

ЗАДАЧА РАЗМЕЩЕНИЕ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАДАННОГО МНОЖЕСТВА РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

А.А. Мухтаров

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: mukhtarov.amir.a@gmail.com

О.Ю. Першин

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: pershino@mail.ru

Ключевые слова: Проектирование, беспроводная широкополосная связь, размещение базовых станций, модель целочисленного математического программирования.

Аннотация: Рассматривается оптимизационная задача выбора и размещения базовых станций беспроводной широкополосной связи при проектировании сети для передачи мультимедийной информации от заданного множества объектов, рассредоточенных на некоторой территории. Дается формализация задачи в виде модели целочисленного математического программирования.

1. Введение

Построение современной инфраструктуры передачи мультимедийной 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 мультимедийной информации с сенсоров и датчиков объектов в соответствующий Центр управления. Необходимым этапом проектирования такой инфраструктуры является выбор типов базовых станций и определение мест их размещения. В настоящей работе рассматривается оптимизационная задача определения набора станций и выбора мест их размещения, минимизирующих суммарную стоимость размещенных станций при выполнении технологических ограничений на создание инфраструктуры. Поставленную задачу можно рассматривать как некоторое обобщение проблемы, рассмотренной в [1], где исследовалась задача размещения базовых станций вдоль линейной магистрали. В данном случае рассматривается задача обслуживания объектов, расположение которых задано их координатами на плоскости. Особенностью исследуемой задачи в широком классе задач оптимального размещения мощностей яв-

ляется необходимость учета условий на наличие информационной связи между станциями и внешним приемным устройством (связность сети).

2. Постановка задачи

Задано: $A = \{a_i\}, i = 1, \dots, m$, – множество возможных мест размещения станций с координатами $\{\alpha_i, \beta_i\}$. $B = \{b_j\}, j = 1, \dots, n$, – множество объектов, подлежащих обслуживанию станциями, с координатами $\{\alpha_j, \beta_j\}$. $S = \{s_k\}, k = 1, \dots, t$, – множество типов размещаемых станций с характеристиками s_k , где $s_k = \{r_k, R_k, c_k\}$. Здесь r_k – максимальный радиус принятия сигнала от обслуживаемого объекта (радиус покрытия), R_k – максимальный радиус связи между станциями, c_k – стоимость станции. Место размещения особой станции a_0 (внешний шлюз) с координатами $\{\alpha_0, \beta_0\}$ и характеристиками $s_0 = \{0, 0, 0\}$.

Требуется определить набор типов станций минимальной стоимости из множества S и места размещения этих станции на множестве A , при условии, что каждый из объектов множества B попадает в зону обслуживания, по – крайней мере, одной станции и информация с каждой станции может быть передана по сети размещенных станций в станцию a_0 .

3. Формулировка задачи в виде модели целочисленного математического программирования (ЦЛП).

Формулировка задачи без учета условий на связь между станциями. Введем переменные: x_{ikj} , где $x_{ikj} = 1$ – если на месте a_i стоит станция типа s_k , которая обслуживает объект b_j и $x_{ikj} = 0$ в противном случае; x_{ik} , где $x_{ik} = 1$, если на месте a_i стоит станция типа s_k , $x_{ik} = 0$ в противном случае. Объект b_j может обслуживаться станцией типа s_k , стоящей на месте a_i , только если на месте a_i стоит станция этого типа

$$(1) \quad x_{ikj} \leq x_{ik}, \text{ для всех } i, j, k$$

Каждый объект b_j должен быть обслужен, хотя бы одной станцией

$$(2) \quad \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^t x_{ikj} \geq 1, \text{ для всех } b_j \in B.$$

Если станция типа k , стоит на месте a_i , то она может обслуживать объект b_j , только если:

$$(3) \quad r_k x_{ikj} \geq \|a_i - b_j\|, \text{ для всех } i, j, k.$$

На одной месте a_i может стоять не более одной станции

$$(4) \quad \sum_{k=1}^t x_{ik} \leq 1, \text{ для всех } a_i \in A.$$

Целевая функция:

$$(5) \quad F = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^t x_{ik} c_{ik} \rightarrow \min.$$

Учет требования связности сети (возможность передачи информации через сеть размещенных станций от любой из станций до особой станции a_0).

Пусть v_d – некоторое заданное целое число, характеризующее величину потока информации, генерируемого станцией, стоящей на месте $a_d, a_d \in A$.

Введем переменные x_i , где $x_i = 1$, если на месте a_i стоит станция какого либо типа и $x_i = 0$ в противном случае; y_{il} , где $y_{il} = 1$, если станция, стоящая на месте a_i может быть связана со станцией, стоящей на месте a_l и $y_{il} = 0$ в противном случае; f_{il}^d – величина потока информации, генерируемого станцией, стоящей на месте a_d , передаваемая от станции, стоящей на месте a_i к станции, стоящей на месте a_l . На месте a_i стоит станция любого типа из множества S либо не стоит никакой станции

$$(6) \quad x_i = \sum_{k=1}^t x_{ik}.$$

Связь может быть только между вершинами, на которых стоят станции:

$$(7a) \quad y_{ij} \leq x_i;$$

$$(7b) \quad y_{ij} \leq x_j;$$

Если станция, стоящая на месте a_i , связана со станцией, стоящей на месте a_l , то и станция, стоящая на месте a_l , должна быть связана со станцией, стоящей на месте a_i

$$(8) \quad y_{il} = y_{li}$$

Станция, стоящая на месте a_i , может быть связана со станцией, стоящей на месте a_l , только, если:

$$(9) \quad R_i y_{il} \geq \|a_i - a_l\|, \text{ для всех } a_i, a_l \in A.$$

Условия достижимости потока f^d , передаваемого от станции, если она расположена на месте a_d , до станции a_0 , для каждого $a_d, d = 1, 2, \dots, m$ и каждого места a_i , где $i = 0, \dots, n$:

$$(10) \quad \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^n f_{li}^d y_{li} - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^n f_{il}^d y_{il} = \begin{cases} v_d, \text{ если } i = d \\ -v_d, \text{ если } i = 0 \\ 0, \text{ если } i \neq d, 0. \end{cases}$$

Сформулированная задача (1) – (10) представляет собой модель нелинейного целочисленного программирования, где нелинейность определяется произведением переменных в слагаемых сумм условия (10). Особенностью описанной модели является то, что для каждого фиксированного размещения выбранного набора станций для проверки связности сети базовых станций достаточно решить полиномиальную задачу существования допустимого решения потоковых уравнений (10) при фиксированных булевых переменных y_{li} и y_{il} .

4. Заключение

В работе рассматривается задача оптимального выбора и размещения базовых станций беспроводной широкополосной связи, обслуживающей множество объектов, расположенных на некоторой территории, положение которых задано их координатами на плоскости. Предлагается и анализируется формальная постановка задачи в виде модели целочисленного математического программирования.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (19-07-00919).

Список литературы

1. Ivanov R.E., Pershin O.Yu., Larionov A.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. P. 505-513.