

РАЗМЕЩЕНИЕ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ СВЯЗИ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАДАННОГО МНОЖЕСТВА РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Мухтаров А.А.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
mukhtarov.amir.a@gmail.com

Першин О.Ю.

РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, Россия, г. Москва, Ленинский проспект д.65
persshino@mail.ru

Аннотация: Рассматривается задача размещения базовых станций при проектировании беспроводной широкополосной сети для передачи мультимедийной информации от заданного множества объектов, рассредоточенных на некоторой территории. Дается формализация задачи в виде математической модели частично целочисленного линейного программирования с ограничениями потокового типа.

Ключевые слова: беспроводные широкополосные сети, размещение станций, задача частично целочисленного линейного программирования.

Введение

Построение современной инфраструктуры передачи информации для обслуживания множества объектов промышленного или гражданского назначения, рассредоточенных на некоторой территории, является актуальной задачей при создании единой систем контроля и управления указанными объектами. Создание такой инфраструктуры позволяет обеспечить оперативный контроль и управление объектами путем передачи необходимой информации с сенсоров и датчиков объектов в соответствующий внешнее приемное устройство. Для создания подобной инфраструктуры эффективно используются сети широкополосной беспроводной связи, необходимым этапом проектирования которых является решение задачи определения мест размещения базовых станций.

В настоящей работе рассматривается задача получения допустимого решения для заданного набора станций и избыточного множества возможных мест их размещения, при выполнении технологических ограничений на создание инфраструктуры беспроводной сети связи. Поставленную задачу можно рассматривать как некоторое обобщение проблемы, рассмотренной в работах [1-2], где исследовалась задача размещения базовых станций вдоль линейной трассы. В данном случае рассматривается задача обслуживания объектов, расположение которых задано их координатами на плоскости. Особенностью такой задачи в широком классе задач о размещения мощностей является наличие условия на наличие информационной связи между станциями и внешним приемным устройством (шлюзом), выполнение которого гарантирует поступление всей информации с контролируемых объектов в центр управления.

Постановка задачи.

Задано множество вершин $A = \{a_i\}$, на плоскости. Каждая вершина имеет координаты $\{x_i, y_i\}$.

Множество A состоит из двух подмножеств:

– множество объектов, с которых необходимо собирать информацию. В частности, объектами могут быть любые стационарные абонентские устройства сети 802.11n.

– множество мест размещения базовых станций.

По определению:

\emptyset ;

$= A$.

Все вершины пронумерованы так, что:

$\{a_i\}$, 1;

$\{a_j\}$, n.

Задано множество базовых станций $\{s_j\}$, m , которые необходимо разместить на множестве A_2 .

Каждой станции приписаны три параметра $\{r$ $\}$, где:

r_j – максимальный радиус покрытия станции. Параметр, который характеризует зону охвата территории каждой станцией;

R_j – максимальный радиус связи станции. Параметр характеризует расстояние, на котором обеспечивается радиорелейная связь между станциями;

ϑ_j – максимальный объем информации в единицу времени, который может быть получен от объектов.

Также задана станция специального вида (шлюз) $s_0 = \{r_0, R_0, \vartheta_0\}$ с координатами $\{x_0, y_0\}$.

Требуется разместить станции таким образом, чтобы вся имеющаяся информация с объектов (множество A_1) могла быть собрана и передана системой размещенных станций до шлюза s_0 .

Задано условие, что со шлюзом и между собой могут быть связаны только станции на вершинах множества A_2 .

Формулировка задачи в виде модели частично целочисленного ЛП.

Пусть задано m станций с различными параметрами $\{r_j, R_j, \vartheta_j\}$.

Вместо каждой вершины $a_j, j = n_1 + 1, \dots, n$ запишем m вершин с одинаковыми координатами и различными параметрами соответствующим различным типам станций. Обозначим такую группу вершин, записанную вместо вершины a_j , как D_j . Обозначим все расширенное множество вершин A_2 через A_2D .

Составим граф H для возможного потока информации между вершинами расширенного множеств $AD = A_1 \cup A_2D$. По определению, каждой вершине из A_2D соответствует станция определенного вида со своим набором параметров $\{r_j, R_j, \vartheta_j\}$.

Матрица смежности $E = \{e_{ij}\}$ графа H строится по следующим правилам.

$e_{ij} = 1$, если расстояние между i -ым объектом ($a_i \in A_1$) и j -ым местом размещения станции ($a_j \in A_2D$) не более радиуса покрытия для станции соответствующего этой вершине типа;

$e_{ij} = 1$, если расстояние между i -ым местом размещения ($a_i \in A_2D$) и j -ым местом размещения ($a_j \in A_2D$), либо шлюзом не более радиуса связи той станции, у которой радиус связи не больше радиуса связи другой станции;

$e_{ij} = 0$, во всех остальных случаях.

Введем переменные $x_{ij} \geq 0$, это искомое количество информации, передаваемой в единицу времени по дуге e_{ij} графа H .

Распишем условия для нашей задачи.

Величина суммарного потока, который выходит с объекта равен весу ϑ_i :

$$\sum_{a_j \in \Gamma^+(a_i)} x_{ij} = \vartheta_i, \forall a_i, i = 1, 2, \dots, n_1,$$

где $\Gamma^+(a_i)$ – множество вершин на графе H , в которые входят дуги, исходящие из вершины a_i .

Сумма входящих и выходящих потоков для любой i -ой вершины множества A_2D равна нулю:

$$\sum_{a_j \in \Gamma_1^-(a_i)} x_{ij} + \sum_{a_j \in \Gamma_2^-(a_i)} x_{ji} - \sum_{a_j \in \Gamma_2^+(a_i)} x_{ij} = 0, \forall a_i \in A_2D.$$

Здесь множество $\Gamma_1^-(a_i)$ – вершины множества A_1 , из которых выходят дуги, входящие в вершину a_i , $\Gamma_2^-(a_i)$ – вершины множества A_2D , из которых выходят дуги, входящие в вершину a_i , $\Gamma_2^+(a_i)$ – вершины множества A_2D , в которые входят дуги, исходящие из вершины a_i .

Через систему станций вся информация от объектов должна поступить на шлюз s_0 :

$$\sum_{a_j \in \Gamma_2^-(a_0)} x_{j0} = \sum_{a_i \in A_1} \vartheta_i.$$

Введем, булевы переменные y_j для вершин $a_j, a_j \in A_2D$:

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{если станция стоит на } a_j \text{ месте} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Объем информации, поступающей от объектов на станцию, если она размещена на j -ом месте, ограничен мощностью станции ϑ_j :

$$\sum_{a_j \in \Gamma^-(a_i)} x_{ji} \leq y_j \cdot \vartheta_j, \forall a_j \in A_2D$$

Необходимо разместить все m станций:

$$\sum_{a_j \in A_2D} y_j = m.$$

На вершинах любого множества D_j может быть размещено не более одной станции:

Σ

В нашем случае ставится задача нахождения допустимого решения для заданного набора станций и заданного избыточного множества возможных мест их размещения, т. е. такого размещения станций, при котором информация от всех контролируемых объектов может быть доставлена в центр управления.

Данная задача решается известным способом добавления в уравнения, приведенные к стандартной форме, искусственных неотрицательных переменных и минимизации целевой функции f , представляющей их сумму.

Если значение целевой функции $f = 0$, то система совместна, а значит полученное решение - одно из допустимых решений размещения станций, при котором вся информация от объектов может быть собрана и передана системой размещенных станций до центра управления.

Если значение целевой функции $f > 0$, то допустимого решения при любом размещении для данного набора станций не существует.

Заметим, что при заданном проектировщиком размещении станций описанная модель является удобным инструментом для проверки допустимости предложенного им решения.

Если для дуг графа H заданы веса, характеризующие некоторые параметры передачи информации, например, стоимость передачи единицы информации, то предложенная модель может быть использована для формализации соответствующей оптимизационной задачи.

Сформулированная математическая модель является задачей частично целочисленного линейного программирования с булевыми переменными u .

Число булевых переменных равно $m \cdot |A_2 D|$.

Заключение

В работе рассмотрена задача нахождения допустимого варианта размещения базовых станций беспроводной широкополосной связи для заданного набора станций различных типов. Характерной особенностью рассмотренной задачи, выделяющей ее из широкого класса задач размещения мощностей, является наличие условия на связь между станциями. В работе для решения задачи построена модель частично целочисленного линейного программирования потокового типа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований грант № 19-07-00919.

Литература

1. Иванов Р. Е., Мухтаров А. А., Першин О. Ю. Задача оптимального размещения заданного множества базовых станций беспроводной сети связи с линейной топологией // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2019. №4(549). С. 39-45.
2. Ivanov R., Pershin O., Larionov A., Vishnevsky V. On a Problem of Base Stations Optimal Placement in Wireless Networks with Linear Topology // Communications in Computer and Information Science. 2018. vol 919. С. 505-513.