

Модель системы автоматизированного управления информационным обслуживанием

А.В. Сироткин, Н.И. Бархатов

Актуальность и постановка задачи.

В настоящее время одной из актуальных задач при построении автоматизированных информационных систем (АИС), в том числе лежащих в основе систем управления технологическими процессами является задача повышения качества информационного обслуживания. Это связано с тем, что современные архитектуры хранения данных определяют возможность отказов при множественном доступе к общим ресурсам. Отказы ведут к возникновению задержек в обслуживании, имеющих к тому же стохастический характер, что является негативным фактором, снижающим эффективность информационной системы в целом. В связи с этим необходима разработка технических и программных средств, позволяющих устранить, снизить или управлять влиянием этого фактора на скорость информационных процессов в системе.

Эта проблема не является новой. Её можно отнести к одной из наиболее актуальных реализаций систем массового обслуживания, возникновение которой связано с возникновением сетей передачи данных. В современном представлении эта проблема находит два воплощения, во-первых это проблемы обслуживания, связанные с распределением ресурсов общих источников данных. Этот аспект был глубоко исследован широким кругом учёных, как пример можно привести работы [1-2], иллюстрирующие фундаментальность проблемы. Второй аспект, связанный с распределением ресурсов общих каналов передачи данных, не менее актуален в связи с лавинообразным развитием современных сетей, элементы классических основ теории которых, отражены например в работах [3-4].

Для решения проблем стохастических задержек обслуживания, связанных с сетями и источниками данных, разработано множество

технологий, ориентированных на управление информационным обслуживанием. К таковым, например, можно отнести управление и организация очередей обслуживания активными сетевыми устройствами на основе технологий *QoS* или *MPLS*. Для этой цели в сетевые пакеты внедряются маркеры, значения которых определяют классы трафика и очередность обслуживания.

Маркерные технологии управления обслуживанием можно с успехом использовать для управления информационным взаимодействием в автоматизированной информационной системе. Управляющая система основывается на импозиции в сетевой пакет управляющего маркера m , значение которого получено из управляющего плана Π как функция параметра p , характеризующего потребительские качества эффективности системы, т. е.

$$m = \Pi(p). \quad (1)$$

Разработка и реализация технических решений, основанных на маркировке пакетов, используемых для повышения эффективности информационного обеспечения процессов управления, уже описаны авторами в предыдущих работах, например [5-8]. Однако до сих пор не были решены вопросы динамического управления, основанного на мониторинге текущего состояния информационных потоков. Предложенные технические решения были основаны на статических управляющих конфигурациях, формируемых оператором или администратором системы. В основе конфигураций лежал анализ значимости информационных процедур для системы управления.

Между тем, информационные процессы, протекающие в АИС, не имеют статического характера. Время протекания процессов зависит от загруженности запросами каналов и источников данных, время процессов управления определяет время актуализации информации, величина задержек может влиять на важность получения информационных объектов и пр. Эти факторы и построенные на их основе дисциплины обслуживания в разное время были описаны в следующих работах [9-10]. Поэтому реализация

автоматизированной системы управления информационным взаимодействием также не может не учитывать динамического характера их протекания, для этого должны быть разработаны соответствующие архитектурные и программные решения, что, собственно, и является целью настоящей работы.

Новизна идеи.

В основу системы положена задача управления информационным обслуживанием за счёт маркировки *IP*-пакетов *TOS*-маркерами на основе рабочих конфигураций, реализующих управляющие приоритетные планы. Основным отличием предлагаемого решения является то, что при этом производится учёт текущих параметров информационных потоков не только исходящих от источника, но и параметров потоков после их приоритетного перестроения. Этот подход позволит учесть время задержки перестроенных потоков, провести анализ времени актуализации содержащейся в них информации, получить сведения об их текущем состоянии. Предложенный подход не позволяет построить полноценную систему управления с обратной связью, поскольку потоки имеют дискретный характер, невозможно сформулировать передаточную и переходную функции звена управления, отсутствует разработанный механизм анализа автоколебаний и пр. Но, не смотря на это, можно построить рабочую модель, которая с некоторой допустимой дискретностью будет формировать рабочую конфигурацию маркерного плана, учитывающего приведённые выше параметры.

Структурно-функциональная модель системы.

Ядром системы является активное сетевое устройство, выполняющее функции пакетного управления трафиком на основе *QoS/TOS*. В качестве такого в прототипе системы был использован маршрутизатор *Cisco 2650*. Задачей маршрутизатора является построение и управления очередей обслуживания на основе *TOS* маркеров – m (1), внедрённых в заголовки пакетов.

В основе архитектуры системы лежат следующие выполняемые функции:

- анализ параметров композитного потока на выходе общего источника данных;
- анализ параметров композитного потока на выходе маршрутизатора;
- динамическое построение управляющей конфигурации Π , $m \in \Pi$;
- импозиция маркеров m в заголовки пакетов.

Для решения этих задачи в системе присутствуют следующие объекты (см. рис. 1).

1. Сервер данных, на котором работает программа-анализатор. Сервер выполняет функции информационного обслуживания, программа-анализатор, прототипом которой выступает программа *InfoPainter* [11], формирует данные о параметрах концентрации информационных потоков d_{in} , исходящих из источника. Концентрация – d_i , i -го потока, рассчитывается как отношение объёма данных W_i , зарегистрированного за время t , к общему объёму W_{Σ} :

$$d_i(c) = \frac{W_i(t)}{W_{\Sigma}(t)}; \quad W_i(t) = \sum_{j=1}^{c_i(t)} w_{ij}; \quad W_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{c(t)} w_j, \quad (2)$$

где c – количество зарегистрированных за время t кадров; w_j – объём j -го кадра сетевого трафика [8].

2. Сервер конфигураций представляет собой аппаратно-программный комплекс (АПК), программное обеспечение которого выполняет следующие функции:

- а. поддержание каналов приёма данных от сетевых Анализаторов на основе сокет-серверов;
- б. поддержание сокет-клиента для передачи конфигурации на АПК-Маркировщик;

- с. формирование рабочей конфигурации на основе приоритетного плана $\Pi(p)$ и параметров концентрации композитных потоков d_{in} , d_{out} .

3. Маркировщик представляет собой АПК, реализующий функцию импозиции TOS маркера в заголовок IP -пакета. В основе комплекса лежит вычислительная система на базе *Unix FreeBSD 8.0* и программный комплекс *EtherMark* [12]. Программа поддерживает сокет сервер для получения рабочей конфигурации от сервера конфигураций, которую использует для формирования маркера m_{TOS} и его импозиции в пакет. Маркер определяется как результат хеш-функции

$$m = f(\Pi(p), d_{in}, d_{out}) \quad (3)$$

$$p = \text{Arg max}(F(Q)); \quad Q = (q_1, q_2, \dots, q_n),$$

где Q – вектор показателей эффективности работы системы, F – некоторая обобщающая функция на основе функции свёртки, p – вектор показателей информационного потока выбранного к приоритетному обслуживанию, в данном примере $p=(s, r)$, где s – хеш-индекс субъекта информационного взаимодействия, например IP -адрес хоста рабочей станции или MAC -адрес сетевой карты, r – хеш-индекс информационного потока, из плана, составленного на экспертной основе.



Рис. 1. – Структура модели системы управления

Работа маркировщика основана на выполнении следующих действий.

1. Поступающий сетевой пакет перехватывается функцией-маркировщиком, перекрывающей стандартную функцию *gateway()* операционной системы.

2. Проверяется тип перехваченного сетевого пакета. Маркировка выполняется только для пакетов *IPv4*, прочие передаются без изменений.

3. Вызывается процедура, запрашивающая новую конфигурацию с сервера конфигураций. Если таковая не предлагается сервером, процедура завершает работу и сохраняет имеющийся набор параметров. В противном случае конфигурация загружается, перекрываются параметры, хранящиеся в переменных АПК.

На работу процедуры наложено два ограничения, исключающих перегрузку сети при выполнении запросов:

- одновременно может работать не более одного экземпляра процедуры-конфигуратора;

- процедура-конфигуратор запускается только тогда, когда от сервера конфигураций получено специальное сообщение о наличии новой конфигурации («приглашение»).

В обоих случаях за это отвечают специальные флаги.

4. Независимо от результата работы процедуры устанавливается тип маркера и его значения для данного сетевого пакета согласно текущей конфигурации.

5. Сетевой пакет, готовый к передаче, маркируется согласно имеющимся параметрам, после чего возвращается операционной системе для отправки в инфраструктуру.

Диаграмма последовательностей описанного процесса приведена на рис. 2, диаграмма классов на рис. 3.



Рис. 2. – Диаграмма последовательностей процесса работы Маркировщика



Рис. 3. – Диаграмма классов объектов Маркировщика *EtherMark*

4. В системе также присутствует АПК Анализатор, в функции которого входит анализ сетевого трафика и формирование множества $D(T)$, включающего в себя текущие концентрации информационных потоков $d_{out,i} \in D$; $i \in [1, |D|]$. Анализатор с использованием программы *InfoPainter* формирует значения концентрации для каждого из проходящих потоков на основе накопленной информации о количестве прошедших *Ethernet*-кадров. Необходимость включения в модель этого компонента обусловлена тем, что в отличие от источника данных на активном сетевом устройстве невозможно решение подобной задачи. Полученные значения $d_{out,i}$ Анализатор передаёт на сокет-порт Сервера конфигураций.

Основная задача, которую выполняет Сервер конфигураций – анализ поступающих значений сетевого мониторинга и выработка на их основе рабочих конфигураций, использующих выбранную дисциплину диспетчеризации. Решение этой задачи основывается на планировщике $H(T)$, который с заданной дискретностью T запускает задачи формирования рабочей конфигурации $C = \{m_i(r_i, s_i)\}$, которую передаёт затем на Маркировщик. В качестве дисциплин диспетчеризации информационных потоков могут использоваться дисциплины, учитывающие параметры

управления, основанные на ранжировании информационных процедур. Для этой цели разработана дисциплина «первоочередное обслуживание по наивысшему рангу фрагмента» – «*Higher Priority – First Frame Serving (HPFFS)*» [9] на основе динамических рангов информационных объектов

$$S(t) = (s_1, \dots, s_m) \in M!; \quad |M!| = m!; \quad M = (1, 2, \dots, m),$$

где $M!$ – множество всевозможных перестановок из последовательности M значений рангов объектов, которая формулируется как

$$\begin{aligned} S^*(t) &= (s_1^*, s_2^*, \dots, s_m^*) = \text{Arg max} (f(\bar{y}(S_l(t)))); \\ l &\in \overline{1, m!}; \quad m = |S(t)| \end{aligned} \quad (4)$$

где $f(\bar{y}(S(t))) = M_r(w, \bar{y}(S(t)))$ функция свёртки на основе взвешенного степенного среднего [13], $\bar{y}(S(t))$ - нормированный относительно целевых значений вектор $\bar{Y}(S(t))$ для используемого порядка $S(t)$ выполнения процедур, при том, что

$$\bar{Y}(S(t)) = (\bar{Y}_1(S(t)), \dots, \bar{Y}_m(S(t))) = \Psi(S(t)),$$

где Ψ - функционал, выражающий зависимость прогнозируемой длительности обслуживания процедур $\bar{Y} = (\bar{Y}_1, \dots, \bar{Y}_m)$ от $S(t)$.

Для каждой процедуры p_i на этапе ее описания устанавливается время незавершенного обслуживания $Y_i(t) = 0$. Обозначим время счета по каждой процедуре к моменту времени t как $T(t) = (T_1(t), T_2(t), \dots, T_n(t))$ и установим, что в момент t_j запуска i -й процедуры $T_i(t_j) = 0$.

Окончательно полный вектор описания процедуры будет выглядеть следующим образом: $p_i = (s_i, q_i, T_i, W_i, Y_i, Y_{i,ц}, Y_{i,д})$, где s и q ранги субъекта и объекта информационной процедуры, W – объем соответствующей процедуры в операциях выполнения, $Y_{ц}$ и $Y_{д}$ – целевое и допустимое время ожидания выполнения процедуры.

Дисциплина (4) определена как непрерывная, не учитывающая дискретного характера передачи потоков по локальным сетям. Множество процедур $E(t)$ не ограничивается каким-либо фиксированным набором, для

которого система обслуживает все входящие в него процедуры. В любой момент $t_{j+1} \in \overline{0, T_\Sigma}$ происходит пополнение множества $E(t)$, образуя новое множество $E(t) \cup E(t_{j+1}) = E^*(t_{j+1})$, к которому применяется алгоритм (4) для определения последовательности $S^*(t_{j+1})$. При этом существует вероятность получения неопределенно долгого обслуживания (зависания) некоторой процедуры p_l ; $l \in \overline{1, m}$; $m = |E^*(t_{j+1})|$ за счет постоянного пополнения множества новыми процедурами, для которых будут определяться более высокие приоритеты. Для исключения этого положения следует ввести следующее правило:

$$\begin{aligned} \forall (p_i \in E^*(t_{j+1})) \wedge (p_i \in E(t_j)) \Rightarrow s_i(t_{j+1}) = c s_i(t_j), \\ p_i = (s_i); \quad c > \max s_i(t_{j+1}), \end{aligned} \quad (5)$$

где c – коэффициент корректировки, устанавливающий абсолютный приоритет набора $E(t_j)$ перед $E(t_{j+1})$. Коэффициент c исключит эффект «зависания» для процедур ранее поступивших в очередь диспетчеризации. В процессе выполнения p_i процедура преобразуется к вектору вида:

$$p_i^* = (s_i, q_i, T_i^*, W_i^*, Y_i, Y_{i.Ц}, Y_{i.Д}), \quad W_i^* = W_i - W_\Delta; \quad T_i^* = T_i + 1, \quad (6)$$

где W_Δ – переданный объем объекта соответствующей процедуры.

Дискретная модель (6) может быть основана как на особенностях информационной процедуры, включающей множество операций по реализации, разделенных по времени, так и на особенностях среды передачи данных, используемой для построения инфраструктуры АСУП. Так, например, при использовании протоколов *Ethernet* или *IEEE 802.3* дискретизация получается за счет инкапсуляции информационных объектов в область дейтаграммы кадра, относящегося к канальному уровню *OSI*, и имеющего фиксированный размер для одних и тех же типов данных. Время синхронизации $\tilde{t} = t_{j+1} - t_j$; $t_j \in \overline{0, T_\Sigma}$ в таких системах устанавливается равным фиксированному значению, определяемому как $\tilde{t} = W_F / \mu$, где W_F – фиксированный размер операции, например, кадра *Ethernet*.

Отличием дискретной модели *HPFFSd* (6) от используемых в операционных системах дисциплин диспетчеризации, например динамических процедур *Round Robin*, является то, что первая учитывает не только время выполнения процедуры, но и её объем, и целевые значения задержек, необходимые для принятия решения Сервером конфигураций.

Заключение. Представленная структурно-функциональная модель может быть использована для реализации систем автоматизированного приоритетного управления информационным обслуживанием в автоматизированных информационных системах, в которых можно однозначно идентифицировать субъектов и объекты информационного взаимодействия и установить параметры эффективности работы системы на основе сформулированных потребительских показателей, например таких как целевое и допустимое время задержки информационного обслуживания.

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания на выполнение научно-исследовательской работы «Оптимизация информационного взаимодействия в АСУП», регистрационный номер 710442011.

Литература

1. Lindley D.V. The theory of queues with a single server // Proc. Camb. Phil. Soc., 1952. Vol. 48. P. 277-289. – Яз. англ.
2. Kiefer J., Wolfowitz J. On the theory of queues with many servers// Trans. Amer. Math. Soc., 1955. Vol. 78. P. 147-161. – Яз. англ.
3. Pittel B. Closed exponential networks of queues with saturation: the Jackson-type stationary distribution and its asymptotic analysis// Math. Oper. Res., 1979. Vol. 4, P. 357-378. – Яз. англ.

4. P. 357-378. Jackson J.R. Networks of Waiting Lines// Oper. Res., 1957. Vol. 5, P. 518-521. – Яз. англ.

5. Сироткин А. В. Повышение эффективности АСУ на основе оптимизации информационных процессов [Текст]: Монография // А. В. Сироткин. – Магадан: Ноосфера, 2012. – 144 с. – Яз. рус.

6. Сироткин А. В., Брачун Т. А., Бархатов Н. И. Особенности реализации приоритетного управления информационным обслуживанием в вычислительных системах [Текст]// Новые информационные технологии и системы: тр. X Междунар. науч.-техн. конф. (г. Пенза, 27–29 ноября 2012 г.). – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – С. 56-59. – Яз. рус.

7. Сироткин А. В., Брачун Т. А., Бархатов Н. И. Моделирование приоритетного управления информационными потоками с использованием сокетов [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4. - Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1192> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

8. Сироткин А. В. Модель системы трёхуровневого обеспечения информационного взаимодействия в АСУ [Электронный ресурс]// Инженерный вестник Дона, 2012, № 4. - Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1187> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

9. Анкудинов И. Г., Сироткин А. В. Диспетчеризация процедур информационного взаимодействия в АСУ [Текст] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2010. – №1(93). – С.63-68. – Яз. рус.

10. Сироткин А. В. Управление процедурами информационного обслуживания в автоматизированных системах управления [Текст] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. № 1(93), 2010. – С. 55-60. – Яз. рус.

11. Сироткин А. В., Звонов Ф.Н., Ржанников Г. А., Сафронов Ю. В. Программа InfoPainter для анализа и визуализации информационных потоков в среде Ethernet [Текст]/ ИКАП: Свидетельство о регистрации программы для

ЭВМ ВНИИЦ от 19.08.09, код № 0203027050344, инв. № 50200900936. – Яз. рус.

12. Сироткин А. В., Бархатов Н. И. Программный комплекс «EtherMark» для маркировки сетевых пакетов [Текст]/ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ ФИПС № 2013618007 от 16.07.13. – Яз. рус.

13. Анкудинов Г. И. Автоматизация структурного синтеза и принятия решений в управлении и проектировании [Текст]: Монография/ Г. И. Анкудинов. – СПб.: СПбПУ, 2008. – 202 с. – Яз. рус.