ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ,
ФОТОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

УДК 621.396

DOI 10.33286/978-5-6041917-2-9.282-285

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ
ДЛЯ ЗАДАЧИ ТРАНСЛЯЦИИ РАДИОСИГНАЛА

С.Е. Белан

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (филиал), Омск, Российская Федерация

Освоение Арктического региона является важным направлением современной российской экономики. Один из его этапов заключается в организации связи и телекоммуникаций. Среди возникающих при этом проблем необходимо решать вопросы размещения радиооборудования. Данный доклад посвящен развитию систем радиосвязи. Автор сформулирован ряд задач размещения оборудования, которые могут быть описаны с использованием математического аппарата дискретных задач оптимального размещения. Построены модели, учитывающие различные аспекты проектирования систем радиосвязи. Они позволяют обоснованно принимать решения в рассматриваемой области.

Ключевые слова: задачи размещения, дискретная оптимизация, системы связи, задачи трансляции.

MODEL BUILDING FOR THE PROBLEM OF RADIO RELAY

S.E. Belan

Sobolev Institute of Mathematics SB RAS (branch), Omsk, Russian Federation

Opening of the Arctic region is an important area of the modern Russian economy. One of its stages is the organization of communications and telecommunications. Among the problems arising from this, it is necessary to solve the issues of the placement of radio equipment. This report is about the development of radio systems. The author formulated a number of equipment placement problems which can be described using the mathematical apparatus of discrete optimal allocation. Models that take into account various aspects of the design of radio communication systems were built. They allow to make informed decisions in region under consideration.

Keywords: allocation problems, discrete optimization, communication systems, relay problems.

Введение

Интерес развития Арктического региона связан, например, с разработкой новых источников ресурсов и с использованием кратчайшего Северного морского пути, соединяющего европейскую часть России и Дальневосточный регион. Ряд возникающих при этом проблем может быть решен с применением современных математических моделей и методов. Один из этапов освоения заключается в организации связи и телекоммуникаций. Низкая плотность населения, тяжелые климатические условия и высокие широты не всегда позволяют использовать проводную и спутниковую связь. Поэтому специалисты предлагают эксплуатировать коротковолновые передатчики, способные доставлять сигнал на большие расстояния. В последнее время в связи с активным развитием информационных технологий

появились работы, посвященные развитию сотовых, компьютерных, сенсорных и других сетей (см., напр., [1; 2]). В том числе имеется ряд публикаций для систем связи [3]. Однако, как правило, эти результаты трудно использовать для новой прикладной задачи в силу специфики областей применения.

В данном докладе рассматривается проблема развития систем радиосвязи. Исследования посвящены решению задачи размещения оборудования с целью трансляции сигнала клиентам в высоких широтах. Указанная задача может быть описана с помощью моделей задач размещения. Дискретные задачи оптимального размещения составляют отдельную научную область, часть из них хорошо изучена, существуют различные методы их решения (см. [2; 4–6] и др.). Этот аппарат может быть применен к рассматриваемой проблеме в конкретной прикладной области.

В данной работе рассматривается задача трансляции радиосигнала. Она возникает, например, при передаче метеосводок, когда клиент должен получить сообщение, не требующее ответа. Сформулированы две постановки задачи, учитывающие различные особенности радиосвязи. Построены модели размещения предприятий, позволяющие принимать решения в описанной ситуации.

Постановка задач и математические модели

В задачах оптимального размещения необходимо расположить предприятия в пунктах и назначить им потребителей для обслуживания с целью того, чтобы получить максимальный доход или минимальные затраты. В случае задач трансляции, предприятиями являются коротковолновые передатчики и трансиверы, а под обслуживанием понимается трансляция сигнала от передатчиков конечным пользователям. Передатчики, расположенные в местах с развитой инфраструктурой, транслируют сигнал в коротковолновом диапазоне. Этот сигнал принимается трансиверами, и в средневолновом диапазоне транслируется на местности. Оборудование может иметь различные конфигурации, состоящие из передающего или принимающего оборудования, антенны и системы управления.

Итак, рассмотрим следующую задачу трансляции радиосигнала. Известны места расположения клиентов, нуждающихся в радиосвязи. Определены пункты, в которых потенциально могут быть расположены передатчики. Часть из них находится в глубине материка в хорошо развитых районах. Вторая часть расположена в высоких широтах ближе к клиентам. Информация на коротких волнах (КВ), доставляется из глубины материка на трансиверы, а затем на средних волнах (СВ) транслируется клиентам. Размещение связано с финансовыми затратами, причем в каждом пункте они могут быть различными. Заданы таблицы связности для передатчиков и трансиверов, а также для трансиверов и клиентов. Необходимо найти, в каких пунктах (из потенциально возможных) разместить передатчики и трансиверы, чтобы обеспечить радиосигналом всех клиентов, и общие затраты при этом были минимальны.

Для построения базовой модели задачи введем следующие обозначения:

I – множество пунктов возможного размещения передатчиков, $i \in I$;

J – множество пунктов возможного размещения трансиверов, $j \in J$;

L – множество конечных пользователей связи, $l \in L$;

$D = (d_{ij})$ – таблица связности между передатчиками и трансиверами, $d_{ij} = 1$, если трансивер j находится в зоне обслуживания передатчика i , и 0 иначе, $i \in I$, $j \in J$;

$C = (c_{jl})$ – таблица связности между трансиверами и конечными пользователями, $c_{jl} = 1$, если пользователь l находится в зоне обслуживания трансивера j , и 0 иначе, $j \in J$, $l \in L$.

В данной модели стоимость размещения радиооборудования зависит только от пункта размещения, но не от конфигурации оборудования:

$A = (a_i)$ – стоимость размещения передатчика в пункте $i \in I$;

$B = (b_j)$ – стоимость размещения трансивера в пункте $j \in J$;

Переменные задачи:

$x_i = 1$, если передатчик в пункте i размещен, иначе $x_i = 0$, $i \in I$;

$y_j = 1$, если трансивер в пункте j размещен, иначе $y_j = 0$, $j \in J$;

С использованием обозначений модель целочисленного линейного программирования выглядит следующим образом:

$$\sum_{i \in I} a_i \cdot x_i + \sum_{j \in J} b_j \cdot y_j \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I} d_{ij} \cdot x_i \geq y_j, \quad j \in J; \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} c_{jl} \cdot y_j \geq 1, \quad l \in L; \quad (3)$$

$$x_i, y_j \in \{0,1\}, \quad i \in I, \quad j \in J. \quad (4)$$

Здесь функция (1) определяет суммарную стоимость размещенного оборудования; неравенства (2) не позволяют размещать трансиверы в пунктах, которые находятся вне зоны обслуживания передатчиков; ограничение (3) учитывает то, что каждый потребитель должен находиться в зоне обслуживания хотя бы одного трансивера. С помощью этой модели будут определены места расположения КВ-передатчиков и СВ-трансиверов для обеспечения клиентов радиосвязью, при этом полученное размещение будет иметь самую низкую стоимость.

Следующая модель учитывает различные комбинации передающих устройств, антенн и управляющего оборудования, эту комбинацию назовем конфигурацией оборудования. Конфигурация влияет на мощность и стоимость размещаемых объектов. Таким образом, в условиях сформулированной выше задачи необходимо найти не только в каких пунктах разместить передатчики и трансиверы, но и выбрать их конфигурацию, чтобы обеспечить радиосигналом всех клиентов, и общие затраты при этом были наименьшими.

Для описания модели введем обозначения:

I – множество пунктов возможного размещения передатчиков, $i \in I$;

J – множество пунктов возможного размещения трансиверов, $j \in J$;

L – множество конечных пользователей связи, $l \in L$;

R – множество конфигураций передатчиков, $r \in R$;

Q – множество конфигураций трансиверов, $q \in Q$.

Таблицы связностей и стоимости зависят от конфигурации оборудования:

$D = (d_{ijr})$ – таблица связности между передатчиками и трансиверами, $d_{ijr} = 1$, если трансивер j находится в зоне обслуживания передатчика i конфигурации r , и 0 иначе, $i \in I, j \in J, r \in R$;

$C = (c_{jlq})$ – таблица связности между трансиверами и конечными пользователями, $c_{jlq} = 1$, если пользователь l находится в зоне обслуживания трансивера j конфигурации q , и 0 иначе, $j \in J, l \in L, q \in Q$;

$A = (a_{ir})$ – стоимость размещения передатчика конфигурации r в пункте $i \in I, r \in R$;

$B = (b_{jq})$ – стоимость размещения трансивера конфигурации q в пункте $j \in J, q \in Q$;

Переменные задачи:

$x_{ir} = 1$, если передатчик в пункте i размещен с использованием конфигурации r , иначе $x_{ir} = 0$, $i \in I, r \in R$;

$y_{jq} = 1$, если трансивер в пункте j размещен с использованием конфигурации q ,
иначе $y_{jq} = 0$, $j \in J$, $q \in Q$;

С использованием обозначений модель целочисленного линейного программирования выглядит следующим образом:

$$\sum_{i \in I} \sum_{r \in R} a_{ir} \cdot x_{ir} + \sum_{j \in J} \sum_{q \in Q} b_{jq} \cdot y_{jq} \rightarrow \min \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{r \in R} d_{ijr} \cdot x_{ir} \geq y_{jq}, \quad j \in J, \quad q \in Q; \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{q \in Q} c_{jlq} \cdot y_{jq} \geq 1, \quad l \in L; \quad (6)$$

$$\sum_{r \in R} x_{ir} \leq 1, \quad i \in I; \quad (7)$$

$$\sum_{q \in Q} y_{jq} \leq 1, \quad j \in J; \quad (8)$$

$$x_{ir}, y_{jq} \in \{0,1\}, \quad i \in I, \quad j \in J, \quad r \in R, \quad q \in Q. \quad (9)$$

Целевая функция (4) определяет суммарную стоимость размещенного оборудования; неравенства (5) не позволяют размещать трансиверы в пунктах, которые находятся вне зоны обслуживания передатчиков; ограничение (6) учитывает то, что каждый потребитель должен находиться в зоне обслуживания хотя бы одного трансивера, ограничения (7) и (8) запрещают использование более одной конфигурации оборудования в каждом выбранном пункте. С помощью этой модели можно определить места расположения КВ-передатчиков и СВ-трансиверов, а также необходимую конфигурацию оборудования, при котором будет решена проблема трансляции радиосигнала клиентам с наименьшими финансовыми затратами.

Заключение

Необходимо отметить, что представлены первые исследования автора в этом направлении. Необходимо их продолжение, в котором будут учтены особенности использования коротковолновой связи и другие факторы. Построенные модели относятся к целочисленному линейному программированию. Они могут быть решены с помощью известного программного обеспечения. Однако, в связи с важностью вопросов развития районов Крайнего, необходимы отечественные программные продукты. Автором начаты работы в этом направлении. Планируется разработка комплекса программ для их решения и обстоятельные вычислительные эксперименты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белецкий П.А. Оптимизация размещения абонентов сети // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2013. № 3. С. 141–144.
2. Колоколов А.А., Леванова Т.В., Поздняков Ю.С. Алгоритмы искусственной иммунной системы для вариантной задачи размещения телекоммуникационных центров // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Математика. 2013. Т. 6. С. 35–44.
3. Валл А.П., Юрьев А.Н. Варианты размещения станций NAVTEX, укомплектованные антеннами АЗТБ-20 и АЗТБ-10, вдоль Северного морского пути // Радиотехника, электроника и связь (РЭС): сб. докл. IVМеждунар. науч.-техн. конф. Омск., 2017. С. 255264.
4. Леванова Т.В., Федоренко А.С. Локальный поиск с чередующимися окрестностями для двухстадийной задачи размещения // Дискретный анализ и исследование операций. 2008. Серия 2. Т. 15, № 3. С. 43–57.
5. Levanova T., Gnusarev A. Development of threshold algorithms for a location problem with elastic demand // LNCS. 2018. Vol. 10665. P. 382–389. Springer.
6. Discrete location theory / Mirchandani, Pitu B., Francis, R. L. New York: Wiley, 1990.