

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EN 300 421: «Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services». V1.1.2 (1997-08).
2. Gartner 2007 Press-releases. [Электронный ресурс]. — режим доступа: <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=501276>. — 25.09.2008.
3. Шинкаренко К.В., Кориков А.М. Помехоустойчивое кодирование мультимедиа данных в компьютерных сетях // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 313. — № 5. — С. 37–41.
4. ISO/IEC 13818-1: «Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems». 2007.
5. Shinkarenko K.V., Vlcek K. Design of Erasure Codes for Digital Multimedia Transmitting // In Proc. of Design and Diagnostic of Electronic Circuits and Systems (DDECS08). — Bratislava, 2008. — P. 30–34.
6. Luby M. LT Codes // Proc. of the 43<sup>rd</sup> Annual IEEE Symp. on Foundations of Computer Science (FOCS). — 2002. — P. 271–282.
7. MacKay D.J.C. Fountain codes // IEE Proc.-Commun., 2005. — V. 152. — № 6 (December). — P. 1062–1068.
8. IETF RFC 3550: «RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications».

Поступила 29.09.2008 г.

УДК 681.3.06

## ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ СВЯЗИ В НАЗЕМНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ

В.К. Погребной, М.А. Сонькин, А.В. Погребной

Институт «Кибернетический центр» ТПУ  
E-mail: vk@ad.cctpu.edu.ru

*Выполнен анализ нижнего звена наземной метеорологической наблюдательной сети Росгидромета с целью оптимизации использования ресурсов каналов связи. Выделены основные схемы организации сбора данных от метеостанций и сформулированы математические постановки соответствующих задач оптимизации. Предложен базовый вариант постановки задачи как задачи математического программирования транспортного типа. Представлен многоканальный вариант постановки задачи и одноканальный с возможностью подключения резервного канала. Рассмотрена стратегия последовательного и совместного выбора основного и резервного каналов. Приведен пример решения задачи при последовательном выборе каналов.*

### Ключевые слова:

Наземная наблюдательная сеть, метеостанция, центр сбора данных, канал связи, оптимальный план использования каналов, задача транспортного типа, задача о назначении.

### Сведения о предметной области

Наземная метеорологическая наблюдательная сеть Росгидромета относится к категории технологических сетей связи и имеет иерархическую структуру. На нижнем уровне иерархической сети расположены метеостанции (МС), которые осуществляют сбор результатов метеорологических измерений и передачу их в центры сбора данных (ЦСД). Сеть строится с использованием различных технологий организации каналов связи, таких как проводные, спутниковые, радиоканалы [1].

Подсистема обеспечения связи на МС включает аппаратное (контроллер, абонентские устройства IP-сетей, модемы, радиостанции) и программное обеспечение контроллера. Передача данных может инициироваться как со стороны МС, так и ЦСД. При отсутствии подтверждения о доставке данных контроллер повторяет попытки передачи информации в ЦСД в течение заданного интервала времени. При отсутствии подтверждения о доставке данные передаются через резервный канал.

В ЦСД устанавливается сервер, выполняющий функции сбора информации, контроля, промежу-

точного хранения и пересылки собранных метеоданных в центры обработки и хранения, расположенные на более высоком уровне иерархии. На сервере ЦСД также установлено программное средство управления контроллерами МС. Сервер проводит рассылку обновлений конфигураций, программного обеспечения, поддерживает топологию сети в актуальном состоянии, обеспечивает возможность сопряжения с автоматизированной системой передачи данных Росгидромета (АСПД).

Взаимодействие ЦСД с подключенными к нему МС разного вида показано на рис. 1. Передача информации от МС в ЦСД осуществляется с использованием следующих технологий [2]:

- ведомственная наземная сеть связи, построенная на базе протокола *TCP/IP*;
- сеть провайдеров Интернет-услуг;
- телефонная сеть общего пользования (аналоговые модемы);
- *GSM* — сеть связи (*GSM* — модем, *GPRS*);
- спутниковые системы связи;
- радиоканалы в режиме пакетной передачи данных.

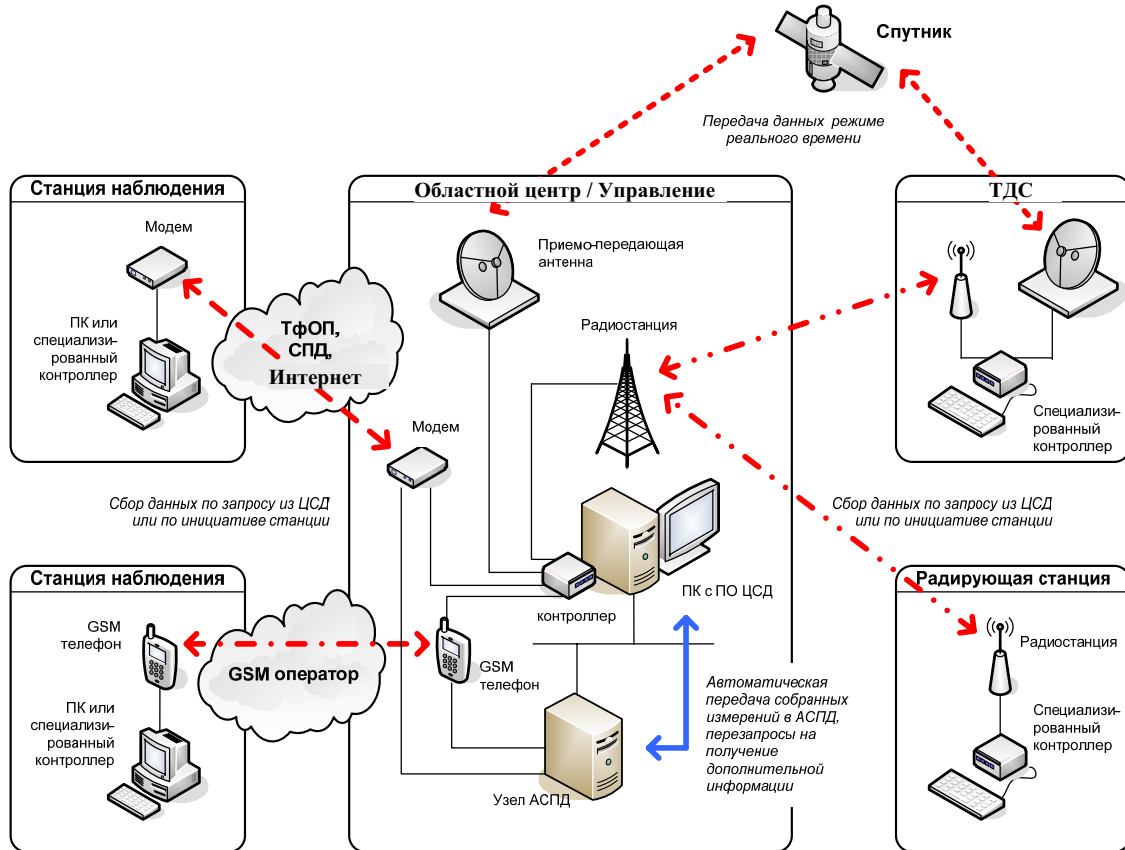


Рис. 1. Взаимодействие ЦСД и МС разного вида

Передача результатов измерений и данных о состоянии средств измерений возможна как в режимах автоматической передачи данных, так и в режиме выполнения запроса «по требованию». Для повышения надежности системы допускается резервирование каналов и возможность перехода с основного канала на резервный. Каждому типу канала соответствуют определенные затраты на передачу данных. Важно так организовать использование каналов для связи МС и ЦСД, чтобы суммарные затраты на передачу данных были минимальны.

#### Базовый вариант постановки задачи

Исходя из наличия средств связи на территории установки МС, можно определить перечень типов каналов, доступных для использования при передаче информации от МС к ЦСД. С учетом того, что к одному ЦСД подключается определенная совокупность МС (в среднем до 15 МС), участок сети связи между МС и ЦСД представим схемой, рис. 2.

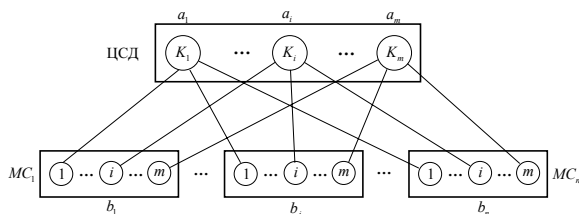


Рис. 2. Схема связи между МС и ЦСД

ЦСД на рис. 2 представлен совокупностью каналов, по которым могут приниматься данные от МС. Для каждого канала  $K_i$  в ЦСД установлена величина  $a_i, i=1,2,\dots,m$ , которая в общем случае определяет ресурс канала  $K_i$  по приему данных от МС. Каждая  $j$ -ая МС передает данные в ЦСД в объеме, который соответствует потреблению канального ресурса ЦСД в размере  $b_j, j=1,2,\dots,n$ . Канальный ресурс  $a_i$ , в частности, может измеряться объемом данных, который ЦСД способен принять по каналу  $K_i$  за установленный промежуток времени. При необходимости ресурс  $a_i$  можно оценивать допустимым суммарным временем работы канала  $K_i$  по сбору данных от МС.

Рассмотрим стратегию организации передачи данных, в соответствии с которой по каналу  $K_i$  могут приниматься данные от нескольких МС. В свою очередь  $j$ -ая МС соответствующий объем данных  $b_j$  может передавать по нескольким доступным каналам. Такая стратегия отражена на рис. 2. Очевидно, что при этом должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j.$$

Исходя из того, что пропускная способность и затраты на передачу данных для каналов различны, важно найти такой план использования каналов, для которого суммарные затраты на передачу данных будут минимальны.

Введем обозначения:  $x_{ij}$  — объем данных, передаваемых от  $j$ -й МС в ЦСД по  $i$ -му каналу;  $c_{ij}$  — це-

на за единицу времени использования  $i$ -го канала для передачи данных от  $j$ -й МС. Здесь принимается, что величина  $c_{ij}$  зависит не только от типа канала, но и от места расположения (удаления) МС относительно ЦСД;  $\varphi_i$  – пропускная способность  $i$ -го канала (число единиц объема данных в единицу времени);  $T$  – предельно допустимое время передачи данных между МС и ЦСД.

В принятых обозначениях задача поиска оптимального плана использования каналов имеет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (1/\varphi_i) c_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = 1, 2, \dots, m; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

В случае, если в ЦСД ограничивается время работы канала, то наряду с (2) должно выполняться условие:

$$(1/\varphi_i) \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq T, i = 1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

Если канал  $K_i$  в ЦСД может принимать данные от нескольких МС одновременно, то должно выполняться условие:

$$\max_j \{x_{ij}/\varphi_i\} \leq T, i = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Аналогично, одновременная работа каналов при передаче данных от МС предполагает выполнение условия:

$$\max_i \{x_{ij}/\varphi_i\} \leq T, j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Стратегия параллельной или последовательной работы каналов как со стороны ЦСД, так и МС, как правило, устанавливается регламентом работы сети. Величины  $a_i$  и  $b_j$  также могут быть заранее согласованы с ограничениями на время  $T$  с учетом условий (4)–(6). Поэтому поиск оптимального плана использования каналов сводится к решению задачи (1)–(3), которая относится к классу задач математического программирования транспортного типа. Имеются эффективные алгоритмы решения данной задачи, например, метод потенциалов или венгерский алгоритм [3].

#### Многоканальный вариант задачи

Изложенная выше постановка задачи нахождения оптимального плана использования каналов может рассматриваться в качестве базового варианта. В связи с этим интерес представляет возможность учета некоторых особенностей организации регламента работы сети. Результат решения задачи в постановке (1)–(3) не исключает возможности использования всех доступных для МС каналов. Это означает, что в общем случае величина  $b_j$  может распределиться по многим каналам. Если число ка-

налов для каждой  $j$ -й МС должно быть ограничено величиной  $q_j$ , что диктуется экономическими соображениями, так как при этом снижаются затраты на сетевое оборудование МС, то постановка задачи существенно меняется. Данное требование можно учесть путем введения дополнительной булевой переменной  $y_{ij}=1$ , если канал  $K_i$  для  $j$ -й МС используется, то есть  $x_{ij}>0$ , и  $y_{ij}=0$ , если по каналу  $K_i$  из  $j$ -й МС данные не передаются. В этом случае выражение (3) заменяется на выражение

$$\sum_{i=1}^m y_{ij} x_{ij} = b_j, j = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Ограничение на число используемых каналов запишется в виде:

$$\sum_{i=1}^m y_{ij} \leq q_j, j = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

Задача (1), (2), (7), (8) является нелинейной, что значительно усложняет ее решение. Вместе с тем, нелинейность в выражении (7) имеет такой вид, который позволяет разработать приемлемое эвристическое правило для решения данной задачи, оставаясь при этом в классе задач транспортного типа. Вопросы разработки такого правила в данной статье не рассматриваются.

#### Одноканальный вариант задачи

Выше отмечалось, что в большинстве случаев МС работают, используя два канала, то есть  $q_j=2$ . При этом передача данных осуществляется по одному (основному) каналу, а второй канал используется в качестве резервного. В этом случае задача получения оптимального плана использования каналов значительно упрощается, т. к. для каждой МС выбирается по одному каналу,  $q_j=1$ . При такой схеме организации передач данных каждый канал  $K_i$  в ЦСД принимает данные  $b_j$  от нескольких МС. Таким образом, задача сводится к распределению совокупности МС по каналам  $K_i$ . Ресурс  $a_i^*$  в этом случае измеряется числом МС, от которых канал  $K_i$  способен принять данные за установленное время  $T$ .

Недостаток такой схемы организации передач данных заключается в том, что не учитываются различия в объемах  $b_j$ . Предполагается, что эти различия невелики и при необходимости могут быть учтены в процессе назначения ресурса  $a_i^*$  для канала  $K_i$ . Например, если величина  $a_i^*$  принимается равной трем, то это должно означать, что канал  $K_i$  способен за время  $T$  принять данные от трех МС, имеющих наибольшие значения  $b_j$ .

В этих условиях величина  $c_{ij}^*$  обозначает затраты на передачу данных в объеме  $b_j$  из  $j$ -й МС в ЦСД по каналу  $K_i$ . Определение  $c_{ij}^*$  производится в зависимости от объема  $b_j$ , пропускной способности канала  $K_i$  и стоимости  $c_{ij}$  использования канала за единицу времени, т. е.  $c_{ij}^* = c_{ij} b_j / \varphi_i$ . Переменная  $x_{ij}^*$  в данном случае принимает булевские значения:  $x_{ij}^*=1$ , если  $j$ -я МС передает данные в ЦСД по каналу  $K_i$ ,  $x_{ij}^*=0$ , в противном случае.

Для принятых обозначений задача получения оптимального плана использования каналов запишется в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}^* x_{ij}^* \Rightarrow \min; \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^* = a_i^*, i = 1, 2, \dots, m; \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^* = 1, j = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Задача (9)–(11) по классификации в большей степени приближается к задаче о назначении, чем к задаче транспортного типа. Для ее решения может быть использован один из известных алгоритмов [3], однако исходя из специфики задачи и ее размерности, предпочтение можно отдать алгоритму [4].

#### Экспериментальные исследования одноканального варианта задачи

Пример для задачи (9)–(11) размерностью  $m=6$  и  $n=15$  представлен в табл. 1, которая содержит значения затрат  $c_{ij}^*$  для доступных каналов. В тех случаях, когда МС не может воспользоваться каким-либо из каналов, например, на территории, где установлена МС, отсутствует сотовая связь, то в соответствующий элемент таблицы вместо величины  $c_{ij}^*$  записывается символ (\*). При решении задачи символ (\*) для удобства заменяется на большее число, например, на порядок больше максимального значения  $c_{ij}^*$ .

Таблица 1. План использования основных каналов

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	$a_i^*$
1	32	41	32	*	54	41	54	48	32	*	32	48	48	32	41	2
2	*	*	40	52	68	52	68	*	40	68	40	*	60	*	52	3
3	46	60	*	60	78	60	78	69	46	78	46	69	*	46	60	3
4	*	*	36	47	61	47	61	*	36	61	36	*	54	*	47	2
5	58	75	*	75	98	*	98	82	58	98	*	82	*	58	75	3
6	42	54	42	54	71	54	71	63	42	71	42	63	63	42	54	2

Справа от табл. 1 указаны величины  $a_i^*$ . При назначении канального ресурса  $a_i^*$  должно соблюдаться условие  $\sum_{i=1}^m a_i^* = n$ , т. е. сумма ресурсов каналов в ЦСД должна быть равна числу МС. Величины затрат  $c_{ij}^*$  могут определяться не только в зависимости от объемов передаваемых данных, но и включать затраты на каналообразующее оборудование, устанавливаемое на МС и ЦСД, на его обслуживание, обеспечение требуемой надежности. Результат решения задачи для рассматриваемого примера в табл. 1 выделен штриховкой соответствующих элементов  $c_{ij}^*$ . Для каждой МС выбрано по одному (основному) каналу и минимальная сумма затрат (сумма заштрихованных элементов) составила 833 единицы. Решение задачи выполнено с помощью алгоритма, изложенного в [4].

Ранее отмечалось, что для повышения надежности на МС, как правило, устанавливается оборудо-

дование для резервного (вторичного) канала. Выбор вторичного канала для каждой МС может осуществляться пользователем на основе решения, полученного при выборе основного (первичного) канала (табл. 1). Очевидно, что в качестве вторичного будет выбираться канал с минимальным  $c_{ij}^*$ . Однако при таком выборе не учитываются ресурсы  $a_i^*$ , и следовательно самый дешевый канал выберется наибольшее число раз. Если в ходе эксплуатации сети несколько МС в одно время будут работать на одном и том же вторичном канале, то по данному каналу в ЦСД может произойти недопустимая задержка в приеме данных от МС. Исключить такую ситуацию возможно, если выбор вторичных каналов осуществлять пропорционально значениям величин  $a_i^*$ , что обеспечит более равномерную загрузку каналов. С этой целью предлагается повторно решить задачу (9)–(11), исключив при этом возможность выбора каналов, которые ранее вошли в состав первичных. Для этого в табл. 1 элементы  $c_{ij}^*$ , выделенные как первичные каналы, заменяются на символ (\*).

Результат повторного решения задачи (9)–(11) по выбору вторичных каналов представлен в табл. 2. Элементы  $c_{ij}^*$ , соответствующие выбранным каналам, в табл. 2 заштрихованы. Минимальные суммарные затраты при работе на вторичных каналах составили 849 единиц.

Таблица 2. План использования вторичных каналов

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	$a_i^*$
1	32	41	32	*	*	41	54	*	32	*	32	48	48	32	41	2
2	*	*	*	*	68	52	68	*	40	68	40	*	*	*	52	3
3	46	*	*	60	78	*	78	69	46	78	*	69	*	46	60	3
4	*	*	36	47	61	47	*	*	36	*	36	*	54	*	47	2
5	*	75	*	75	98	*	98	82	*	98	*	82	*	*	75	3
6	42	54	42	54	71	54	71	63	42	71	42	*	63	42	*	2

Возможна ситуация, когда некоторый канал  $K_i$  (или совокупность каналов) нецелесообразно выбирать в качестве вторичных. В этом случае строка, соответствующая каналу  $K_i$ , исключается из табл. 2. Исключаемый при этом ресурс  $a_i^*$  необходимо перераспределить между оставшимися каналами, иначе задача (9)–(11) окажется несовместной.

Заметим также, что задачи выбора первичных и вторичных каналов можно объединить и решить совместно. Для этого выражения (10), (11) нужно заменить на следующие:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^* = 2a_i^*, i = 1, 2, \dots, m; \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^* = 2, j = 1, 2, \dots, n. \quad (13)$$

В результате решения задачи (9), (12), (13) для каждой МС выбирается по 2 канала, один из которых принимается основным, а другой резервным. При этом как для совокупности основных каналов, так и резервных должно соблюдаться условие (10).

Очевидно, что выбранная таким образом совокупность основных каналов по значению целевой функции (9) не может быть лучше плана, приведенного в табл. 1, т. е. меньше 833 единицы. В то же время совместный план, полученный при решении задачи (9), (12), (13), может оказаться лучше, чем при последовательном решении задачи (9)–(11), т. е. меньше суммы  $(833+849)=1682$  единицы. Из этого не следует, что использование совместного плана более эффективно. Резервный канал включается в работу лишь при отсутствии подтверждения о доставке данных в ЦСД по основному каналу. Получается, что основные каналы по времени используются существенно больше, чем резервные. Поэтому для рассматриваемого примера работа основных каналов с затратами 833 единицы и эпизодические переходы на резервные каналы с затратами 849 единиц в целом оказывается более эффективной. Проведенные эксперименты также подтвердили предпочтительность последовательного выбора основных и резервных каналов.

#### Заключение

Анализ предметной области и условий организации работы сети выявил три существенно отлич-

чающихся друг от друга варианта постановки задачи оптимизации использования каналов связи: базовый вариант в форме классической транспортной задачи, вариант с ограничением на число используемых каналов (многоканальный вариант) и одноканальный вариант с возможностью подключения резервного канала.

Предложенные постановки данных задач для практического применения в рассматриваемой предметной области имеют небольшую размерность и эффективные алгоритмы решения. Это в первую очередь относится к транспортной задаче (базовый вариант) и задаче о назначении (одноканальный вариант). Решение нелинейной задачи для многоканального варианта можно заменить на многократное решение задачи в базовом варианте. При этом, если после очередного решения ограничение на число используемых каналов у какой либо из МС не выполняется, то для нее корректируются условия задачи и осуществляется переход к получению нового решения.

Экспериментальные исследования одноканального варианта задачи по применению стратегии последовательного и совместного выбора основных и резервных каналов показали предпочтительность последовательной стратегии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багдасарова Е.П. Применение современных технологий сбора данных с наблюдательной сети // Метеоспектроскопия. – 2005. – № 2. – С. 89–93.
2. Сонькин М.А., Слядников Е.Е. Об одном подходе к оптимизации функционирования многоканальных систем передачи данных для труднодоступных объектов // Вычислительные технологии. – 2007. – Т. 12. Спецвыпуск. – С. 17–22.
3. Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. Новые направления в линейном программировании. – М.: Советское радио, 1966. – 524 с.
4. Погребной В.К. Матричный алгоритм решения задачи разрезания графов // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 310. – № 5. – С. 91–96.

*Поступила 27.06.2008 г.*