

## ВЫБОР КАНАЛОВ СВЯЗИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОТРАСЛЕВОЙ АСНТИ

М. Ш. Левин, Д. Б. Магидсон

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Для эффективного функционирования всех отраслей народного хозяйства необходимо полное и своевременное информационное обеспечение специалистов на всех уровнях (министерство, предприятие, организация). В рамках разрабатываемой Государственной автоматизированной системы научно-технической информации (ГАСНТИ) создаются отраслевые автоматизированные системы (АСНТИ) [1]. АСНТИ имеют иерархическую структуру, в которую входят центральный орган, базовые организации и службы НТИ предприятий и организаций [2].

Автоматизация информационных процессов, широкое применение средств вычислительной техники на всех уровнях привели к созданию распределенных автоматизированных банков данных по НТИ. При этом эффективность использования информационных ресурсов, оперативность доступа к источникам информации в значительной степени зависит от взаимодействия автоматизированных банков данных, появления разветвленной сети пользователей этих банков.

Наиболее современным решением проблемы, о которой говорилось выше, является создание информационно-вычислительной сети на базе отраслевой АСНТИ.

Информационно-вычислительная сеть должна обеспечить удаленный доступ пользователей локальной базы к ресурсам других (центральных и локальных баз) по каналам электрической связи.

Сеть АСНТИ обычно проектируется в такой последовательности:

- на первом этапе организуется обмен информацией между центром и базовыми организациями;
- на втором этапе ведется обмен информацией между базовыми организациями.

Последний этап связан с выполнением целевых комплексных программ в отрасли. В таких программах, как правило, участвует несколько подотраслей.

Одним из возможных вариантов архитектуры подобной сети является архитектура терминального комплекса [3]. При этом ЭВМ, на которых ведутся локальные базы, эмулируются\* под терминалы центральной ЭВМ. В свою очередь, локальные ЭВМ поддерживают свои собственные терминальные сети. Таким образом, мы имеем дело с радиальной (или звездной) конфигурацией сети. Как правило, такая конфигурация предполагает взаимодействие локальных систем с центральной ЭВМ. Требование к взаимодействию локальных систем между собой, в рамках указанной конфигурации, предполагает различные варианты связи. Использовать центральный орган в качестве коммутатора нецелесообразно, так как это затруднит выполнение им основной

\* Эмуляция — процесс использования аппаратных средств или программ, позволяющий одной ЭВМ (или терминалу) выступать в роли другой ЭВМ (или терминала) [3, с. 272].

функции по взаимодействию с локальными системами. Другим решением проблемы является организация связи между локальными системами вне центра. Но так как количество локальных систем может колебаться от двух до трех десятков, а число входов в эти системы ограничено, возникает задача выбора рационального варианта связи. В рамках этой задачи необходимо выбрать типы и количество каналов связи, протоколов связи, модемов, адаптеров и мультиплексоров передачи данных при ограничении на затраты.

Для передачи информации по каналам электрической связи могут использоваться [4]:

- выделенные или коммутируемые каналы телефонной сети общего пользования (ТФ-ОП);
- коммутируемые каналы сети абонентского телеграфа (АТ-50);
- коммутируемые каналы сети передачи данных (ПД-200).

Сеть АТ-50 широко разветвлена. Практически во всех организациях имеется телетайп Т-63. Основные недостатки сети — низкая скорость и достоверность передачи данных. Сеть ПД-200, специально созданная Министерством связи СССР, — сеть передачи данных. Ее недостатки — относительно низкая скорость передачи (до 200 Бод) и использование в качестве оконечного оборудования дорогостоящей импортной аппаратуры (абонентский пункт ТАП-34, мультиплексор передачи данных ЕС 8310 — производство ВНР). Еще одним недостатком сети ПД-200 следует считать отсутствие средств стыковки (мультиплексоров или адаптеров) с семейством малых ЭВМ (ОМ ЭВМ).

Наиболее развитой сетью связи в СССР является сеть ТФ-ОП. К достоинству сети следует отнести и возможность передачи информации со значительно более высокой скоростью, чем по сетям АТ-50 и ПД-200. Установка новых электронных и квазиэлектронных АТС, прокладка радиорелейных, кабельных и спутниковых линий связи позволяет говорить о повышении качества передачи информации по сети ТФ-ОП [5].

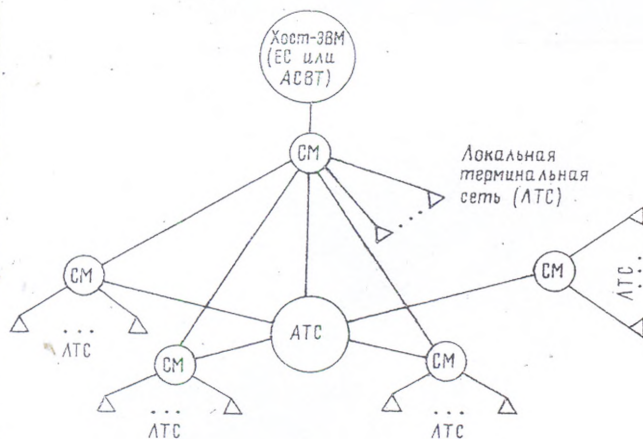
Таким образом, для межмашинного обмена информацией по существующим сетям с коммутацией каналов целесообразно использовать коммутируемые и выделенные каналы сети ТФ-ОП.

### 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основные базы данных отраслевой АСНТИ ведутся на центральной ЭВМ. В качестве последней используется ЕС ЭВМ или ЭВМ АСВТ. Для обеспечения удаленного доступа к центральной ЭВМ создается подсистема теледоступа, которая базируется на использовании мини-ЭВМ (серии СМ) в качестве связанного процессора, поддерживающего терминальную сеть. Для повышения

надежности системы указанная связная ЭВМ дублируется аналогичной резервной.

В терминальной сети обычно представлены как терминалы, так и мини-ЭВМ (серии СМ), эмулированные под терминалы, взаимодействующие с центральной ЭВМ. Появление таких мини-ЭВМ связано с созданием локальных подотраслевых банков данных в базовых организациях АС НТИ. В свою очередь, каждая подотраслевая мини-ЭВМ имеет собственную сеть удаленных абонентов (локальную терминальную сеть). Структура отраслевой информационно-вычислительной сети АСНТИ представлена на рисунке. Число базовых организаций АС НТИ (т. е. локальных терминальных сетей) достигает нескольких десятков. В основном базовые организации АС НТИ находятся в нескольких крупных городах (Москва, Киев и др.). Для повышения эффективности функционирования информационно-вычислительных сетей целесообразно связывать некоторые локальные терминальные сети между собой напрямую, а не через центр. Такая связь может осуществляться через выделенные или коммутируемые телефонные линии связи. Характеристики связи для коммутируемых линий хуже, но эти линии дешевле в эксплуатации. Очевидно, что в первую очередь следует соединять выделенными каналами те базовые организации, которые часто обращаются друг к другу за информацией, рассматривая при этом ограничения по затратам на аренду канала.



Рассмотрим затраты, необходимые для организации связи в полудуплексном режиме для выделенного телефонного канала. В пределах одного города они составляют примерно 1 тыс. руб. в год (включая проектные и эксплуатационные расходы). При организации связи между базовыми организациями АСНТИ, расположенными в разных городах, расходы выше, как минимум, на порядок. Например, стоимость аренды выделенной линии (двухпроводной) между Москвой и Киевом составляет около 50 тыс. руб. в год. Следует отметить, что, как правило, не менее половины связей между базовыми организациями НТИ приходится на местную (внутригородскую) телефонную сеть. Это связано с тем, что многие базовые организации по НТИ расположены в одном промышленном центре.

В случае коммутируемых линий связи ухудшаются временные характеристики (время коммутации). Затраты на связь в течение года между локальными банками данных можно определять как произведение параметра, характеризующего трафик между ними, на средние расходы по организации одного сеанса связи. Ограничение на общие затраты по аренде каналов связи, по оплате работы на коммутируемых каналах связи в

рамках отраслевой АС НТИ могут колебаться в значительных пределах.

Рассмотрим временные характеристики вариантов связи. Среднее время задержки при организации связи для выделенного канала равно нулю, для коммутируемого канала может достигать нескольких минут.

Задача проектирования сети передачи информации в АСНТИ рассматривается как выбор вариантов соединений, при ограничении на общие затраты, для минимизации среднего времени задержки. Решение этой задачи необходимо как на этапе организации связи между центральным органом и локальными банками данных, так и на этапе организации связи между локальными банками. Следует отметить, что в последнем случае вариант связи между локальными банками через центр следует рассматривать как резервный, аварийный, так как он может привести к значительным и труднооцениваемым задержкам в работе всей информационно-вычислительной сети (например, абоненты соответствующих локальных терминальных сетей могут не выйти к базе данных центральной ЭВМ).

### 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Введем следующие обозначения:

$i$  — номер базовой организации или локальной терминальной сети ( $i = \overline{1, N}$ );

$k$  — индекс варианта связи;

$k = \begin{cases} 1 & \text{— при полудуплексном режиме и выделенном канале связи;} \\ 2 & \text{— при полудуплексном режиме и коммутируемом канале связи;} \end{cases}$

$x_{ij}^k$  — булева переменная;

$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{если для связи } i\text{-й и } j\text{-й терминальных сетей выбран вариант } k, \\ 0 & \text{— в противном случае, } i = j; \end{cases}$

$z_{ij}^k$  — затраты на организацию  $k$ -го варианта связи между  $i$ -й и  $j$ -й терминальными сетями;

$Z$  — ограничение на общие затраты по организации связи между терминальными сетями;

$t_{ij}^k$  — среднее время задержки при реализации  $k$ -го варианта связи между  $i$ -й и  $j$ -й терминальными сетями с учетом занятости линии связи;

$a_{ij}$  — параметр, характеризующий суммарный трафик (число обращений абонентов  $i$ -й терминальной сети к банкам данных  $j$ -й базовой организации и наоборот).

Из содержательной постановки задачи следует, что для любых  $k, i, j$  верны следующие соотношения:

$$x_{ij}^k = x_{ji}^k$$

$$z_{ij}^k = z_{ji}^k$$

$$t_{ij}^k = t_{ji}^k$$

Рассмотрим задачу выбора вариантов связи между локальными терминальными сетями (задача 1).

Ограничение на общие затраты, необходимые для организации связи, имеет следующий вид:

$$\sum_{i < j} \sum_{k=1}^2 x_{ij}^k z_{ij}^k \leq Z, \quad (1)$$

учитывая равенство

$$\sum_{k=1}^2 x_{ij}^k = 1, \quad \forall i, j. \quad (2)$$



Пусть  $b_{ij}^2$  — затраты, необходимые для организации одного сеанса связи через коммутируемую линию между  $i$ -й и  $j$ -й терминальными сетями в полудуплексном режиме. Тогда

$$z_{ij}^2 = a_{ij}b_{ij}^2 + c,$$

где  $c$  — постоянные годовые затраты в первый год эксплуатации (1130 руб.),

$$b_{ij}^2 = \tau p_{ij}.$$

Здесь  $\tau$  — средняя длительность передачи одного запроса;  $p_{ij}$  — тарифная плата за использование одной минуты коммутируемой линии связи.

В качестве критерия рассмотрим среднее время задержки при установлении связи (коэффициент  $2/N(N-1)$  можно не учитывать):

$$\sum_{i < j} a_{ij} \sum_{k=1}^2 x_{ij}^k t_{ij}^k \rightarrow \min. \quad (3)$$

Таким образом, имеем формальную постановку задачи выбора вариантов связи между локальными терминальными сетями [2], [3], представляющую собой блочную задачу «о рюкзаке», которая относится к классу универсальных переборных проблем [6].

Задача выбора вариантов связи базовых организаций НТИ с центром (задача II) имеет аналогичный вид. Обозначим через 0 номер центральной ЭВМ, через  $Z^0$  — ограничение на общие затраты по организации связи в этом случае, а обозначения  $x_i^k$ ,  $z_i^k$ ,  $t_i$ ,  $a_i$  введены аналогично, как и в задаче I:

$$\sum_{i=1}^N a_i \sum_{k=1}^2 x_i^k t_i^k \rightarrow \min \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^2 x_i^k z_i^k \leq Z^0, \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^2 x_i^k = 1, \quad \forall i. \quad (6)$$

#### 4. МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ

Размерность задачи I составляет несколько сотен (число связей между локальными терминальными сетями равно  $N(N-1)/2$ , при  $N=30$  число связей — 435). Данную задачу с учетом ее размерности целесообразно решать с-приближенным алгоритмом [6]. В задаче II размерность имеет порядок нескольких десятков, и в этом случае может быть эффективно использован, например, метод динамического программирования. Следует отметить, что учет специфики задачи, соотношений исходных данных может позволить значительно упростить ее решение. Например, если затраты на коммутируемый канал связи могут превышать затраты на выделенный канал, естественнее остановиться на последнем варианте. Это фактически снижает размерность задачи. Кроме того, можно рассмотреть подход к решению, основанный на декомпозиции и использовании greedy-алгоритмов [7]. Приведем простейший вариант подобного алгоритма. Пусть  $R$  — множество базовых организаций.

Шаг 1. Учитываются директивно задаваемые варианты реализации связи и корректируются исходные данные модели (размерность, ограничения на общие затраты).

Шаг 2. Анализируются исходные данные задачи. Если для некоторой пары,  $i, j$ ,  $a_{ij}b_{ij}^2 \geq z_{ij}^1$ , то определим  $x_{ij}^2 = 0$ .

Шаг 3. Множество пар  $(i, j)$  разбивается на три группы с большой, средней и малой величинами параметра  $a_{ij}$ , характеризующего трафик (можно использовать разбиение и на большее число классов). Далее задача решается для этих групп, начиная с группы пар, имеющей большую величину параметра, характеризующего трафик.

Шаг 4. Начиная с элементов группы, имеющей большой трафик, приписываем всем  $x_{ij}^1$  значение 1.

Если при этом затраты

$$Z(R, X) = \sum_{i, j \in R} \sum_{k=1}^2 x_{ij}^k z_{ij}^k,$$

где  $X$  — полученная матрица решений — превышает  $Z$ , то переходим к шагу 5.

Шаг 5. Начиная с пар  $(i, j)$ , имеющих наименьший трафик, для которых  $z_{ij}^k$  максимальны, переходим от выделенного канала к коммутируемому, пока не выполнится условие  $Z(R, X) \leq Z$ .

Шаг 6. Начиная с пар  $(i, j)$ , имеющих наибольший трафик и наименьший  $z_{ij}^k$ , для которых выбран коммутируемый канал, осуществляем, пока это возможно (допускают затраты), переход к выделенному каналу.

#### 5. ПРИМЕР

Приведем пример решения задачи II с помощью рассмотренного в предыдущем разделе алгоритма. Пусть имеется 15 базовых организаций НТИ (их характеристики сведены в табл. 1) и центр (расположенный в Москве).

Таблица 1

| Номер базовой организации | Адрес базовой организации | $a_i$ | $b_i$<br>(руб.) | $z_i^k$         |                 | $t_i^k$         |                 |
|---------------------------|---------------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                           |                           |       |                 | $k=1$<br>(руб.) | $k=2$<br>(руб.) | $k=1$<br>(мин.) | $k=2$<br>(мин.) |
| 1                         | Москва                    | 5000  | —               | 1400            | 1130            | 0               | 1,95            |
| 2                         | »                         | 4000  | —               | 1400            | 1130            | 0               | 1,95            |
| 3                         | »                         | 3000  | —               | 1400            | 1130            | 0               | 1,95            |
| 4                         | »                         | 2000  | —               | 1400            | 1130            | 0               | 1,95            |
| 5                         | »                         | 1000  | —               | 1400            | 1130            | 0               | 1,95            |
| 6                         | »                         | 500   | —               | 1400            | 1130            | 0               | 1,95            |
| 7                         | »                         | 1000  | —               | 1400            | 1130            | 0               | 1,95            |
| 8                         | »                         | 1000  | —               | 1400            | 1130            | 0               | 1,95            |
| 9                         | »                         | 2000  | —               | 1400            | 1130            | 0               | 1,95            |
| 10                        | Ленинград                 | 5000  | 2,70            | 40000           | 14630           | 0               | 3,30            |
| 11                        | »                         | 2000  | 2,70            | 40000           | 6830            | 0               | 3,30            |
| 12                        | »                         | 1000  | 2,70            | 40000           | 3830            | 0               | 3,30            |
| 13                        | Киев                      | 5000  | 4,5             | 60000           | 23630           | 0               | 3,30            |
| 14                        | »                         | 1000  | 4,5             | 60000           | 5630            | 0               | 3,30            |
| 15                        | »                         | 500   | 4,5             | 60000           | 3380            | 0               | 3,30            |

Предполагаем, что длительность передачи одного запроса ограничивается девятью минутами в соответствии с «Положением об условиях использования коммутируемой телефонной сети для передачи данных»; при связи между Москвой и Ленинградом  $p_{ij}=0,30$  руб., а при связи между Москвой и Киевом  $p_{ij}=0,50$  руб. (с учетом повышенного коэффициента 2.0 за пользование каналом междугородной телефонной связи для передачи данных).

Среднее время задержки при коммутируемом канале связи можно определять следующим образом:

$$t_{ij}^2 = \mu(t_{ij}' + t_{ij}''),$$

где  $\mu$  — среднее число попыток установления соединения (принимая равным трем);  $t_{ij}'$  — время набора номера абонента (когда абонент находится в Москве) зададим  $t_{ij}' = 0,25$  мин., что соответствует набору семи цифр, а при автоматической междугородней связи — 0,6 мин., что соответствует набору 17 цифр);  $t_{ij}''$  — время установления соединения (для московской телефонной сети — 0,4 мин., а для междугородней сети — 0,5 мин.).

Пусть для базовых организаций 1, 2, 10, 13 директивно определены выделенные каналы, а для организаций 6 и 15 — коммутируемые. Общие ограничения на затраты, необходимые для связи, заданы в размере 150 тыс. руб. Исходные данные для расчета носят условный характер, но их порядок соответствует значениям в реальных системах.

Рассмотрим решение.

Шаг 1. В результате корректировки исходных данных множество базовых организаций имеет вид  $R = \{3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 14\}$  и общее ограничение на затраты — 42 690 руб.

Шаг 2. Для всех  $i$   $z_i^1 > a_i b_i^2$ .

Шаг 3. Разбиваем множество  $R$  на группы:  $R_1 = \{3\}$ ,  $R_2 = \{4, 9, 11\}$ ,  $R_3 = \{5, 7, 8, 12, 14\}$ .

Шаг 4. Выбираем для всех элементов множества  $R$  выделенные каналы, при этом  $Z(R, X) < 42 690$  руб. Переходим к шагу 5.

Шаг 5. Переходим от выделенного канала к коммутируемому. Начиная с организаций, имеющих наименьший трафик и наибольшее значение  $z_i^1$ , переходим от выделенного канала к коммутируемому. Для организаций 14, 12, 8, 7, 5, 11 последовательно переходим к коммутируемому каналу. Получаем  $Z(R, X) = 22 180$  руб. Неизрасходованные ресурсы равны 20 510 руб. Переходим к шагу 6.

Шаг 6. Для организаций 5, 7, 8 переходим от коммутируемых каналов к выделенным.

Затраты на связь и время задержки приведены в табл. 2. Общие затраты, необходимые для связи, составляют 131 700 руб., среднее время задержки — 0,46 мин.

Рассмотренная эвристическая процедура в настоящее время реализована для мини-ЭВМ СМ-4 в виде программы на языке Фортран. (Расчет одного варианта — не менее двух минут).

Таблица 2

| Номер организации | Тип канала связи | Затраты на связь (руб.) | Среднее время задержки при проведении сеанса связи (мин.) |
|-------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1                 | выдел.           | 1400                    | 0                                                         |
| 2                 | »                | 1400                    | 0                                                         |
| 3                 | »                | 1400                    | 0                                                         |
| 4                 | »                | 1400                    | 0                                                         |
| 5                 | »                | 1400                    | 0                                                         |
| 6                 | комм.            | 1130                    | 1,95                                                      |
| 7                 | выдел.           | 1400                    | 0                                                         |
| 8                 | »                | 1400                    | 0                                                         |
| 9                 | »                | 1400                    | 0                                                         |
| 10                | »                | 40000                   | 0                                                         |
| 11                | комм.            | 6530                    | 3,30                                                      |
| 12                | »                | 3830                    | 3,30                                                      |
| 13                | выдел.           | 60000                   | 0                                                         |
| 14                | комм.            | 5630                    | 3,30                                                      |
| 15                | »                | 3380                    | 3,30                                                      |

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аганин Б. Ф., Гусев О. С., Туртанов Н. В. Состояние и основные направления работ по созданию ГАСНТИ. — В кн.: Проблемы повышения эффективности и качества функционирования АСНТИ: Тез. докл. XIV Всесоюз. науч. семинара «Системные исследования ГАСНТИ», Кишинев, 1983, ч. I с. 7—12.
2. Воронов Б. А., Гольдман В. М. Автоматизированная система научно-технической информации отрасли связи. — Электросвязь, 1980, № 7, с. 34—36.
3. Якубайтис Э. А. Архитектура вычислительных сетей. — М.: Статистика, 1980. — 279 с.
4. Белоногов Г. Г., Кузнецов Б. А. Языковые средства автоматизированных информационных систем. — М.: Наука, 1983. — 283 с.
5. Шварцман В. О. Передача данных по сетям связи с коммутацией каналов. — Электросвязь, 1982, № 10, с. 19—25.
6. Левнер Е. В., Генс Г. В. Задачи дискретной оптимизации и комбинаторные алгоритмы. — М., 1980. — 55 с. (Препринт/ЦЭМИ АН СССР).
7. Современное состояние теории исследования операций. — М.: Наука, 1979. — 464 с.

Статья поступила в редакцию 28 мая 1984 г.