

ОПТИМІЗАЦІЯ ДОСТАВКИ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Здійснюється аналіз методів оптимізації доставки з використанням БПЛА. Сформульовано задачу оптимізації множини пунктів доставки та точок зустрічі дронів з вантажівками для окремих маршрутів.

Ключові слова: дрон, маршрутизація, задача комівояжера, евристика, мета евристика.

Abstract

The analysis of delivery optimization methods with use of drones is carried out. The problem of preliminary optimization of the delivery points set and points of drones meeting with trucks is formulated.

Keywords: drone, routing, salesman task problem, heuristic, metaheuristic.

Вступ

Очікується, що до 2050 року польоти безпілотних повітряних літальних апаратів (БПЛА) на густонаселених територіях країн Європейського союзу складатимуть приблизно 250 млн. годин, а через 10 років сегмент БПЛА становитиме 10 відсотків усього авіаційного ринку, обсяг якого становить понад €15 мільярдів на рік [1].

Однією з причин зацікавленості в БПЛА є швидкий розвиток електронної комерції, який призводить до швидкого зростання значимості логістики доставки «останньої милі». Зі збільшенням замовлень на доставку легких посилок все більш жорстокою стає конкуренція за швидкість і вартість виконання замовлення. Компанії шукають нові та інноваційні способи доставки своєї продукції, і багато хто з них розпочали активні дослідження та розробку таких БПЛА, як дрони і роботи-доставники для використання їх у своїх мережах доставки.

Першою компанією, яка публічно запропонувала використовувати дрони в своїх службах доставки у 2013 р. стала Amazon [2]. У середині квітня 2015 року, під час проведення конференції iForum, компанія «Нова пошта» показала діючий прототип дрону-листоношу, який був готовий до використання для доставки малогабаритних вантажів клієнтам [3]. В жовтні 2019 року UPS стала першою компанією, яка отримала від Федерального авіаційного управління (FAA) повну ліцензію на управління дронами, що дозволила їй поширювати існуючі пілотні проекти невеликих служб доставки дронами на загальнонаціональну мережу [4].

Можливості дронів щодо доставки

До найбільш актуальних характеристик дронів відносять: швидкість переміщення по горизонталі; максимальна відстань польоту (до цілі і назад) на одному заряді акумулятора; витривалість - тривалість безперервного польоту на одному заряді батареї; корисне навантаження - максимальна вага або розмір посилки, яку може нести дрон; розмір - максимальний горизонтальний розмах припаркованого на землі дрону, який є показником того, скільки дронів може поміститися і бути запущено з транспортного засобу. Основною перевагою дронів перед наземними транспортними засобами є швидкість, яка підвищується завдяки можливості прямого польоту, можлива дальність якого постійно збільшується. Але вони сильно відстають за показниками вантажопідйомності і загальної витривалості, значно залежать від погодних умов.

Разом з тим, вантажопідйомність лише у 2,3 кг покриває, 80% замовлень Amazon [5], а дрони компанії з доставки Flirtey витримують 95% погодних умов [6]. До того ж дрони мають дуже важливі додаткові переваги як засіб «останньої милі» доставки. Це: зменшення заторів та забруднення в густонаселених районах; працездатність у районах без під'їзних

доріг.

Можливо, найпривабливішим аспектом доставки дронів є їх надзвичайно низька вартість за мілью в 0,05 долара США у порівнянні з 4 доларами США при доставці протягом дня наземним кур'єром [7]. Саме очікуване падіння цін на доставку, а не швидке обслуговування, виявилось головною перевагою для користувачів доставки дронами [8].

Правила використання дронів

Основною перешкодою для активного комерційного використання дронів як в Україні, так і у більшості країн світу є не технічні, а законодавчі та регуляторні питання [10]. Підраховано, що економіка США щорічно втрачає 10 мільярдів доларів через суворості правил доставки дронами [5]. Але цілком зрозуміло, що надання дозволу на використання дронів в комерційних цілях потребує ідентифікації та пом'якшення всіх можливих ризиків щодо забезпечення громадської безпеки і недопущення заподіяння шкоди людям і середовищу.

Державна авіаційна служба України встановила такі обмеження на польоти БПЛА вагою до 2 кг: польоти можуть виконуватися лише вдень, заборонено польоти над людьми і певними територіями, максимальна швидкість польоту - 160 км/год, висота - 50 м, відстань від пілота не більше 500 м, відстань до сторонніх осіб не ближче ніж 30 метрів; для осіб до 12 років – не ближче ніж 50 метрів; для груп понад 12 осіб – не ближче ніж 150 метрів [11].

Аналогічні обмеження існують і в США. Найголовніше, що під час польоту дрони мають знаходитися в зоні прямої видимості операторів або візуального спостерігача для утримання БПЛА в полі зору. Поки лише UPS за ліцензією FAA дозволено використовувати дрони цілком автономно але лише на заздалегідь запрограмованих маршрутах, контрольованих віддаленими пілотами. Така вимога робить доставку дронами менш життєздатною і вимагає певних змін для забезпечення прибутку і масштабованості [12].

Разом з тим FAA, в межах пілотної програми UAS IPP, надала десяти організаціям ліцензії на 2,5 роки з пом'якшеними правилами, в обмін на дані та ідеї, які допоможуть їй розробити більш обґрунтований набір правил та положень. Ліцензія Flirtey дозволяє одному пілоту одночасно керувати 10 дронами навіть вночі за межами прямої видимості [13]. Компанії Unifly в ліцензії для роботи на Алясці, дозволили польоти над людьми [14].

Маршрутизація комбінації транспортних засобів з БПЛА

У 2020 р. компанія Workhorse [9] запатентувала першу комбіновану систему, в якій дрон приймає посылку на електровантажівці. Її було успішно протестовано в партнерстві з UPS. З урахуванням можливостей сучасних дронів та правил їх використання дослідження задачі оптимізації маршрутів систем вантажівка-дрон знаходять все більше поширення.

Вперше проблему співпраці вантажівок і дронів було сформульовано у [15] як завдання комівояжера (TSP) з літаючим партнером (Flying Sidekick Traveling Salesman Problem, FSTSP). Завданням є розширенням TSP для однієї вантажівки з одним дроном, які доставляють товари клієнтам. Поки дрон літить з вантажівки до клієнта, вантажівка може продовжувати доставку іншим клієнтам. Після доставки дрон має встигнути прилетіти до місця зустрічі вантажівки з клієнтом до того, як розрядиться його акумулятор. Метою завдання є мінімізація часу проходження маршруту. Оскільки FSTSP є NP-складним завданням в [15] запропоновано три евристичні рішення: розширений метод Кларка-Райта, метод найближчого сусіда і алгоритм замітання. Евристики, протестовані на невеликій кількості клієнтів, довели свою ефективність по часу оптимізації від 0,22% до 10,68%. Понца [16] покращив FSTSP додавши метаевристику імітації відпалу для вирішення завдання для 200 клієнтів. Дослідження довели зменшення часу доставки завдяки комбінації вантажівок з дронами, яке, залежно від кількості клієнтів, склало від 5% до до 20%

Одним з варіантів FSTSP є завдання комівояжера з дроном TSP-D [17], яке враховує, що дрон є швидшим за вантажівку і що вони працюють в одній дорожній мережі. Тут також припускаються різні точки вилету і прийому дрона і враховується пересування вантажівки до нового пункту під час польоту дрона. Але мета полягає в мінімізації експлуатаційних витрат шляхом комбінації жадібного і точного алгоритмів розбиття. Евристика вирішує проблеми для 100 клієнтів за 20 хв. Економія експлуатаційних витрат сягне 30 %.

В подальшому FSTSP ускладнили призначенням кожній вантажівці фіксованої кількості дронів [18,19]. При цьому [18] спрямована на точний метод з невеликою кількістю доставок,

а [19] використовує генетичний алгоритм для евристичного вирішення завдання більшої розмірності. Метою обох досліджень є мінімізація загальних експлуатаційних витрат, які включають: постійні витрати з використання кожного додаткового дрону та змінні витрати вантажівок на паливо і водіїв та дронів на електроенергію. Результати [19] досягають економії до 55% при використанні точного методу для невеликої кількості доставок і економію 7–9 % при використанні генетичного алгоритму на завданнях до 158 клієнтів.

Узагальненням FSTSP є завдання маршрутизації транспортних засобів з дронами (VRPD) за наявності кількох вантажівок, а також взаємозв'язок між багатьма вантажівками і багатьма дронами [20]. Дрон не обов'язково відправляється і забирається тією ж самою вантажівкою. Метою є мінімізація витрат і визначення можливих маршрутів вантажівок і дронів.

Висновки

Дослідження з оптимізації маршрутів доставки дронами довели, що реальні задачі не можуть бути вирішені точними методами і потребують розробки евристичних або метаевристичних методів.

Існує багато досліджень завдання маршрутизації спільної доставки вантажівками і дронами. У той же час не було приділено уваги завданню оптимальної кластеризації пунктів доставки для визначення окремих маршрутів і вибору точок зустрічі дрона з вантажівкою.

Отже доцільним є вирішення задачі оптимізації декомпозиції множини пунктів доставки на окремі маршрути з урахуванням визначення на кожному з отриманих маршрутів оптимальних точок зустрічі дронів з вантажівками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сисоев М., Марчан В. Дивися вгору: використання дронів в Україні – поточне регулювання та перспективи // Європейська Бізнес Асоціація. URL: <https://eba.com.ua/dyvysya-vgoru-vykorystannya-droniv-v-ukraini-potochne-regulyuvannya-ta-perspektyvy/> (дата звернення 24.05.2021)
2. CBS Interactive Inc. (2013, December 1). *Amazon Drones: Amazon Unveils Futuristic Delivery Plan—CBS News—CBS News*. 60 Minutes. <https://www.cbsnews.com/news/amazon-unveils-futuristic-plan-delivery-by-drone/>
3. Федоричак В. Доставка дронами: привы з майбутнього? // LEMARBET. URL: <https://lemarbet.com/ua/razvitie-internet-magazina/dostavka-dronami/>
4. UPS. (2019, October 1). *UPS Flight Forward Attains FAA's First Full Approval For Drone Airline*. UPS Pressroom. <https://pressroom.ups.com/pressroom/ContentDetailsViewer.page?ConceptType=PressReleases&id=1569933965476-404>
5. Bloomberg. (2019, June 5). *Amazon Unveils Futuristic Helicopter-Plane Hybrid Drone for Deliveries*. *Bloomberg.Com*. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-06-05/amazon-poised-to-test-chopper-plane-mashup-for-drone-deliveries>
6. FreightWaves. (2019, September 12). *Flirtey unveils their new delivery drones, FAA approved*. FreightWaves. <https://www.freightwaves.com/news/flirtey-unveils-their-new-delivery-drones-faa-approved>
7. Kim, E. (2016, June). *The most staggering part about Amazon's upcoming drone delivery service*. Business Insider. <https://www.businessinsider.com/cost-savings-from-amazon-drone-deliveries-2016-6>
8. McKinsey. (2016, October). *How customer demands are reshaping last-mile delivery*. <https://www.mckinsey.com/industries/travel-transport-and-logistics/our-insights/how-customer-demands-are-reshaping-last-mile-delivery>
9. Workhorse. (n.d.). *Workhorse | HorseFly*. Retrieved November 7, 2019, from <https://workhorse.com/horsefly.html>
10. Шлапак Я. В Україні товари теж уже доставляють дрони і роботи // Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3205350-v-ukraini-tovari-tez-uze-dostavlaut-droni-i-roboti.html>
11. В Україні ввели жорсткі обмеження для застосування дронів та беспилотників / /5 Перший Український Інформаційний. URL: <https://www.5.ua/suspilstvo/v-ukraini-vvely-zhorstki-obmezhenia-dlia-zastosuvannia-droniv-ta-bezpilotnykiv-171519.html>
12. Wyman, O. (2018, September 10). *Why The Use Of Drones Still Faces Big Regulatory Hurdles*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/oliverwyman/2018/09/10/why-the-use-of-drones-still-faces-big-regulatory-hurdles/>
13. FreightWaves. (2019, September 12). *Flirtey unveils their new delivery drones, FAA approved*. FreightWaves. <https://www.freightwaves.com/news/flirtey-unveils-their-new-delivery-drones-faa-approved>
14. Unifly. (n.d.). *UAS Integration Pilot Program*. Unifly. Retrieved November 14, 2019. URL: <https://www.unifly.aero/uas-ipp>

15. Murray, C., & Chu, A. (2015). *The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery*—*ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X15000844>
16. Ponza, A. (2016). *Optimization of drone-assisted parcel delivery*. <https://core.ac.uk/download/pdf/41988045.pdf>
17. Agatz, N., Bouman, P., & Schmidt, M. (2018). Optimization Approaches for the Traveling Salesman Problem with Drone. *Transportation Science*, 52(4), 965–981. <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0791>
18. Yoon, J. J. (2018). The traveling salesman problem with multiple drones: An optimization model for last-mile delivery [Thesis, Massachusetts Institute of Technology]. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/117930>
19. Kuang, R. (2019, May). A Metaheuristic Approach to Optimizing a Multimodal Truck and Drone Delivery System. <https://ctl.mit.edu/pub/thesis/metaheuristic-approach-optimizing-multimodal-truck-and-drone-delivery-system>.
20. Wang, Z., & Sheu, J.-B. (2019, March 13). *Vehicle routing problem with drones*. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0191261518307884?token=2604A397244A90476AB0D1AA5E717869AC7B3E3B57131D0676A6DA0A1CBA7ADED22EBEF703ED69CC7F2F05325C092774>

Рокіцький Максим Миколайович — студент групи 2КН-186, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: rokitskiy2015@gmail.com

Месюра Володимир Іванович — канд. техн. наук, професор кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Арсенюк Ігор Ростиславович – канд. техн. наук., доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Maksym M. Rokitskyi – student of the Intelligent Information Technologies and Automation Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mylkovsky@gmail.com

Volodymyr I. Mesyura– Cand. Sc. (Eng.), Professor of the Computer Science Chair, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Igor R. Arsenyuk – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.