

УДК 681.324

В.Д. Гогунский, д-р техн. наук, проф.,
С.А. Нестеренко, канд. техн. наук, доц.,
 Одес. нац. политехн. ун-т

СИНТЕЗ МАГИСТРАЛИ КОРПОРАТИВНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ АСУ ПРЕДПРИЯТИЯ

В.Д. Гогунський, С.А. Нестеренко. Синтез магістралі корпоративної обчислювальної мережі АСУ підприємства. Розглянуто метод синтезу магістралі корпоративної обчислювальної мережі АСУ підприємства. Наведено аналітичні моделі, що дозволяють розраховувати ймовірнісні характеристики функціонування магістралі підприємства. Розглянуто задачі оптимізації алгоритмічної структури магістралі.

V.D. Gogunskiy, S.A. Nesterenko. Corporate computer network backbone synthesis for a MIS of the enterprise. The method of synthesizing the backbone for a MIS corporate computer network of an enterprise is considered. The analytical models allowing to calculate the backbone operation stochastic characteristics are given. The tasks of optimizing the algorithmic structure of the backbone are considered.

Корпоративная вычислительная сеть (КВС) АСУ предприятия реализуется в виде иерархической структуры, на нижнем уровне которой находятся сети различных подразделений организации, объединяемых на верхнем уровне скоростной магистралью (backbone) [1]. Магистраль строится на базе оптических линий связи с использованием коммутаторов 3-го уровня, работающих по скоростной технологии класса Gigabit Ethernet. Высокая стоимость коммуникационных устройств и оптических кабелей определяет повышенные требования к качеству проектирования корпоративной магистралі, структура которой во многом определяет производительность КВС АСУ в целом. Отсутствие формальных методов синтеза магистралі данного уровня существенно затрудняет получение оптимальных проектных решений при создании корпоративных сетей АСУ различного функционального назначения [1].

Для синтеза структуры магистралі, оптимальной по критерию “производительность / стоимость”, разработаны соответствующие модели и методы синтеза.

Задача проектирования магистралі формулируется как задача математического программирования, в соответствии с которой при заданном векторе нагрузки абонентов сети D на множестве допустимых структур магистралі $S^{доп}$ необходимо синтезировать структуру $S \in S^{доп}$, обеспечивающую минимальное значение целевой функции

$$W = C_M / \Lambda_M \rightarrow \min, \quad (1)$$

при выполнении ограничений

$$D \leq \Lambda_M, F_{П} \leq F_{П}^{доп}, F_{С} \leq F_{С}^{доп}, \quad (2)$$

где C_M — общая стоимость магистрали,

Λ_M — пропускная способность магистрали,

F_C — вектор системных характеристик,

F_{Π} — вектор пользовательских характеристик.

Параметры структуры магистрали S могут быть представлены в виде независимых целочисленных переменных:

X_{1i} — количество концентраторов сети i -го типа;

X_{2i} — количество входов концентратора i -го типа;

X_{3i} — количество коммутаторов сети i -го типа;

X_{4i} — количество входов коммутатора i -го типа;

X_5 — общая длина линий связи сети.

Общая стоимость магистрали запишется в виде

$$C_M = \sum_{i=1}^{R_1} X_{1i} X_{2i} C_{K_{\Pi i}} + \sum_{j=1}^{R_2} X_{3j} X_{4j} C_{K_{Mj}} + X_5 C_{\text{ЛС}},$$

где R_1 и R_2 — количество типов используемых в магистрали концентраторов и коммутаторов,

$C_{K_{\Pi i}}$ — стоимость одного порта концентратора i -го типа,

$C_{K_{Mj}}$ — стоимость одного порта коммутатора j -го типа,

$C_{\text{ЛС}}$ — стоимость одного метра линии связи.

В данной постановке задача синтеза магистрали является задачей дискретного программирования. Наиболее результативным способом решения задач данного класса является использование методов последовательного синтеза, позволяющих учитывать особенности проектируемого объекта [2].

В качестве ограничений на системные характеристики $F_C^{\text{ДОП}}$ (2) устанавливаются допустимые значения загрузок коллективно используемых компонентов магистрали: серверов — $U_C^{\text{ДОП}}$, моноканалов — $U_M^{\text{ДОП}}$ и внутренних шин коммуникационного оборудования — $U_{\text{Ш}}^{\text{ДОП}}$ для выполнения соотношений

$$U_{C_i} \leq U_{C_i}^{\text{ДОП}}, \quad i = \overline{1, K_1}, \quad U_{M_j} \leq U_{M_j}^{\text{ДОП}}, \quad j = \overline{1, K_2}, \quad U_{\text{Ш}_l} \leq U_{\text{Ш}_l}^{\text{ДОП}}, \quad l = \overline{1, K_3}, \quad (3)$$

где K_1, K_2, K_3 — соответственно количество серверов, моноканалов и внутренних шин коммуникационного оборудования, подключенных к магистрали.

В качестве ограничений на пользовательские характеристики $F_{\Pi}^{\text{ДОП}}$ (2) рассматриваются допустимые значения среднего времени выполнения сетевых транзакций $T_{\text{ТР}}^{\text{ДОП}}$. При синтезе систем реального времени и систем, использующих мультимедийный трафик, что характерно для современных АСУ, на времена транзакций $T_{\text{ТР}}$ накладываются более жесткие ограничения в виде допустимой вероятности $P^{\text{ДОП}}$ превышения $T_{\text{ТР}}$ своего допустимого значения $T_{\text{ТР}}^{\text{ДОП}}$ (процента времени транзакции)

$$P(T_{\text{ТР}_j} > T_{\text{ТР}_j}^{\text{ДОП}}) \leq P_j^{\text{ДОП}}, \quad j = \overline{1, B}, \quad T_{\text{ТР}_i} \leq T_{\text{ТР}_i}^{\text{ДОП}}, \quad i = \overline{1, S}, \quad (4)$$

где S — количество информационных транзакций в сети,

B — количество мультимедийных транзакций и транзакций реального времени.

В этом случае стоимость магистрали определяется по выражению $C_M = C_{КО} + C_{КТ}$, где $C_{КО}$ — стоимость коммуникационного оборудования, $C_{КТ}$ — стоимость кабельных линий. С учетом территориальной удаленности подразделений и трудоемкости прокладки кабельных трасс на значительные расстояния $C_{КО} \ll C_{КТ}$. С учетом данной особенности магистрали корпоративной сети разработан двухэтапный метод синтеза структуры магистрали S . На первом этапе синтезируется физическая структура S_Φ , на втором — выполняется оптимизация алгоритмической структуры S_A .

Задача синтеза оптимальной в смысле критерия (1) физической структуры магистрали S_Φ реализуется с использованием трехэтапной процедуры.

На первом этапе выполняется построение графа топологической структуры магистрали минимальной длины G_T^{\min} . В отличие от известных алгоритмов данного класса [2] разработан алгоритм синтеза, учитывающий ограничения на степень вершин графа E_B , что связано с наличием всего лишь двух магистральных портов в коммутаторах, т.е. $E_B = 2$.

На втором этапе с использованием метода поиска оптимального разбиения [2] граф G_T^{\min} разбивается на минимальное количество подграфов $G_{Ti} \subset G_T^{\min}$, для каждого из которых выполняются ограничения на системные F_C и пользовательские F_P характеристики (2).

На третьем этапе с использованием метода маршрутной оптимизации [3] выполняется процедура уменьшения пропускной способности, а, следовательно, и стоимости наименее загруженных каналов магистрали предприятия. Полученная в результате трехэтапной процедуры синтеза физическая структура S_Φ скоростной магистрали КВС является оптимальной в смысле критерия (1).

Расчет вероятностно-временных характеристик (ВВХ) функционирования магистрали (4) выполняется с использованием моделей теории массового обслуживания.

В общем случае магистраль предприятия представляется в виде неоднородной замкнутой сети массового обслуживания (ЗаСеМО) с M узлами типа FCFS, IS, PS [4], в которой циркулирует вектор N заявок K классов.

С использованием метода анализа средних значений (Mean Value Analysis — MVA) ВВХ функционирования ЗаСеМО [4] получены аналитические зависимости для вычисления величины загрузки m -го узла и времени транзакции заявки класса $k \in K$ через этот узел, соответственно

$$U_m = \sum_{k=1}^K \frac{L_{mk}(\bar{N} - \bar{q}_k)t_{mk}}{T_{TP_{mk}}},$$

$$T_{TP_{mk}} = \begin{cases} t_{mk} \left(1 + \sum_{k=1}^K L_{mk}(\bar{N} - \bar{q}_k) \right) & \text{для узлов типа FCFS и PS,} \\ t_{mk} & \text{для узлов IS,} \end{cases}$$

где t_{mk} — время обработки заявки k в узле m без учета времени ожидания начала обслуживания,

$L_{mk}(\bar{N} - \bar{\Theta}_k)$ — очередь заявок в узле m , из которой удалена одна заявка k -го типа.

Задача параметрической оптимизации алгоритмической структуры корпоративной магистрали формулируется следующим образом. При заданной алгоритмической структуре S_A и векторе вероятностей битовых ошибок во всех Q каналах магистрали $P_{Об} = (P_{Об_1}, P_{Об_2}, \dots, P_{Об_Q})$, определить оптимальные значения варьируемых параметров стеков протоколов: размер информационного кадра M^{OPT} и величину тайм-аута $T_{ТА}^{OPT}$, оптимизирующих вектор характеристик производительности магистрали корпоративной сети

$$F = F^{OPT}(M^{OPT}, T_{ТА}^{OPT}),$$

где $M^{OPT} = (M_1^{OPT}, M_2^{OPT}, \dots, M_N^{OPT})$ — вектор оптимальных размеров кадров, обеспечивающих минимальное значение времени транзакции,

$T_{ТА}^{OPT} = (T_{ТА_1}^{OPT}, T_{ТА_2}^{OPT}, \dots, T_{ТА_N}^{OPT})$ — вектор величин тайм-аутов абонентов, обеспечивающих минимальное время транзакций.

Для расчета оптимального размера кадра i -го абонента получено выражение [5]

$$M_i^{OPT} = \sqrt{H^2 + \frac{H}{8P_{Об_i}}} - S - H, \quad (5)$$

где S — суммарная величина заголовка и концефика информационного кадра абонента,

H — суммарная величина заголовка, концефика и межкадрового промежутка.

Время транзакции i -го абонента КВС по j -му каналу связи с учетом битовых ошибок и вероятности превышения временем транзакции величины тайм-аута можно представить в виде [5]

$$T_{ТР_i} = T_{ТР_i}^И + T_{ТА_i} \frac{(M + S)P_{Об_j}}{1 - (M + S)P_{Об_j}} + e^{-\left(\frac{T_{ТА_i}}{T_{ТР_i}^И}\right)}, \quad (6)$$

где $T_{ТР_i}^И$ — время транзакции i -го абонента при передаче в моноканале без помех,

Выражение (6) получено в предположении, что время транзакции $T_{ТР_i}$ распределено по экспоненциальному закону, что позволяет записать вероятность превышения временем транзакции i -го абонента величины тайм-аута в виде выражения

$$P_{П_i} = e^{-\left(\frac{T_{ТА_i}}{T_{ТР_i}^И}\right)}.$$

Оптимальное значение $T_{ТА_i}^{OPT}$, минимизирующее значение $T_{ТР_i}$, определяется с использованием метода золотого сечения для нахождения минимального значения выражения (6).

При использовании составного канала связи между абонентами КВС, содержащего в своем составе L моноканалов, результирующее значение $P_{П_i}^P$ определяется как свертка случайных величин, каждая из которых соответствует времени транзакции по i -му ($i = \overline{1, N}$) моноканалу. Аналитическое выражение, позволяющее рассчитывать результирующую вероятность, может быть представлено в виде

$$P_{\Pi_i}^P = 1 - \sum_{k=1}^L \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^L x_i}{\prod_{i=1, i \neq k}^L (x_k - x_i)} + \sum_{k=1}^L \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^L x_i}{\prod_{i=1, i \neq k}^L (x_k - x_i)} e^{-x_k T_{TA_i}},$$

где $x_i = [T_{TP_i}]^{-1}$ — интенсивность обслуживания транзакций в i -м моноканале.

Данные модели и методы синтеза реализованы в системе проектирования вычислительных сетей "OrLan" и позволяют получать оптимальные проектные решения при синтезе КВС АСУ различного функционального назначения [6]. Система имеет развитый графический интерфейс пользователя, базу данных сетевых устройств, библиотеку моделей массового обслуживания, что позволяет автоматизировать процесс синтеза сетей различной сложности от локальных сетей рабочих групп до корпоративных сетей АСУ крупными предприятиями.

Литература

1. Кульгин М. Технология корпоративных сетей. — СПб.: Питер, 2000. — 704 с.
2. Корячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические основы САПР. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 400 с.
3. Нестеренко С.А., Шапо В.Ф. Оптимизация алгоритмической структуры локальной вычислительной сети // Тез. докл. Всерос. науч.-техн. конф. "Прогрессив. технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении". — М., 2002. — С. 312 — 314.
4. Жожикашвили В.А., Вишневский В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. — М.: Радио и связь, 1988. — 280 с.
5. Нестеренко С.А., Проценко И.В., Шапо В.Ф. Синтез математических моделей для расчета характеристик функционирования корпоративных вычислительных сетей // Тр. Одес. политехн. ун-та — Одесса, 2000. — Вып. 2(11). — С. 108 — 110.
6. Нестеренко С.А., Фомин Д.А., Шварц О.П. Система моделирования вероятностно-временных характеристик ЛВС SCAT // Тр. Одес. политехн. ун-та — Одесса, 1997. — Вып. 2. — С. 41 — 43.

Поступила в редакцию 15 января 2003 г.