

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРА ДАННЫХ МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА ПРИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Романюк В.А.¹ Лысенко А.И.², Романюк А.В.², Жук А.В.¹

¹*Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Украина*

²*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского*

E-mail: romval2016@gmail.com

Methods for increasing the efficiency of collecting UAV monitoring data in clustering wireless sensors networks

Methods for increasing the lifetime of wireless sensor networks with clustering by reducing and redistributing the battery power consumption of nodes at all stages of network's operation, ways to reduce the time of acquisition of UAV monitoring data by optimizing its positioning are proposed.

Беспроводные сенсорные сети (БСС) получают широкое применение в промышленности, сельском хозяйстве, условиях чрезвычайных ситуаций, на поле боя и т.п. Площадь мониторинга БСС может составлять от нескольких метров до десятков километров. Для БСС большой размерности при отсутствии телекоммуникационной инфраструктуры целесообразно использование БПЛА (или сеть БПЛА) в качестве воздушного шлюза для сбора данных мониторинга.

Для реализации процесса сбора данных мониторинга БПЛА от сенсорных узлов в системе управления БСС необходимо реализовать соответствующие методы и алгоритмы. Для повышения эффективности процесса сбора данных в БСС проводится ее кластеризация, выделяются главные узлы кластеров, собирающие данные мониторинга в кластере и передающие эти данные на БПЛА при его подлете. Предложенные на сегодня методы сбора данных с узлов сенсорных сетей с использованием БПЛА не учитывают требования различных целевых функций управления, особенности функционирования конкретных сетей и требуют дальнейшего совершенствования.

Целью работы является анализ и рассмотрение способов повышения эффективности процесса сбора данных с сенсорных узлов БСС с использованием БПЛА при ее кластеризации.

Целевыми функциями управления при сборе данных могут быть [1]:

1. Максимизация или обеспечение заданного времени функционирования БСС ($\max T_{\text{ф}}$ или $T_{\text{ф}} \geq T_{\text{фзад}}$) при заданных ограничениях на время $T_{\text{сб}}$ и объемы $V_{\text{дм}}$ собираемых данных мониторинга, количество имеющихся для использования БПЛА – $N_{\text{зад}}$.

Данная целевая функция достигается уменьшением расхода энергии узлами БСС следующими способами (рис. 1):

- уменьшение мощности передачи между двумя сенсорными узлами;
- уменьшение расстояния и, соответственно, уменьшение мощности передачи и затраченной энергии между головными узлами кластеров и БпЛА, что позволяет увеличивать скорость передачи данных (например, для протокола IEEE 802.11);
- перераспределение расхода энергии между узлами за счет реализации соответствующих алгоритмов управления сетью – алгоритмов покрытия (разбиение на независимые множества покрывающих узлов и составление графиков мониторинга по множествам), алгоритмов построения и поддержания топологии и маршрутов передачи данных в кластерах [2], алгоритмов выбора главных узлов в кластере (за счет использования энергозависимых метрик);
- уменьшение объема служебного трафика при реализации алгоритмов управления на всех уровнях OSI (например, за счет введения кросс-уровня);
- уменьшение вычислительной сложности алгоритмов управления сетью.

Кроме этого, уменьшение расхода энергии сенсорными узлами в кластере может быть достигнуто за счет:

- сокращения времени пребывания узлов в активном состоянии или увеличение режима сна;
- уменьшения радиуса мониторинга узлом или площади мониторинга сетью (формирование α -покрытия);
- создания избыточного количества узлов, необходимых для покрытия заданной площади (объекта);
- агрегации передаваемых данных мониторинга от простых узлов главному.

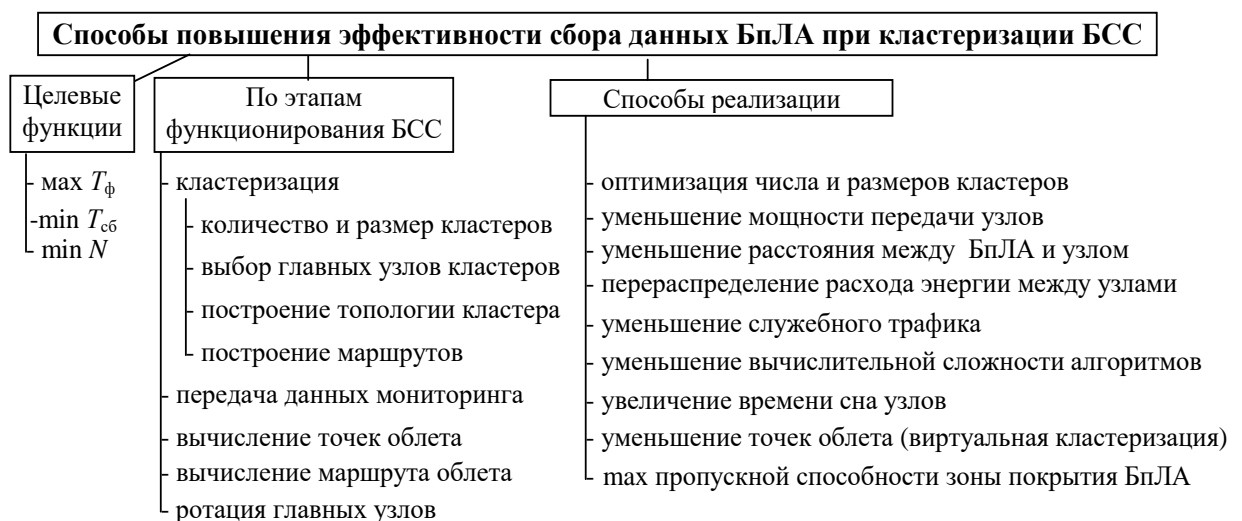


Рис. 1. Способы повышения эффективности сбора данных мониторинга.

2. Минимизация или обеспечение заданного времени сбора данных ($\min T_{\text{сб}}$ или $T_{\text{сб}} \leq T_{\text{сбзад}}$) при ограничениях на количество БПЛА $N \leq N_{\text{зад}}$, заданный объем данных мониторинга $V_{\text{дм}} \leq V_{\text{дмзад}}$ и время функционирования сети

$$T_{\text{ф}} \leq T_{\text{фзад}}.$$

Время сбора данных зависит от длительности маршрута полета (зависит от количества кластеров, местоположения их главных узлов, назначенных точек обмена с БПЛА), скорости полета БПЛА, скорости обмена данными между главными узлами и БПЛА (кроме прочего зависит от расстояния между ними).

3. Минимизация количества БПЛА ($\min N$), необходимых для сбора данных с заданным качеством, при ограничениях на время сбора информации $T_{\text{сб}} \leq T_{\text{сбзад}}$, объем собираемых данных мониторинга $V_{\text{дм}} \leq V_{\text{дмзад}}$ и время функционирования сети $T_{\text{ф}} \leq T_{\text{фзад}}$.

Достигается разделением БСС на подсети и оптимизацией процесса сбора данных в каждой подсети.

Реализация целевых функций управления БСС должна достигаться на различных этапах функционирования сети (рис. 1):

1. Кластеризация сети.

а) Расчет количества, размеров кластеров и периода ротации главных узлов. Оптимизация данные параметров должна обеспечить реализацию целевых функций управления. Их значения определяются размерностью БСС, площадью покрытия, характеристиками сенсорных узлов и БПЛА и принятыми алгоритмами управления.

Меньшее число кластеров приводит к меньшему количеству главных узлов, меньшей длине маршрута полета БПЛА и уменьшает время облета (сбора данных). Однако это увеличивает диаметр кластеров и, соответственно, увеличивает время на их организацию. Кроме этого, увеличивается расход энергии узлов на служебный трафик, передача данных от простых узлов к главным осуществляется по более длинным маршрутам. Для расчета времени функционирования БСС предложена аналитическая модель, учитывающая расход потребления энергии узлов в зависимости от его функций (только мониторинг, мониторинг плюс маршрутизация, мониторинг плюс главный узел кластера) и объема данных мониторинга, от заданного времени функционирования сети (или количества раундов сбора

данных БпЛА) [1].

б) Формирование кластеров. Осуществляется путем обмена служебными сообщениями между узлами с реализацией соответствующих алгоритмов выбора главных узлов кластеров с учетом приоритета целевых функций управления сетью. Алгоритм выбора главного узла должен учитывать свертку метрик: энергия батареи узла кластера, уровень сигнала в радиоканале узел-БпЛА, расположение в кластере (в центре или на краях) (рис. 2) и т.п.

в) Построение топологии кластера. Должно осуществляться по заданным целевым функциям управления сетью (например, для минимизации расхода энергии узлов – построение энергоэффективной топологии [3], минимизация времени передачи – построение топологии с малым диаметром и т.п.).

г) Построение и поддержка маршрутов в кластере от простых узлов к главным по свертке метрик, учитывающих также целевые функции управления: мощность передачи, энергия батарей узлов, пропускная способность и другие.

2. Передача данных мониторингу в кластерах от простых узлов к главным узлам с заданным качеством по определенным ранее маршрутам.

3. Нахождение положения в пространстве БпЛА (точек сбора данных мониторинга, в простейшем случае главный узел – точка сбора).

Для минимизации времени сбора осуществляется поиск минимального количества точек (положений БпЛА) сбора данных. Для этого осуществляется виртуальная кластеризация головных узлов [1], например, с использованием алгоритма FOREL (FORmal ELeMent) с адаптацией размера зоны покрытия БпЛА R (для уменьшения расстояния между главными узлами и БпЛА) рис. 2.

Для максимизации пропускной способности между главными узлами кластеров и БпЛА в зоне его покрытия предлагается вычислять его положение в зависимости от их нагрузки, используя соответствующую математическую модель [3].

4. Построение кратчайшего маршрута для облета точек сбора (целевая функция – минимум времени сбора данных).

5. Полет БпЛА по рассчитанному маршруту и сбор данных. Для этого высота (расстояние между БпЛА и главным узлом устанавливается для

обеспечения заданной скорости передач данных) и скорость полета рассчитываются для обеспечения времени, достаточного для обеспечения качества передачи всех данных мониторинга.

Уровень мощности передачи между БПЛА и главным узлом поддерживается на минимальном уровне.

5. Ротация главных узлов кластеров. Осуществляется выбор новых главных узлов кластера, перестроение топологии кластеров, маршрутов передачи, точек сбора и маршрутов полета.

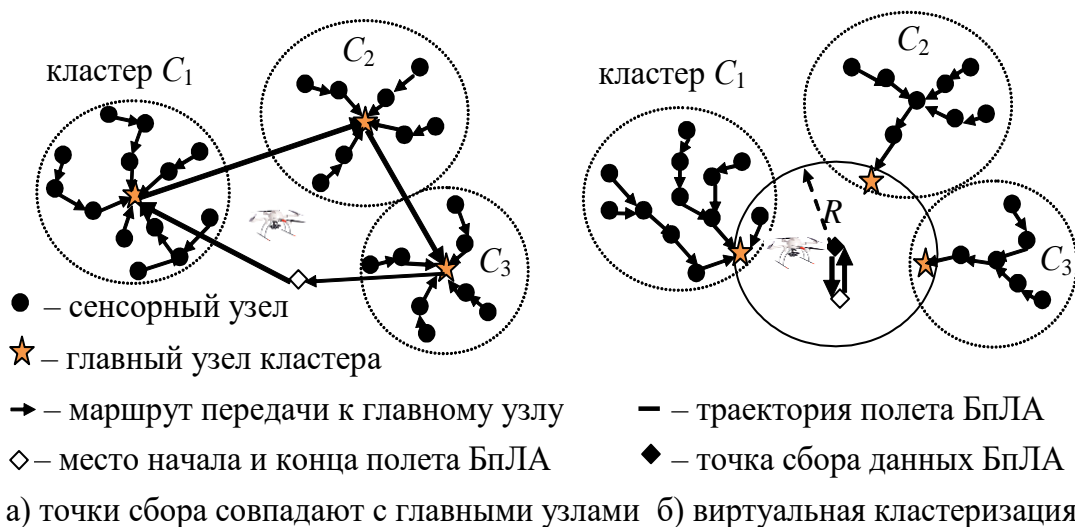


Рис. 2. Варианты облета БПЛА при различном размещении точек сбора данных.

Проведенное моделирование предложенных способов управления сетью показано эффективность их реализации. Для БСС размерностью 100, 150, 200 узлов увеличение времени функционирования сети составило до 20%, сокращение времени сбора данных – до 50%.

Література

1. Романюк А.В. Алгоритм временной кластеризации узлов беспроводных сенсорных сетей для сбора информации мониторинга с использованием БПЛА. Научно-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». № 2 (33). 2018. С. 106 – 117.
2. Жук О.В. Романюк А.В., Сова О.Я., Ткаченко Д.В. Управління топологією в безпроводних сенсорних мережах. Збірник наукових праць ВІТІ. 2018. №1. С. 90 – 99.
3. Степаненко Э.О. Модель позиціонування телекомунікаційної аероплатформи для оптимізації пропускної здатності вузлів зони покриття. Збірник наукових праць ВІТІ. 2019. №1. С. 97 – 104.