

## **МОДЕЛЬ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ С АДАПТИВНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ**

### **Введение**

Внедрение информационных технологий (ИТ) во все сферы человеческой деятельности, интеграция различных информационных систем, происходящая за счет повсеместной доступности широкополосного доступа к сети Интернет, привели к существенному увеличению объемов передаваемых данных. Такие современные методы коммуникации, как видео- и аудиоконференции, работа с удаленными базами данных, увеличение объема информации, порождаемой распределенными информационными системами и пр., генерируют большие объемы трафика, приводящие к возникновению локальных и глобальных перегрузок каналов связи и коммуникационного оборудования, что влечет за собой снижение эффективности работы всей сети передачи данных. Это непосредственно сказывается на производительности информационно-телекоммуникационных систем (ИТС), обеспечивающих поддержку выполнения бизнес-процессов и процессов деятельности предприятий и организаций с распределенной ИТ-инфраструктурой. Поэтому возникает проблема повышения качества передачи высокоприоритетных данных.

Существует два пути решения этой проблемы — экстенсивный и интенсивный. Первый путь связан с внедрением высокоскоростных технологий передачи данных, переходом на оптоволоконные линии связи, повышением производительности сетевого оборудования и т. п. Такой путь требует существенных капиталовложений как на этапе построения высокоскоростных сетей передачи данных, так и на этапе их последующего обслуживания. Поэтому для большинства участников процесса обмена информацией в локальных и глобальных сетях из экономических соображений приемлемым оказывается второй путь — управление потоками информации в сети с учетом важности передаваемых данных [1].

Решение задачи управления информационными потоками является прерогативой систем управления ИТ-инфраструктурой (СУИ) [2], основная задача которой заключается в поддержании работоспособности ИТС. Управление потоками информации целесообразно осуществлять с учетом важности передаваемой информации для поддержания выполнения бизнес-процессов, а также значимости бизнес-процессов и процессов деятельности [3]. В этом случае трафик, создаваемый наиболее важными

распределенными приложениями, получает привилегированные возможности передачи за счет ограничения трафика низкоприоритетных приложений. Несмотря на очевидность и перспективность такого подхода в настоящее время преобладают методы управления потоками путем реализации в маршрутизаторах функции Traffic shaping, которая в сущности является тривиальным ограничением трафика с учетом приоритетов пакетов в случае поддержки маршрутизатором QoS.

Поэтому разработка и модернизация методов и средств управления потоками информации для предотвращения перегрузки каналов связи путем контроля скорости передачи данных конкретными рабочими станциями и серверами или прикладными программами с учетом значимости передаваемых данных является актуальной задачей.

### **Анализ публикаций по управлению информационными потоками**

В исследованиях, описанных в публикациях [1] и [4] рассматривается вопрос управления информационными потоками, при этом решается задача ограничения трафика.

В [4] рассматриваются только общие правила и подходы к управлению трафиком для предотвращения перегрузок сети, вызванных большими входящими и транзитными нагрузками, когда управление потоками осуществляется без учета приоритетов передаваемой информации.

В работах [5—7], посвященных рассмотрению вопросов агрегации трафика, оптимизации сетевой нагрузки и пр., решаются разнообразные задачи сетевого управления. При этом не учитываются требования к качеству передачи информационных потоков, выдвигаемые распределенными приложениями, обеспечивающими поддержку выполнения бизнес-процессов.

Работа [8] использует механизмы QoS для предоставления приложениям требуемой полосы пропускания, но не учитывается значимость этих приложений.

В [1] используется управление с помощью правил (Policy-based Management) для ограничения объемов передаваемой информации. Однако при этом не рассматриваются вопросы построения адаптивного регулятора для использования в разработанной системе управления информационными потоками в корпоративной IP-сети.

Неизвестны работы, посвященные разработке адаптивного регулятора подсистемы управления информационными потоками, учитывающего загруженность каналов связи и задержку во времени, обусловленную сбором данных, необходимых для расчета управляющего воздействия, а также передачей и выполнением команд управления.

### **Постановка задачи**

Необходимо разработать адаптивный регулятор (АР) подсистемы управления информационными потоками (ПУИП), являющейся составной частью СУИ информационно-телекоммуникационной сети и полу-

чающей информацию о загруженности сети, а также вырабатывающей управляющие воздействия с учетом задержек на передачу контрольной информации и управляющих воздействий, а также задержек на определение и реализацию сигналов управления.

### **Разработка математической модели адаптивного регулятора**

Для реализации в ПУИП централизованного управления информационными потоками корпоративной ИТС, позволяющего оптимизировать загруженность каналов связи, предоставляя требуемое качество передачи высокоприоритетным потокам данных за счет ограничения потоков данных, генерируемых низкоприоритетными приложениями, необходимо разработать математическую модель адаптивного регулятора, создать алгоритмы управления, рассмотреть возможность применения существующих протоколов управления сетевыми элементами и решить ряд других задач.

С точки зрения теории автоматического управления (ТАУ) сеть передачи данных можно описать следующим образом.

Объектом регулирования (ОР) выступают рабочие станции, серверы, кластеры и другие элементы ИТ-инфраструктуры, которые генерируют потоки информации с интенсивностью  $\lambda(t)$ .

Задающее воздействие или входная величина соответствует пропускной способности канала передачи данных и в ПУИТ реальных СУИ устанавливается на уровне 95-98% от пропускной способности.

Выходной величиной является интенсивность информационного потока  $\lambda_p(t)$  на выходе ОР после реализации управляющего воздействия.

Ошибка регулирования является величина, соответствующая перегрузкам в канале связи.

Задачей данной работы является синтез регулятора, который на основе анализа выходной величины определяет управляющее воздействие, минимизирующее ошибку регулирования. Причем управляющее воздействие не вырабатывается, когда генерируемый трафик  $\lambda(t)$  не превышает задающее воздействие. В противном случае производится регулирование и разрабатываемую подсистему можно рассматривать как систему стабилизации с принципом управления по отклонению [9].

Для реализации управления с минимальной ошибкой и малым временем регулирования необходимо рассчитать регулятор, что, в свою очередь, предполагает построение математической модели ОР. Потоки информации в ИТС имеют стохастическую природу, поэтому ОР не является постоянной структурой, которая может быть описана системой дифференциальных уравнений.

В тоже время управление осуществляется на интервале управления  $T_y$ , значение которого выбирается таким образом, чтобы выполнялось следующее условие:

$$T_y \geq \sum (T_{изл} + T_{n1} + T_{yв} + T_{n2} + T_p), \quad (1)$$

где  $T_{изл}$  — время, необходимое на измерение загруженности сети;  $T_{n1}$  — время доставки результатов измерения в ПУИП;  $T_{yв}$  — затраты времени на определение управляющего воздействия в ПУИП, включая время работы регулятора;  $T_{n2}$  — время передачи служебной информации о характере и величине управляющего воздействия на ОР;  $T_p$  — время реализации управляющего воздействия в ОР.

Если значение  $T_y$  меньше времени  $T_{вар}$  — интервала между фиксируемыми изменениями характеристик трафика

$$T_y \leq T_{вар}, \quad (2)$$

то при определении передаточных функций регулятора и управляющих воздействий можно исключить параметр времени.

При выполнении условия (2) интенсивность генерируемого трафика считается неизменной на интервале  $T_y$ . Такое утверждение справедливо для трафика потокового характера, передачи файлов больших размеров, трафика аудио- и видео конференций и множества других типов трафика. В таких случаях график зависимости величины потока от времени можно представить в виде скачков случайной амплитуды и длительности, причем длительность скачка будет больше  $T_y$ . Выражение (2) часто будет выполняться и при малом значении интервала  $T_y$ .

Очевидно, что для постоянно изменяющегося ОР не существует линейного уравнения, которое бы должным образом описывало зависимость изменения величины трафика от времени и управляющего воздействия. Таким образом, априорной информации об объекте управления оказывается недостаточно для построения ПУИП с желаемыми показателями качества. Изменения в процессе работы значений параметров ОР вызывают необходимость соответствующих изменений значений параметров и структуры регулятора. Поэтому регулятор ПУИП в процессе функционирования должен реагировать на изменение свойств ОР путем изменения значений своих параметров или структуры таким образом, чтобы достигать наилучшего качества работы. Регуляторы такого типа являются адаптивными [9].

С учетом (2) модель трафика можно рассматривать как ОР с переменными параметрами, когда на промежутках времени  $T_{вар}$ , соответствующих отдельным скачкам, величина трафика не изменяется во времени. Тогда передаточную функцию ОР  $W_{ОР}(z)$  на этих промежутках времени можно представить пропорциональным звеном с коэффициентом  $K_D$ , равным величине потока:

$$T_y \leq T_{вар}, \quad (3)$$

При изменении интенсивности потока происходит соответствующее изменение значения параметра ОР. Для передаточной функции ОР типа (3) в регуляторе не требуется изменение его структуры, а изменяются только значения параметров настройки. В этом случае регулятор можно рассматривать как аналитическую систему с самонастройкой по ха-

ктеристикам объекта управления. Изменение значений параметров регулятора в соответствии с изменением параметра объекта управления производится устройством настройки параметров регулятора (УНПР).

Основными этапами проектирования адаптивного регулятора являются синтез его структуры и разработка алгоритма адаптации.

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$W_3(z) = \frac{W_P(z) \cdot W_{OP}(z)}{1 + W_P(z) \cdot W_{OP}(z)}, \quad (4)$$

где  $W_3(z)$  — передаточная функция замкнутой системы,  $W_P(z)$  — передаточная функция регулятора.

Из (4) получим выражение для определения передаточной функции регулятора:

$$W_P(z) = \frac{W_3(z)}{W_{OP}(z) \cdot (1 - W_3(z))}. \quad (5)$$

Выбираем передаточную функцию замкнутой системы в виде апериодического звена первого порядка, которое обеспечивает нулевую статическую ошибку и малое время регулирования:

$$W_3(s) = \frac{1}{s + 1} \xrightarrow[T_0=0,05]{z\text{-преобразование}} W_3(z) = \frac{0,09516}{z - 0,9048}, \quad (6)$$

где  $T_0$  — период дискретизации, который выбран равным 0,05 с.

На основе выражений (3), (5) и (6) получаем следующую передаточную функцию адаптивного регулятора:

$$W_P(z) = \frac{0,09516}{K(z - 1)}. \quad (7)$$

Изменение значения параметра  $K$  регулятора производится в соответствии с изменением передаточной функции ОР.

Алгоритм адаптации в данном случае является простым и заключается в установлении значения параметра  $K$  регулятора равным значению параметра  $K_{П}$  ОР. Реализация алгоритма осуществляется программно посредством УНПР.

Модель подсистемы управления информационными потоками с адаптивным регулятором, построенная в пакете Matlab 7.1, изображена на рис. 1.

Для включения ОР в цепь регулирования в качестве пропорционального звена, которое изменяет значение параметра  $K_{П}$  при изменении объема генерируемого трафика, на схеме модели рис. 1 задействовано два блока, каждому из которых отвечают различные аспекты работы ОР. Этими блоками являются генератор потока информации и объект регулирования. В реальных ИТС этим блоком соответствует один элемент, являющийся источником потока данных. Генератор потока информации создает трафик с заданными статистическими свойствами, однако в силу специфики моделирования амплитуду сигнала этого блока, которым

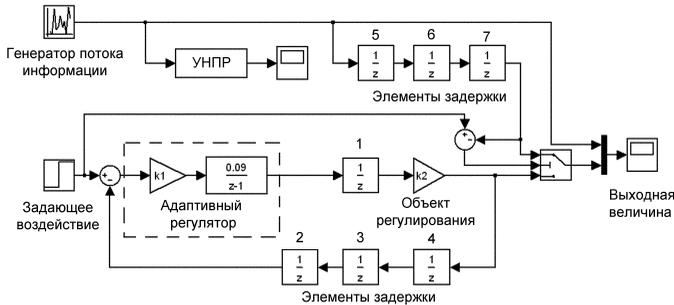


Рис. 1 – Модель подсистемы управления информационными потоками с адаптивным регулятором

в реальных ИТС соответствует интенсивность трафика, нельзя регулировать. Поэтому в модель введен блок — объект регулирования, который позволяет осуществлять регулятору управление интенсивностью потока. Таким образом, на выходе объекта управления присутствует регулируемый поток информации  $\lambda_p(t)$ , а на выходе генератора потока информации — нерегулируемый  $\lambda(t)$ .

Поскольку регулирование происходит только в моменты времени, когда в канале присутствуют перегрузки, а в противном случае управляющее воздействие не вырабатывается, то в ПУИП реализовано два режима функционирования модели. В первом случае, при допустимой загруженности канала связи объект регулирования с помощью переключателя находится в пассивном состоянии и информационный поток  $\lambda(t)$  передается без ограничений. Во втором случае, при появлении перегрузок в канале связи, в действие вводится адаптивный регулятор, реализующий управление потоками данных. Настройка параметра регулятора осуществляется посредством УНПР.

Элементы задержки 2—4 позволяют при моделировании учесть интервал времени, соответствующий интервалу  $T_{изл} + T_{n1} + T_{yв} + T_{n2}$ , а элемент задержки 1 — интервал  $T_p$ . Элементы задержки 5—7 учитывают время прохождения потоков данных по сети.

### Результаты моделирования

При тестировании работы адаптивного регулятора ПУИП рассмотрены три типа трафика.

Первый тип трафика представлен на рис. 2 пунктирной линией и представляет собой стохастический трафик  $\lambda(t)$  со ступенчатым изменением интенсивности потока.

Второй тип трафика приведен на рис. 3 и соответствует трафику, генерируемому, например, IRC клиентами. В этом случае происходит резкое и частое изменение величины потока. На рис. 4 приведен график

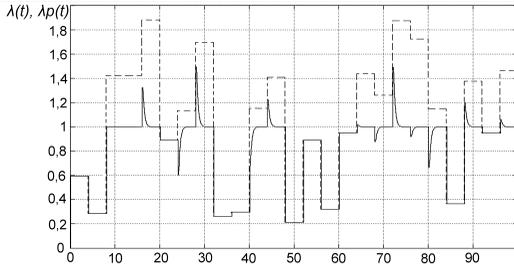


Рис. 2 – Загруженность канала связи  $\lambda_p(t)$  с адаптивным регулированием потоков информации (сплошная линия) и без регулирования  $\lambda(t)$  (пунктирная линия).

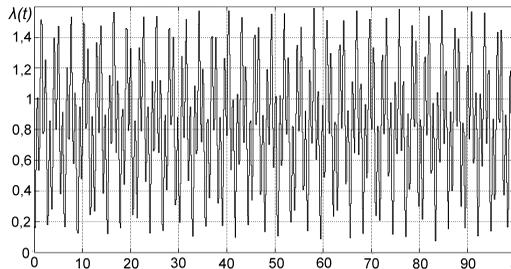


Рис. 3 – Загруженность канала связи  $\lambda(t)$  без регулирования.

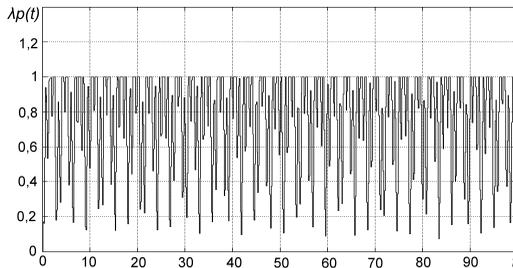


Рис. 4 – Загруженность канала связи  $\lambda_p(t)$  при использовании адаптивного регулятора.

загруженности канала связи  $\lambda_p(t)$  при использовании адаптивного регулятора.

Следующий тип трафика соответствует реальному e-mail трафику, генерируемому пакетом OPNET на основе параметров, приведенных на рис. 5.

Результат генерации трафика, соответствующий экспериментальным исследованиям обмена e-mail трафиком между сервером и клиент-

Attribute	Value
Send Interarrival Time (seconds)	exponential (360)
Send Group Size	constant (3)
Receive Interarrival Time (seconds)	exponential (360)
Receive Group Size	constant (3)
E-Mail Size (bytes)	constant (2000)
Symbolic Server Name	Email Server
Type of Service	Best Effort (0)
RSVP Parameters	None
Back-End Custom Application	Not Used

Рис. 5 – Параметры e-mail трафика в пакете OPNET.

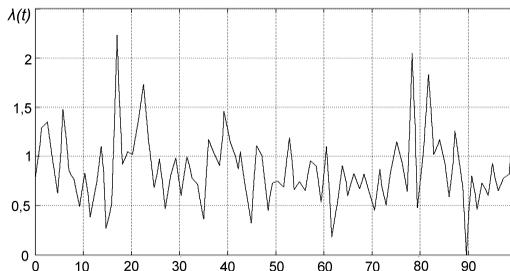


Рис. 6 – График загрузки канала связи e-mail трафиком без управления.

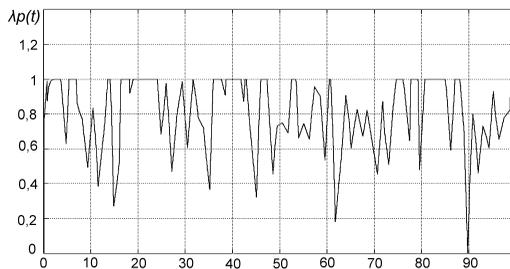


Рис. 7 – График загрузки канала связи e-mail трафиком при адаптивном управлении.

ской станцией на реальных сетях, полученный специалистами OPNET Technologies Inc., приведен на рис. 6. График загрузки канала связи после адаптивного регулирования изображен на рис. 7.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что синтезированный методами ТАУ адаптивный регулятор при использовании его в ПУИП СУИ позволяет управлять интенсивностью информационных потоков, поступающих в ИТС, позволяя избежать перегрузок ка-

налов связи. Регулятор ограничивает запредельные информационные потоки при отсутствии априорной информации об объекте управления, при ошибке регулирования не более  $10^{-3}$ . Значения параметров регулятора изменяются в режиме реального времени в зависимости от значения параметров объекта управления.

### Выводы

В статье разработана модель подсистемы управления интенсивностью входящих информационных потоков. Получена передаточная функция и синтезирована структура адаптивного регулятора. Подсистема управляет интенсивностями входящих в сеть информационных потоков, не допуская перегрузки каналов связи. Применение предложенной подсистемы управления в системах сетевого управления позволит распределять и перераспределять сетевые ресурсы в зависимости от значимости распределенных приложений, генерирующих информационные потоки, ограничивая интенсивность малозначимых потоков при возникновении сетевых перегрузок. Интерес представляет синтез регулятора, оптимизирующего загрузженность каналов связи в сетях со сложной структурой.

### Литература

1. Ролик А.И., Иосифов В.А. Система управления информационными потоками в корпоративной IP-сети // Адаптивные системы автоматического управления. Межведомственный научно-технический сборник.— Днепропетровск: Системные технологии, 2009.— Вып. 14 (34).— С. 73—85.
2. Система управління інформаційно-телекомунікаційною системою корпоративної АСУ/ С.Ф.Теленик, О.І.Ролік, М.М.Букасов, Р.Л.Соколовський // Вісник НТУУ “КПІ”. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2006. — 45. — С. 112—126.
3. Ролик А.И. Модель управления перераспределением ресурсов информационно-телекоммуникационной системы при изменении значимости бизнес-процессов// Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. ХГТУ. — 2007. — 2 (20). — С. 73—82.
4. Дымарский Я.С., Крутякова Н.П., Яновский Г.Г. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи. М.: ИТЦ “Мобильные коммуникации”.— 2003. — 384 с.
5. An overview of routing optimization for internet traffic engineering/ N. Wang, K. Hon Ho, G. Pavlou, M Howarth// IEEE Communications Surveys & Tutorials. — 2008. — Vol. 10, No. 1.— pp. 36—56.
6. Towards Robust Multi-layer Traffic Engineering: Optimization of Congestion Control and Routing/ J. He, M. Bresler, M. Chiang, J. Rexford// IEEE Journal on Selected Areas in Communications. — 2007.— Vol. 25, Issue 5.— pp. 868—880.

7. Awduche D. O. MPLS and traffic engineering in IP networks// IEEE Communications Magazine. — 1999, December.— pp. 42—47.
8. Ролик А.И., Ружанская О.В. Сетевая модель обеспечения качества сервиса при передаче мультимедийной информации в глобальных сетях// Вісник НТУУ “КПІ”. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2007. — 46.— С. 187—205.
9. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. — 2-е изд., перераб. и доп.— К.: Высшая шк. Головное изд-во, 1989. — 431 с.

Отримано 14.02.2010 р.