



ристического характера [Текст] / Н.А. Махутов, В.П. Петров, Д.О. Резников, В.И. Кукова // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций.— 2008. №2.— С. 70–77.

10. **Петров, В.П.** Оценка террористического риска и принятие решений о целесообразности построения систем защиты от террористических воздействий [Текст] / В.П. Петров, Д.О. Резников, В.И. Кукова, Е.Ф. Дубинин // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций.— 2007. №1. — С. 89–105.

11. **Стекольников, К.И.** Живучесть систем [Текст] / К.И. Стекольников // СПб.: Политехника, 2002.— 155 с.

12. **Аверченков, В.И.** Автоматизация выбора состава технических средств системы физической защиты [Текст] / В.И. Аверченков, М.Ю. Рытов, Т.Р. Гайнулин // Вестник Брянского государственного технического университета.— 2008. № 4 (20).— С. 58–61.

13. **Алаухов, С.Ф.** Вопросы создания систем физической защиты для крупных промышленных объектов [Текст] / С.Ф. Алаухов, В.Я. Коцеруба // Системы безопасности.— 2001. №41.— С. 93.

14. **Махутов, Н.А.** Оценка риска аварий на КВО с учетом возможности реализации экстремальных ущербов [Текст] / Н.А. Махутов, Д.О. Резников, В.П. Петров // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций.— 2008. № 5.— С. 57–73.

15. **Астахов, А.** Анализ защищенности корпоративных систем [Электрон. ресурс] / А. Астахов // «Открытые системы».— 2002. №7–8 // <http://www.morepc.ru/security/os200207044.html>

16. **Махутов, Н.А.** Обеспечение защищенности и минимизация общих эксплуатационных затрат и ущербов в течение жизненного цикла критически важных объектов путем выбора оптимальных стратегий проведения технических инспекций и ремонта [Текст] / Н.А. Махутов, Д.О. Резников, В.П. Петров, В.И. Кукова // Проблемы анализа риска, том X.— том 5.— 2010. № 3.— С. 34–67.

17. **Гуменюк, В.И.** Методика анализа безопасности транспортно-технологических операций с ядерным топливом [Текст] / В.И. Гуменюк, М.Е. Федосовский, Г.А. Фокин, А.А. Сыров // Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах: Матер. XIV Всеросс. научно-метод. конф. 13–14 мая 2010 г., Санкт-Петербург— СПб.: Изд-во Политехн. ун-та,— 2010. Т. 2.— С. 242–251.

18. **Гуменюк, В.И.** Обеспечение защищенности и минимизация затрат при перегрузке ядерного топлива на АЭС с реакторами типа ВВЭР [Текст] / В.И. Гуменюк, А.А. Сыров, Г.Л. Атоян // Научно-технические ведомости СПбГПУ.— 2011. №2.— С. 294–303.

19. **Гуменюк, В.И.** Программные комплексы, предназначенные для расчета показателей надежности-живучести-безопасности объектов атомной энергетики [Текст] / В.И. Гуменюк, Г.Л. Атоян, М.Е. Федосовский, А.А. Сыров // Материалы XIX междунар. научно-метод. конф. «Высокие интеллектуальные технологии образования и науки».— 9–10 февраля 2012 г. — Т. 4. — С. 53–61.— [Электрон. ресурс] [http://nru.spbstu.ru/scientific\\_events/high\\_technology\\_intelligence\\_of\\_education/](http://nru.spbstu.ru/scientific_events/high_technology_intelligence_of_education/)

УДК 317.774

*А.С. Крутолапов, Д.А. Сычёв*

## ПРОЦЕССЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ ШИН

Наблюдается тенденция применения информационных технологий при автоматизации различных информационно-управленческих процессов. Такие технологии реализуются на основе полевых шин для управления системами пожарной и охранной сигнализации, управления подачей электроэнергии и системой водоснабжения. Цель нашего исследования — оптимизация ресурсов пожарно-охранных и производственных

сетей на основе полевых шин с использованием разработанной модели.

Для построения математической модели процесса информационного обмена рассмотрим потоки случайных событий (запросов) для сети передачи данных (СПД). Узлы сети дискретны и получают доступ к ресурсу не одновременно, т. е. поток запросов ординарен. В сети он идет постоянно, обладая свойством стационарности.

Поскольку неизвестно, какие алгоритмы запрограммированы в узлах, то отсутствует последствие. Следовательно, поток запросов — пуассоновский.

Представим модель СПД с коммутацией сообщений, имеющей  $M$  каналов и  $N$  узлов [6]. В этой модели предполагается, что  $M$  каналов — бесшумны и абсолютно надежны, а пропускная способность  $i$ -го канала равна  $C_i$  (бит в секунду). Все  $N$  узлов, соответствующих центрам коммутации сообщений (пакетов), предполагаются абсолютно надежными и выполняющими операции по коммутации сообщений. Допустим, что время обработки в узлах равно  $K$  и является постоянным и пренебрежимо малым.

В модели имеются очереди к каналам и задержки при передаче. Трафик, поступающий в сеть из внешних источников, образует пуассоновский процесс со средним значением  $\gamma_{jk}$  (сообщений в секунду) для тех сообщений, которые возникают в узле  $j$  и предназначаются для узла  $k$ . Полный внешний трафик, поступающий в систему (и покидающий ее), определяется как

$$\gamma = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \gamma_{jk}.$$

Для определения внешнего трафика  $\gamma$  целесообразно использовать анализатор протокола, который служит основой программно-аппаратного комплекса оптимизации ресурсов сети (статистические данные). Для размещения сообщений в узлах сети имеется память неограниченной емкости. В СПД применяется фиксированная процедура маршрутизации. Это означает, что для данной пары «источник — адресат» в сети имеется только один путь.

Поскольку каждый канал в сети рассматривается как отдельный обслуживающий прибор, обозначим через  $\lambda_i$  среднее число сообщений в секунду, проходящих по  $i$ -му каналу. Как и для внешнего трафика, определим полный трафик в каналах сети:

$$\lambda = \sum_{i=1}^M \lambda_i.$$

Пусть стоимость построения  $i$ -го канала с пропускной способностью  $C_i$  задается произвольной функцией  $d_i(C_i)$ , зависящей от номера и пропускной способности канала. Тогда  $D$  —

стоимость всей сети, которая состоит из стоимости построения каналов:

$$D = \sum_{i=1}^M d_i(C_i). \quad (1)$$

Примем среднюю задержку сообщения  $T$  за главную характеристику сети. Определим среднюю величину  $Z_{jk}$  как задержку сообщения, которое возникло в узле  $j$  и имеет местом назначения узел  $k$ . Эти две средние величины связаны равенством

$$T = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \frac{\gamma_{jk}}{\gamma} z_{jk}, \quad (2)$$

так как доля  $\frac{\gamma_{jk}}{\gamma}$  полного входящего трафика сообщений имеет в среднем задержку, равную  $Z_{jk}$ . Это равенство представляет разложение сети по парам «источник — адресат» [2–4]. Получена открытая многопоточковая сеть массового обслуживания.

Рассматривая фиксированную процедуру выбора маршрутов, обозначим через  $\pi_{jk}$  путь, по которому идут сообщения, возникающие в узле  $j$  и идущие в узел  $k$ . В путь  $\pi_{jk}$  включен  $i$ -й канал (с пропускной способностью  $C_i$ ), если сообщения, идущие по этому пути, проходят указанный канал ( $C_i \in \pi_{jk}$ ). Отсюда средняя интенсивность потока сообщений  $\lambda_i$  в  $i$ -м канале должна равняться сумме средних интенсивностей потоков сообщений по путям, которые проходят через этот канал:

$$\lambda_i = \sum_j \sum_k \gamma_{jk}, \quad j, k : C_i \in \pi_{jk}.$$

Определим  $T_i$  как время, затраченное на ожидание при передаче по  $i$ -му каналу. Это среднее время, проведенное сообщением в системе (под системой понимается  $i$ -й канал, обслуживающий пользователя, и очередь сообщений, стоящая перед этим каналом).

Среднее число сообщений, ожидающих или использующих канал, равно

$$\bar{N}_i = \lambda_i T_i.$$

Среднее число сообщений в сети равно

$$\bar{N} = \gamma T = \sum_{i=1}^M \bar{N}_i.$$

Отсюда

$$T = \sum_{i=1}^M \frac{\lambda_i}{\gamma} T_i. \quad (3)$$

Рассматриваемая задача анализа  $T$  свелась просто к вычислению  $T_i$ .

Погруженный канал можно рассматривать как такой же канал, действующий независимо от сети, но с пуассоновским потоком на входе, интенсивность которого равна интенсивности, задаваемой сетью. Теперь  $i$ -й канал можно представить в виде системы  $M/M/1$  с пуассоновским потоком интенсивности  $\lambda_i$  на входе и показательным временем обслуживания со средним  $1/\mu$  с. Решение для  $T_i$  получается из равенства

$$T_i = \frac{1}{\mu_i - \lambda_i}$$

и согласно (3) равно

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^M \frac{\lambda_i}{\mu_i - \lambda_i}.$$

При получении основного результата были сделаны предположения, что время обработки в узле и время распространения равны нулю.

Используя этот анализ задержки, можно сделать количественные выводы в отношении средней задержки сообщения в СПД. При увеличении нагрузки на сеть никакое слагаемое в выражении для задержки не будет доминирующим до тех пор, пока поток в одном из каналов не достигнет пропускной способности этого канала, который соответствует «узкому» месту сети.

Задачи, связанные с СПД, состоят не только в ее анализе, но и в эффективном и оптимальном проектировании. При любом проектировании практической сети приходится решать большое число задач. К их числу относятся выбор пропускных способностей каналов, принятие процедуры выбора маршрутов, выбор процедуры управления потоками, топологическое проектирование сети, выбор емкости памяти в каждом узле [1]. Рассмотрим три основных выбора, используемых при проектировании алгоритма [5]:

- пропускных способностей каналов  $\{C_i\}$ ;
- потоков в каналах  $\{\lambda_i\}$ ;
- топологии.

Входящие в них параметры можно варьировать с целью улучшения характеристик сети.

Определим одномерный критерий качества системы (среднюю задержку сообщения  $T$ ) и минимизируем его (тем самым оптимизируя работу сети). Так как для задач оптимизации требуется включать некоторые стоимостные ограничения, то введем ограничение (2) на стоимость. Итак, имеются характеристики сети  $T$ , стоимостное ограничение  $D$  и три варьируемых при проектировании параметра:  $\{C_i\}$ ,  $\{\lambda_i\}$  и топология сети.

При фиксированной процедуре выбора маршрутов доля трафика  $r_{ij}$ , который выходит из узла  $i$  по каналу, соединяющему узлы  $i$  и  $j$ , равна 0 либо 1 в зависимости от места возникновения и места назначения этого трафика сообщений. При этом подразумевается, что оптимальный выбор трафика в канале  $\{\lambda_i\}$  включает отыскание для каждой линии таких теоретических средних интенсивностей потоков сообщений, которые дают минимальную среднюю задержку сообщения.

Определим теперь задачу оптимизации, которая в качестве исходных данных включает множество переменных, варьируемых при проектировании сети. Считается, что заданы положения узлов, требования к внешнему трафику  $\gamma_{jk}$ , стоимости каналов  $d_i(C_i)$ , постоянная  $D$ , а также предполагается, что используемые потоки  $\{\lambda_i\}$  являются реализуемыми (то есть они согласуются с пропускными способностями и ограничениями на внешний трафик, а также удовлетворяют закону сохранения).

Решение происходит в четыре этапа [5].

*Первый этап.* Выбор пропускных способностей. Дано: потоки  $\{\lambda_i\}$  и топология сети. Минимизировать:  $T$ . Варьируются:  $\{C_i\}$ . Ограничение (1).

*Второй этап.* Распределение потоков. Дано:  $\{C_i\}$  и топология сети. Минимизировать:  $T$ . Варьируются:  $\{\lambda_i\}$ .

*Третий этап.* Выбор пропускных способностей и распределение потоков. Дано: топология сети. Минимизировать:  $T$ . Варьируются:  $\{C_i\}$  и  $\{\lambda_i\}$ . Ограничение (1).

*Четвертый этап.* Выбор топологии, пропускных способностей и распределения потоков. Минимизировать:  $T$ . Варьируются: топологические варианты,  $\{C_i\}$  и  $\{\lambda_i\}$ . Ограничение (1).

В работе сформулирована задача оптимизации проектирования сети на основе полевых

шин. При этом варьируются положения узлов, требования к трафику, стоимость каналов, а также предполагается, что используемые потоки реализуемы. Решение задачи позволяет опти-

мально распределить ресурсы проектируемой сети. Решение оптимизационной задачи в значительной степени зависит от вида стоимостной функций  $d_i(C_i)$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Авен, О.И.** Оценка качества и оптимизация вычислительных систем [Текст] / О.И. Авен, Н.Н. Гурин, Я.А. Коган. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. — 464 с.

2. **Айвазян, С.А.** Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных [Текст] / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 216 с.

3. **Айвазян, С.А.** Прикладная статистика. Исследование зависимостей [Текст] / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. — М.: Финансы и ста-

тистика, 1985. — 198 с.

4. **Айвазян, С.А.** Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности [Текст] / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 268 с.

4. **Башарин, Г.П.** Теория сетей массового обслуживания [Текст] / Г.П. Башарин. — М.: Наука, 1983. — 145 с.

4. **Гнеденко, Б.В.** Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. — М.: Наука, 1987. — 224 с.