

**ТОПОЛОГО-КОМБІНАТОРНА
МОДЕЛЬ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ
ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Вступ. Сучасний розвиток безпроводних радіомереж дозволяє об'єднати дистанційно керовані безпілотні апарати (БПА) у групи для спільного виконання завдань. Групове використання БПА дозволяє зменшити час виконання завдання, повніше використовувати технічні можливості кожного БПА та на основі моделі інтегрувати гетерогенні наземні, надводні безпілотні транспортні засоби у мережі для системи збирання даних.

Загальна задача керування рухом груп БПА розбивається на такі задачі [1 – 5]: планування шляхів БПА для обстеження територіально розподілених об'єктів, динамічного формування мережі керування для рухомих пунктів керування (РПК), обслуговування споживачів інформаційних послуг і забезпечення зв'язку. Математичною основою планування руху груп БПА є задача маршрутизації транспортних засобів [1 – 6] та задача маршрутизації пакетів даних у безпроводних ad hoc мережах, які в даній роботі пропонується об'єднати на основі тополого-комбінаторної моделі та розв'язування спеціальної задачі оптимізації.

Тополого-комбінаторна модель (ТКМ) – це модель, що описує способи утворення зв'язків між абонентами та сервісами за наявних ресурсів. Формально модель описується декартовим добутком, що визначає множину Q варіантів обслуговування споживачів обчислювально-комунікаційних сервісів:

$$Q \subseteq R \times S \times T \times M.$$

Запропоновано модель побудови радіомережі та визначення маршрутів руху для гетерогенних груп безпілотних апаратів (БПА), безпілотних наземних роботів, надводних безпілотних транспортних засобів та змістовну постановку проблеми оптимізації системи, що складається з БПА і рухомих пунктів керування. Спеціальна мережа призначена для розгортання у польових умовах відповідно до поставленої задачі, наявних обчислювально-комунікаційних ресурсів та динаміки зміни ситуації.

В.Ю. Корольов,
О.М. Ходзінський, 2018

Тут R – множина ресурсів, S – множина обчислювально-комунікаційних сервісів [5, 7, 8], T – множина зв'язків між споживачами технічної системи та в середині між віртуалізованими засобами, M – множина маршрутів руху транспортних засобів.

У множину ресурсів R входять, зокрема, побудовані на основі фізичних пристроїв передачі та обробки інформації віртуальні комунікаційні сервери, а також засоби захисту інформації, політики комп'ютерної безпеки мережі, протоколи, інтерфейси. У системі хмарних сервісів такі ресурси відносяться до інфраструктурного рівня її обчислювальної архітектури [7, 9, 10].

Елементи множини S – це базові програми p_i , з яких можуть формуватися підмножини $S_j \subset S$ для виконання окремих сервісів. Для виконання задач обслуговування абонентів сервісно-орієнтована архітектура, зокрема, має забезпечувати можливість об'єднання декількох сервісів S_j з різних хмар. Об'єднуватись для утворення нового агрегованого сервісу S_A можуть як унікальні сервіси, так і програми p_i з різних сервісів:

$$S_A = \bigcup_I S_j.$$

Множина T описує топологію мережі у вигляді зваженого графа, де вершини – це абоненти або вузли мережі, а вага ребер характеризує стан каналів зв'язку. Множина зв'язків визначається поставленими задачами, кількістю абонентів, швидкістю передачі даних та економічними чинниками і є розв'язком задачі пошуку маршрутів руху пакетів даних. Для побудови множин ресурсів R , сервісів S та зв'язків T запропонована модель використовує результати теорії масового обслуговування, моделювання агрегативних систем, транспортних систем та автоматизованих систем керування.

Множина M включає можливі шляхи руху абонентів спеціальної мережі [8].

Отримана множина комбінацій варіантів обслуговування Q є основою для змістовної постановки задачі оптимізації обслуговування множини абонентів та описаної вище транспортно-комунікаційної задачі для групи БПА і РПК, а також синтезу складних технічних систем, що складаються з рухомих роботизованих систем і рухомих пунктів керування.

Синтез локальної мережі транспортних засобів. Прикладним застосування тополого-комінаторної моделі (ТКМ) мережі є опис радіомережі (безпроводної мережі), що динамічно утворюється лініями зв'язку. Стан ліній зв'язку між абонентами групи БПА змінюється в залежності від задач, середовища поширення радіохвиль та типу інформації, що передається мережею. Топологія мережі описується зваженим зв'язним графом. Для випадків, що потребують підвищеної надійності зв'язку, синтезують мережу, що описується повним графом (чарункова безпроводна мережа). Завдяки цьому досягається безперервність обміну даними за рахунок багатократного резервування каналів передачі даних. Вага

дуг між двома вузлами відповідає потужності радіосигналу між двома БПА. Вершини графу – це БПА або програмний пульт керування на РПК. Маршрути руху пакетів даних – оптимальні комбінації дуг з меншою вагою, що розраховуються за потужністю радіосигналів для максимальної продуктивності передачі даних у мережі.

Наприклад, алгоритм повного перебору може використовуватись для мережі з 4-х БПА, а для мережі 8-ми БПА використовувався алгоритм Дейкстри. Задача передачі пакетів даних допускає постановку у вигляді комбінаторної задачі оптимізації [1 – 8] – задачі маршрутизації. Для загального випадку і великої розмірності мережі прикладне застосування ТКМ потребує відповідної високорівневої обчислювальної архітектури, типу IEEE 1516 [4, 7].

Етапи синтезу мережі та постановка задачі оптимізації. Задача синтезу мережі для транспортних засобів на основі ТК-моделі розділяється на три задачі (рис. 1), що виконуються послідовно: аналіз можливостей і завдань системи на основі ресурсів та сервісів, що виконується на пункті керування (наземна станція керування), синтез топології мережі та конфігурування й адаптивне налаштування систем обробки даних, які надають вхідні дані для розв'язку задачі комбінаторної оптимізації руху групи транспортних засобів.

Після розв'язання задачі синтезу мережі й побудови шляхів руху переходять до задачі дистанційного керування. Для зменшення складності задачі керування БПА виконують її декомпозицію на простіші менше пов'язані між собою підзадачі [4, 5]: задачу побудови шляхів руху для БПА, задачу побудови маневрів для автопілотування, планування фотозйомки об'єкта, задачу маршрутизації пакетів даних у мережі [4, 8]. Перелічені задачі розв'язуються окремо різними математичними методами.



Рис. 1. Послідовність етапів синтезу мережі та розв'язування задачі комбінаторної оптимізації

Комунікаційні сервіси. Мініатюризація комунікаційних пристроїв дозволяє отримати бортовий мережевий пристрій на одному БПА, що здатний виконувати декілька ролей у мережі. Перелік сервісів S (рис. 1) для синтезу топології мережі визначається переліком ролей (типів мережевих пристроїв), які здатні підтримувати бортові засоби БПА, на основі яких створюється комунікаційний сервер. Технології віртуалізації і хмарних обчислень дозволяють реалізувати наступні ролі комунікаційного сервера: повторювач, концентратор, міст, маршрутизатор, шлюз, комутатор. Одночасне виконання різних ролей на одній обчислювальній архітектурі (обчислювальній платформі) забезпечується технологіями віртуалізації обчислювально-комунікаційних сервісних функцій.

Типи обчислювальних платформ для розв'язування задачі. Розвиток мікроелектроніки зробив системи автопілотування компактними та інтегрованими з набором давачів, навігаційного обладнання і виконавчих механізмів, що дозволяє виділити окремо задачі планування руху та комунікації у окремий рівень і абстрагуватись від проблем маневрування та підтримки стабільності руху.

Наведемо короткий опис можливостей БПА різних розмірів.

1) малі БПА. Задача побудови шляхів руху групи БПА розв'язується на ноутбуку, якщо малі БПА об'єднані в групу більшу десятка, то задача розв'язується на польовій робочій станції. На борту кожного малого БПА є спрощений автопілот, що дозволяє виконувати прості маневри. Задача маршрутизації пакетів даних розв'язується на пункті керування (ПК). Малий БПА може виконувати функції повторювача (ретранслятора зв'язку);

2) середні БПА. Задача побудови шляхів руху групи БПА розв'язується на робочій станції, а на їх борту є автопілот. Маршрутизація пакетів даних розв'язується на бортовому комп'ютері БПА та на робочій станції пункту керування. Середні БПА можуть виконувати ролі ретранслятора та маршрутизатора;

3) великі БПА. Задача побудови шляхів руху групи БПА розв'язується на польовому сервері. На борту великого БПА знаходиться мобільний комунікаційний сервер та автопілот.

Задача оптимізація маршрутів руху декількох БПА, що дистанційно керуються з РПК (рис. 2) має вирішувати питання покращення:

- планування руху груп БПА;
- планування руху груп РПК;
- маршрутизації пакетів даних у мережі БПА і РПК;
- вибору ролей комунікаційного пристрою БПА.

Далі наведено приклад змістовної постановки задачі оптимізації для БПА і РПК.

Змістова постановка задачі оптимізації руху групи рухомих пунктів керування (РПК).

Вхідні дані: місця призначення, кількість РПК, ресурс ходу.

Параметри: максимальна дальність передачі сигналу в русі та зупинках; тривалість стоянок.

Вихідні дані: шлях руху кожного РПК, потрібна їх кількість, якість обслуговування: тривалість сеансів керування між БПА і РПК у русі та стоянці; тривалість часу автономного руху БПА.

Критерій: мінімізація сумарного шляху РПК та їх кількості.

Змістовна постановка задачі оптимізації руху групи БПА.

Вхідні дані: місця призначення (об'єкти, які слід відвідати), місця посадок БПА; кількість БПА; ресурс ходу/руху БПА (кількість пального, заряд акумулятора); кількість одночасно запущених БПА (кількість мобільних вузлів підтримуваних РПК); час підготовки до польоту (заправка баку, зарядка акумулятора).

Параметри: максимальна дальність передачі сигналу; частота опитування БПА.

Вихідні дані: шлях руху для кожного БПА; точки створення тимчасової ретрансляційної лінії до групи РПК.

Критерій: мінімізація сумарного шляху руху БПА та їх кількості; мінімізація суми радіусів випромінювання за лінією розмежування.

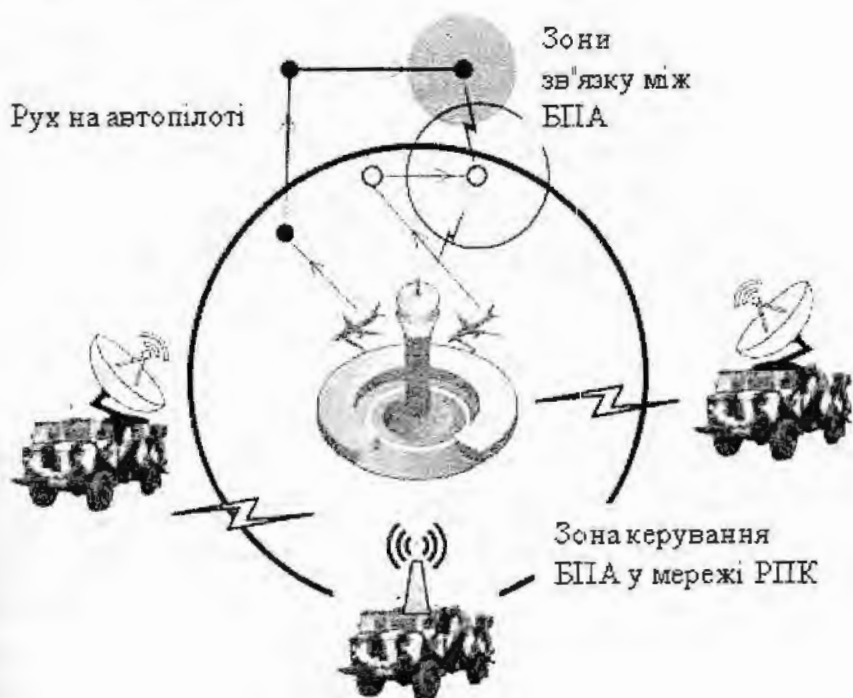


РИС. 2. Ілюстрація до змістовної постановки задачі оптимізації БПА і РПК

Зрозуміло, що задача комбінаторної оптимізації [6] буде розв'язуватись циклічно і постійно, оскільки параметри мережі й руху постійно змінюються і в результаті буде отримано наближений розв'язок.

Висновки.

1. Розроблено ТКМ – модель побудови радіомережі транспортних засобів для проектування систем групового керування безпілотними транспортними засобами. Модель ґрунтується на використанні спеціальної мережі, що дозволяє забезпечити її керованість, надлишковість та масштабованість.

2. ТКМ призначена для розгортання адаптивної мережі, яка складається з мобільних і стаціонарних абонентів, відповідно до поставленої задачі, наявних обчислювально-комунікаційних ресурсів та динаміки зміни ситуації і може керуватись як групою радіооператорів і системних адміністраторів, так і спеціалізованим програмним забезпеченням.

3. Запропоновано послідовність операцій для синтезу мережі й маршрутів руху на основі даних про ресурси та сервіси системи, що дозволяє розділити обчислювальні процеси наземної станції від процесів на борту транспортного засобу. Завдяки такому розділенню виконання задач збільшується адаптивність мережі до змін середовища та збільшується кількість завдань, які може виконувати БПА.

4. Подано змістовну постановку задачі оптимізації для групи транспортних засобів і рухомих пунктів керування, розв'язок якої дозволяє отримати оптимальну комбінацію маршрутів руху транспортних засобів за умови обмежених ресурсів, сервісів та можливостей радіомережі.

5. Напрямом подальших досліджень є побудова моделі планування польотів груп БПА, які частину шляху пролітають на автопілоті, та інтегральне розв'язування задачі маршрутизації з мінімізацією необхідних ретрансляцій як додаткового параметру.

В.Ю. Корольов, А.Н. Ходзинский

ТОПОЛОГО-КОМБИНАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Предложено модель построения радиосети и определения маршрутов движения для гетерогенных групп беспилотных аппаратов (БПА), беспилотных наземных роботов, надводных беспилотных транспортных средств и содержательную постановку проблемы оптимизации системы, которая состоит из БПА и подвижных пунктов управления. Специальная сеть предназначена для разворачивания в полевых условиях соответственно поставленной задаче наличных коммуникационных ресурсов и динамики изменения ситуации.

V.Yu. Korolyov, O.M. Khodzinskyi

TOPOLOGICAL AND COMBINATORIAL MODEL FOR VEHICLE NETWORKS BUILDING

The growth of the number of different types of uninhabited vehicle (UV) generates the problem of optimizing their interaction and remote control in a dynamic environment. The paper proposes a model of radio network synthesis and traffic routes for heterogeneous groups of the UV and a meaningful statement of the optimization problem of a system consisting of UVs and moving control station.

Список літератури

1. Golden B., Raghavan S., Wasil E. The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges, New York: Springer, 2008.
2. Гуляницький Л.Ф. Проблема оптимізації маршрутів транспортних средств с временными окнами. *Компьютерная математика*. 2007. № 1. С. 122 – 132.
3. Корольов В.Ю., Огурцов М.І., Ходзінський О.М. Математичне моделювання маршрутів рухомих дистанційно керованих систем та їх груп при обстеженні території. *Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції*. Херсон: Видавництво ПП Вишемирський В.С., 2017. С. 199 – 201.
4. Корольов В.Ю., Огурцов М.І. Транспортно-комунікаційна задача для груп безпілотних апаратів. *Математичні машини і системи*. 2017. № 1. С. 82 – 89.
5. Огурцов М.І., Ходзінський О.М. Розробка алгоритмів розв'язання задачі маршрутизації транспортних засобів з часовими вікнами. *Компьютерная математика*. 2016. № 1. С. 134 – 142.
6. Гуляницький Л.Ф. Прикладні методи комбінаторної оптимізації: навч. посіб. / Л.Ф. Гуляницький, О.Ю. Мулеса. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2016. 133 с.
7. Корольов В.Ю., Полюновський В.В., Огурцов М.І. Моделювання мереж зв'язку рухомих дистанційно керованих систем на базі HLA. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2017. № 1(245). С. 160 – 165.
8. Корольов В.Ю. Аналіз задачі маршрутизації для тактичних мереж сил спеціальних операцій. *Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика: Вісник університету «Україна»*. № 2(18). К.: університет «Україна», 2015. С. 64 – 76.
9. Королев В.Ю., Полиновский В.В. Синтез портативных информационных сервисов для флеш-накопителей. *Управляющие системы и машины*. 2008. № 6. С. 28 – 33.
10. Корольов В.Ю. Персоналізація віртуальних обчислювальних ресурсів і інформаційних джерел в сервісно-орієнтованих архітектурах. *Вісті академії інженерних наук України*. 2007. № 4 (34). С. 13 – 20.

Одержано 04.06.2018

Про авторів:*Корольов Вячеслав Юрійович,*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України,
korolyov@i.ua*Ходзінський Олександр Миколайович,*кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України,
okhodz@gmail.com