

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ АЭРОМОБИЛЬНОЙ КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

MODELING OF SPACE STRUCTURE AN AEROMOBILE COMMUNICATION NETWORK

**Yu. Kostikov
A. Mokryakov
V. Pavlov
V. Ternovskov**

Summary. The article describes the principle of placing air mobile devices of a mobile communication network. The logic of constructing these structures consists in designing the simplest and cheapest way of covering the entire territory under consideration with the help of an aeromobile communication network (ACN), which involves the rapid deployment of a wireless communication network, whose nodes and repeaters are lifted above the surface by unmanned aerial vehicles. The rapid deployment of a wireless network, the nodes and repeaters of which are lifted above the surface by unmanned aerial vehicles. AKN is operatively deployed in the absence or inability of fixed communication networks to ensure stable communication in undeveloped areas, zones of natural disasters and major man-made disasters.

Keywords: aeromobile communication network, mobile communication, space structure, trees, modeling.

Костиков Юрий Александрович

*К.ф.-м.н., Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
jkostikov@mail.ru*

Мокряков Алексей Викторович

*К.ф.-м.н., доцент, Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
mokryakovav@mat.i.ru*

Павлов Виталий Юрьевич

*К.ф.-м.н., Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
vitaly_pavlov@hotmail.ru*

Терновсков Владимир Борисович

*К.т.н., доцент, Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
vternik@mail.ru*

Аннотация. В работе описан принцип размещения в пространстве аэромобильных устройств сети мобильной связи. Логика построения данных структур состоит в проектировании наиболее простого и дешевого способа покрытия всей рассматриваемой территории с помощью аэромобильной коммуникационной сети (АКС), которая предполагает оперативное развертывание сети беспроводной связи, узлы и ретрансляторы которой поднимаются над поверхностью с помощью беспилотных летательных аппаратов. АКС оперативно разворачивается в случае отсутствия или неработоспособности стационарных коммуникационных сетей для обеспечения устойчивой связи в неосвоенных районах, зонах стихийных бедствий и крупных техногенных катастроф.

Ключевые слова: аэромобильная коммуникационная сеть, мобильная связь, пространственная структура, деревья, моделирование.

Аэромобильная коммуникационная сеть (АКС), предназначена для оперативного развертывания в районах, где отсутствуют или отключены стационарные телекоммуникационные сети. Основными составляющими АКС являются узлы и ретрансляторы беспроводной связи, которые переносят в пространстве беспилотные летательных аппаратов (БЛА). Перемещение, практически в любую точку пространства позволяет гибко изменять конфигурацию разворачиваемой сети. Предлагаемое решение позволяет достаточно эффективно, достаточно недорого и быстро построить сеть на заданной территории.

Одной из важных задач, решаемых при построении АКС, является задача минимизации использованных при этом БЛА и пространственной структуры АКС в каждый момент времени в зависимости от рельефа местности, хода проведения спасательных работ, исправности

БЛА и остаточного ресурса их работы до выведения их на зарядку или дозаправку. Оптимизационное моделирование АКС по критерию её технико-экономической эффективности рассмотрено в [1], там в качестве примера приводится разработка алгоритмов адаптации АКС к резкому росту трафика в сети. Во время работы могут присутствовать резкие перепады трафика, особенно если использовать построенную сеть для наблюдения и других ресурсоемких задач. Для анализа подобных всплесков трафика и применения адаптивного управления АКС можно построить модели на основе нелинейного математического аппарата [2–8]. Там же предлагается адаптивный подход к формированию состава и структуры АКС по выбранному критерию с возможностью прогноза и корректировки.

В данной же работе рассматривается вопрос построения пространственной структуры. При её моделиро-

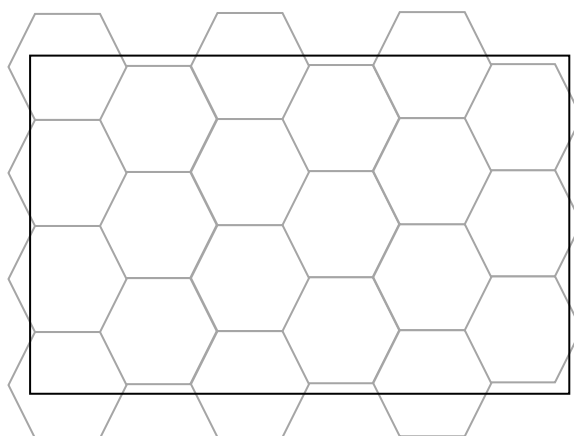


Рис. 1. Заполнение области «сотами»

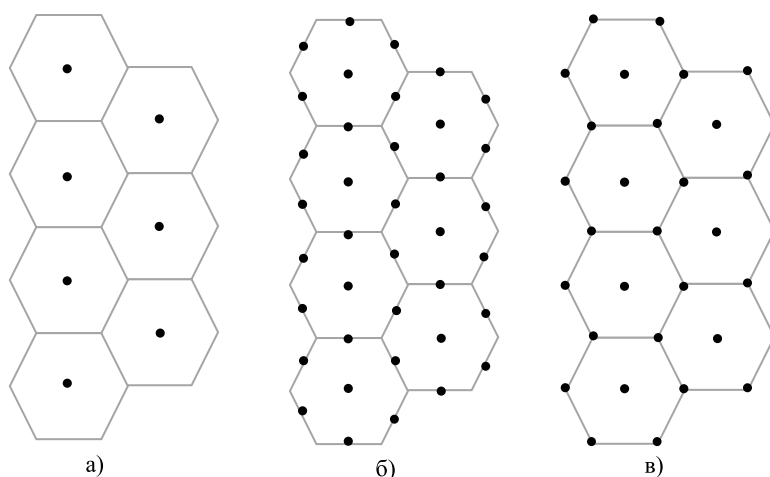


Рис. 2. Варианты расположения узлов

вании необходимо определится, какие характеристики являются наиболее востребованными. При условии ограниченного количества БЛА и конечного объёма их батарей, строить сеть нужно так, чтобы количество одновременно задействованных БЛА было минимальным.

Рассмотрим работу узлов сети. Пусть радиус узла сети в условиях открытого пространства равно R . Тогда для связи двух узлов между собой, нужно чтобы узлы находились не дальше друг от друга, чем R . При этом для покрытия всей заданной области, необходимо наложить «соты», таким образом, чтобы не осталось мест, свободных от хотя бы одной «соты». Пример такого покрытия можно увидеть на рис. 1.

«Соты» представляются в виде шестиугольников, так как необходимо, чтобы при пересечении окружностей не оставалось пустых зон, а при заполнении заданной

площади это адекватная замена пересекающимся кругам.

Главная проблема состоит в том, что расстояния между центрами «сот» больше R . Соответственно придётся вставлять промежуточные узлы для соединения между центрами «сот». Эти узлы логичнее всего ставить на границах «сот»: в серединах сторон или на углах «соты». На следующем рисунке указаны желаемые местоположения узлов.

Левая часть рис. 2 демонстрирует заполнение узлами только центров «сот». Оставшиеся две части демонстрируют разные подходы в добавлении промежуточных узлов, на границах «сот». Если узлы будут установлены одним из этих двух способов, то покрытие заданной территории будет полным, а связи между внутри получившегося графа многочисленны. Это приведёт к по-

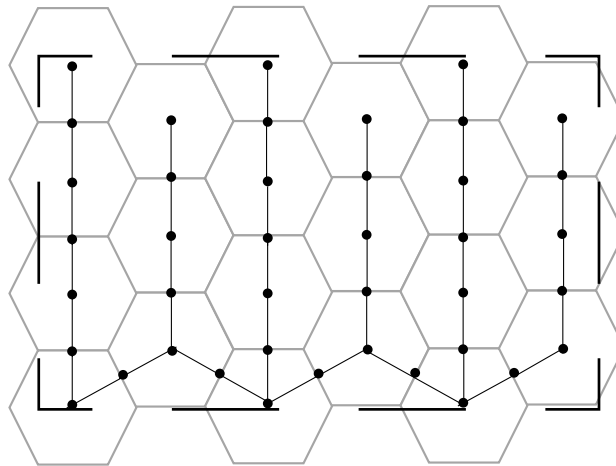


Рис. 3. Первый вариант древовидной структуры АКС

$$M = \left(\sum_{i=1}^l 2n_i - 1 \right) + l - 1 = \left(\sum_{i=1}^l 2n_i \right) - l + l - 1 = 2 \left(\sum_{i=1}^l n_i \right) - 1.$$

Формула 1

строению высоконадёжной, но дорогой сети, так как топология сети становится ячеистой и принимает вид регулярной плоской решётки.

Отсюда возникает вопрос по минимизации числа узлов в АКС. Задачу минимизации можно сформулировать следующим образом: требуется оставить минимальное количество узлов, при котором покрытие сети остаются полным, а полученный граф остаётся связным. Из теории графов известно, что минимальным количеством рёбер, в связном графе обладает дерево. Рёбер в полном понимании у нас нет, а появляются они автоматически при нахождении двух узлов внутри окружности диаметра R . Исходя из этого рассмотрим варианты построения дерева на основе полученной сети АКС (см. рис. 3 и 4).

Как легко заметить на рис. 3 представлен вариант древовидной структуры, содержащей 41 узел при 21 «соте» покрывающей. Для нахождения общей формулы количества узлов обозначим l — количество веток построенного дерева, n_i — количество «сот» в каждой ветке, M — количество узлов в сети. Тогда см. формулу 1.

Таким образом количество узлов в сети на один меньше удвоенного количества «сот».

Рассмотрим второй вариант построения древовидной структуры. Если воспользоваться расположением

узлов по углам «сот» (рис. 2в), то получим следующее (рис. 4).

Здесь, как легко посчитать, количество задействованных узлов меньше почти на треть: 32 узла против 41 в первом варианте. Принцип построения состоит в конструировании ветвей дерева, охватывающего общее количество узлов подчиняется формуле 2:

где l — количество столбцов «сот» снечётным номером, n_i — количество «сот» в каждом столбце.

Очевидно, что структура второго варианта задействует меньше узлов в общем случае, и соответственно более эффективна. Кроме того, в случае нарушения связности сети, её легко починить, добавив всего один узел между двумя разъединёнными ветвями.

Всё вышесказанное относится к построению сети на открытом пространстве с плоской структурой. Если в требуемой области находятся препятствия: дома, стены, холмы, овраги, подвалы и другие препятствия через которые радиосигнал проходит плохо, то основное построение АКС следует дополнить отдельными ветвями, по которым внутрь препятствия будет передаваться сигнал. Не зная конкретных особенностей препятствий на территории, трудно рассчитать кол-во требуемых БЛА для полного покрытия сетью.

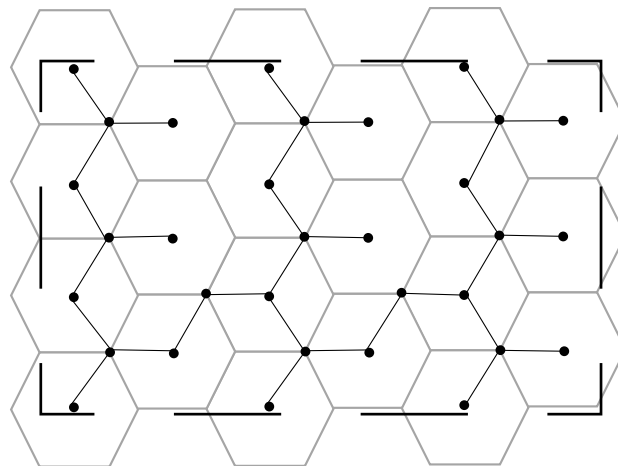


Рис. 4. Второй вариант древовидной структуры АКС

$$M = \left(\sum_{i=1}^l n_{2i} + n_{2i-1} + \max(n_{2i}, n_{2i-1}) - 1 \right) + l - 1 = \left(\sum_{i=1}^l n_{2i} + n_{2i-1} + \max(n_{2i}, n_{2i-1}) \right) - 1$$

Формула 2

Отдельно стоит рассмотреть оптимизацию времени, которое БЛА вынуждено тратить на возвращение к базе на перезарядку. Следовательно, необходимо определится с центром, где будет располагаться зарядная станция. Для этого мы построим полный граф на тех же вершинах, которые использовали при построении АКС (см. рис. 4). Рёбрами в этом графе будут

временные расстояния, которые требуются БЛА для перелёта с одного узла к другому. В полученном полном графе найдём центр, то есть множество всех вершин с минимальным эксцентриситетом. Таким образом наилучшим местоположением для зарядной базы являются окрестности узлов, принадлежащих рассчитанному центру.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костиков Ю.А., Павлов В. Ю., Терновсков В. Б. Оптимизационное моделирование аэромобильной коммуникационной сети по критерию её технико-экономической эффективности // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2017. № 12.
2. Фон Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение: Монография. — М.: Изд-во Наука, 1970, 707с.
3. Занг В.-Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. Пер. с англ. — М.: Мир, 1999, 354с.
4. Подшивалов Г.К., Терновсков В. Б. Безопасность стратегических решений в нелинейных экономических процессах. // Таврический научный обозреватель, 2015, № 3–1, С. 22–28
5. Демидов Л.Н., Терновский В. В., Тарасов Б. А., Терновсков В. Б. Модель представления информации для применения в экономике // «Экономика: вчера, сегодня, завтра» ISSN2222–9167, 2016, № 3.
6. Подшивалов Г. К. Математические инструменты нелинейного синергетического анализа: Монография, — Барнаул: Си-Пресс. Открытая наука, 2016, 260 с.
7. Подшивалов Г.К., Терновсков В. Б., Демидов Л. Н., Тарасов Б. А. Экономическая безопасность в условиях неопределенности. Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2016. № 2. С. 242–257.
8. Paul J. H. Schoemaker. The Expected Utility Model: Its Variants, Purposes, Evidence and Limitations // Journal of Economic Literature, June 1982, v.XX, no.2, p.529–563.

© Костиков Юрий Александрович (jkostikov@mail.ru), Мокряков Алексей Викторович (mokryakov@mati.ru),

Павлов Виталий Юрьевич (vitaly_pavlov@hotmail.ru), Терновсков Владимир Борисович (vternik@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»