

КРАВЧУК Николай Владимирович

**МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ЦИФРОВЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ GERT**

Специальность

05.13.13 – Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2007

Работа выполнена на кафедре систем автоматизированного проектирования вычислительных средств (САПР ВС) Рязанского государственного радиотехнического университета.

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Шибанов Александр Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Белов Владимир Викторович

кандидат технических наук, доцент
Кокорин Николай Иванович

Ведущая организация: ГНИИ ИТТ «Информика», г. Москва.

Защита состоится «24» мая 2007 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д212.211.02 в Рязанском государственном радиотехническом университете по адресу: г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского государственного радиотехнического университета.

Автореферат разослан 20 апреля 2007 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1, Рязанский государственный радиотехнический университет.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



И.А. Телков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время происходит интенсивное внедрение новых сетевых технологий в различные сферы человеческой деятельности. Отчетливо выявились следующие тенденции в развитии как компьютерных сетей в целом, так и современных цифровых промышленных сетей (ЦПС):

- произошел отказ от традиционных схем построения с выраженным ядром, в котором сосредоточены основные вычислительные мощности, а к исполнительному оборудованию тянется множество кабельных соединений;
- произошел переход к распределенной обработке информации с активным использованием промышленных локальных сетей, перепрограммируемых в процессе работы микроконтроллеров, микропроцессоров и интеллектуальных датчиков;
- для управления производственными и технологическими процессами активно используется сеть Internet, в том числе в режиме реального времени;
- для построения центральной части ЦПС крупных предприятий и сложных технических комплексов используются высокоскоростные канальные технологии;
- на среднем и низшем уровнях ЦПС стали активно использоваться беспроводные технологии;
- внедрение в ЦПС вышеуказанных новых сетевых технологий обусловило появление в сети новых видов информационных потоков;
- дополнительную нагрузку на сеть создают распределенные по сети компоненты информационной защиты, некоторые из них также генерируют потоки реального времени.

Внедрение целого ряда технологических новаций породило и целый ряд проблем. Наиболее важной из них является обеспечение в ЦПС противоречивых требований к параметрам качества передачи информационных потоков с разной структурой. Передача данных характеризуется большой степенью пульсации трафика, что недопустимо для передачи аудио и видео в реальном масштабе времени, когда устанавливаются жесткие ограничения на общую задержку и вариацию величины интервалов между пакетами. При передаче данных искажения и потери пакетов должны быть исключены, а при передаче аудио и видео в реальном масштабе времени небольшой процент потерь пакетов допускается.

Наглядным примером активно развивающейся компьютерной сети, с характерными задачами и проблемами, является RUNNet – действующая опорная сеть национального масштаба, имеющая высокоскоростную магистральную инфраструктуру, международный канал, обеспечивающий выход в глобальный Интернет, и участвующая в обмене трафиком с большинством российских IP-сетей.

Для достижения требуемых показателей качества функционирования ЦПС необходима оптимизация ее структуры. Данная задача является чрезвычайно сложной, по-

сколькo на показатели качества сети влияют различные параметры протоколов: время доступа к общей среде передачи, величина тайм-аута неподтвержденных пакетов, установленное значение максимальной длины кадра, доля служебной информации в пакете, время жизни пакета и т.д. Если эти величины брать как варьируемые переменные, то задача оптимизации сети становится комбинаторной с экспоненциальным временем решения. Попытка решить ее путем натурального моделирования обречена на неудачу, так как изменение только одного из параметров требует перезагрузки устройства.

Вопросам анализа промышленных сетей и систем управления испытаниями сложных технических объектов посвящены работы Баканова А.С., Вишневого В.М., Ляхова А.И., Богуславского Л.Б., Шевчика К.С. и других авторов. Рассматриваются актуальные проблемы проектирования беспроводных сетей с централизованным и децентрализованным управлением, при высокой нагрузке и в условиях помех, локальных сетей с многопроцессорными серверами. Работы Брехова О.М., Максимова А.П., Корнеевской А.В., Крапивного А.В., Николаева Н.С. и др. посвящены вопросам аналитической оценки производительности и надежности управляющих вычислительных комплексов реального времени. В работах Корячко В.П. рассмотрены проблемы автоматизированного проектирования специализированных структур для испытаний сложных объектов. Практическими вопросами построения образцов нового поколения АСУТП и АСУП на базе ЦПС занимались Затуливер Ю.С., Топорищев А.В., Михалевич И.Ф., Сычев К.И., Лузин В.Ю., Низамутдинов О.Б., Белковский С.В., Топорков В.В., Blake S., Black D., Etschberger K., Floyd S., Jacobson V. и многие другие авторы.

Несмотря на большое число работ по данной проблематике, можно отметить, что на основе прежних подходов не всегда обеспечивается решение возникающих на практике проблем. В настоящее время произошел технологический рывок в области создания нового поколения ЦПС, однако адекватные ему средства моделирования и оптимизации ЦПС еще не созданы. Предлагаемые в настоящей работе подходы и полученные новые научные результаты в определенной степени должны способствовать решению этих проблем. Таким образом, тема исследований является весьма актуальной.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в форме гранта, шифр 07-07-0146а.

Цель работы. Целью диссертационной работы является повышение качества функционирования ЦПС, сокращение сроков их проектирования, а также уменьшение материальных затрат путем разработки методов оптимизации их работы на основе моделей GERT.

Основные задачи. В диссертационной работе поставлены следующие основные задачи:

- анализ структуры ЦПС и характера передаваемого в них трафика;
- исследование существующих методов моделирования и оптимизации ЦПС;

- разработка методов синхронизации потоков информации, критичной к задержкам, передаваемых по нескольким неоднородным каналам, позволяющих уменьшить случайный разброс интервалов между пакетами;
- разработка методов повышения надежности функционирования и улучшения вероятностно-временных характеристик сетевых протоколов и программ;
- разработка эффективных методов оптимизации отдельных подсистем при итерационном характере процесса оптимизации всей ЦПС;
- проведение экспериментальной проверки корректности разработанных методов.

Методы исследования. Для решения поставленных задач используется теория GERT-сетей, теория планирования параллельных вычислительных процессов, теория вероятностей, теория массового обслуживания, теория имитационного моделирования, теория оптимизации.

Научная новизна. Научная новизна исследований состоит в следующем.

- Предложена методика параметрической оптимизации протоколов, алгоритмов и программ передачи пакетов в цифровой промышленной сети на основе использования обобщенных сетей GERT, позволяющая добиться улучшенных вероятностно-временных характеристик протоколов передачи информации.
- Найдено разложение GERT-сети на совокупность параллельно соединенных частичных графов GERT-сети, каждый из которых имеет только один простой путь из источника в сток, что позволяет выявить неявный параллелизм протоколов и алгоритмов и упростить дальнейший анализ цифровой промышленной сети.
- На основе применения моделей GERT предложен метод улучшения показателей качества цифровых промышленных сетей, основанный на оценке имеющихся запасов времени передачи пакетов по различным параллельным путям.
- Предложен метод повышения надежности функционирования протоколов и программ цифровых промышленных сетей, работающих со сторожевыми таймерами.
- Найдено представление среднего времени прохождения GERT-сети через линейную комбинацию средних времен прохождения отдельных ветвей, характеризующихся сложными распределениями, что обеспечивает эффективное решение задач оптимизации за счет уменьшения времени расчетов при итерационном характере процесса оптимизации.

Достоверность. Достоверность основных положений и полученных результатов диссертационной работы подтверждается корректностью полученных математических результатов; сравнением результатов, полученных расчетными методами, с результатами, полученными с использованием моделирующих программ; сравнением распределе-

ний выходных величин графовых моделей программ, определенных на основе разработанных автором методов, и распределений времени выполнения соответствующих реальных программ.

Практическая ценность и внедрение результатов работы. На основе полученных автором новых результатов разработаны инженерные методики проведения оптимизации показателей качества функционирования ЦПС.

Результаты, полученные в диссертационной работе, внедрены в Научно-исследовательском институте газоразрядных приборов ОАО «ПЛАЗМА» (г. Рязань) при производстве изделий специального назначения; в ОАО завод «Красное знамя» (г. Рязань) при проектировании сети инженерных служб предприятия; при проведении учебного процесса в ГОУВПО Рязанском государственном радиотехническом университете.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Методика оптимизации протоколов и программ цифровых промышленных сетей на основе анализа распределений времени прохождения пакетов с использованием моделей GERT.
2. Теорема о возможности эквивалентного преобразования GERT-сети в совокупность параллельных частичных графов, каждый из которых имеет только один простой путь из источника в сток.
3. Метод синхронизации процесса передачи информационных пакетов, критичных к задержкам, основанный на оценке средних времен передачи и их дисперсий по разным параллельным путям.
4. Метод повышения надежности функционирования протоколов и программ цифровых промышленных сетей, работающих со сторожевыми таймерами.
5. Метод построения структурированной GERT-сети из частичных графов, для времени прохождения которых выполняется свойство аддитивности.
6. Теорема о возможности представления среднего времени передачи GERT-сети или ее любого частичного графа через линейную комбинацию средних времен прохождения отдельных ветвей.

Апробация результатов диссертации. Результаты, полученные в ходе работы над диссертацией, докладывались на 4 всероссийских и межвузовских конференциях: "Научная сессия МИФИ", 2006; на VIII всероссийской конференции "Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании". Рязань: РГРТА, 2003; на XI всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань: РГРТУ, 2006; на 31-й Межвузовской научно-практической конференции "Хранить традиции. Готовить профессионалов. Растить патриотов". Рязань: РВВКУС, 2006.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 12 работах, в том числе в ведущих научных журналах и изданиях, выпускаемых в Российской Федерации и утвержденных ВАК РФ для изложения основных научных результатов диссертаций: на соискание ученой степени доктора наук – 1 статья, кандидата наук – 1 статья.

Опубликованы материалы 4 докладов всероссийских и межвузовских конференций; издано 6 статей в межвузовских сборниках научных трудов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка (120 источников), изложенных на 145 страницах (содержит 10 таблиц, 73 рисунка), и 2 приложений. Общий объем диссертации 160 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Общая характеристика работы содержит основные сведения о работе.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы и приведена ее структура.

Первая глава посвящена анализу существующих методов моделирования и оптимизации ЦПС.

Рассмотрены основные факторы, влияющие на вероятностно-временные характеристики ЦПС: передача критичной к задержкам информации и необходимость ее синхронизации, использование систем защиты информации, дополнительный трафик от использования сети Internet и беспроводных локальных сетей, применение современных систем комплексной автоматизации. Проанализированы особенности функционирования систем управления, сбора и обработки информации об испытаниях сложных технических комплексов в реальном масштабе времени.

Рассмотрены современные методы моделирования и оптимизации ЦПС. Показано, что характерной особенностью описанных выше методов является рассмотрение ЦПС на уровне широких обобщений, т.е. на макроуровне. В настоящей работе предлагаются методы оптимизации с представлением протоколов, алгоритмов и программ (включая программы для микроконтроллеров) с достаточно высокой степенью детализации, т.е. на микроуровне.

Сформулированы задачи, решаемые в рамках диссертационной работы.

Показано, что с учетом специфики поставленных задач для моделирования протоколов и программ цифровых промышленных сетей целесообразно использовать ориентированные графы на основе производящих функций моментов, получившие название “метод графической оценки и анализа систем” (GERT, *Graphical Evaluation and Review Technique*).

Вторая глава посвящена методам синхронизации каналов ЦПС.

Постановка задачи. Для общего времени задержки передачи пакетов “из конца – в конец” канала определяется резерв времени Z , в пределах которого выделяются реально существующие задержки в i -м канале связи T_i (или в параллельном пути) и некий остающийся запас r_i , причем $Z = T_i + r_i$. Для каждого из каналов (физического в агрегированном канале или виртуального в одном физическом канале) величина r_i разная, что позволяет производить варьирование значений этих параметров с целью “выравнива-

ния” показателей времени передачи отдельных подканалов (путей) и улучшения вероятностно-временных характеристик канала. Улучшение технических показателей работы канала достигается за счет выявления уже существующих запасов параметров задержки в каждом подканале.

Определим последовательно резервы времени каждого параллельного подканала по отношению к некоторому выбранному подканалу. Выбирается корректно работающий подканал (либо некий идеализированный, еще не созданный подканал), распределение времени передачи пакетов которого принимается за базовое распределение.

Назовем такой подканал *опорным* подканалом. Для подканала i должно выполняться $m_i = r_i + t_{icp} + |k\sigma_i| \leq Z$, где σ – среднее квадратичное отклонение, а k определяет величину интервала, в который случайное время передачи пакета попадает с заданной вероятностью (например, в интервал “трех сигм” или “четыре сигм”). Для параметров опорного канала должно выполняться $r_o \leq r_i$, $|k\sigma_o| \leq |k\sigma_i|$, где индексом “о” отмечен опорный канал.

При проведении оптимизации агрегированного канала варьируются значения резервов r_i , $i = \overline{1, l}$, $i \neq o$, так, чтобы выполнить условия $\forall m_i \approx m_o$, $\forall |k\sigma_i| \approx |k\sigma_o|$; здесь l – число каналов, имеющих резерв времени.

Таким образом, поставленная задача сводится к следующей задаче оптимизации:

$$f = \sum_{i=1}^l (r_i - r_o) \rightarrow \min$$

при ограничениях на неотрицательные переменные:

$$\begin{cases} r_i + t_{icp} + |k\sigma_i| \leq Z \\ r_i \geq r_o \\ |k\sigma_o| \leq |k\sigma_i| \end{cases}, (i \in \overline{1, l})$$

где r_o – варьируемый резерв передачи пакета по опорному каналу;

r_i – варьируемый резерв передачи пакета по каналу, отличного от опорного;

t_{icp} – среднее значение реально существующей задержки в i -м канале;

σ_i – среднее квадратичное отклонение случайное время передачи пакета по i -му каналу;

k – определяет величину интервала, в который случайное время передачи пакета попадает с заданной вероятностью (например, в интервал “трех сигм” или “четыре сигм”);

l – число каналов, имеющих резерв времени.

Решение этой задачи классическими методами позволяет определить величину задержек, которые необходимо внести в оптимизируемые каналы. Однако так как кон-

кретные программные реализации протоколов (программы) имеет вероятностные ветвления и циклы, то неочевидно, в какие конкретно участки алгоритма (программы) нужно внести эти задержки так, чтобы они не оказывали влияния на задержки передачи по другим каналам.

Каналы с неудовлетворительными вероятно-временными характеристиками должны подвергаться процедуре оптимизации, которая заключается:

1) в изменении среднего времени передачи по подканалу в сторону уменьшения или увеличения. Уменьшения времени передачи можно достигнуть путем установки оборудования с большим быстродействием. Это требует и дополнительных материальных затрат. Поэтому среднее время передачи через канал связи сначала нужно стремиться изменить так, чтобы оно стало равным аналогичной величине опорного канала;

2) в получении желательной формы плотности распределения времени передачи пакета по подканалу. Предварительно нужно найти источники существенного разброса времени передачи. Это или явно определяемые переменные, или скрытые источники разброса, каждый из которых вносит относительно небольшую погрешность. Множество операций, каждая из которых вносит малый вклад в разброс выходной величины, в совокупности могут сильно увеличить ее вариацию. Если источников разброса времени передачи пакетов через канал немного, то надо улучшать параметры всего лишь нескольких операций. В противном случае канал (протокол) должен быть или забракован, или подвергнут существенной модернизации.

С учетом специфики решаемой задачи введены ограничения на структуру GERT-сети. По своей структуре GERT-сеть является ориентированным графом $G(X, U)$, где X есть множество узлов GERT-сети, а U есть множество упорядоченных пар элементов из X : $U = \{(x, y)\}$, называемых ветвями GERT-сети. Пара узлов x и y может быть соединена несколькими параллельными ветвями вида (x, y) , т.е. GERT-сеть $G(X, U)$ является мультиграфом.

Сеть GERT $G(X, U)$ определим как совокупность:

- частичных GERT-сетей $H_{ij}(Y_{ij}, V_{ij})$, $Y_{ij} \subset X$, где i – номер канала, j – номер частичной GERT-сети данного канала;
- частичных сетей E_i , состоящих из ветвей (вместе с их концами), входящих в s - t -пути GERT-сети i -го канала, и соединяющих частичные сети H_{ij} , источники и стоки;
- частичной сети F_i , состоящей из возвратных ветвей (вместе с их концами) GERT-сети i -го канала.

На рисунке 1 показана модель транка, состоящего из двух каналов.

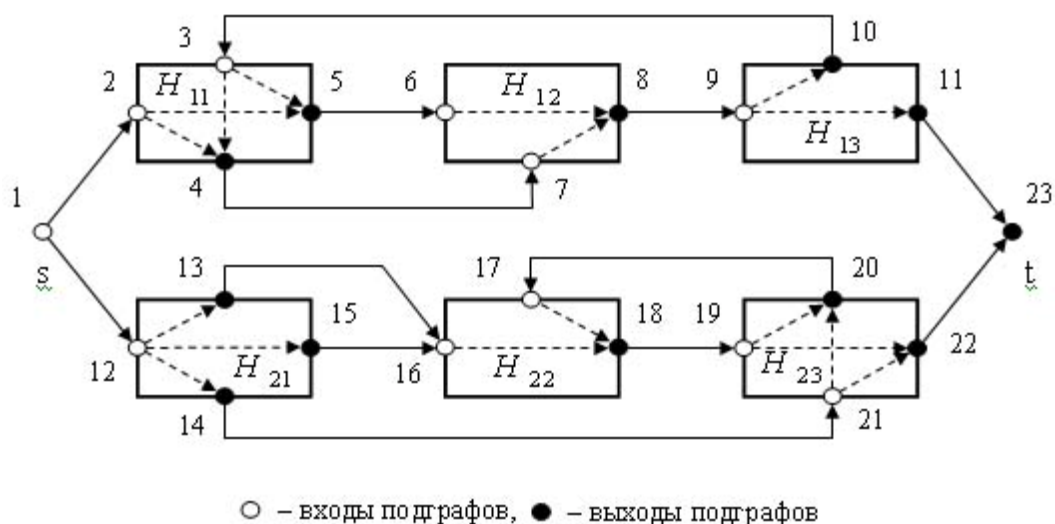


Рис.1 – Пример графа $G(X, U)$

В главе рассмотрены особенности синхронизации работы протокола отдельного канала, а также синхронизации отдельных блоков (устройств) канала. Полученные результаты легко обобщаются на большее число каналов в транке и большее число подсетей в модели.

Введено понятие частичного графа GERT-сети, порожденного некоторым простым $s-t$ -путем, как совокупность ветвей и узлов простого $s-t$ -пути, а также ветвей и узлов петель первого порядка, которые достижимы из рассматриваемого простого $s-t$ -пути. Частичный граф, порожденный i -м простым $s-t$ -путем, обозначен через $G_i^{(s-t)}$. Сформулирована и доказана теорема об эквивалентном представлении GERT-сети через множество частичных графов, порожденных простыми $s-t$ -путями.

Теорема. *GERT-сеть может быть эквивалентно представлена совокупностью параллельно соединенных частичных графов GERT-сети, порожденных простыми $s-t$ -путями.*

Рассмотрен пример разложения GERT-сети, изображенной на рис. 2. В сети имеется три простых $s-t$ -пути: (1, 2), (2, 3), (3, 4); (1, 2), (2, 3), (3, 6), (6, 4); (1, 5), (5, 6), (6, 4).

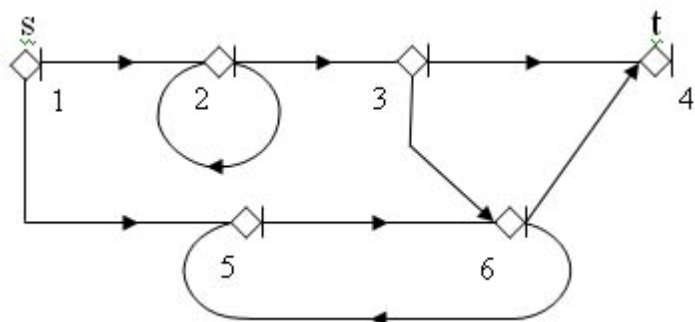


Рис. 2. GERT-сеть с тремя простыми $s-t$ -путями

Показано, что данная GERT-сеть может быть представлена в виде совокупности параллельно соединенных частичных графов $G_1^{(s-t)}$, $G_2^{(s-t)}$, $G_3^{(s-t)}$ (рисунки 3, а, б, в соответственно).

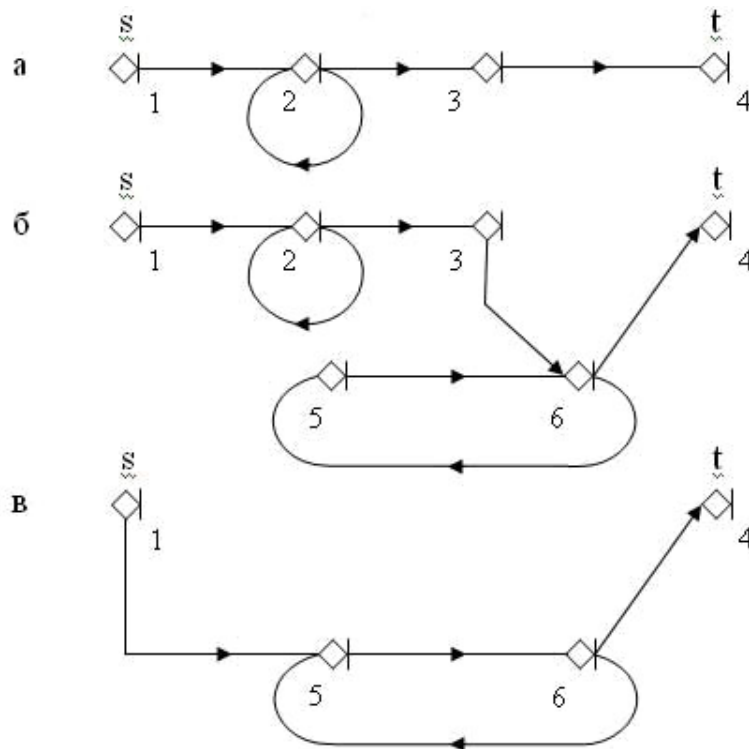


Рис. 3. Разложение исходной GERT-сети на частичные графы

Предложен метод синхронизации каналов на основе данного разложения: путь с максимальным средним временем прохождения принимается за опорный. В остальные пути вводятся задержки для выравнивания средних значений распределений. Каждая из ветвей (3, 4), (3, 6), (1, 5) входит только в один простой $s-t$ -путь. Именно к этим ветвям и могут быть добавлены задержки, так как они не влияют на время прохождения частичных графов $G_i^{(s-t)}$, порожденных другими простыми $s-t$ -путями. Ветви, которые могут быть последовательно соединены с ветвями, отражающими задержки, обеспечивающие улучшение синхронизации, назовем «свободными». Каждый из простых $s-t$ -путей, в который вводится задержка, должен содержать хотя бы одну свободную ветвь. Если таковые отсутствуют, то оптимизация выполняется с изменением параметров операций протокола или программы в сторону увеличения быстродействия.

В третьей главе предложен метод повышения надежности и отказоустойчивости функционирования протоколов и программ, работающих со сторожевыми таймерами.

Примером организации контрольных точек является передача через сеть длинных файлов: если не предусмотрена возможность создания контрольных точек, то в случае возникновения ошибки приходится передавать файл с самого начала, теряя при этом много времени.

Конкретная траектория движения по программе определяется на основе вероятностных ветвлений, поэтому неочевидно, в каких местах программы нужно организовыв-

вать контрольные точки. При этом время выполнения отдельных операторов (или блоков) программы в общем случайное, но с известным законом распределения. Два этих фактора существенно влияют на выбор следующей контрольной точки. Вероятность того, что следующая контрольная точка будет достигнута прежде, чем произойдет перезагрузка микроконтроллера по срабатыванию сторожевого таймера, должна быть достаточно высокой.

Предложен метод оценки пригодности некоторой точки протокола в качестве контрольной на основе GERT-сетей:

- частичные графы, порожденные простыми $s-t$ -путями, отражают траектории движения пакетов от начала к концу программы.
- на создание контрольной точки затрачивается фиксированное время. Это несколько увеличивает время прохождения пакетов от начала к концу программы. Но использование механизма контрольных точек позволяет обеспечить устойчивую работу протокола при проявлении программных ошибок и возникновении аппаратных сбоев;
- вероятность того, что интервал выдержки таймера закончился, но программа “не достигла” следующей контрольной точки, должна быть достаточно малой, чтобы не увеличивались задержки времени передачи пакетов.
- возврат осуществляется к предыдущей контрольной точке.

Предлагается решение задачи расстановки контрольных точек на основе построения модели программы из типовых подфрагментов или частей фрагментов. В главе представлено множество типовых подфрагментов, моделирующих наиболее распространенные в протоколах ЦПС операции. При необходимости библиотека подфрагментов может быть дополнена.

Приведен пример реализации метода расстановки контрольных точек в протоколе в режиме контроля функционирования по сторожевому таймеру. На основании проведенного компьютерного моделирования можно сделать вывод о том, что введение контрольных точек не приводит к существенному ухудшению вероятностно-временных характеристик моделируемой программы. С другой стороны, существенно повышается надежность ее работы.

В четвертой главе рассматриваются вопросы, связанные с оптимизацией компонент сети на основе операционных моделей алгоритмов и программ сетевых устройств. Показано, что процесс оптимизации сети носит итерационный характер. Для повышения качества функционирования сетевых программных или аппаратных средств весьма важно оценить влияние задержек, вносимых операциями различных процессов.

Приведен алгоритм оптимизации показателей качества сети.

1. На основе статистических данных (например, анализа .log файлов) выполняется моделирование всей системы для первоначальной оценки ее вероятностно-временных характеристик.

2. Выполняется моделирование вероятностно-временных характеристик отдельных процессов с целью определения критических операций, вносящих в общую задержку наибольший вклад.

3. Вырабатываются рекомендации по совершенствованию некоторого процесса, например, изменение параметров отдельных операций, замена их на другие операции или (и) изменение последовательности и вероятности их выполнения.

4. Выполняется моделирование вероятностно-временных характеристик выбранного процесса после изменения его параметров или структуры. Вычисляются математическое ожидание, дисперсия выходной величины GERT-сети и дается оценка полученных результатов. Если они все еще не являются удовлетворительными применительно к данному процессу, то выполняется переход на п. 3. В противном случае – переход на п. 5.

5. Выполняется моделирование GERT-сети целиком. Если нужные характеристики еще не достигнуты, то выполняется переход на п. 2. Иначе – конец оптимизации сети.

Введено понятие GERT-сети с непрерывным временем, имеющей группы ветвей $\tilde{G}_1, \dots, \tilde{G}_i, \dots, \tilde{G}_\delta$, составляющих вместе с соединяющими их узлами частичные графы. Каждая группа $\tilde{G}_i = \{g_1^{(i)}, \dots, g_k^{(i)}\}$ содержит ветви, характеризующие операции, относящиеся к какому-то одному процессу или режиму работы. При этом любая ветвь GERT-сети входит только в одну группу. Символом G обозначим исходную GERT-сеть. Если \tilde{G}_i – рассматриваемая группа, то остальное множество дополняющих до полной сети ветвей обозначим через \bar{G} . На каждой итерации мы сосредоточим свое внимание на варьировании только тех проектных переменных, которые связаны со спецификациями ветвей некоторой группы \tilde{G}_i . Задержки во всех остальных ветвях GERT-сети (или во множестве \bar{G}) полагаются равными нулю. Это означает, что производящие функции моментов случайных величин, описывающих эти ветви, равны единице. Вероятности прохождений этих ветвей не изменяются. Откорректированное таким образом множество \bar{G} обозначим через \tilde{G} . В общем случае свойство связности для ветвей любой группы \tilde{G}_i может не соблюдаться. Это означает, что операции, относящиеся к разным процессам, могут выполняться в произвольной последовательности.

Рассмотрены два варианта постановки задачи оптимизации компонент сети:

1. GERT-сеть строится из частичных графов, каждый из которых содержит ветви групп \tilde{G} или \bar{G} . Должно соблюдаться соотношение $t_G = t_{\tilde{G}} + t_{\bar{G}}$, где $t_{\tilde{G}}$, $t_{\bar{G}}$ – времена выполнения соответствующих частичных графов. При нахождении распределения величины $t_{\tilde{G}}$ производящие функции моментов ветвей группы \bar{G} равны единице, а при нахождении распределения времени $t_{\bar{G}}$ производящие функции моментов ветвей группы \tilde{G} также полагаются равными единице. Наилучшие характеристики сети G находятся

путем пошагового изменения параметров ветвей группы \tilde{G}_i . При этом достаточно трудоемкий метод нахождения плотности и функции распределения частичного графа \bar{G} используется лишь однажды.

2. GERT-сеть содержит в себе группы ветвей $\tilde{G}_1, \dots, \tilde{G}_\delta$. Выполнение условия аддитивности выходных величин частичных графов, составленных из ветвей групп \tilde{G}_i и \bar{G} , не требуется. Итерационный процесс варьирования значений параметров частичного графа, порожденного ветвями группы \tilde{G}_i , будем проводить, оперируя не с распределениями выходных случайных величин частичных графов \tilde{G}_i и \bar{G} , а с первыми моментами этих распределений. Никаких ограничений на структуру GERT-сети не накладывается.

В первом варианте постановки задачи GERT-сеть строится из типовых фрагментов. Для выходных величин частичных графов, состоящих из ветвей групп \tilde{G} и \bar{G} , выполняются условия аддитивности. Известно, что произвольная GERT-сеть может быть построена из типовых фрагментов: последовательных ветвей, параллельных ветвей и элементарного частичного графа “ветвь и петля”.

Показано, что для фрагмента, состоящего из двух последовательных ветвей, и фрагмента “ветвь и петля” условие аддитивности величин $t_{\tilde{G}}$ и $t_{\bar{G}}$ выполняется. Для фрагмента, состоящего из параллельных ветвей, условие аддитивности не выполняется.

Использование для моделирования и оптимизации структур и режимов GERT-сетей, составленных из простейших фрагментов, таких как “последовательная ветвь” и “ветвь с петлей”, позволяет проводить многократное изменение проектных параметров одной части моделируемой системы при условии, что время задержки передачи пакета в остальных ее частях характеризуется известным распределением вероятностей. На основе фрагмента типа “ветвь с петлей” можно строить более сложные модели и оптимизировать системы с вложенными циклами.

Во втором варианте постановки задачи знания распределения величины $t_{\bar{G}}$ не требуется. Рассматривается GERT-сеть, представляющая собой частичный граф $G_i^{(s-t)}$, порожденный i -м простым s - t -путем. Предварительные оценки быстродействия преобразуемого частичного графа $G_i^{(s-t)}$ производятся на основе первого момента его выходной величины относительно начала координат. Кроме того, при условии, что распределение одномодальное, можно за короткое время найти значение дисперсии этой величины и оценить вероятность ее попадания в интервал “трех сигм”. Таких оценок достаточно для проведения предварительных итерационных расчетов частичных графов, состоящих из ветвей множества \tilde{G} . В конечном итоге, после получения нужных значений параметров преобразуемого сегмента на основе первых двух моментов распределения, находится распределение выходной величины частичного графа, состоящего из ветвей множества \tilde{G} .

В рамках решения поставленной задачи сформулирована и доказана

Теорема. Среднее время прохождения частичного графа $G_i^{(s-t)}$ GERT-сети можно представить в виде суммы средних времен прохождения каждой ветви, взятых с некоторыми постоянными коэффициентами:

$$\mu = a_1 \bar{t}_1 + a_2 \bar{t}_2 + \dots + a_N \bar{t}_N$$

где μ – среднее время прохождения порождающего $s-t$ -пути;

$\bar{t}_1, \bar{t}_2, \dots, \bar{t}_N$ – средние времена прохождения всех ветвей $s-t$ -пути;

a_1, a_2, \dots, a_N – постоянные коэффициенты.

Показана справедливость данной теоремы и для GERT-сетей, в которых имеются ветви, характеризующиеся сложными распределениями.

Пятая глава посвящена экспериментальной проверке предложенных в предыдущих главах методов. Для проведения эксперимента использовалась система сбора измерительной информации. Алгоритм ее работы моделировался GERT-сетью. На основе анализа статистических данных о времени выполнения соответствующих участков программы были определены распределения времени прохождения ветвей GERT-модели.

В соответствии с предложенным методом организации контрольных точек, а также с учетом аппаратных особенностей экспериментальной системы выполнена расстановка контрольных точек в программе.

Проведено сравнение вероятностно-временных характеристик функционирования программы с контрольными точками и без них. Анализ результатов показал, что предложенный метод повышения надежности функционирования протоколов и программ ЦПС, работающих со сторожевыми таймерами на основе организации контрольных точек, обеспечивает:

- уменьшение на 18 % интервала срабатывания сторожевого таймера, что повышает эффективность его использования;
- полное восстановление данных после сбоя в режиме контроля по сторожевому таймеру при увеличении времени работы алгоритма на 20,6 %.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

В приложениях приведен листинг основных модулей экспериментальной программы, и представлены копии актов о внедрении.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

При выполнении исследований по теме диссертации получены следующие научные результаты:

1. Предложена методика обеспечения показателей качества цифровых промышленных сетей на основе анализа распределений времени прохождения пакетов по различным параллельным путям. Методика обеспечивает проведение итерационного процесса улучшения формы распределения – уменьшение “хвостов распределения”, сведение многомодального распределения к одномодальному, изменение коэффициентов асимметрии и эксцесса до желательных значений, точную оценку вероятностных нормативных времен процесса передачи информационных пакетов.
2. Доказана теорема о возможности эквивалентного преобразования GERT-сети в множество параллельных частичных графов, каждый из которых имеет только один простой путь из источника в сток. Использование данного результата позволяет существенно упростить анализ параллельных процессов передачи информации в режиме реального времени.
3. Предложен метод синхронизации процесса передачи информационных пакетов, критичных к задержкам, по множеству параллельных путей. Метод основан на расчете имеющихся запасов времени передачи и состоит в введении задержек на некоторых путях для выравнивания средних времен передачи и их дисперсий по разным параллельным путям. Предварительно может быть выполнены сведение многомодальных распределений к одномодальным, уменьшение “хвостов” распределений и внесены другие необходимые изменения в форму распределения. Метод основан только на введении задержек (если не считать факультативные функции, связанные с изменением формы кривой распределения) и не требует дополнительных затрат на приобретение оборудования с большим быстродействием.
4. Предложен метод построения структурированной GERT-сети из частичных графов, для времени прохождения которых выполняется свойство аддитивности. Метод позволяет повысить эффективность процесса оптимизации отдельных подсистем, описываемых GERT-сетями, а в конечном итоге и всей системы в целом, при итерационном характере процесса параметрической оптимизации цифровой промышленной сети.
5. Доказана теорема о возможности представления среднего времени передачи GERT-сети или любой ее частичной подсети через линейную комбинацию средних времен прохождения отдельных ветвей. Дается способ нахождения коэффициентов при переменных, в том числе и при использовании сложных распределений, характеризующих время прохождения ветви GERT-сети. На основе доказанной теоремы предложены алгоритмы оптимизации подсистем

цифровой промышленной сети, описываемых GERT-сетями, без наложения ограничений на их структуру.

6. Предложен метод организации контрольных точек в программах или микропрограммах оборудования цифровой промышленной сети. Метод позволяет существенно повысить надежность работы протоколов и управляющего оборудования цифровой промышленной сети, работающей в условиях воздействия помех при практическом сохранении ее вероятностно-временных характеристик.
7. Выполнена экспериментальная проверка разработанных теоретических положений, методов и рекомендаций, которая подтвердила корректность доказанных теорем, сходимость методов, адекватность применения моделей.

Применение на практике новых научных результатов, полученных при проведении исследований, позволяет улучшить показатели качества ЦПС, сократить сроки проектирования протоколов, алгоритмов и программ ЦПС, а также уменьшить затраты материальных и человеческих ресурсов. Полученные новые научные результаты могут быть использованы и при создании высокоскоростных участков глобальных сетей общего пользования, например сети образования и науки RUNNet.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Автоматизированный комплекс обработки телеметрической информации / Кузин В.А., Кравчук Н.В., Шибанов А.П. и др. // Вестник Самарского аэрокосмического университета. № 1. 2003. С. 146 – 153.
2. Шибанов А.П., Кравчук Н.В. Использование моделей GERT при оптимизации компьютерных сетей // Вестник Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Вып. 20. 2007.
3. Кравчук Н.В. Использование прокси-сервера для увеличения числа клиентов автоматизированного комплекса обработки телеметрической информации // Межвуз. сб. науч. трудов “Новые информационные технологии”. 2003. С. 50 – 54.
4. Кравчук Н.В. Комплекс обработки телеметрической информации // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: Тез. докл. восьмой всеросс. конф. Рязань: РГРТА, 2003.
5. Кравчук Н.В. Метод нахождения контрольных точек программ протоколов // Межвуз. сб. науч. трудов “Информационные технологии в образовании”. Рязань, 2006. С. 81 – 85.
6. Кравчук Н.В. Метод обеспечения показателей качества передачи агрегированного канала // Межвуз. сб. науч. трудов “Информационные технологии в образовании и науке”. Рязань, 2006. С. 49 – 51.
7. Кравчук Н.В. Метод обеспечения показателей качества работы агрегированного канала на основе математического моделирования // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: Тезисы докладов XI всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: РГРТУ, 2006.
8. Кравчук Н.В. Модель агрегированного канала связи между коммутаторами промышленной сети // Научная сессия МИФИ-2006. Сб. науч. трудов. Т.15. Конференция “Молодежь и наука”. М.:МИФИ, 2006.
9. Кравчук Н.В. Проектирование программного обеспечения автоматизированного комплекса обработки телеметрической информации // Материалы 31-й Межвузовской научно-практической конференции “Хранить традиции. Готовить профессионалов. Растить патриотов”. Рязань: РВВКУС, 2006.
10. Кравчук Н.В. Способ эквивалентного представления GERT-сети через параллельно соединяемые сети // Межвуз. сб. науч. трудов “Информационные технологии в образовании и науке”. Рязань, 2006. С. 44 – 49.
11. Кравчук Н.В., Марков Д.А. Web-технологии как средство реализации процессов управления в системах сбора и обработки телеметрической информации // Межвуз. сб. науч. трудов “Новые информационные технологии”, 2004. С. 25 – 28.
12. Шибанов А.П., Шибанов В.А., Шибанова О.А., Кравчук, Н.В. Использование системы GERT для моделирования информационных процессов в образовательных телекоммуникациях // Телекоммуникации и информатизация образования. 2006. № 3.

КРАВЧУК Николай Владимирович

**МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ЦИФРОВЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ GERT**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 15.05.2007 г. Формат 60×84 1/16.
Бумага для множительных аппаратов. Печать офсетная.
Гарнитура Times. Усл. печ. л. 1,0
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз.

Рязанский государственный радиотехнический университет
390005, Рязань, ул. Гагарина, д.59/1

Редакционно-издательский центр РГРТУ