

УДК 621.391.28

# ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТНО – ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

**М.О. Колбанёв,**

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Приводятся требования к методам описания процессов функционирования центров обработки информации и управления, ориентированным на построение математических моделей оценки вероятностно-временных характеристик. Излагаются основы метода составления описания, отвечающего этим требованиям.*

*The methods of the description of the processes functioning of centers switching and information processing focused on construction of mathematical models to an estimation of time and probabilistic characteristics are considered. The bases of a method of drawing up of the description are stated.*

Количественный рост инфраструктуры интеллектуальных сетей связи и реализуемых ими приложений ведет к качественным изменениям в направлении все большей интеллектуализации центров обработки информации и управления (ЦОУ).

Модели, ориентированные на исследование процессов функционирования ЦОУ в условиях реального времени, имеют иерархическую структуру (рис. 1). В настоящей статье излагается метод составления формализованного описания процесса функционирования (ПФ) при взаимодействии ЦОУ с внешним окружением (ВО), ориентированный на использование при исследовании вероятностно-временных характеристик (ВВХ) [1–5]. Описание процесса взаимодействия ЦОУ с внешним окружением основывается на следующих предположениях о функционировании ЦОУ и структуре его ВО.

ЦОУ предоставляет информационные услуги нескольких видов. Под информационной услугой понимается либо процесс установления соединения (например, внутреннего, исходящего, входящего, транзитного), либо процесс обслуживания вызова (например, изменение скорости передачи информации или состава участников соединения), либо заказ какой-нибудь услуги, не относящейся к установлению соединений или обслуживанию вызова. В процессе предоставления информационной услуги каждого вида задействована определенная группа элементов управления и реализуется определенный процесс (сценарий) обмена управляющими сообщениями сигнализации. С каждой услугой связана определенная управляемая элементами управления линия поведения ЦОУ:

внешнее окружение ЦОУ, реализующего некоторую услугу, состоит из группы элементов управления разных типов. Тип такого элемента определяется типом используемой терминальной аппаратуры и программного обеспечения (например, пользователи с аналоговыми или цифровыми терминалами, линии связи с той или иной системой сигнализации и т.п.), а также той функцией, которую выполняет элемент в процессе предоставления информационных услуг (например, вызывающий или вызываемый пользователь сети). Тип элемента управления находит свое конкретное выражение в множествах входных и выходных сообщений, которые могут поступать от него на ЦОУ и соответственно быть приняты им от ЦОУ;

в процессе взаимодействия ЦОУ и его ВО находятся в определенных внутренних состояниях, которые из-

меняются под воздействием входных и выходных сообщений соответственно. Состояние, в которое переводятся ЦОУ и ВО при поступлении очередного сообщения, определяется как содержанием этого сообщения, так и последовательностью входных/выходных сообщений, выработанных ранее в процессе предоставления информационной услуги;

*внутреннее состояние* ЦОУ характеризуется составом и состоянием занятых ресурсов исполнительной системы, внутреннее состояние ВО — составом и состоянием элементов управления, взаимодействующих с центром в процессе предоставления информационной услуги. Эти состояния в обобщенном виде отражают всю предысторию ПФ ЦОУ и отображаются в базе данных управления управляющей системы.

Процесс функционирования ЦОУ удобно сначала описать изолированно для каждого вида информационной услуги и представить в виде совокупности графов процесса обмена сообщениями (ПОС)  $G_{\text{ПОС}}^d$ , где  $d$  — номер, идентифицирующий вид информационной услуги, предоставляемой ЦОУ. Граф  $G_{\text{ПОС}}^d$  является двудольным, задает процесс обмена сигнальными сообщениями между центрами и ВО при предоставлении услуги  $d$ -го вида и строится в следующем порядке.

**Шаг 1.** Определить состав элементов управления, участвующих в процессе реализации информационной услуги  $d$ -го вида, и множества входных и выходных сообщений, которые могут вырабатываться и приниматься каждым из этих элементов.

**Шаг 2.** Определить множества входных ( $X_d$ ) и выходных ( $Y_d$ ) сообщений, которыми ЦОУ обменивается с ВО. Множество  $X_d$  определяется путем объединения множеств входных сообщений, которые могут поступить от каждого элемента управления, участвующего в процессе реализации услуги; множество  $Y_d$  — путем прямого произведения множеств выходных сообщений, передаваемых этими элементами. В результате каждое выходное сообщение представляет собой упорядоченную по типам элементов управления совокупность выходных сообщений, которые одновременно (в одном цикле выдачи) могут быть переданы во ВО всем участникам процесса реализации информационной услуги.



■ Рис. 1. Иерархическая структура моделей

**Шаг 3.** Поставить в соответствие каждому входному и каждому выходному сообщениям ЦОУ вершину графа  $G_{\text{ПОС}}^d$ . Вершины, соответствующие входным сообщениям, составляют первую, а выходным — вторую долю вершин графа.

**Шаг 4.** Вершину первой (второй) доли соединить дугой с вершиной второй (первой) доли, если в соответствии с логикой предоставления услуги в ответ на входное (выходное) сообщение ЦОУ может выдать с ненулевой вероятностью выходное (входное) сообщение.

В тех случаях, когда процесс взаимодействия не предусматривает процедуры «рукопожатия», т. е. когда одна из двух взаимодействующих сторон передает несколько сообщений, не дожидаясь ответной реакции другой стороны, для сохранения двудольной структуры графа  $G_{\text{ПОС}}^d$  могут быть введены фиктивные ответные сообщения.

Пример графа обмена входными и выходными сообщениями при установлении соединения в Ш-ЦСИО в интерфейсе UNI (User-Network Interface) между пользователями и сетью приведен на рис. 2. Дуги, пронумерованные цифрами от 1 до 12, задают порядок следования сообщений при «нормальном» установлении и разрушении соединения. Состав и содержание сообщений сигнализации, которые циркулируют в интерфейсе UNI между пользователями и ЦОУ, соответствует версии 3.1 ATM Forum.

После построения графов процесса обмена входными/выходными сообщениями появляется возможность представить процесс взаимодействия в виде последовательности действий, выполняемых ЦОУ и его ВО в интервалах времени между моментами появления входных и выходных сообщений. Множество интервалов времени определяет множество этапов ПФ ЦОУ при предоставлении информационных услуг и разделяется на две группы. Этапы переходного состояния начинаются в моменты поступления входных сообщений и заканчиваются в моменты выработки ЦОУ ответных, выходных; этапы устойчивого состояния начинаются в моменты выдачи во ВО выходных сообщений и заканчиваются в моменты поступления входных сообщений из ВО.

Описание ПФ на уровне этапов взаимодействия ЦОУ с ВО представляется в виде древовидного графа  $G_{\text{ПФ}}(A, B, X, Y)$ , где  $A$  и  $B$  — множества вершин графа, которые соответствуют этапам устойчивого и переходного состояний;  $X$  и  $Y$  — множество дуг, которые соответствуют входным сообщениям, инициирующим этапы переходного состояния, и выходным, инициирующим этапы устойчивого состояния.

Множества  $X$  и  $Y$  были определены в процессе построения графов  $G_{\text{ПОС}}^d$  ( $d = 1, 2, \dots, D$ ). Чтобы определить множества  $A$  и  $B$ , необходимо

выявить всевозможные последовательности входных/выходных сообщений, которые могут быть выработаны в процессе взаимодействия ЦОУ с ВО. Таким образом, для получения графа  $G_{ПФ}$  из двудольных графов  $G_{ПФ}^d$  достаточно воспользоваться известными алгоритмами построения деревьев. Пример графа ПФ, соответствующий установлению внутреннего соединения в ЦОУ широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания, представлен на рис. 3. Он получен путем преобразования в дерево двудольного графа процесса обмена сигналами, который приведен на рис. 2.

В полученном древовидном графе каждый полный путь, который начинается в корневой и заканчивается в висячей вершине, будет соответствовать одной определенной и допустимой последовательности сообщений взаимодействия. Граф процесса функционирования ЦОУ  $G_{ПФ}$  обладает следующими свойствами.

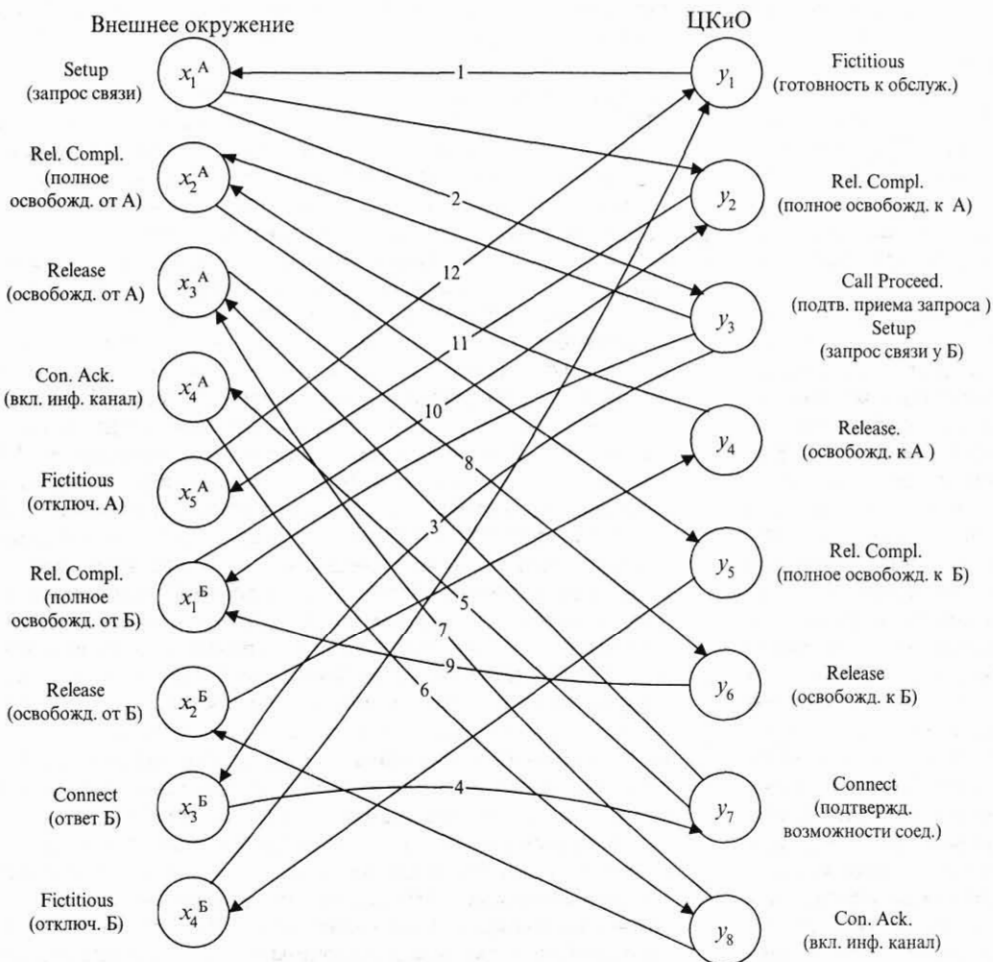
1. Он является деревом и содержит две доли вершин. Первую долю составляют вершины  $a \in A$ , сопоставленные этапам устойчивого состояния, вторую — вершины  $b \in B$ , сопоставленные этапам переходного состояния ПФ.

2. Дуги графа соответствуют входным и выходным сообщениям, которыми обмениваются центры и их ВО в соответствии с протоколами сигнализации. Дугам, исходящим из вершин типа  $a$  и входящим в вершины типа  $b$ , сопоставляются входные сообщения  $x \in X$ , а дугам, исхо-

дящим из вершин типа  $b$  и входящим в вершины типа  $a$ , — выходные сообщения  $y \in Y$ .

3. На первом уровне графа расположена корневая вершина  $a_0$ , соответствующая начальному этапу устойчивого состояния. Количество дуг, исходящих из вершины  $a_0$ , равно числу видов информационных услуг, предоставляемых ЦОУ, причем переход по  $d$ -й дуге ( $d = 1, 2, \dots, D_0^a$ ) соответствует началу процесса предоставления  $d$ -й услуги.

4. На втором уровне расположены вершины типа  $b$ . Они соответствуют начальным этапам переходного состояния, на которых реализуются транзакции, связанные с обработкой начальных входных сообщений, инициирующих разные виды информационных услуг.



■ Рис. 2. Граф обмена в интерфейсе UNI

5. На третьем, пятом и т. д. уровнях графа расположены вершины типа *a*. Количество дуг, исходящих из вершины *a<sub>i</sub>* определяется числом различных входных сообщений, которые могут поступить от элемента управления на *i*-м этапе устойчивого состояния в соответствующем состоянии ВО. В общем случае в число этих входных сообщений включается также сигнал срабатывания выдержки времени, которая устанавливается на *i*-м этапе и ограничивает время реакции элемента управления на выработанное выходное сообщение.

6. На четвертом, шестом и т. д. уровнях графа расположены вершины типа *b*. Количество дуг, исходящих из вершины *b<sub>j</sub>* зависит от числа возможных исходов процесса выполнения транзакции на *i*-м этапе переходного состояния. Переход по одной из дуг соответствует «нормальному» протеканию процесса предоставления информационной услуги, переход по другим дугам — блокированию (прерыванию) процесса информационного обслуживания по различным причинам.

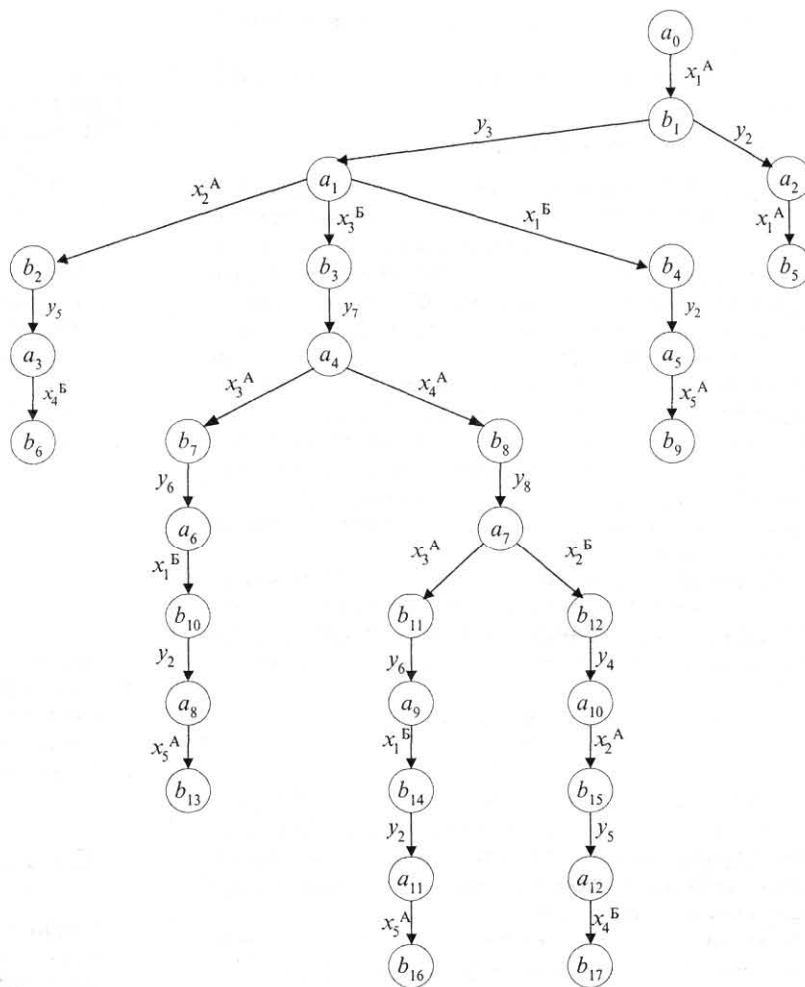
7. Конечными (висячими) вершинами графа являются вершины типа *b*. Транзакции, выполняемые на этих этапах, завершают процесс предоставления информационной услуги. Граф *G<sub>ПФ</sub>* построен таким образом, что каждая висячая вершина однозначно соответствует одному из возможных исходов процесса информационного обслуживания. Количество разных исходов этого процесса равно количеству висячих вершин графа.

Обозначим множество висячих вершин графа *G<sub>ПФ</sub>* через *W*. Это множество можно разделить на подмножества вершин по их принадлежности к тому или иному виду информационной услуги. Обозначим *W<sup>d</sup>* подмножество висячих вершин, соответствующих *d*-й информационной услуге. Для оценки ВВХ подмножество *W<sup>d</sup>*, в свою очередь, может быть разбито на подмножества:

$$W^d = W_1^d \cup W_2^d \cup W_{6л}^d,$$

$$W_1^d \cap W_2^d \cap W_{6л}^d = \emptyset,$$

где *W<sub>1</sub><sup>d</sup>* — подмножество вершин, соответствующих успешному завершению процесса предоставления информационной услуги *d*-го вида; *W<sub>2</sub><sup>d</sup>* — подмножество вершин, достижение которых соответствует от-



■ Рис. 3. Граф установления внутреннего соединения в ЦОУ широкополосной цифровой сети

казу элемента управления от обслуживания «по собственной инициативе»; *W<sub>6л</sub><sup>d</sup>* — подмножество вершин, соответствующих потере (блокированию) процесса обслуживания по разным причинам.

Блокирование процесса обслуживания может произойти как во внешнем окружении ЦОУ, так и в его исполнительной и управляющей системах из-за перегрузки ресурсов, сигнала срабатывания таймера, переполнения буферов различных устройств. В таблице сгруппированы обозначения для подмножеств висячих вершин, соответствующих блокировке

■ Таблица

Причина блокировки	Система, в которой произошла блокировка			
	Внешнее окружение	Исполнительная система	Управляющая система	
			Обработка данных	Доставка данных
Перезагрузка ресурсов	<i>W<sub>3</sub><sup>d</sup></i>	<i>W<sub>4</sub><sup>d</sup></i>	-	-
Срабатывание таймера	<i>W<sub>5</sub><sup>d</sup></i>	-	<i>W<sub>6</sub><sup>d</sup></i>	-
Переполнение буфера	-	<i>W<sub>7</sub><sup>d</sup></i>	<i>W<sub>8</sub><sup>d</sup></i>	<i>W<sub>9</sub><sup>d</sup></i>

П р и м е ч а н и е. *W<sub>1</sub><sup>d</sup>* и *W<sub>2</sub><sup>d</sup>* — множества вершин, которые соответствуют нормальному завершению обслуживания и отказу пользователя.

обслуживания в подсистемах ЦОУ по всем перечисленным причинам.

С учетом этих обозначений для подмножества  $W_{6л}^d$  справедливо

$$W_{6л}^d = W_3^d \cup W_4^d \cup W_5^d \cup W_6^d \cup W_7^d \cup W_8^d \cup W_9^d,$$

где  $W_3^d - W_9^d$  — подмножества вершин, которые завершают процесс обслуживания при  $d$ -й информационной услуге блокировкой соответственно из-за занятости вызываемого пользователя; из-за перегрузки ресурсов исполнительской системы, обслуживающих заявки по системе с потерями; из-за сигнала срабатывания таймера на этапе устойчивого состояния; из-за срабатывания таймера при выполнении программного модуля в управляющем устройстве; из-за переполнения входных буферов ресурсов исполнительской системы, которые обслуживают заявки по системе с ожиданием и, наконец, из-за переполнения входных буферов управляющих устройств и системы передачи данных управления.

Обозначим  $p_{a,j}^b$  вероятности достижения требованиями в процессе обслуживания вершин  $b_j$  графа  $G_d^{ПФ} \subseteq G_{ПФ}$ . Тогда с учетом свойств графа для информационной услуги  $d$ -го вида получаем соотношения

$$P_{n,d}^{ЦкиО} = \frac{1}{P_{d,1}^b} \sum_{j|b_j \in W_n^d} p_{a,j}^b, n=1,2,\dots,9,$$

где индекс  $n$  задает номер исхода процесса обслуживания в соответствии с данными таблицы, и суммирование осуществляется по тем конечным вершинам, достижение которых соответствует  $n$ -му исходу информационной услуги  $d$ -го вида.

Объединение подмножеств  $W_n^d (n=1,2,\dots,9)$  позволяет определить подмножества вершин  $W_{ВО}^d, W_{ОбрС}^d, W_{УпрС}^d, W_{ИспС}^d$ , достижение которых означает потерю (блокирование) требований во внешнем окружении ЦОУ, в обрабатывающей, управляющей и исполнительской системах соответственно:

$$W_{ВО}^d = W_2^d \cup W_3^d \cup W_5^d;$$

$$W_{ОбрС}^d = W_6^d \cup W_8^d;$$

$$W_{УпрС}^d = W_{ОбрС}^d \cup W_9^d;$$

$$W_{ИспС}^d = W_4^d \cup W_7^d.$$

В соответствии с этим для вероятностей потери заявок из-за блокировок требований во внешнем окружении ЦОУ, в его управляющей и исполнительской системах, а также в системе обработки имеем

$$P_{д}^{ВО} = P_{2,d}^{ЦкиО} + P_{3,d}^{ЦкиО} + P_{5,d}^{ЦкиО};$$

$$P_{д}^{ОбрС} = P_{6,d}^{ЦкиО} + P_{8,d}^{ЦкиО};$$

$$P_{д}^{УпрС} = P_{ОбрС}^d + P_{9,d}^{ЦкиО};$$

$$P_{д}^{ИспС} = P_{4,d}^{ЦкиО} + P_{7,d}^{ЦкиО},$$

а вероятность блокировки произвольного требования в процессе предоставления информационной услуги  $d$ -го вида равна

$$P_{д}^{бл} = P_{2,d}^{ЦкиО} + P_{3,d}^{ЦкиО} + P_{4,d}^{ЦкиО} + P_{5,d}^{ЦкиО} + P_{6,d}^{ЦкиО} + P_{7,d}^{ЦкиО} + P_{8,d}^{ЦкиО} + P_{9,d}^{ЦкиО}.$$

Путем объединения подмножеств  $W_n^d$  разных видов информационных услуг можно получить подмножество всяких вершин, соответствующих всевозможным исходам процесса обслуживания заявок для ЦОУ в целом. Поэтому вероятности различных исходов процесса предоставления информационной услуги для ЦОУ в целом равны:

$$P_n^{ЦкиО} = \sum_{d=1}^{D_0^a} P_{d,1}^b P_{n,d}^{ЦкиО};$$

$$\sum_{n=1}^9 P_n^{ЦкиО} = 1;$$

$$P_{\#\#}^{ЦкиО} = \sum_{d=1}^{D_0^a} P_{d,1}^b P_{\#\#}^d.$$

Древовидный нагруженный граф  $G_{ПФ}$  полно и однозначно задает описание ПФ ЦОУ при предоставлении всевозможных информационных услуг, располагается на четвертой ступени иерархии моделей ЦОУ (см. рис. 1) и позволяет определить ВВХ ПФ.

### Литература

1. Колбанев М. О., Яковлев С. А. Модели и методы оценки характеристик обработки информации в интеллектуальных сетях связи. — СПб.: Изд-во СПб ГУ, 2002. — 230 с.
2. Колбанев М. О. Модели и методы оценки вероятностно-временных характеристик центров коммутации и обработки информации сетей связи. — СПб.: Изд-во ГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. — Ч. 1. — 2001. — 81 с.
3. Колбанев М. О. Графическая модель процесса взаимодействия центров коммутации и обработки информации с внешним окружением // Тр. учеб. завед. связи. — 2001. — № 167. — С. 7-17.
4. Колбанев М. О., Кузьма Э. А., Беляева Е. В. Модель транзакции центров коммутации и обработки информации // Междунар. науч.-технич. конф. «Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и систем искусственного интеллекта». — Вологда, 2001. — С.51-56.
5. Колбанев М. О. Анализ задачи и методов исследования вероятностно-временных характеристик центров коммутации и обработки информации интеллектуальных сетей связи // Информационно-управляющие системы. — 2003. — №1. — С. 11-25.