

ИНФОРМАТИКА

М.К. Захаров

Методика оценки качества передачи информации реального масштаба времени в автоматизированных системах управления

В настоящее время в связи с внедрением и развитием автоматизированных информационных систем различного назначения становится актуальной задача обеспечения их эффективного функционирования. При этом особенно важной является задача обеспечения эффективного функционирования специализированных автоматизированных систем управления (АСУ) жестко регламентированного режима реального времени (АСУ с высокой реактивностью на входной поток информации), к которым относятся в первую очередь автоматизированные системы управления воздушным движением (УВД), автоматизированные телеметрические системы, а также ряд АСУ технологическими процессами. Характерной особенностью таких АСУ является необходимость передачи информации в реальном масштабе времени или в масштабе, близком к реальному. Это обстоятельство подразумевает измерение и учет реального времени обработки, передачи и хранения информации с высокой точностью. Так, например, в АСУ УВД время доведения информации о воздушных объектах до органов управления, время на принятие решений и время доведения принятого решения до исполнительных органов (управляемых объектов) составляет единицы или десятые доли секунды, а время на обработку поступающей информа-

ции еще меньше – единицы-десятки миллисекунд. При этом все временные задержки, связанные с передачей информации по каналам связи и ее обработкой в вычислительных комплексах, учитываются с точностью не хуже 0,01 – 0,05 с. Исходя из этого, информация, передаваемая в специализированных АСУ жестко регламентированного режима реального времени, может называться информацией реального масштаба времени (РМВ).

Разработка и создание АСУ жестко регламентированного режима реального времени обуславливает необходимость обязательной оценки выполнения требований к качеству передачи информации РМВ между объектами АСУ. Соответственно, **целью статьи** является рассмотрение методов оценки качества передачи информации РМВ при различных вариантах построения сети связи АСУ.

Как правило, для передачи информации РМВ используются выделенные каналы связи (некоммутируемые сети связи). В этом случае учет временных задержек не представляет сложности, так как все задержки являются константами. При использовании коммутируемых сетей обмена данными, которые получают широкое распространение в настоящее время, временные задержки приобретают случайный характер и их учет принятыми методами становится невозможным [1, 2]. В связи с этим для обеспечения передачи информации РМВ по сетям обмена данными с коммутацией пакетов разработан ряд способов учета времени передачи, к основным из которых относятся:

- расчет задержек в каждом транзитном узле коммутации с требуемой точностью;

- использование системы единого времени (СЕВ) у каждого объекта АСУ с требуемой точностью;

- обеспечение минимального времени передачи сообщения (до 0,05 с) и его вариации (до 0,01 с).

При реализации первого способа (при расчете задержек в каждом транзитном узле коммутации с требуемой точностью) достаточно обеспечить передачу информации РМВ между двумя абонентами за время не более $t_{зад} = (0,01...0,05) \cdot 2^n$, где n – количество бит, отведенных в кодограмме, содержащей информацию РМВ, для учета времени задержки. В этом случае в результате моделирования СОД должно быть получено численное значение следующего показателя: время передачи сообщения заданного объема $t_{пер}$ не должно превышать $t_{зад}$ с заданной вероятностью ($p(t_{пер} < t_{зад})$).

При реализации второго способа (при использовании СЕВ у каждого объекта АСУ с требуемой точностью) достаточно обеспечить передачу информации РМВ между двумя абонентами за время, не более времени цикла обработки информации $t_{цикла}$, который составляет 5–10 с. В этом случае в результате моделирования СОД должно быть получено численное значение следующего показателя: время передачи сообщения заданного объема $t_{пер}$ не должно превышать $t_{цикла}$ с заданной вероятностью ($p(t_{пер} < t_{цикла})$).

При реализации третьего способа (при обеспечении минимального времени передачи сообщений) передача информации РМВ между двумя объектами АСУ может осуществляться так же, как при использовании некоммутируемых выделенных каналов связи. В этом случае, наряду с общепринятыми ВВХ доведения информации в АСУ, такими как среднее время передачи сообщений между объектами АСУ \bar{t} , вероятность передачи сообщений за допустимое время $P(t < t_0)$, методы расчета которых известны [1, 2], при оценке качества передачи информации РМВ предлагается определять наиболее вероятное время передачи сообщений t_M и вероятность передачи сообщения за максимально допустимый интервал изменения времени передачи $P(\Delta t < \tau)$. Вновь введенные показатели характеризуют вариацию времени передачи информации, значение которой в

коммутируемых сетях связи не должно превышать заданного предела. Следует отметить, что данный способ используется в настоящее время в сетях связи АИС Интернет при передаче речевой информации, близкой по своим характеристикам к информации РМВ.

Первые два способа реализуются техническими средствами СОД и не требуют проведения предварительных исследований с использованием математического моделирования. В случае реализации третьего способа необходимо в процессе разработки сетей связи АСУ и в ходе их эксплуатации применять математическое моделирование процессов функционирования сети, позволяющее оценить значения указанных выше показателей в широком диапазоне исходных данных. Это обусловлено тем, что функционирование таких сложных систем, как коммутируемые сети обмена данными, должно обязательно проверяться на математических моделях в ходе разработки и эксплуатации.

В процессе моделирования сетей связи для оценки времени t_m и вероятности $P(\Delta t < \tau)$ наиболее целесообразно использовать способ, основанный на определении функции (ФРВ) и плотности (ПРВ) распределения вероятности времени передачи сообщений по каналам (виртуальным каналам), организованным в коммутируемой сети связи. Следует отметить, что применение других способов оценки, не связанных с определением ФРВ и ПРВ, не позволяет с достаточной (заданной) точностью определять значения вероятности $P(\Delta t < \tau)$ и времени t_m . Физический смысл взаимосвязи приведенных выше показателей с ФРВ и ПРВ пояснен на рисунке, который подтверждает, что вводимые в рассмотрение параметры t_m и $P(\Delta t < \tau)$ более точно характеризуют качество передачи информации по сети с коммутацией пакетов, в частности значение величины вариации времени передачи.

Для определения ФРВ (ПРВ) предлагается использовать известные методы математического аппарата теории массово-

го обслуживания для сетей очередей с учетом следующих допущений [2, 3].

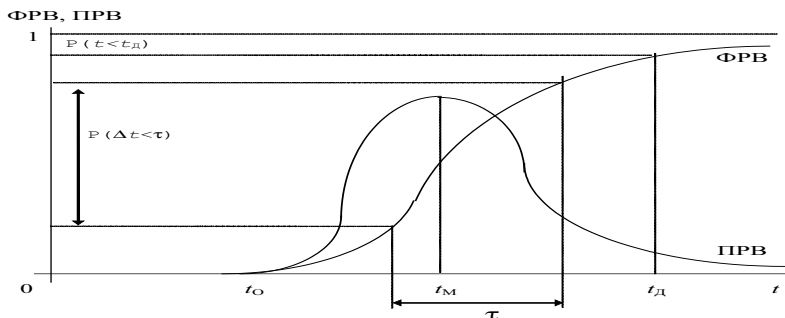


Рисунок. Взаимосвязь функции и плотности распределения вероятности времени передачи сообщений по каналам сети с коммутацией пакетов

Закон поступления сообщений на вход каждого отдельно-го элемента сети не зависит от времени их обслуживания на предыдущих элементах.

Все процессы, происходящие в сети обмена данными, являются стационарными.

Размер буферной памяти в узлах коммутации сети значительно превосходит средний объем, требуемый для ожидания пакетов в очереди.

Время, затрачиваемое в узле коммутации для обработки пакетов (без учета времени ожидания), пренебрежительно мало.

Функция и плотность распределения вероятности времени передачи пакета по виртуальным каналам сети находятся с использованием преобразования Лапласа – Стилтеса. Для случая, когда все пакеты имеют одинаковую длину, и, следовательно, все элементы сети могут быть представлены системой массового обслуживания $M/D/1$, совместная ФРВ имеет вид гиперэкспоненциального распределения [3, 4]:

$$\begin{cases} F(t) = 1 - \sum_{j=1}^n A_j e^{-\frac{2(\mu_j - \lambda_j)}{\rho} (t - \tau)} & , \text{ при } t > 0 \\ F(t) = 0 & , \text{ при } t > 0 \end{cases} \quad (1)$$

где μ_j – производительность (пропускная способность) j -го элемента сети, пакетов/с;

λ_j – суммарная нагрузка на j -й элемент сети (пакетов/с);

ρ_j – нагрузка j -го элемента сети, определяемая соотношением λ_j - и μ_j ;

τ – время передачи сообщения между двумя объектами АСУ при бесконечно малой нагрузке на каждый элемент сети и определяемое по формуле:

$$\tau = \sum_{j=1}^n \frac{1}{\mu_j} \quad (2)$$

A_j – весовой коэффициент, определяемый по формуле:

$$\begin{cases} A_j = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^k \left(\frac{\frac{2(\mu_i - \lambda_i)}{\rho_i}}{\frac{2(\mu_j - \lambda_j)}{\rho_j} - \frac{2(\mu_i - \lambda_i)}{\rho_i}} \right) \\ \sum_{i=1}^n A_i = 1 \end{cases} \quad (3)$$

Подставляя в (1) значения t_{don} , определяются $p(t < t_{don})$, $p(\Delta t < \tau)$, при этом положение Δt выбирается таким образом, чтобы обеспечивался максимум величины $P(\Delta t < \tau)$.

Плотность распределения находится путем дифференцирования (1) по переменной t . Подставляя в (1) значения границ допустимого интервала времени передачи (τ) определяется значение вероятности $P(\Delta t < \tau)$. Время t_m определяется методами одномерного поиска экстремума функции, при этом точность вычислений определяется шагом дискретизации.

Применение приведенных выше выражений для оценки ВВХ доведения информации РМВ возможно только в случае стационарности процессов передачи информации по сети. В случае нестационарности этих процессов, обусловленной, например, появлением отказов в коммутируемой сети обмена данными по причине внешнего воздействия на АСУ или ограниченной надежности ее элементов, при каждом отказе возникает необходимость перераспределения потоков информации, передаваемой по сети, что соответственно приводит к изменению весовых коэффициентов в (1). В этом случае необходимо использовать метод статистических испытаний, который реализуется следующим образом: сначала в соответствии с вероятностными характеристиками надежности и живучести элементов сети связи моделируется текущее состояние СОД, производится распределение трафика по сети и рассчитывается загрузка элементов сети. Далее, учитывая, что для каждого текущего состояния сети выполняется условие стационарности процессов передачи информации, производится определение ВВХ приведенным выше способом. В результате при достаточном количестве произведенных статистических испытаний и соответствующей статистической обработке полученных результатов имеется возможность определения обобщенных ВВХ доведения информации по сети с коммутацией пакетов с требуемой точностью.

Для расчета ВВХ доведения информации по коммутируемой сети с использованием метода статистических испытаний разработана аналитико-статистическая математическая модель. Моделирование сети осуществляется методом гибридного (аналитико-статистического) моделирования и заключается в многократном формировании промежуточных случайных состояний варианта построения сети в соответствии с характеристиками внешнего воздействия и надежности элементов СОД, оценке ВВХ доведения информации с использованием соответствующих аналитических выражений характеристик

качества передачи информации между объектами АСУ, сборе и обработке статистики. В результате статистической обработки полученных результатов производится обобщенная оценка качества передачи информации между объектами АСУ.

Количество циклов моделирования определяется с учетом обеспечения заданной точности вычислений. После завершения всех циклов моделирования или по команде оператора формируются сводные таблицы по характеристикам информационных направлений между объектами АСУ и по характеристикам элементов СОД (каналов связи и узлов коммутации). Данные, приведенные в этих таблицах, позволяют оператору сравнить текущий и предыдущий варианты построения СОД по значению показателя качества передачи информации РМВ, выбрать наилучший, оценить выполнение критерия оптимизации структуры сети, а также сформировать очередной вариант построения СОД и перейти к следующему этапу моделирования СОД. Модель имеет блочную структуру и включает: блок ввода и редактирования исходных данных; блок моделирования случайного состояния СОД, блоки расчета характеристик СОД, блок обработки статистики и блок вывода результатов моделирования. Работа всех блоков увязана через диспетчера модели, который определяет порядок включения нужного блока.

Модель реализована на ПЭВМ и позволяет решать задачу оценки качества передачи информации РМВ доведения информации по сетям обмена данными с коммутацией пакетов за требуемое время и в различных условиях функционирования. Следует отметить, что одновременное использование методов аналитического и статистического моделирования сетей обмена данными позволяет существенно сократить вычислительные ресурсы, необходимые для оценки качества передачи информации РМВ, по сравнению с использованием только статистического моделирования сетей связи. При этом точность получения оценок находится в допустимых пределах, что обес-

печивает возможность оценки качества передачи информации РМВ в специализированных АСУ с требуемой точностью и может быть использовано при реализации процедур учета временных задержек передачи радиолокационной информации в АСУ воздушным движением.

Таким образом, для оценки качества передачи информации РМВ в АСУ жестко регламентированного режима реального времени целесообразно использовать метод, заключающийся в расчете не только общепринятых вероятностно-временных характеристик доведения информации, но и новых дополнительных характеристик. При этом с целью сокращения требуемых вычислительных ресурсов целесообразно использовать разработанную аналитико-статистическую математическую модель сети связи с коммутацией пакетов.

Список литературы

1. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2001.
2. *Мизин И.А., Богатырев В.А., Кулешов А.П.* Сети коммутации пакетов. М.: Радио и связь, 1986.
3. *Захаров Г.П.* Методы исследования сетей передачи данных. М.: Радио и связь, 1982.
4. *Саати Т.Л.* Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. М.: Советское радио, 1977.