, виконано їх порівняння та аналіз, надано рекомендації щодо оптимальності застосування методів для різних категорій торгових агентів: для коротких дистанцій запропоновано вдосконалений метод розрахунку (з кутом нахилу катету 45°), а для довгих – доведено адекватність застосування методу підрядника.

Дослідження виконано засобами мови Python і розроблена система для практичного використання торговими агентами та їх керівниками.

Список бібліографічного опису

1. Almendros-Jiménez, Jesús M., and Antonio Becerra-Terón. "Distance based queries in open street map." 2015 26th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA). IEEE, 2015.
2. Biswas, Aradhya, Goutham Pilla, and Bheemarjuna Reddy Tamma. "Microsegmenting: An approach for precise distance calculation for GPS based ITS applications." 2013 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS). IEEE, 2013.
3. Karney, Charles FF. "Geodesics on an ellipsoid of revolution." arXiv preprint arXiv:1102.1215 (2011).
4. Gonçalves, Daniel Neves Schmitz, et al. "Analysis of the difference between the euclidean distance and the actual road distance in Brazil." Transportation Research Procedia 3 (2014): 876-885.
5. Maria, E., E. Budiman, and M. Taruk. "Measure distance locating nearest public facilities using Haversine and Euclidean Methods." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1450. No. 1. IOP Publishing, 2020.
6. Rajšp, Alen, Marjan Hericko, and Iztok Fister Jr. "Preprocessing of roads in OpenStreetMap based geographic data on a property graph." Central European Conference on Information and Intelligent Systems. Faculty of Organization and Informatics Varazdin, 2021.
7. Лавренчук, С. В., Кисельов Д. В. "Соціальна мережа з можливістю відстеження користувачів засобами бібліотеки Google Maps API." Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво 19 (2015): 34-38.

8. Мельник, В., Тарасенко А., Н. Черняшук, К. Мельник, і С. Чухрій. «Автоматизована система розкладу руху громадського транспорту.». КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, вип. 43, Червень 2021, с. 70-77, doi:10.36910/6775-2524-0560-2021-43-12.
9. Мельник, Катерина Вікторівна, та ін. Еволюційні моделі пошуку оптимального шляху. м. Луцьк, 2016, с. 53.
10. "OpenStreetMap". OpenStreetMap, www.openstreetmap.org. Останній перегляд 17 трав. 2022.

References

1. Almendros-Jiménez, Jesús M., and Antonio Becerra-Terón. "Distance based queries in open street map." 2015 26th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA). IEEE, 2015.
2. Biswas, Aradhya, Goutham Pilla, and Bheemarjuna Reddy Tamma. "Microsegmenting: An approach for precise distance calculation for GPS based ITS applications." 2013 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS). IEEE, 2013.
3. Karney, Charles FF. "Geodesics on an ellipsoid of revolution." arXiv preprint arXiv:1102.1215 (2011).
4. Gonçalves, Daniel Neves Schmitz, et al. "Analysis of the difference between the euclidean distance and the actual road distance in Brazil." Transportation Research Procedia 3 (2014): 876-885.
5. Maria, E., E. Budiman, and M. Taruk. "Measure distance locating nearest public facilities using Haversine and Euclidean Methods." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1450. No. 1. IOP Publishing, 2020.
6. Rajšp, Alen, Marjan Hericko, and Iztok Fister Jr. "Preprocessing of roads in OpenStreetMap based geographic data on a property graph." Central European Conference on Information and Intelligent Systems. Faculty of Organization and Informatics Varazdin, 2021.
7. Lavrenchuk S.V., Kiselev D.V. "A social network with the ability to track users by means Google Maps library API." COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, no. 19, 2015, pp. 34-38
8. Melnyk , V., Tarasenko A., N. Cherniashchuk, Melnyk K., and S. Chukhrii. "Automated Public Transport Timetable System." COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, no. 43, June 2021, pp. 70-77, doi:10.36910/6775-2524-0560-2021-43-12.
9. Melnyk, Kateryna Viktorivna, and others. Evolutionary models of finding the optimal path. Lutsk, 2016, p. 53.
10. "OpenStreetMap". OpenStreetMap, www.openstreetmap.org. Last viewed 17 May. 2022