

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ БПЛА НА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ НАЗЕМНЫХ СЕТЯХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

Асадов Х. Г.¹, Ахмедов Э. М.²

DOI:10.21681/3034-4050-2026-2-89-93

Ключевые слова: скорость съёма информации, шумы в канале, гауссовский белый шум, вариационная оптимизация, ограничительное условие.

Аннотация

Целью исследования является оптимизации режима сбора информации с помощью БПЛА с датчиков наземных измерительных сетей и анализ возможности увеличения скорости передачи данных от наземных датчиков к БПЛА.

Метод исследования: использован метод безусловной вариационной оптимизации.

Результат: сформулирована и решена задача оптимизации сбора данных от кластеризованных наземных датчиков с использованием группы БПЛА. На основе предположения о наличии некоторой зависимости между интенсивностью белого гауссовского шума в канале приема БПЛА и ширины полосы пропускаемых частот этого же канала, а также наложив на указанную зависимость определенное интегральное ограничение, был построен целевой функционал безусловной вариационной оптимизации. В результате применением метода Эйлера для решения оптимизационной задачи показано, что скорость сбора информации может достичь максимума при наличии прямой линейной зависимости между шириной частотной полосы канала приема данных БПЛА и интенсивностью белого гауссовского шума в канале приема.

Научная новизна и практическая ценность заключается в выявлении дополнительной возможности для увеличения скорости съёма информации с наземных датчиков с применением БПЛА при наличии некоторого режимного ограничения на функцию взаимосвязи между шириной частотной полосы канала приема данных и интенсивностью гауссовского белого шума в канале приема.

Введение

Как отмечается в работе [1] БПЛА предназначены для выполнения широкого класса задач в таких сферах как аэрофоторазведка, военные деле, обнаружение цели, контроль состояния трубных линий и линий электропередачи, гео-разведка, сельское хозяйство, доставка товаров. Одной из таких сфер применение БПЛА является мониторинг пожарной опасности в лесах [2]. Функционально, во многих применениях БПЛА в целях мониторинга, работа беспилотных устройств сводится к сбору информации с датчиков определенные распределенной сети измерительных преобразователей, распределённых по полю контроля состояния объекта. Как указано в работе [3], согласно прогнозам, к 2030 году количество датчиков во всем мире достигнет сотни миллиардов. Следовательно, сбор и обработка такого большого объема информации требует проведения работ по усовершенствованию систем сбора и предобработки информации.

Согласно [4] применение БПЛА для сбора данных для интернета вещей даст следующие преимущества:

- высокую эффективность, гибкость при сборе информации: БПЛА позволяет существенно уменьшить время сбора информации т.к. траектория полета может быть оптимизирована [5–7];
- малое энергопотребление и возможность обеспечения датчиков энергией без проводов [8, 9];
- широкое поле схвата. При большой высоте полета БПЛА появляется возможность охватить большой участок объекты в котором расположены датчики [10, 11].

Вместе с тем особый порядок расположения датчиков на участке диктуют необходимость выбора специальной траектории полета, а также повышение эффективности сбора информации с наземных датчиков.

Модельное представление сети, в которой группа БПЛА осуществляют сбор и передачу информации в базовую станции приведено на рисунке 1.

Как отмечено в работе [4] в системе используется канал связи типа LoS (линия передачи данных по прямой линии видимости). Вероятность успеха передачи данных по такой линии связи вычисляется по формуле

¹ Асадов Хикмет Гамид оглы, доктор технических наук, профессор, Национальное Аэрокосмическое Агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика. E-mail: asadzade@rambler.ru

² Ахмедов Эмиль Мехман оглы, аспирант, Национальное Аэрокосмическое Агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика. E-mail: emil.ahmedov21@gmail.com

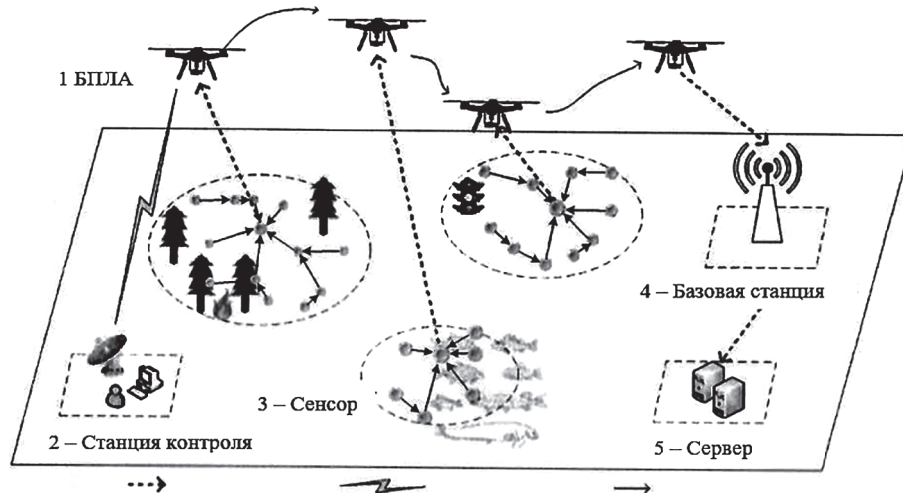


Рис. 1. Модельное представление сбора информации группой БПЛА с наземных датчиков и передачи информации в базовый центр [4]

$$P_{Los}(S_m, u) = \frac{1}{1 + a \exp[-b (A(S_m, u) - a)]}, \quad (1)$$

где $A(S_m, u)$ – угол между сенсорами S_m и m , $m \in M$, a и b – параметры окружающей среды, которые в основном зависят от насыщенности территории зданиями; а также от высоты зданий.

При этом скорость передачи данных от сенсора S_m БПЛА определяется как [12]

$$R(S_m, u) = B \cdot \log_2 \left(\frac{1 + |h(S_m, u)|^2 P_m}{N_0} \right), \quad (2)$$

где B – ширина полосы частот канала; $h(S_m, u)$ – усиление канала между БПЛА и сенсором; P_m – мощность передаваемого сигнала от сенсора к БПЛА; N_0 – мощность аддитивного Гауссово шума.

Целью настоящей работы является анализ возможности повышения R путем оптимизации режима работы БПЛА.

Материалы и методы

Допустим, что система сбора и передачи данных показанное на рисунке 1 кластеризована и приведено в вид, показанный на рисунке 2.

Допустим, что в канале связи i -го БПЛА существуют белые шумы с интенсивность N_{0i} . При этом $i = \overline{1, n}$.

Примем следующую модель N_{0i}

$$N_{0i} = N_{0i-1} + \Delta N_0$$

где $\Delta N_0 = \text{const}$

$$N_{0,0} = 0. \quad (3)$$

Отметим, что условие (3) подразумевает наличие упорядоченного множестве

$$N_0 = \{N_{0ij}\}. \quad (4)$$

Также примем следующую модель множества B :

$$B_j = B_{j-1} + \Delta B, \text{ где } \Delta B = \text{const},$$

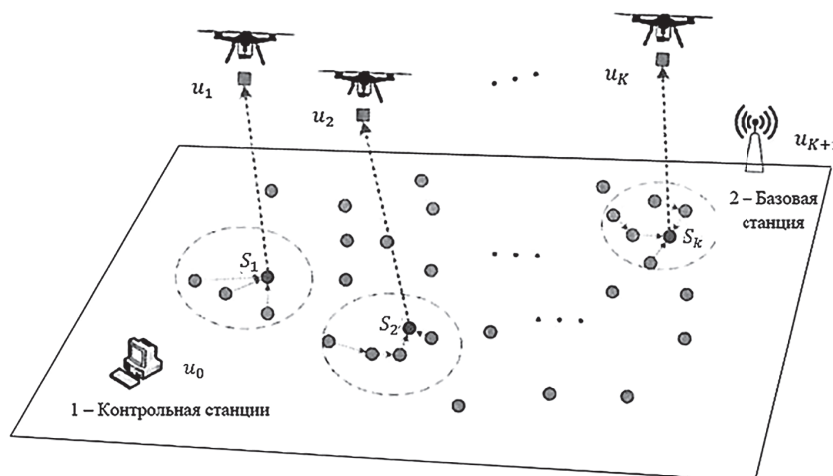


Рис. 2. Система сбора и передачи данных с кластеризованных сенсоров с помощью БПЛА

при $B_0 = 0; j = \overline{1, n}$.

Также подразумевается наличие упорядоченного множества

$$B = \{B_j\}. \quad (5)$$

Далее введем на рассмотрение следующий возможную функцию связи

$$N_i = \varphi(B_j). \quad (6)$$

С учетом (2), (5) и (6) составим следующую дискретную сумму

$$R_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n B_j \cdot \log_2 \left(\frac{1 + |h(S_{m,U})|^2 \cdot P_m}{\varphi(B_j)} \right). \quad (7)$$

Дискретный функционал (7) запишем в условной аналоговой форме.

$$R_{\Sigma} = \int_0^{B_{\max}} B \cdot \log_2 \left[\frac{1 + |h(S_{m,U})|^2 \cdot P_m}{\varphi(B)} \right] dB. \quad (8)$$

Для нахождения оптимального вида функции $\varphi(B)$ наложим к этой функции следующее ограничительное условие

$$\int_0^{B_{\max}} \varphi(B) dB = C; C = const. \quad (9)$$

С учетом выражений (8) и (9) составим целевой функционал оптимизации F

$$F = \int_0^{B_{\max}} B \cdot \log_2 \left[\frac{1 + |h(S_{m,U})|^2 \cdot P_m}{\varphi(B)} \right] dB + \lambda \left[\int_0^{B_{\max}} \varphi(B) dB - C \right], \quad (10)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Решение оптимизационной задачи (10) согласно методу Эйлера-Лагранжа удовлетворяет условию

$$\frac{d \left\{ B \cdot \log_2 \left[\frac{1 + |h(S_{m,U})|^2 \cdot P_m}{\varphi(B)} \right] dB + \lambda \cdot \varphi(B) \right\}}{d\varphi(B)}. \quad (11)$$

Из условия (11) получаем

$$\frac{-B}{d\varphi(B)} + \lambda = 0. \quad (12)$$

Из выражения (12) находим

$$\varphi(B) = \frac{B}{\lambda}. \quad (13)$$

Вычислим множитель Лагранжа. Для этого воспользуемся выражениями (9) и (13) имеем

$$\int_0^{B_{\max}} \frac{B}{\lambda} dB = C. \quad (14)$$

Из выражения (14) находим

$$\lambda = \frac{B_{\max}^2}{2C}. \quad (15)$$

С учетом выражений (13) и (15) получим

$$\varphi(B) = \frac{2BC}{B_{\max}^2}. \quad (16)$$

Покажем, что при решении (13), R_{Σ} достигает максимума, т.е. скорость передачи данных от датчиков к БПЛА достигает максимума. Для этого согласно признаку Лагранжа достаточно вычислить вторую производную подинтегрального выражения в (8) убедиться, что она всегда отрицательная величина.

Обсуждение

Таким образом, сформулирована и решена задача оптимизации сбора данных от кластеризованных наземных датчиков с использованием группы БПЛА. Сделано предположение о наличии некоторой зависимости интенсивности гауссовского белого шума в канале приема БПЛА от ширины полосы пропускаемых частот этого же канала. При этом на указанную зависимость приложено интегральное ограничение, которого существенно сужает выбор оптимальной зависимости из пространства непрерывных и дважды дифференцируемых функций. Построен целевой функционал оптимизации системы сбора информации. Применение метода безусловной вариационной оптимизации и метода Эйлера для решения оптимизационной задачи позволило получить оптимальный вид искомой функции при которой выбранный целевой функционал достигает максимума.

Заключение

Рассмотрена задачи оптимизации сбора информации с помощью БПЛА с кластеризованных наземных датчиков. Показано, что скорость сбора информации может достичь максимума при наличии прямой линейной зависимости между шириной частотный полосы канала приема данных БПЛА и интенсивностью белого Гауссо шум в канале приема.

Литература

1. Ahmed H., Nasir N. Drone patrolling applications, challenges and its future: a review // Vol. XX. 2017.
2. Chen X., Hopkins B., Wang H., Oneill L., Afghah F., Razi A., Fule P. Wildland fire detection and monitoring using a drone-collected RGB/IR image dataset // IEEE Access. Vol. 10. 2022.

3. Ehret and Michael. «The zero marginal cost society: The internet of things, the collaborative commons, and the eclipse of capitalism» // The Journal of Sustainable Mobility, vol. 2, no. 2, pp. 67–70, 2015.
4. Wei Z., Zhu M., Zhang N., Wang L., Zou Y., Meng Z., Feng Z. UAV assisted data collection for internet of things: A survey. Nov 2022.
5. P. Tong, J. Liu, X. Wang, B. Bai, and H. Dai. «Uav-enabled age-optimal data collection in wireless sensor networks» // IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), pp. 1–6, 2019.
6. J. Zong, C. Shen, J. Cheng, J. Gong, T. -H. Chang, L. Chen, and B. Ai. «Flight time minimization via uavs trajectory design for ground sensor data collection» // 16th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), pp. 255–259, 2019.
7. Z. Wei, X. Liu, C. Han, and Z. Feng. «Neighbor discovery for unmanned aerial vehicle networks // IEEE Access, vol. 6, pp. 68288–68301, 2018.
8. S. Poudel and S. Moh. «Medium access control protocols for unmanned aerial vehicle-aided wireless sensor networks: A survey» // IEEE Access, vol. 7, pp. 65728–65744, 2019.
9. J. Baek, S. I. Han, and Y. Han. «Optimal uav route in wireless charging sensor networks» // IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 2, pp. 1327–1335, 2020.
10. C. M. de A. Lima, E. A. da Silva, and P. B. Velloso. «Performance evaluation of 802.11 iot devices for data collection in the forest with drones» // IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pp. 1–7, 2018.
11. Z. Wei, H. Wu, S. Huang, and Z. Feng. «Scaling laws of 21unmanned aerial vehicle network with mobility pattern information» // IEEE Communications Letters, vol. 21, no. 6, pp. 1389–1392, 2017.
12. C. Zhan and Y. Zeng. «Completion time minimization for multi-uav-enabled data collection» // IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 18, no. 10, pp. 4859–4872, 2019.

OPTIMIZATION OF THE DATA COLLECTION MODE USING UAVS ON DISTRIBUTED TERRESTRIAL NETWORKS OF MEASURING SENSORS

Asadov Kh. G.³, Akhmedov E. M.⁴

Keywords: data acquisition rate, channel noise, Gaussian white noise, variational optimization, restrictive condition.

Abstract

The purpose of the study is to optimize the mode of collecting information using UAVs from sensors of ground measuring networks and to analyze the possibility of increasing the speed of data transfer from ground sensors to UAVs.

Research method: the method of unconditional variational optimization is used.

Result: the problem of optimizing data collection from clustered ground sensors using a group of UAVs has been formulated and solved. Based on the assumption that there is a certain dependence between the intensity of white Gaussian noise in the UAV receiving channel and the bandwidth of the transmitted frequencies of the same channel, as well as imposing a certain integral constraint on this dependence, the objective functional of unconditional variational optimization was constructed. As a result, the use of the Euler method to solve the optimization problem showed that the speed of information collection can reach a maximum in the presence of a direct linear relationship between the frequency bandwidth of the UAV data reception channel and the intensity of white Gaussian noise in the receiving channel.

The scientific novelty and practical value lie in the identification of an additional opportunity to increase the speed of data acquisition from ground sensors using UAVs in the presence of a certain mode limitation on the function of the relationship between the frequency bandwidth of the data receiving channel and the intensity of Gaussian white noise in the receiving channel.

References

1. Ahmed H., Nasir N. Drone patrolling applications, challenges and its future: a review // Vol. XX. 2017.
2. Chen X., Hopkins B., Wang H., Oneill L., Afghah F., Razi A., Fule P. Wildland fire detection and monitoring using a drone-collected RGB/IR image dataset // IEEE Access. Vol. 10. 2022.
3. Ehret and Michael. «The zero marginal cost society: The internet of things, the collaborative commons, and the eclipse of capitalism» // The Journal of Sustainable Mobility, vol. 2, no. 2, pp. 67–70, 2015.
4. Wei Z., Zhu M., Zhang N., Wang L., Zou Y., Meng Z., Feng Z. UAV assisted data collection for internet of things: A survey. Nov 2022.
5. P. Tong, J. Liu, X. Wang, B. Bai, and H. Dai. «Uav-enabled age-optimal data collection in wireless sensor networks» // IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), pp. 1–6, 2019.

³ Asadov Hikmet Hamid oglu, Dr.Sc. of Technical Sciences, Professor, National Aerospace Agency, Baku. Republic of Azerbaijan. E-mail: asadzade@rambler.ru

⁴ Ahmadvov Emil Mehman oglu, postgraduate student, National Aerospace Agency, Baku. Republic of Azerbaijan. E mail: emil.ahmedov21@gmail.com

6. J. Zong, C. Shen, J. Cheng, J. Gong, T. -H. Chang, L. Chen, and B. Ai. «Flight time minimization via uavs trajectory design for ground sensor data collection» // 16th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), pp. 255–259, 2019.
7. Z. Wei, X. Liu, C. Han, and Z. Feng. «Neighbor discovery for unmanned aerial vehicle networks // IEEE Access, vol. 6, pp. 68288–68301, 2018.
8. S. Poudel and S. Moh. «Medium access control protocols for unmanned aerial vehicle-aided wireless sensor networks: A survey» // IEEE Access, vol. 7, pp. 65728–65744, 2019.
9. J. Baek, S. I. Han, and Y. Han. «Optimal uav route in wireless charging sensor networks» // IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 2, pp. 1327–1335, 2020.
10. C. M. de A. Lima, E. A. da Silva, and P. B. Velloso. «Performance evaluation of 802.11 iot devices for data collection in the forest with drones» // IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pp. 1–7, 2018.
11. Z. Wei, H. Wu, S. Huang, and Z. Feng. «Scaling laws of 21unmanned aerial vehicle network with mobility pattern information» // IEEE Communications Letters, vol. 21,no. 6, pp. 1389–1392, 2017.
12. C. Zhan and Y. Zeng. «Completion time minimization for multi-uav-enabled data collection» // IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 18, no. 10, pp. 4859–4872, 2019.

