

МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ АЭРОСТАТНЫХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ БЕСПРОВОДНОЙ РАДИОСВЯЗИ

А.Н. ДМИТРИЕВ, *доц. каф. систем автоматического управления САУ МГУЛ, канд. техн. наук,*
Ю.И. ЛИТВЯК, *асп. каф. систем автоматического управления САУ МГУЛ*

alexdmtriev007@yandex.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

При выборе технических средств для построения беспроводных сетей связи на относительно больших неподготовленных территориях представляют интерес аэростатные ретрансляторы связи. Аэростатные ретрансляторы позволяют организовать радиосвязь между абонентами, для которых не выполняется условие прямой видимости. В целях повышения экономической эффективности построения сети необходимо решить задачу минимизации требуемого количества аэростатов, что является частным случаем задачи о минимальном покрытии. В статье представлен метод последовательной оптимизации размещения аэростатных ретрансляторов связи на местности с целью организации сети из множества несвязанных абонентов. Входными данными разработанного алгоритма является множество абонентов с заданными двумерными координатами. Алгоритм позволяет получить количественный состав и координаты размещения аэростатных ретрансляторов на основе последовательного связывания исходного множества абонентов в единый граф с учетом сохранения условия полной связности. Метод основан на определении ближайших компонент связности исходного графа, которые можно связать размещением ретранслятора в геометрическом центре ближайшей пары узлов из этих компонент. В случае, если расстояние между узлами велико и возможностей одного ретранслятора недостаточно, алгоритм предлагает размещение нескольких ретрансляторов на прямой, соединяющей ближайшие узлы из этих компонент. Процесс продолжается циклически до полного связывания исходного графа. При поиске ближайшей компоненты связности учитывается возможность смещения аэростатных ретрансляторов, входящих в текущую компоненту связности. Таким образом, с использованием методов линейного целочисленного программирования и метода последовательного поиска достигается решение задачи об оптимальном покрытии. Практическим результатом является возможность оптимального размещения минимального состава аэростатных ретрансляторов с целью обеспечения множества абонентов на местности устойчивой связью.

Ключевые слова: беспроводная сеть связи, аэростат, беспилотный летательный аппарат, организация связи.

Современные телекоммуникационные системы и сети в качестве среды распространения электромагнитных волн используют различные линии связи: проводные, кабельные, волноводные, оптико-волоконные, радиосвязи. Значительное место среди них занимают линии радиосвязи, использующие способность распространения волн в свободном пространстве. Однако линии радиосвязи диапазона частот свыше 30 МГц по дальности связи ограничены пределами прямой видимости. В этих условиях широкое распространение получили ретрансляторы связи (РТР связи) наземного, воздушного и космического базирования. Применение тех или иных видов ретранслятора связи в создаваемой телекоммуникационной сети в общем случае может определяться с использованием такого показателя эффективности, как отношение площади зоны покрытия связью абонентов-пользователей к стоимости суммарных затрат на создание и эксплуатацию ретрансляторов связи.

В случае выбора для рассматриваемой задачи предпочтения в пользу применения аэростатных ретрансляторов связи возникает задача их оптимального размещения в пространстве и минимизации состава РТС связи с целью обеспечения необходимой связности абонентов-пользователей с учетом координат и рельефа местности.

На рис. 1 представлен вариант размещения абонентов-пользователей на местности с учетом их потребной связности. В рассматриваемом варианте часть абонентов сети (вершин графа) имеют необходимую связность по условию обеспечения прямой видимости (сплошные линии). С использованием РТР связи возможно обеспечение недостающих связностей, что относится к задаче об оптимальном покрытии.

В задаче о минимальном покрытии требуется при заданном графе Γ найти минимальное количество ребер таких, что любая вершина графа инцидентна (принадлежит) ребру, входящему в покрытие.

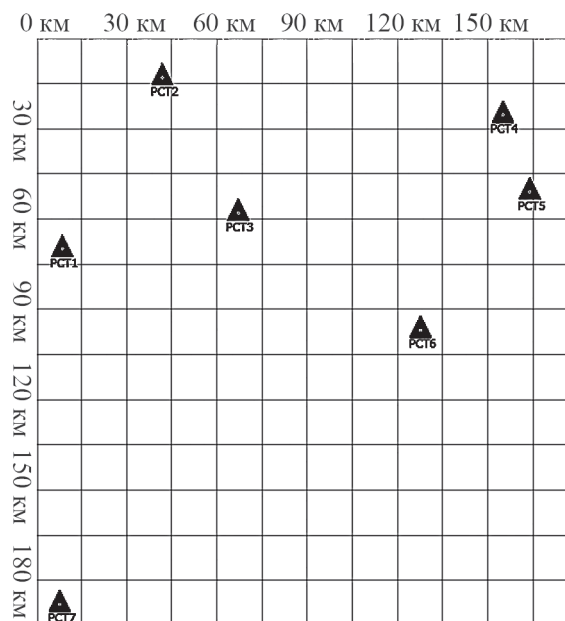


Рис. 1. Исходное размещение абонентских пунктов
Fig. 1. Original location of subscriber stations

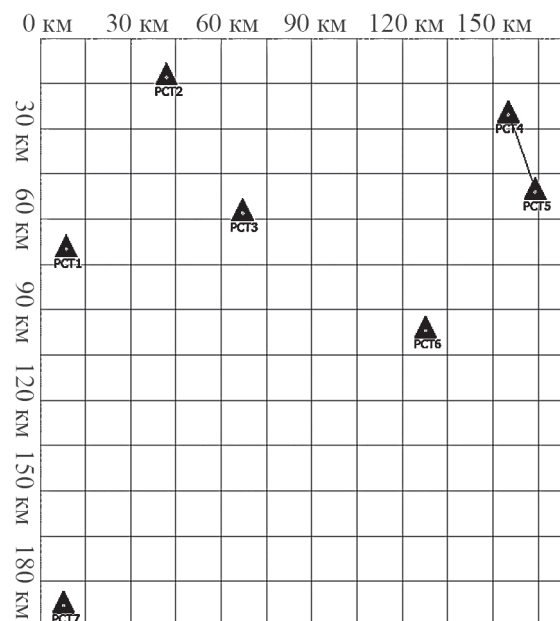


Рис. 2. Компоненты связности
Fig. 2. The connection components

Обозначим вершины графа через i ($i = 1, 2, \dots, m$), а ребра через j ($j = 1, 2, \dots, n$) и введем матрицу инцидентности $A = [a_{ij}]$ такую, что

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{если вершина } i \text{ инцидентна ребру } j, \\ 0 - \text{в противном случае} \end{cases}$$

Вводя булевы переменные x_j , ($j = 1, 2, \dots, n$) такие, что

$$x_j = \begin{cases} 1 - \text{если ребро } j \text{ войдет в покрытие,} \\ 0 - \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

получаем, что задача о минимальном покрытии сводится к линейной задаче целочисленного программирования вида

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_j = \min; \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1; \\ i = 1, 2, \dots, m; \\ j = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \quad (2)$$

x_j – булевы переменные.

Второе условие (2) означает, что каждая вершина инцидентна хотя бы одному ребру. Решение такой задачи достигается программной реализацией алгоритма последовательного поиска необходимого минимального количества и координат РТР связи, обеспечивающих связность каждого абонента хотя бы с одним из ближайших абонентов сети. Следует отме-

тить, что условие 2 выполнится только в том случае, если граф является связным, то есть имеет только одну компоненту связности.

Представим множество абонентских пунктов, расположенных на местности, в виде графа, узлы которого соответствуют абонентским пунктам, а ребра – существующим радиолиниям. В целях удобства дальнейшего описания отнесем ретрансляторы связи и абонентские пункты к общему классу коммуникационных устройств (КУ). При этом ретранслятор связи обозначим аббревиатурой КУ-РТР, а абонентский пункт – КУ-РСТ. На рис. 1 представлен исходный граф, отражающий размещение абонентских пунктов на местности.

Используя выражение для расчета дальности прямой радиовидимости $L = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$, где h_1, h_2 – высоты антенн радиостанций, определим узлы, между которыми существует радиовидимость. В данном случае это узлы PCT_4 и PCT_5 .

Определим компоненты связности исходного графа. Для графа на рис. 2 получаем 6 компонент связности (КС), это $PCT_1, PCT_2, PCT_3, PCT_6, PCT_7$ и (PCT_4, PCT_5) . Среди множества компонент находим две ближайшие: PCT_6 и (PCT_4, PCT_5) . Ближайшими КУ из этих КС являются PCT_5 и PCT_6 , поместим их в множество связывания $W = \{PCT_5, PCT_6\}$.

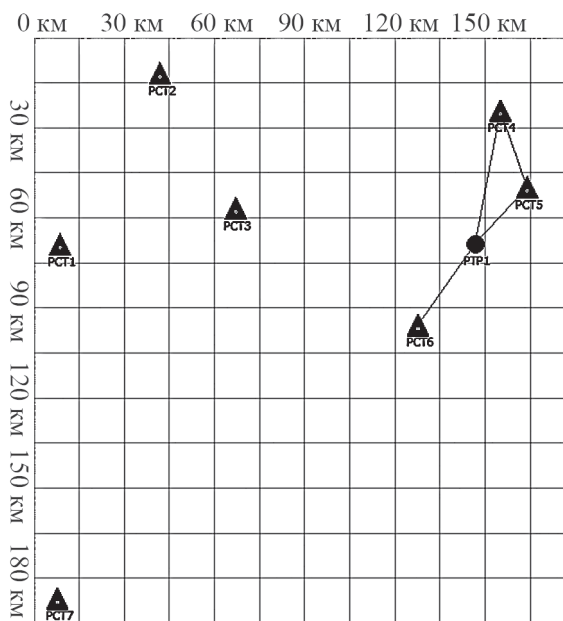


Рис. 3. Исходный граф с РТР в ГЦ РСТ₅ и РСТ₆ и матрица связности

Fig. 3. The original graph with RTR in GTS RCT_5 and RCT_6 and connection matrix

Рассчитаем координаты общего геометрического центра W по формулам

$$x_{cy} = (\sum_{i=1, N} x_i) / N; y_{cy} = (\sum_{i=1, N} y_i) / N,$$

где N – размер множества W , размещаем КУ-РТР в этих координатах.

Полученный граф изображен на рис. 3.

Определим следующую компоненту связности, ни одно КУ из которой не входит в W . Очевидно, что это PCT_3 . Добавляем PCT_3 в W , рассчитываем ГЦ множества W и перемещаем PTP_1 в ГЦ. Проверяем связность множества W , и если оно связно, продолжаем поиск и добавление PTP_i в W . Если после добавления очередного узла и перемещения РТР в ГЦ множество связать не удалось, удаляем из множества последний добавленный узел, вновь вычисляем ГЦ, перемещаем РТР в ГЦ и переходим к следующей паре КС. Повторяем процесс циклически до тех пор, пока существует хотя бы пара КС, которые можно связать одним РТР. Получаем граф, изображенный на рис. 4.

Снова определяем компоненты связности. Имеем $КС_1 = \{PCT_7\}$; $КС_2 = \{PCT_1, PCT_2, PCT_3, PCT_4, PCT_5, PCT_6, PTP_1, PTP_2\}$; $W = \{PCT_1, PCT_7\}$. Размещение РТР в ГЦ W не позволит связать множество, следовательно,

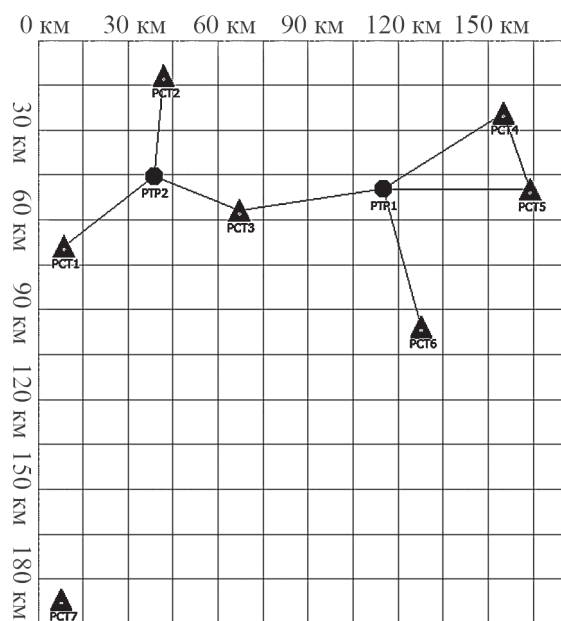


Рис. 4. Результат связывания КС РТР₁ и РТР₂ и матрица связности

Fig. 4. The result of the binding of the KC RTR_1 and RTR_2 and connection matrix

но, необходимо соединить узлы, входящие в W несколькими РТР по кратчайшему пути. Итоговый граф (рис. 5) состоит из одной компоненты связности, таким образом условие (2) выполнено и задача решена.

Общий алгоритм решения задачи представлен на рис. 6.

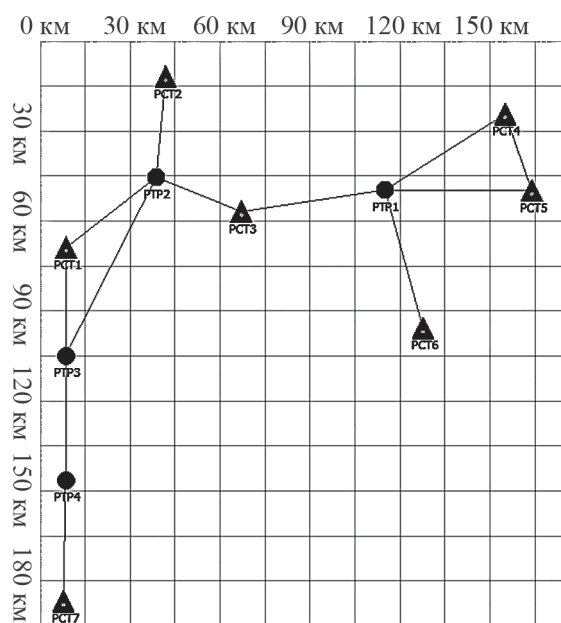


Рис. 5. Итоговый граф

Fig. 5. Total Count



Рис. 6. Алгоритм поиска оптимального состава и размещения РТР связи

Fig. 6. The algorithm for finding the optimal composition and deployment of UAV connection

Таким образом, с использованием методов линейного целочисленного программирования и метода последовательного поиска решена задача об оптимальном покрытии. Практическим результатом решения задачи является возможность оптимального размещения на местности минимального состава аэростатных ретрансляторов связи в интересах обеспечения абонентов-пользователей некоторой территории устойчивой связью.

Библиографический список

1. Уоэлренд, Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети. Вводный курс / Дж. Уоэлренд. – М.: Постмаркет, 2001. – 476 с.
2. Финаев, В.И. Информационные обмены в сложных системах. Учебное пособие / В.И. Финаев. – Таганрог: ТРТУ, 2001. – 102 с.
3. Олифер, В.Г. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2001. – 672 с.
4. Палмер, М. Проектирование и внедрение компьютерных сетей. Учебный курс / М. Палмер, Р.Б. Синклер. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 752 с.
5. Крылов, В.В. Теория телетрафика и ее применения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 288 с.
6. Гук, М. Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия / М. Гук. – СПб.: Питер, 2000. – 576 с.
7. Кузин, Л.Т. Основы кибернетики. Т. 1. Математические основы кибернетики / Л.Т. Кузин. – М.: Энергия, 1973. – 503 с.
8. Сачков, В.Н., Введение в комбинаторные методы дискретной математики / В.Н. Сачков. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 384 с.
9. Мину, М. Математическое программирование. Теория и алгоритмы / М. Мину. – М.: Наука, 1990. – 483 с.
10. Галеев, Э.М. Оптимизация. Теория, примеры, задачи / Э.М. Галеев. – М.: Ком Книга, 2006. – 336 с.

METHOD FOR OPTIMIZING THE PLACEMENT OF BALLOON RETRANSLATORS IN WIRELESS COMMUNICATION NETWORK

Dmitriev A.N., Assoc. MSFU, Ph.D (Tech.); Litvyak Y.I., gr. MSFU

alexndmitriev007@yandex.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

When selecting hardware for wireless networks based on the relatively large unprepared areas UAV are of great interest. UAV's allow to organize radio communications between subscribers which have no line-of-sight propagation paths. In order to improve the economic efficiency of the network construction it is necessary to solve the problem of minimization of the required balloons quantity which is a special case of the minimal covering task. The method of consecutive optimization of UAV placement for the purpose of creating a network with a great number of unrelated subscribers organization is presented in this article. The input data of the algorithm is a set of users with specified coordinates. The algorithm allows to receive quantitative structure and coordinates of UAV placement based on sequential binding of the initial set of subscribers in a single graph with regard to the conservation conditions of a complete connection. The method is based on identifying the nearest connected components of the original graph, which can be related to the UAV placement in the geometric center of the nearest pair of nodes of these components. If the distance between the nodes is large and UAV's power is not enough, the algorithm offers to place several retranslators on the line connecting the nearest nodes of these components. The process continues cyclically until the complete binding of the original graph. When looking for the nearest connected component the possibility of UAV which is in the current connected component displacement is considered. Thus, using the methods of linear and integer programming and the method of consecutive search the problem of the optimal covering can be solved. The practical result is the possibility of the optimal placement of a minimal quantity of the UAV for the purpose of providing stable connection for users on the ground.

Keywords: wireless network connection, airships, unmanned aerial vehicle, the organization of communication.

References

1. Walrand J. *Telekommunikatsionnye i komp'yuternye seti. Vvodnyy kurs* [Telecommunications and computer networks. Introductory course]. Moscow, Postmarket, 2001. 476 p.
2. Finaev V.I. *Informatsionnye obmeny v slozhnykh sistemakh. Uchebnoe posobie* [Exchanges of information in complex systems. Tutorial] Taganrog, TRTU, 2001. 102 p.
3. Olifer V.G., Olifer N.A. *Komp'yuternye seti: printsipy, tekhnologii, protokoly* [Computer Networks: Principles, technologies, protocols] St. Petersburg, Piter, 2001. 672 p.
4. Palmer M., Sinkler R.B. *Proektirovanie i vnedrenie kompyuternykh setey. Uchebnyy kurs* [Design and implementation of computer networks. Training course] St. Petersburg, BKhV – Peterburg, 2004. 752 p.
5. Krylov V.V., Samokhvalova S.S. *Teoriya teletrafika i ee primeneniya* [Teletraffic Theory and Applications] St. Petersburg, BKhV – Peterburg, 2005. 288 p.
6. Guk M. *Apparatnye sredstva lokal'nykh setey. Entsiklopediya* [Hardware of LANs. Encyclopedia.] St. Petersburg, Piter, 2000. 576 p.
7. Kuzin L.T. *Osnovy kibernetiki. Tom 1. Matematicheskie osnovy kibernetiki* [Fundamentals of Cybernetics. Volume 1 Mathematical Foundations of Cybernetics.] Moscow, Energiya, 1973. 503 p.
8. Sachkov V.N., *Vvedenie v kombinatornye metody diskretnoy matematiki* [Introduction to Combinatorial Methods of Discrete Mathematics] Moscow, Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1982. 384 p.
9. Minu M. *Matematicheskoe programmirovaniye. Teoriya i algoritmy* [Mathematical Programming. Theory and Algorithms] Moscow, Nauka, 1990. 483p.
10. Galeev E.M. *Optimizatsiya. Teoriya, primery, zadachi* [Optimization. The theory, examples, problems] Moscow, Kom Kniga, 2006. 336 p.