

УДК 004.7

В.М. Ткачов, В.В. Токарев, В.О. Радченко, В.О. Лебедев

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

ПРОБЛЕМА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ТИПУ BIG DATA У МОБІЛЬНІЙ СИСТЕМІ «МУЛЬТИКОПТЕР – СЕНСОРНА МЕРЕЖА»

В статті проведено огляд проблеми передачі даних, у тому числі Big Data, у мобільній системі «Мультикоптер – сенсорна мережа». Проаналізовані сучасні системи збору телеметричної інформації сенсорними мережами з географічно розподілених точок та за спеціальних умов. Обґрунтовано використання мультикоптерних систем для збору інформації в сенсорних мережах. Запропоновано декілька підходів щодо вирішення проблеми передачі даних типу Big Data. Надані рекомендації щодо практичної реалізації деяких запропонованих рішень.

Ключові слова: система передачі даних, мультикоптер, завадостійкість, сенсорна мережа.

Вступ

Бурхливий розвиток прикладних технологій є причиною глибокої інтеграції різних галузей науки та техніки. Одним з таких напрямків є синтез сучасної робототехніки та інформаційних технологій. При цьому, саме розвиток інформаційних технологій та автоматизованих систем управління розкривають нові можливості для різних технічних платформ [1]. Класичним прикладом є доступні на сьогодні мультикоптерні системи, які, де-факто, трансформуються завдяки програмному наповненню, що розширює функціональні можливості, власне, системи.

Активне застосування подібних рішень в галузях прикладної науки набуло широкого розповсюдження. Так, наприклад, економічно обґрунтованим можна вважати рішення, пов'язані з моніторингом природного середовища (як то сейсмоактивність на схилах вулканів, еко-контроль ділянок моря, автоматизована система виявлення пожеж у лісі тощо) [2]. Беручи до уваги, що останнім часом у світовій практиці тенденціями щодо створення електронних пристроїв є green-технології [3], а концепція боротьби з електромагнітним забрудненням навколишнього середовища набуває подальшого розвитку, – актуальною проблемою є створення мобільної системи передачі даних, яка задовольняла б головні вимоги щодо автономності, рівня автоматизації та зменшенню електромагнітного забруднення навколишнього середовища і при цьому дозволяла гарантовано передавати дані відповідно до вузькоспеціалізованих задач моніторингу ділянок місцевості.

Аналіз публікацій та постановка задачі. Протягом останніх п'яти років в наукових журналах було опубліковано декілька статей, які були присвячені проблемі доставки даних з застосуванням технічних засобів. Так, у роботі [4] проводиться детальний аналіз ефективності передачі даних в мережі зв'язку угруповання мультикоптерів. Зокрема, декларується те, що внаслідок руху мультикоптерів

структура інформаційної мережі постійно змінюється. Для ефективного обміну даними ставиться задача щодо постійного оновлення інформації про стан мережі. Для цього аналізуються тимчасові параметри процесу оновлення мережевих матриць, необхідних для маршрутизації повідомлень. В результаті досліджень, які здійснювалися з використанням математичної моделі мережі, проведена імітація процесів обміну мультикоптерів локальними даними про структуру мережі. Отримані тимчасові характеристики поновлення мережевих матриць з урахуванням використовуваних механізмів доступу і спотворень переданих повідомлень. Авторами зроблені припущення про можливість застосування запропонованого рішення для створення комплексної системи розподіленого збору інформації.

Наприклад, в роботі [5] виділена задача оптимального керування передачею даних в мобільній двоагентній робототехнічній системі. Авторами вирішується завдання мінімізації втрат вхідних пакетів з урахуванням обмежень на час обробки і енерговитрати за рахунок керування швидкістю пересилання і ймовірністю відмови; визначено умови, при яких значення цільового функціоналу і функціоналів, які задають обмеження, утворюють опуклу множину рішень; реалізовано чисельний синтез управління на основі методу модифікованої функції Лагранжа.

Одним з напрямків у практичному сенсі стало рішення фізичного транспортування екстремально великих обсягів інформації до 100 ПБ AWS Snowmobile [6]. Такий підхід є аналогічним у консенсусі організації передачі даних 50-60 рр. минулого століття, але актуальним для переносу надвеликих обсягів інформації сьогодення. Рішення, відображені в публікаціях [4-6] носять виокремлений характер. На відміну від цього розглядається синтез-рішення щодо створення спеціалізованої системи передачі даних для специфічних умов з урахуванням напрацьованих в даній предметній області. **Метою роботи** є аналіз проблематики щодо реалізації такого рішення.

Результати досліджень

Кортежний опис середовища як складної системи. Позначимо: $\eta_{tsv_{in}}$ – мультикоптер, який характеризується: t – граничним часом взаємодії з іншими об'єктами; s – ємністю системи збереження даних; v_{in} – максимальною швидкістю завантаження даних в систему збереження даних мультикоптера; $\mu_{isv_{out}}$ – i -те джерело даних (пристрій концентрації даних в сенсорній мережі), яке характеризується: v_{out} – максимальною швидкістю вивантаження даних в систему збереження даних мультикоптера; ζ_k – k -та підсистема обробки даних (споживач даних).

Враховуючи інші елементи, систему можна описати як $\Psi = \{\mu, \eta, \zeta, \xi\}$, де ξ – сукупність інших елементів системи. Таким чином, систему можна описати у вигляді кортежу:

$$S = \{\Psi, X, F\} \quad (1)$$

де $X = \{x\}$ – множина зв'язків між елементами системи; F – функція системи.

Враховуючи раніше введені параметри, маємо:

$$\Psi^\mu, \Psi^\eta, \Psi^{\zeta_k}, \dots, \Psi^{\xi_i} = \{m^i\} = \{m_\mu^i, m_\eta^i, \dots, m_{\mu_i}^i\}. \quad (2)$$

Загальний вигляд описаної системи наведено на рис. 1.

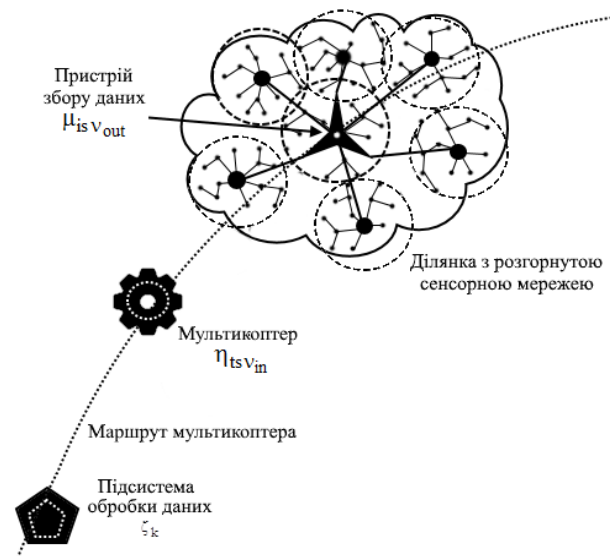


Рис. 1. Мобільна система збору, передачі та зберігання даних

Моделі функціонування мультикоптера та проблеми, що виникають. В рамках поставленої задачі розглядається декілька варіантів моделей функціонування мультикоптера в рамках описаної вище системи.

1. *Мультикоптер є транспортом пристрою збереження даних.* Особливістю є фізичний контакт мультикоптера з пристроєм збереження даних. З точки зору реалізації він дещо схожий з принципом «колібри», коли важливу роль грає точність. З однієї сторони цей варіант трудомісткий, а з іншої – досить енергоеко-

номним у разі створення оптимального робототехнічного рішення. Алгоритм функціонування мультикоптера $\eta_{tsv_{in}}$ складається з таких кроків:

Крок 1. Мультикоптер розпочинає рух по заздалегідь встановленому маршруту після оцінки факторів зовнішнього середовища.

Крок 2. Мультикоптер переміщується в точку, визначеній в його системі геопозиціонування з виконанням необхідних маневрів для можливості захоплення та/або встановлення носія даних системи збереження даних сенсорної мережі.

Крок 3. Мультикоптер прямує в іншу точку збирання/встановлення носія інформації системи збереження даних.

Крок 4. Якщо точка маршруту остання, то мультикоптер повертається на стартову позицію.

У разі застосування такого варіанту моделі функціонування виникають такі проблеми, які потребують вирішення:

- у разі забирання останнього носія даних системи збереження інформації в сенсорній мережі куди мають зберігатися, власне, нові дані;

- яким чином на практиці можна реалізувати механізм забирання пристрою збереження даних з урахуванням наявності мегасистеми з великою кількістю систем сенсорних мереж;

- як реалізувати механізм обміну носіями інформації в початковій точці в рамках автоматизації запропонованої моделі.

2. *Мультикоптер є носієм даних шляхом їх забирання через безпроводний або проводний канал зв'язку з пристроєм забирання інформації в сенсорній мережі.* Є велика різниця у застосуванні проводного і безпроводного способу забирання інформації. Так, проводний спосіб має всі недоліки щодо складності моделі управління та реалізації. На противагу цьому, безпроводний спосіб передачі даних з головною діаграмою направленості передавальних систем може забезпечити швидкість потоку даних до 7 Гб/с (технологія IEEE 802.11 ad). У разі кругової діаграми направленості – швидкість передачі даних може суттєво бути зниженою. Алгоритм функціонування мультикоптера $\eta_{tsv_{in}}$ у разі комутованого забирання даних складається з таких кроків:

Крок 1. Мультикоптер розпочинає рух по заздалегідь встановленому маршруту після оцінки факторів зовнішнього середовища.

Крок 2. Мультикоптер переміщується в точку, визначеній в його системі геопозиціонування з виконанням необхідних маневрів для можливості підключення до системи збереження даних сенсорної мережі.

Крок 3. Відбувається процес передачі даних із системи збереження даних сенсорної мережі до системи збереження, власне, мультикоптера.

Крок 4. Мультикоптер прямує в іншу точку збирання даних системи збереження даних іншого сегменту сенсорної мережі.

Крок 5. Якщо точка маршруту остання, то мультикоптер повертається на стартову позицію.

Алгоритм функціонування мультикоптера $\eta_{tsv_{in}}$ у разі безпроводного забирання даних складається з таких кроків:

Крок 1. Мультикоптер розпочинає рух по заздалегідь встановленому маршруту після оцінки факторів зовнішнього середовища.

Крок 2. Мультикоптер переміщується в точку, визначеній в його системі геопозиціонування з виконанням необхідних маневрів для юстування системи безпроводної передачі даних, яка побудована на застосування антенних систем з голковою діаграмою направленості сигналу.

Крок 3. Відбувається процес передачі даних із системи збереження даних сенсорної мережі до системи збереження, власне, мультикоптера.

Крок 4. Мультикоптер прямує в іншу точку збирання даних системи збереження даних іншого сегменту сенсорної мережі.

Крок 5. Якщо точка маршруту остання, то мультикоптер повертається на стартову позицію.

У разі застосування такого варіанту моделі функціонування виникають такі проблеми, які потребують вирішення: які стандарти та протоколи необхідно використовувати у розрізі енергоефективності та швидкодії для забирання інформації мультикоптером; у разі використання провідної комутації, яким чином здійснити практичну реалізацію даної моделі.

3. *Мультикоптер є носієм даних шляхом їх збору через безпроводний канал зв'язку в результаті переміщення біля пристрою збору інформації в сенсорній мережі.* В такому випадку більш доцільним є застосування технологій передачі даних IEEE 802.11 ас. Під час переміщення мультикоптера поряд із пристроєм збереження даних сенсорної мережі всі дані мають бути переданими до системи збереження даних мультикоптера $\eta_{tsv_{in}}$.

Крок 1. Мультикоптер розпочинає рух по заздалегідь встановленому маршруту після оцінки факторів зовнішнього середовища.

Крок 2. Мультикоптер переміщується у множину точок маршруту його руху, визначеного в його системі геопозиціонування з виконанням необхідних швидкісних маневрів для максимізації швидкості безпроводної передачі даних, яка побудована на застосування антенних систем з круговою діаграмою направленості сигналу.

Крок 3. Під час проходження мультикоптером відрізка маршруту його руху, відбувається процес передачі даних із системи збереження даних сенсорної мережі до системи збереження, власне, мультикоптера.

Крок 4. Мультикоптер прямує в іншу множину точок збирання даних системи збереження даних іншого сегменту сенсорної мережі.

Крок 5. Якщо множина точок маршруту остання, то мультикоптер повертається на стартову позицію.

У разі застосування такого варіанту моделі функціонування виникає необхідність вирішення задачі динамічної зміни швидкості передачі даних з огляду на такі фактори як: швидкість переміщення, пропускна здатність середовища, енергоефективність. З огляду на велику кількість факторів та мінімізацією ваги задачі щодо електромагнітного забруднення (враховуючи застосування антен з круговою діаграмою направленості), даний підхід може бути застосованим в випадках неможливості фактичної призупинки руху мультикоптера для передачі даних.

4. *Мультикоптер (мультикоптерний ланцюг) $\eta_{jtsv_{in}}$ є активним ретранслятором між пристроєм збору інформації в сенсорній мережі та споживачем інформації.*

Крок 1. Мультикоптер ($j = 1$) розпочинає рух по заздалегідь встановленому маршруту після оцінки факторів зовнішнього середовища.

Крок 2. Мультикоптер ($j = 1$) переміщується в точку, визначеній в його системі геопозиціонування з виконанням необхідних маневрів для юстування системи безпроводної передачі даних, яка побудована на застосування антенних систем з круговою діаграмою направленості сигналу.

Крок 3. Відбувається процес передачі даних із системи збереження даних сенсорної мережі до системи збереження, власне, мультикоптера ($j = 1$)

Крок 4. Мультикоптер ($j = 1$) реалізує функцію проміжного зберігання [8].

Крок 5. Мультикоптер ($j = 1$) виконує сеанс встановлення зв'язку з мультикоптером ($j = 2$). У разі встановлення такого зв'язку, відбувається передача даних із системи збереження мультикоптера ($j = 1$) до системи збереження мультикоптера ($j = 2$).

Крок 6. Ітерація повторюється для всіх ($j = n$).

Крок 7. Мультикоптер ($j = n$) функціонує протягом часу τ :

$$\tau = \tau_{aw} + \tau_r, \quad (2)$$

де τ_{aw} – час активної роботи; τ_r – час повернення мультикоптера на базову станцію для поновлення енергетичного ресурсу.

Крок 8. Якщо мультикоптер ($j = n$) повертається на стартову позицію, то ретрансляційна система передачі даних припиняє функціонування.

У разі застосування такого варіанту моделі функціонування виникають такі проблеми, які потребують вирішення: які методи доцільно застосовувати при ланцюговій передачі; яким чином вирішити проблему подвійного прийому сигналів у разі порушення юстування мультикоптерів.

Такий підхід є економічно необґрунтованим, але гарантує доставку даних в онлайн-режимі, при цьому нехтуються принципи запобігання електромагнітного забруднення. З огляду на поставлену задачу, оптимальним за критерієм складності реалізації є підхід, коли мультикоптер є носієм даних шляхом їх забирання через безпроводний канал зв'язку з при-

строю забирання інформації в сенсорній мережі. Особливості практичної реалізації вимагають проведення додаткових досліджень.

Аналіз збурюючих впливів. З теорії автоматичного керування відомим є збурюючий вплив. Наслідком такого впливу на роботу елементів системи прийнято вважати порушення необхідного функціонального зв'язку [7]. Причинами збурень є зміна навантаження та завади. До збурюючих впливів, відповідно до поставленої задачі відносяться: особливості зовнішнього середовища: пориви вітру, гроза, атмосферні опади, температурний режим; електромагнітний вплив інших джерел випромінювання.

Варто зазначити, що в роботі пропонується підхід по управлінню за принципом комбінованого регулювання. Це пояснюється використанням одночасно регулювання за збуренням і за відхиленням, що забезпечує найвищу точність управління, тобто, мультикоптер, як система із заданими функціями, що характеризується стійкістю, має властивість повертатися в заданий або близький до нього сталий режим після якого-небудь збурення в рамках стандартних робототехнічних застосувань.

Рекомендації щодо перспективних досліджень. Пропонується проведення спільних прикладних досліджень спеціалістів в галузі робототехніки для вирішення проблем, пов'язаних з особливостями функціонування технічних засобів, спеціалістів в галузі теорії автоматичного управління для створення алгоритмів функціонування мультикоптерів та спеціалістів в галузі інформаційних технологій для організації системи передачі даних між елементами загальної системи. Пропонується для використання базовий опис моделі середовища, наведений у вигляді кортежу.

Висновки

В статті закладено фундації щодо створення мобільної системи передачі інформації, зокрема проаналізовано можливі проблеми, які можуть виникати під час реалізації різних варіантів доставки інфо-

рмації з джерела (пристрій збору інформації в сенсорній мережі) до підсистеми обробки даних завдяки використанню мультикоптерів, як механізму доставки даних. Спектр можливих сфер застосування надзвичайно великий, тому кожна із них вносить свої корекції до загальної моделі, а компенсація можливих збурюючих впливів – це система часткових рішень. Дослідження проводились на базі навчально-наукової лабораторії моделювання систем кафедри електронних обчислювальних машин ХНУРЕ.

Список літератури

1. Maxwell I.A. et al. *Technology and innovation: Drones, droids and robots* // *Chemistry in Australia*. – 2016. – №. Aug 2016. – P. 32.
2. Токарев В.В. *Компьютерная система учета и экспресс-диагностики личного состава сил специальных операций* / В.В. Токарев, П.М. Подпрудников, В.А. Радченко // *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ*. – Львів, Україна, Т.2. - С.323
3. Irimia-Vladu M. "Green" electronics: biodegradable and biocompatible materials and devices for sustainable future // *Chemical Society Reviews*. – 2014. – Т. 43, №. 2. – С. 588-610.
4. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. *Анализ эффективности передачи данных в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов* // *Труды МАИ*. – 2015. – №. 81.
5. Кузнецов Н.А., Мясников Д.В., Семенихин К.В. *Оптимальное управление передачей данных в мобильной двухагентной робототехнической системе* // *Информационные процессы*. – 2016. – Т. 16. – №. 2. – С. 137-151.
6. *Сервис переноса больших массивов данных AWS Snowmobile*. – <https://aws.amazon.com/ru/snowmobile>.
7. Лукин А.Н. *Теория автоматического управления* / А.Н. Лукин // - *Магнитогорск: НОЦ "НМКН" (ИЦ) МГТУ*. - 2005. - 215 с.
8. Саваневич В.Е. *Метод передачи данных с промежуточным хранением* / В.Е. Саваневич, В.Н. Ткачев // *Системы обработки информации: сборник научных трудов*. - Х.: ХУВС, 2014. – Вып. 7 (123). – С. 99-105.

Надійшла до редколегії 1.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можаяв, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ПРОБЛЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ТИПА BIG DATA В МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ «МУЛЬТИКОПТЕР – СЕНСОРНАЯ СЕТЬ»

В.Н. Ткачев, В.В. Токарев, В.А. Радченко, В.О. Лебедев

В статье проведен обзор проблемы передачи данных, в том числе Big Data, в мобильной системе «Мультикоптер - сенсорная сеть». Проанализированы современные системы сбора телеметрической информации сенсорными сетями с географически распределенных точек и при специальных условиях. Обосновано использование мультикоптерных систем для сбора информации в сенсорных сетях. Предложено несколько подходов к решению проблемы передачи данных типа Big Data. Даны рекомендации по практической реализации некоторых предложенных решений.

Ключевые слова: система передачи данных, мультикоптер, помехоустойчивость, сенсорная сеть.

THE PROBLEM OF BIG DATA TRANSMISSION IN THE MOBILE «MULTI-COPTER – SENSOR NETWORK» SYSTEM

V.M. Tkachov, V.V. Tokariev, V.O. Radchenko, V.O. Lebediev

The article reviews the problem of data transmission, including Big Data, in the mobile system "Multicopter-sensor network". The modern systems for collecting telemetric information by sensor networks from geographically distributed points and under special conditions are analyzed. The use of multicopter systems for collecting information in sensor networks is justified. Several approaches have been proposed to solve the problem of data transmission of the Big Data type. Recommendations are given on the practical implementation of some of the proposed solutions.

Keywords: data transmission system, multi-copter, noise immunity, sensor network.