

УДК625.395.7:51

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА РЕАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ УЧАСТКА СЕТИ СИГНАЛИЗАЦИИ

О. Г. Шерстнева, доцент СибГУТИ, к. т.н., sherstneva@sng.ru

Ключевые слова: система сигнализации ОКС№7, сигнальная единица, показатели надежности, повторный запрос, вероятность ошибки системы контроля, матрица вероятностей, качество обслуживания вызовов.

Введение. Подсистема контроля и диагностики систем сигнализации ПКД СС QUEST7 представляет собой интеллектуальную систему мониторинга компании GN Nettetst для сетей ОКС7, GSM и IN. Данная система благодаря присущей ей гибкости может использоваться как с одним центром контроля, так и в виде сложной иерархической системы, включающей региональные центры контроля больших сетей, соединенных с главным центром.

Система выполнена на платформе UNIX и осуществляет сбор и передачу данных с помощью устройств удаленного тестирования (RTU), основанных на специализированном многоканальном анализаторе протоколов (МРА) той же компании. Это позволяет уменьшить затраты при повышении качества и доступности функционирования [1].

В рабочем состоянии сети производится непрерывный или периодический контроль исправности, сбор данных о состоянии подконтрольного оборудования и системы в целом. Помимо контроля оборудования осуществляется извещение оператора сети о качественном состоянии сети, производится инициация профилактического контроля. Задача обнаружения сбоев в работе и аварий сводится не только к простому их обнаружению и извещению оператора, но и к указанию конкретного места неисправности или аварии для дальнейшей локализации данного места. При локализации, т.е. выключении из сети неисправного оборудования, может произойти негативный эффект от данных действий. Задача системной защиты состоит в том, чтобы вовремя ввести в действие резервное оборудование или обходные каналы.

Наличие распределенных баз данных, сохраняющих большое количество информации о сигнализации, совместно с трассированием вызова по всей сети даже спустя несколько часов после его поступления, значительно облегчает поиск неисправностей при обнаружении проблем в сети.

Таким образом, использование централизованной системы ПКД СС обеспечивает корпоративных пользователей определенным набором средств, позволяющих снизить стоимость эксплуатации, улучшить качество предоставляемых услуг и получаемых результатов.

Результаты мониторинга сигнального обмена ОКС№7 можно использовать в качестве средства управления предоставлением новых услуг абонентам, оформления счетов транзитной сигнализации ОКС№7 и проверки счетов от операторов. Более того, доступность данных ОКС№7 в режиме реального времени позволяет предупредить возникновение неблагоприятных условий, обнаружить факт несанкционированного доступа, произвести оценку функционирования коммутатора оператора, статистических доказательств качества предоставляемых услуг и т.д.

В настоящее время система установлена и успешно эксплуатируется в таких компаниях, как Sonofon (Дания), Man-nemenn Mobilfunk GmbH (Германия), Bell Emergis (Канада),

Post & Telecom (Австрия), ETISALAT (Объединенные Арабские Эмираты), Global One, Malav (Венгрия) и др.

Система сигнализации ОКС№7. Она представляет собой совокупность средств, обеспечивающих прием требований на передачу линейных, регистровых и информационных сигналов, формирование пакетов данных переменной длины с сигнальной и другой информацией, передачу и прием кадров, необходимую верность и удовлетворение требований по допустимой задержке. В ОКС используется пакетный способ передачи и коммутации [2].

Сообщение ОКС№7 названо сигнальной единицей (СЕ) — Signal Unit (SU). Существуют три типа СЕ: заполняющая СЕ — Fill-in Signal Unit (FISU); СЕ состояния звена (СЗСЕ) — Link Status Signal Unit (LSSU); значащая СЕ (ЗНСЕ) — Message Signal Unit (MSU).

У всех трех типов СЕ имеется общий набор полей, обеспечивающих безошибочную передачу информации в сигнальной сети. К ним относятся: Flag, BSN, BIB, FSN, FIB, LI. Защита от ошибок при передаче СЕ осуществляется протоколом 2-го уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем.

Методы защиты от ошибок. МККТТ рекомендует применять два метода защиты: основной (базовый) и превентивного циклического повторения (ПЦП).

Идея защиты от ошибок по базовому методу, используемая в ОКС№7, аналогична идее, реализованной в процедуре HDLC. Кратко суть этой идеи такова:

- каждая СЕ однозначно определяется FSN в диапазоне от 0 до 127;
- с помощью FIB в передаваемой СЕ указывается, имеет ли место повторная передачи или СЕ передается впервые;
- подтверждение (положительное или отрицательное) принятой СЕ обеспечивается с помощью BSN и BIB в той СЕ, которая передается в обратном направлении.

Под «положительным» подтверждением понимают формирование удаленной стороны ОКС об отсутствии ошибок в принятой СЕ, под «отрицательным» — запрос о необходимости повторения СЕ, принятой с ошибкой.

Звено сигнализации обязано предотвращать потерю СЕ. Если в канале возникает прерывание, то это приводит к искажениям СЕ. Для предотвращения потери СЕ обе стороны ОКС должны находиться в фазированном состоянии.

Состояние проверки, выдачи, повторной передачи СЕ можно фиксировать, например, при снятии Signal Trace с управляющего устройства (Management Node). Поэтому данные состояния являются состояниями, наблюдаемыми в процессе эксплуатации. Для сбора и обработки статистических данных с помощью системы ПКД СС можно запустить счетчики для каждого типа сообщений по всем линиям. Эти счетчики представляют реальные статистические данные о качестве обслуживания вызовов.

Таким образом, в процессе отслеживания прохождения конкретной СЕ возможно наблюдение за следующими ее состояниями (рис. 1):

I_1 — исходное состояние источника сигнальной информации;
 Π_v, Π_n — состояние проверки верно и неверно принятой СЕ;
 I_2^v, I_2^n — состояния выдачи источником следующей сигнальной единицы при верно и неверно принятой СЕ;
 $\Pi\Pi_v, \Pi\Pi_n$ — состояния повторной передачи верно и неверно принятой СЕ;
 $P_{I_2^v}^n, P_{I_2^n}^v$ — вероятность попадания в состояние I_2 неверно и верно принятой СЕ;
 $P_{\Pi\Pi_v}^n, P_{\Pi\Pi_n}^v$ — вероятность попадания в состояние ПП неверно и верно принятой СЕ;
 P_n^v, P_n^n — вероятность повторения процесса при неверно и верно принятой СЕ.

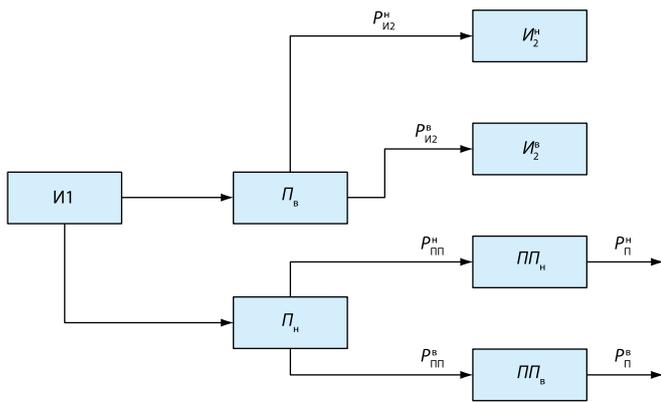


Рис. 1

В системе сигнализации ОКС№7 передаваемая сигнальная информация может быть искажена в связи с недостаточным качеством используемого канала связи и большим объемом передаваемой информации. Метод защиты от ошибок предполагает определение верности принимаемой информации с помощью циклического кодирования и организации «обратного» канала связи. При обнаружении искажения принятой СЕ по «обратному» каналу связи передаются обратный порядковый номер СЕ и обратный бит индикатора, которым присвоены определенные значения. Таким образом, рассматриваемая система сигнализации относится к системам с решающей обратной связью (РОС).

В системах с РОС приемник, приняв кодовую комбинацию (КК), анализирует ее на наличие ошибок. Затем принимает окончательное решение или о выдаче КК потребителю информации, или об ее стирании и посылке по обратному каналу связи сигнала о повторной передаче этой КК (переспрос). В случае безошибочного приема приемник формирует и направляет в канал ОС сигнал подтверждения, получив который передатчик передает следующую КК. Этот процесс и наблюдается в ОКС.

Системы с ОС подразделяются на системы с ограниченным или неограниченным числом повторений. В ОКС число повторений ограничивается объемом памяти буфера повторной передачи. При его переполнении, равно как и при перегрузке звена сигнализации, происходит перенос трафика на другое звено с учетом структуры сигнальной сети.

Наличие ошибок в каналах ОС приводит к тому, что в системах с РОС возникают потери информации, называемые «вставки» и «выпадения». Вставки получаются в тех случаях, когда приемник посылает сигнал решения о правильности принятой КК. В канале ОС этот сигнал трансформируется

в сигнал переспроса. На получателя информации данный факт не оказывает влияния, но скорость передачи информации может значительно снижаться. В этом случае передатчик повторяет предыдущую КК, а приемник воспринимает ее как следующую, т. е. одна и та же информация выдается дважды.

Выпадения получаются тогда, когда выработанный приемником сигнал переспроса трансформируется в сигнал подтверждения правильности приема. В этом случае по каналу прямой связи передается следующая КК, а предыдущая стирается и к получателю не поступает. Поскольку система ОКС работает как система с РОС, то и здесь также наблюдаются вставки и выпадения, приводящие к снижению качества обслуживания абонентов в условиях, когда предполагается, что ОКС может обслуживать до 1500 речевых каналов.

Моделирование математической модели. Описанную выше ситуацию возможно смоделировать на ММ. При составлении ММ (рис. 2) учитывалось то обстоятельство, что передаваемая сигнальная информация может быть искажена в связи с недостаточным качеством используемого канала связи и большим объемом передаваемой информации. Приведенная ММ составлена лишь для одного участка сети без учета структуры построения сети ОКС.

При составлении ММ были сделаны допущения:

- каналы системы сигнализации находятся в непрерывном использовании по назначению;
- все события происходят в случайные моменты времени;
- закон распределения времени между событиями — экспоненциальный.

В ММ рассматриваются следующие состояния системы сигнализации:

I_1 — исходное состояние источника сигнальной информации;

B, H — состояния, при которых сигнальная информация (СЕ) получена без искажений (верно) и с искажением (неверно) соответственно;

Π_v, Π_n — состояния передачи сигнала подтверждения верно и неверно принятой СЕ соответственно;

Z_v, Z_n — состояния передачи сигнала запроса верно и неверно принятой СЕ соответственно;

I_2^v, I_2^n — состояние выдачи источником следующей СЕ после верно и неверно принятой СЕ. В случае I_2^n будет наблюдаться выпадение информации (безвозвратная потеря СЕ);

$\Pi\Pi_v, \Pi\Pi_n$ — состояние повторной передачи верно и неверно принятой СЕ соответственно.

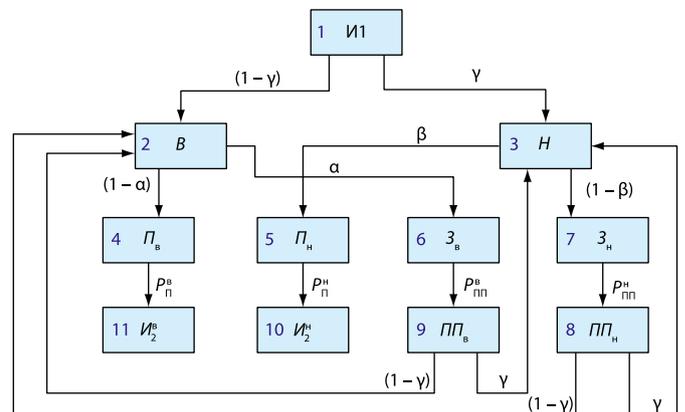


Рис. 2

Переходы между состояниями характеризуются следующими вероятностями:

γ — вероятность искажения СЕ;

$(1 - \gamma)$ — вероятность того, что СЕ принята без искажений;
 $(1 - \alpha)$ — вероятность подтверждения верно принятой СЕ;
 $(1 - \beta)$ — вероятность запроса неверно принятой СЕ;
 α — вероятность трансформации сигнала подтверждения в сигнал запроса (ошибка контроля I рода);
 β — вероятность трансформации сигнала запроса в сигнал подтверждения (ошибка контроля II рода);
 $P_{\text{пп}}^{\text{н}}, P_{\text{пп}}^{\text{в}}$ — вероятность повторной передачи верно и неверно принятой СЕ соответственно, $P_{\text{пп}} = 1$;

$P_{\text{п}}^{\text{н}}, P_{\text{п}}^{\text{в}}$ — вероятность передачи следующей СЕ при получении подтверждения на верно и неверно принятую СЕ, $P_{\text{п}} = 1$.
 Эти вероятности описывают процесс смены состояний. В дальнейшем будем называть их вероятностями прохождения [3]. С помощью приведенных вероятностей можно исследовать характеристики, описывающие события.

Для вывода формул расчета показателей надежности воспользуемся матричным методом анализа вероятностных систем, предложенным в [3]. Для этого составим полную матрицу вероятностей прохождения в состояния и произведем ее разбиение до 7-го состояния (табл. 1—4).

Таблица 1

		1	2	3	4	5	6	7
$P_{UV} =$	1	1	$1 - \gamma$	γ	0	0	0	0
	2	0	1	0	$1 - \alpha$	0	α	0
	3	0	0	1	0	β	0	
	4	0	0	0	1	0	0	0
	5	0	0	0	0	1	0	0
	6	0	0	0	0	0	1	0
	7	0	0	0	0	0	0	1

Таблица 2

		1	2	3	4	5	6	7
$P_{VV} =$	8	0	$1 - \gamma$	β	0	0	0	0
	9	0	$1 - \gamma$	β	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3

		8	9	10	11
$P_{VV} =$	8	1	0	0	0
	9	0	1	0	0
	10	0	0	1	0
	11	0	0	0	1

Таблица 4

		8	9	10	11
$P_{UV} =$	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	$P_{\text{п}}^{\text{в}}$
	5	0	0	$P_{\text{п}}^{\text{н}}$	0
	6	0	$P_{\text{пп}}^{\text{н}}$	0	0
	7	$P_{\text{пп}}^{\text{н}}$	0	0	0

Поскольку входное подмножество $U^+ = \{I_1\}$ состоит из одного состояния, то относительные частоты состояний множества U в стационарном режиме являются элементами первой строки матрицы относительных частот $N_U = (E - P_{UV})$.

Таким образом, получены формулы для расчета следующих вероятностей:

$$P(I_1, \text{ПП}_v) = \alpha(1 - \gamma); \tag{2}$$

$$P(I_1, \text{ПП}_n) = \alpha(1 - \beta); \tag{3}$$

$$P(I_1, \text{ПП}_2^{\text{в}}) = (1 - \gamma)(1 - \alpha); \tag{4}$$

$$P(I_1, I_2^{\text{н}}) = \gamma\beta; \tag{5}$$

Вероятности (2)—(5) являются линейно-зависимыми и представляют собой долю (число) попаданий в состояния, приходящееся на одну СЕ.

Вывод полученных формул был произведен без учета повторной передачи СЕ. Задачу определения вероятности попадания СЕ в состояния повторной передачи можно решить путем разделения полной матрицы прохождений (табл. 1—4) до 8-го состояния (второй вариант разбиения). Для данного случая получены формулы зависимости среднего числа повторных передач одной СЕ от вероятностей трансформации сигнала запроса и сигнала подтверждения, а также вероятности искажения СЕ:

$$P(I_1, \text{ПП}_v) = \frac{\alpha(1 - \gamma)}{1 - \alpha}; \tag{6}$$

$$P(I_1, \text{ПП}_n) = \frac{(1 - \alpha)\gamma}{1 - \alpha}; \tag{7}$$

$$P(I_1, \text{ПП}_2^{\text{в}}) = (1 - \gamma); \tag{8}$$

$$P(I_1, I_2^{\text{н}}) = \frac{\beta(1 - \alpha)\gamma}{1 - \alpha}. \tag{9}$$

В общем случае задача заключается в математическом моделировании качества обслуживания вызовов за счет предварительного расчета показателей надежности на участке сигнальной сети.

Используя результаты проведенных исследований и сопоставив их с наблюдаемыми характеристиками, получим следующие системы уравнений.

Для 1-го варианта разбиения:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{пп}}^{\text{в}} &= \alpha(1 - \gamma); \\ P_{\text{пп}}^{\text{н}} &= \gamma(1 - \beta); \\ P_{\text{и}2}^{\text{в}} &= (1 - \gamma)(1 - \alpha); \\ P_{\text{и}2}^{\text{н}} &= \beta\gamma. \end{aligned} \right\} \tag{10}$$

Решение системы уравнений (10) имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} 1 - \beta &= \frac{P_{\text{пп}}^{\text{н}}}{\gamma}; \\ 1 - \gamma &= P_{\text{и}2}^{\text{в}} + P_{\text{пп}}^{\text{в}}; \\ \alpha &= \frac{P_{\text{пп}}^{\text{в}}}{1 - \gamma}. \end{aligned} \right\} \tag{11}$$

Для 2-го варианта разбиения система уравнений (граф наблюдаемых событий тот же) имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{пп}}^{\text{в}} &= \frac{\alpha(1 - \gamma)}{1 - \alpha}; \\ P_{\text{пп}}^{\text{н}} &= \frac{1 - \alpha\gamma}{1 - \alpha}; \\ P_{\text{п}}^{\text{в}} &= 1 - \gamma; \\ P_{\text{п}}^{\text{н}} &= \frac{\beta(1 - \alpha)\gamma}{1 - \alpha}. \end{aligned} \right\} \tag{12}$$

Решение системы уравнений (12) приведено в виде, удобном для практического применения:

$$\left. \begin{aligned} 1-\gamma &= P_{\text{п}}^{\text{в}}; \\ \beta &= \frac{P_{\text{п}}^{\text{н}}}{P_{\text{пп}}^{\text{н}}}; \\ \alpha &= \frac{1-P_{\text{пп}}^{\text{н}}}{\gamma-P_{\text{пп}}^{\text{н}}}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Выводы. 1. Предложенный подход к расчету эксплуатационных и расчетных показателей надежности основан на сборе и обработке данных, полученных при эксплуатации подсистем контроля и диагностики систем сигнализации.

2. Разработаны математические модели и выведены аналитические формулы для определения показателей надежности α , β и γ .

3. Показатели качества обслуживания вызовов γ , α , β могут быть получены расчетным путем по характеристикам, наблюдаемым в процессе эксплуатации систем сигнализации.

4. Число уравнений определяется числом наблюдаемых характеристик; большего числа уравнений, чем число наблюдаемых характеристик, получить невозможно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Засецкий А. В., Иванов А. Б., Постников С. Д., Соколов И. В. Контроль качества в телекоммуникациях и связи. Часть II, под ред. А. Б. Иванова. — М.: Компания САЙРУС СИ-СТЕМС, 2001.
2. МККТТ. Синяя книга. Т. VI. Вып. VI.9. Требования к системе сигнализации № 7, Рекомендации Q.771-Q.795. IX Пленарная ассамблея. — Мельбурн, 1988.
3. Зеленцов Б. П. Матричные модели надежности систем. — Н.: Наука, 1991. — 110 с.
4. Ловягина О. Г. Эволюция распределенного мониторинга ОКС-7 // Вестник связи №. — 2006. — №12.
5. Розенцвайг И. З., Фельдман А. М., Яльчик Г. В. Методика сбора информации для генерации CDR в системе распределенного мониторинга сетей ОКС №7 // Электросвязь. — 2005. — № 8.

Получено 03.04.07

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА!



Исполнилось 60 лет Владимиру Викторовичу Витязеву — доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой «Телекоммуникации и основы радиотехники» Рязанского государственного радиотехнического университета (РГРТУ).

Владимир Викторович Витязев родился 1 июня 1949 г. в с. Дябрино Краснороборского района Архангельской области. В 1971 г. окончил с отличием Рязанский радиотехнический институт (РРТИ) по специальности «Автоматика и телемеханика». После службы в армии в 1973 г. начал научную деятельность в должности инженера НИЧ кафедры автоматки и телемеханики РРТИ. В 1979 г. поступил в очную аспирантуру РРТИ, которую окончил досрочно, защитив в 1982 г. кандидатскую диссертацию. В 1985 г. ему было присвоено ученое звание старшего научного сотрудника, в 1990 г. — доцента, в 1995 г. присуждена ученая степень доктора технических наук, а в 1997 г. —

ученое звание профессора. В 2001 г. В. В. Витязев был избран на должность заведующего кафедрой «Телекоммуникации и основы радиотехники». В этой должности он работает по настоящее время.

Область научной деятельности Владимира Викторовича — цифровая обработка сигналов и ее применение в радиотехнике, системах телекоммуникаций и управления. Он — научный руководитель ряда хоздоговорных и госбюджетных НИОКР. В 2009 г. при кафедре «Телекоммуникации и основы радиотехники» был открыт филиал ФГУП «НИИ автоматики» — ведущего в России НИИ, работающего в области телекоммуникационных систем специального назначения.

Активную научную деятельность В. В. Витязев всегда сочетал с учебно-методической работой, результатом которой стало создание на кафедре ГОР специализированной учебно-научной лаборатории «Системы цифровой обработки сигналов и DSP-технологии».

За годы работы в РГРТУ В. В. Витязев подготовил восемь кандидатов технических наук, издал более 120 научных работ, в том числе монографию «Цифровая частотная селекция сигналов» («Радио и связь», 1993 год). Он — заместителем главного редактора научно-технического журнала «Цифровая обработка сигналов» и членом редколлегии журнала «Электросвязь». В 2007 г. вошел в состав экспертного со-

вета ВАК РФ в области электроники, радиотехники и связи.

Владимир Викторович проводит большую организаторскую работу по поддержке отечественной науки и молодых ученых, инициатор ежегодного проведения и один из организаторов международных научно-технических конференций «Цифровая обработка сигналов и ее применение-DSPA» (Москва, ИПУ РАН) и «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань).

С 1998 г. В. В. Витязев возглавляет Рязанское отделение РНТОРЭС им. А. С. Попова, являясь одновременно членом Президиума Центрального совета общества. С 1999 г. он — член международной научной организации IEEE Society в области обработки сигналов и телекоммуникаций.

За высокий уровень учебно-методической, научной, воспитательной и общественной работы, а также большой вклад в подготовку высококвалифицированных специалистов отрасли В. В. Витязев награжден нагрудными Знаками «Почетный работник высшего профессионального образования» и «Почетный радист».

Редакция и редколлегия журнала «Электросвязь» поздравляют Владимира Викторовича с юбилеем и желают ему долгого здоровья и творческих успехов.