

УДК 621.39

Разработка вероятностной модели для анализа показателей качества протокола инициирования сеансов связи

К. Е. Самуйлов, М. В. Лузгачев, О. Н. Плаксина

*Кафедра систем телекоммуникаций
Российский университет дружбы народов
Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*

В статье представлены результаты исследования показателей качества протокола инициирования сеансов связи. На основе принципов функционирования протокола разработана его математическая модель и предложены методы анализа с учётом вероятности ошибочной передачи сообщений, в том числе аналитический метод расчёта времени установления соединения и вероятности потери вызова.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: протокол инициирования сеансов связи, среднее время установления соединения, вероятность потери вызова, сеть массового обслуживания.

1. Построение математической модели установления соединения

Протокол инициирования сеансов связи (Session Initiation Protocol, SIP) предназначен для инициации, модификации и завершения сеансов связи в IP-сетях. Одним из главных преимуществ протокола является возможность реализации на его базе широкого спектра услуг для мультисервисных сетей [1–3].

Спецификация протокола SIP предусматривает возможность использования различных транспортных технологий — TCP, SCTP, UDP, причём выбор протокола транспортного уровня влияет на механизмы обеспечения надёжной доставки сигнальных сообщений. Отметим, что на практике, во избежание дополнительных накладных расходов при установлении и разъединении соединения, чаще используется протокол с негарантированной доставкой UDP.

На рис. 1 показана диаграмма процедуры обмена сообщениями по протоколу SIP в процессе установления соединения между узлами А и В. Из диаграммы видно, что случайная величина (СВ) Δ_{SIP} времени установления соединения между узлами А и В определяется по формуле

$$\Delta_{\text{SIP}} = \Delta_{\text{INVITE}} + \Delta_{100 \text{ Trying}} + \Delta_{183 \text{ Session Progress}} + \Delta_{200 \text{ OK}} + \Delta_{\text{ACK}} + 4\Delta_{\text{IP}} + \Delta, \quad (1)$$

где Δ_{IP} — задержка передачи сообщения по IP-сети, Δ — время реакции вызываемого абонента, а остальные составляющие СВ Δ_{SIP} равны задержкам передачи соответствующих сообщений с учётом их времени ожидания в очереди на передачу в узле А или В. Отметим, что значение величины Δ зависит только от поведения вызываемого абонента (время от звонка до снятия трубки), в связи с чем принято не учитывать эту величину при расчёте времени установления соединения, т. е. далее полагаем $\Delta = 0$.

Для анализа характеристик СВ Δ_{SIP} предлагается модель в виде сети массового обслуживания (СеМО) [4, 5], изображённая на рис. 2, где цифрами показана последовательность перехода заявок (сообщений) в соответствии с диаграммой на рис. 1. Узлы 1 и 2 СеМО моделируют передачу сообщений в узлах А и В с учётом их сериализации (постановки бит сообщений в канал) и времени ожидания в очереди, а Узел 3 моделирует задержку Δ_{IP} передачи сообщений по IP-сети.

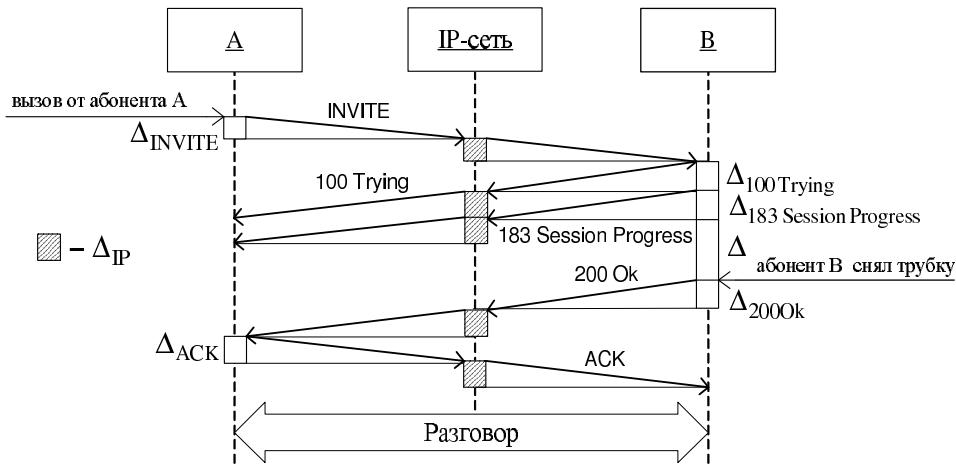


Рис. 1. Диаграмма установления соединения

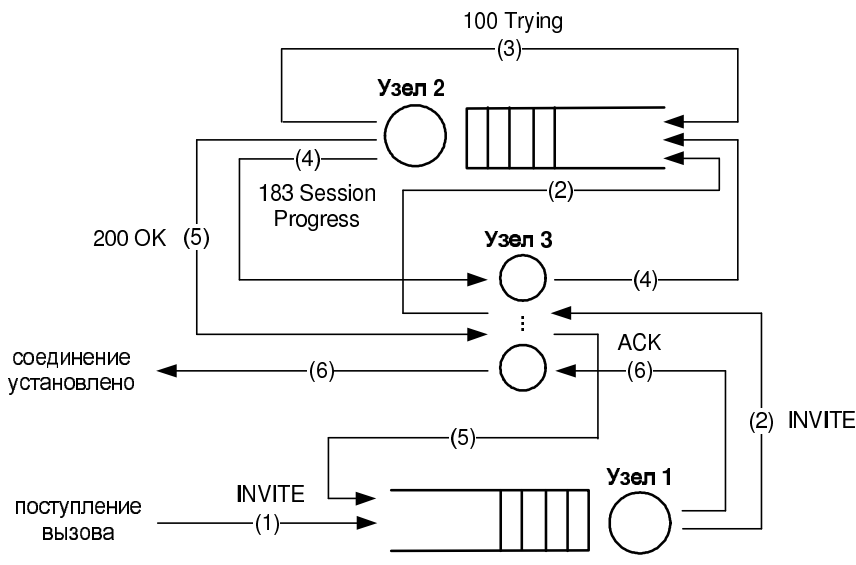


Рис. 2. Модель установления соединения

Обозначим через g вероятность ошибочной передачи IP-пакета. Если пакет содержит сообщение INVITE, 200 OK или ACK, то по протоколу на передающей стороне по истечении таймера должна быть реализована процедура повторной передачи. Для сообщений 100 Trying и 183 Session Progress протоколом предусмотрен специальный механизм надёжной передачи [2] и, поэтому, предполагаем, что эти сообщения передаются без ошибок.

На рис. 3 изображены диаграммы передачи сообщений, учитывающие их многократную ретрансляцию вследствие ошибочных передач. Слева на рисунке показана диаграмма для случая ошибочной передачи сообщений INVITE и 200 OK, а справа — для случая ошибочной передачи сообщения ACK, которая по протоколу влечёт за собой ретрансляцию сообщения 200 OK и, затем, ретрансляцию сообщения ACK.

Поясним механизм ретрансляции сообщений INVITE. В момент начала передачи сообщения включается таймер со значением $64 \cdot T_1$, и, если по истечении времени T_1 не будет получен ответ 100 Trying, то сообщение передаётся повторно. Ретрансляции могут производиться до истечения таймера, при этом время между повторными передачами каждый раз удваивается. Если все возможные передачи

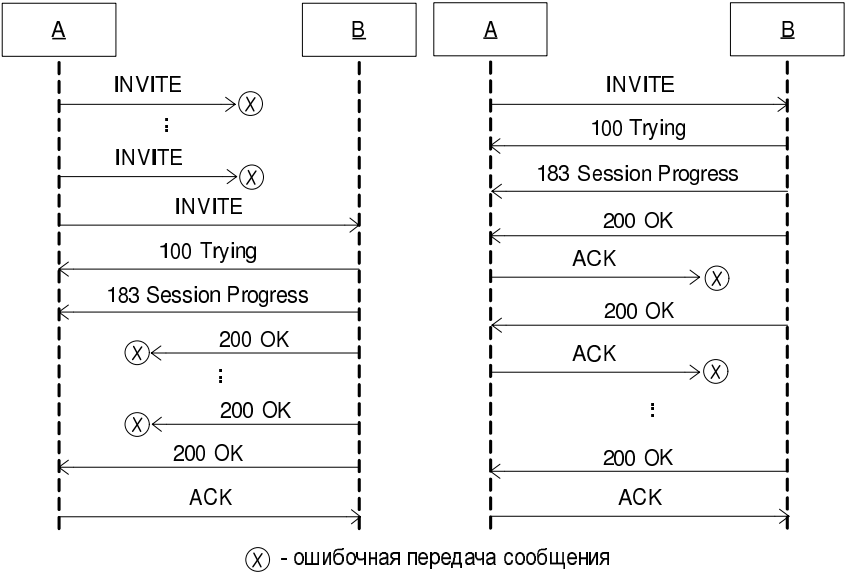


Рис. 3. Диаграммы установления соединения с учётом ретрансляции сообщений, переданных с ошибками

были произведены с ошибками, то происходит отказ в установлении соединения и вызов считается потерянным. Для примера, на рис. 4 показан фрагмент диаграммы процедуры обмена сообщениями для случая трёхкратной ошибочной передачи сообщения INVITE.

Ретрансляция сообщения 200 ОК осуществляется аналогично за исключением того, что время перед ретрансляциями удваивается, пока не достигнет значения T_2 , а затем устанавливается равным T_2 .

Обозначим m^* и n^* максимальное число возможных передач сообщений INVITE и 200 ОК соответственно. Согласно [1] рекомендованное значение $T_1 = 0,5$ с, а $T_2 = 4$ с, и, в таком случае, ретрансляции сообщений INVITE будут происходить через временные интервалы 0,5 с, 1 с, 2 с, 4 с, 8 с, 16 с, а передачи сообщения 200 ОК — через интервалы 0,5 с, 1 с, 2 с, 4 с, 4 с, и т. д., при этом значения $m^* = 7$ и $n^* = 11$.

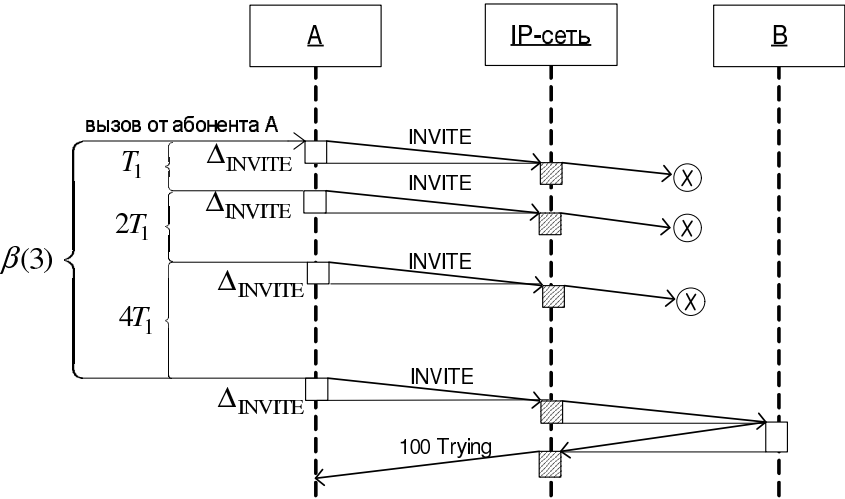


Рис. 4. Пример диаграммы процедуры ретрансляции сообщения INVITE

Обозначим $\beta(m)$ время, затраченное на m последовательных ретрансляций сообщения INVITE до момента начала его успешной передачи. Пример определения $\beta(3)$ показан на диаграмме рис. 4, и, нетрудно убедиться, что величина $\beta(m)$ задаётся формулой

$$\beta(m) = \sum_{i=1}^m 2^{i-1} T_1, \quad 0 \leq m < m^*. \quad (2)$$

Аналогично определяется величина $\gamma(n)$ как время, затраченное на n ретрансляций сообщения 200 OK, а формула, связывающая значение величины $\gamma(n)$ со значениями таймеров T_1 и T_2 , имеет вид

$$\gamma(n) = \sum_{i=1}^n \min(2^{i-1} T_1, T_2), \quad 0 \leq n < n^*. \quad (3)$$

С учётом введённых обозначений и (1), СВ $\Delta_{\text{SIP}}(m, n)$, учитывающая ретрансляции сообщений INVITE и 200 OK, определяется по формуле

$$\Delta_{\text{SIP}}(m, n) = \Delta_{\text{SIP}} + \beta(m) + \gamma(n). \quad (4)$$

На рис. 5 показан фрагмент модели СеМО с учётом ретрансляции сообщения INVITE (или 200 OK), которая реализуется по следующему сценарию:

- (1) на Узел 1 (Узел 2) поступает сообщение INVITE (200 OK);
- (2) с вероятностью $1 - g$ сообщение передано без ошибок и направляется в Узел 3;
- (3) с вероятностью g сообщение передано с ошибкой и направляется в Узел 4, моделирующий описанную выше процедуру ожидания ретрансляции;
- (4) процедура повторяется $k \leq m^*$ ($k \leq n^*$) раз, причём, если на последней попытке сообщение передано с ошибкой, установление соединения прекращается и вызов считается потерянным.

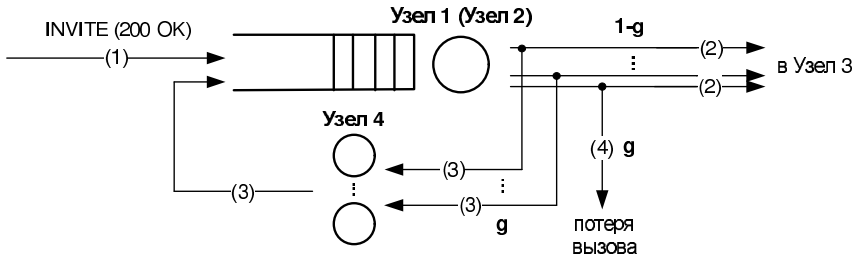


Рис. 5. Фрагмент СеМО для случая ошибочной передачи сообщений INVITE и 200 OK

На рис. 6 изображён фрагмент СеМО с учётом ошибочных передач сообщения АСК, причём сообщение 200 OK считаем переданным правильно. Процедура ретрансляции производится по следующему сценарию:

- (1) на Узел 2 поступает сообщение 183 Session Progress и, в момент поступления, преобразуется в сообщение 200 OK;
- (2) сообщение 200 OK через Узел 3 маршрутизируется в Узел 1 и, в момент поступления в этот узел, преобразуется в сообщение АСК;
- (3) с вероятностью $1 - g$ сообщение АСК передано без ошибок и соединение считается установленным;
- (4) с вероятностью g сообщение АСК передано с ошибкой, маршрутизируется в Узел 4, и, в момент поступления в этот узел, преобразуется в сообщение 200 OK;
- (5) после процедуры ожидания ретрансляции в Узле 4 сообщение 200 OK маршрутизируется в Узел 2 для повторной передачи;
- (6) процедура повторяется $k \leq n^*$ раз, на последней попытке установление соединения прекращается, и вызов считается потерянным.

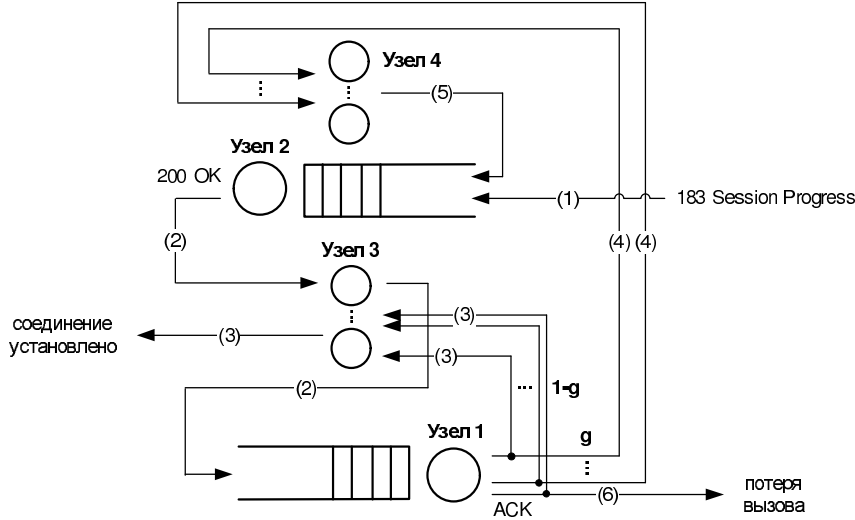


Рис. 6. Фрагмент СеМО для случая ошибочной передачи сообщения ACK

Теперь ясно, что модель установления соединения по протоколу SIP может быть представлена в виде СеМО с неоднородными заявками (ВСМР-сеть, [6, 7]), состоящей из узлов $\mathcal{M} = \{1, 2, 3, 4\}$, и в которой циркулируют заявки $\mathcal{R} = \{1, \dots, R\}$, $R = m^* + 2n^* + 2$, классов. Следует пояснить, что каждой из возможных ретрансляций сообщений поставлен в соответствие отдельный класс заявки, как показано в табл. 1. Например, для возможных трансляций сообщений INVITE зарезервированы заявки с номерами классов от 1 до m^* , которым присвоен единый идентификатор r_1 .

Таблица 1

Класс заявки	Сообщение
$r_1 \in \{1, \dots, m^*\}$	INVITE
$r_2 \in \{m^* + 1, \dots, m^* + n^*\}$	ACK
$r_3 = m^* + n^* + 1$	100 Trying
$r_4 = m^* + n^* + 2$	183 Session Progress
$r_5 \in \{m^* + n^* + 3, \dots, m^* + 2n^* + 2\}$	200 OK

Будем называть (i, r) -заявкой заявку класса r , находящуюся в узле i и обозначим $\mathcal{L}' = \{(i, r) : i \in \mathcal{M}, r \in \mathcal{R}\}$ — множество всех допустимых типов заявок. Маршрутизацию заявок в сети описывает полустохастическая матрица $\Theta' = (\theta_{ir,js}), i, j \in \mathcal{M}, r, s \in \mathcal{R}$.

Для описания выхода заявок из сети введём дополнительные узлы с номерами 5 и 6, соответствующие успешному установлению соединения и потере вызова, и пусть при переходе в эти узлы заявка меняет класс на $r_0 = 0$. Тогда $\mathcal{L}'' = \{(i, 0) : i \in \{5, 6\}\}$ — дополнительное множество заявок. Переходы между множеством $\mathcal{L} = \mathcal{L}' \cup \mathcal{L}''$ заявок описывает расширенная стохастическая матрица Θ , ненулевые элементы которой показаны в табл. 2.

Таблица 2

$\theta_{ir,js}$	Значения индексов $(i, r), (j, s)$
g	$(1, r), (4, r), \quad r = \overline{1, m^* - 1}$
	$(1, r), (4, r + n^* + 2), \quad r = \overline{m^* + 1, m^* + n^* - 1}$
	$(2, r), (4, r), \quad r = \overline{m^* + n^* + 3, m^* + 2n^* + 1}$
	$(1, m^*), (6, 0); (1, m^* + n^*), (6, 0); (2, m^* + n^* + 2), (6, 0)$
$1 - g$	$(1, r), (3, r), \quad r = \overline{1, m^* + n^*}$
	$(2, r), (3, r), \quad r = \overline{m^* + n^* + 3, m^* + 2n^* + 2}$
1	$(2, m^* + n^* + 1), (2, m^* + n^* + 2)$
	$(2, m^* + n^* + 2), (3, m^* + n^* + 2)$
	$(3, m^* + n^* + 2), (2, m^* + n^* + 3)$
	$(3, r), (2, m^* + n^* + 1), \quad r = \overline{1, m^*}$
	$(3, r), (1, r - n^* - 2), \quad r = \overline{m^* + n^* + 3, m^* + 2n^* + 2}$
	$(4, r), (1, r + 1), \quad r = \overline{1, m^* - 1}$
	$(4, r), (2, r + 1), \quad r = \overline{m^* + n^* + 3, m^* + 2n^* + 1}$
	$(3, r), (5, 0), \quad r = \overline{m^* + 1, m^* + n^*}$

2. Метод расчёта вероятностно-временных характеристик процесса установления соединения

Рассмотрим блуждание некоторой заявки по узлам сети, и пусть $\xi_n = (i_n, r_n)$ — состояние, в котором заявка находится на шаге n , $n \geq 0$. Тогда процесс блуждания описывает однородная цепь Маркова (ЦМ) $\{\xi_n\}_{n \geq 0}$, вложенная по моментам поступления заявок в узлы сети, с пространством состояний $\mathcal{L}$ и матрицей переходных вероятностей Θ , причём состояния из множества $\mathcal{L}''$ являются поглощающими, а начальное распределение $\pi_{i,r}(0) = P\{\xi_0 = (i, r)\}$ имеет вид $\pi_{1,1}(0) = 1$, $\pi_{i,r}(0) = 0$, $(i, r) \in \mathcal{L} \setminus \{(1, 1)\}$.

Для расчёта вероятности P успешного установления соединения определим траектории ЦМ $\{\xi_n\}_{n \geq 0}$ вида $\omega_j^{(i,0)} = ((1, 1), (i_1^j, r_1^j), \dots, (i, 0))$, заканчивающиеся в одном из поглощающих состояний $(i, 0) \in \mathcal{L}''$, и пусть $\Omega^{(i,0)} = \bigcup_j \{\omega_j^{(i,0)}\}$ — множество таких траекторий. Тогда вероятность успешного установления соединения определяется по формуле

$$P = \sum_j P\left(\omega_j^{(5,0)}\right). \quad (5)$$

Рассмотрим состояние $(4, \cdot)$ и определим случайную величину $\eta \in \{0, \dots, m^* + n^* - 2\}$, равную суммарному числу попаданий заявки в это состояние во время её блуждания до момента поглощения в состоянии $(i, 0) \in \mathcal{L}''$. Пусть $f_k^{(i,0)} = P\{\eta = k | \Omega^{(i,0)}\}$ — вероятность k попаданий в состояние $(4, \cdot)$, т. е. вероятность k ретрансляций соответствующих сообщений. В качестве примера вычислим вероятности $f_0^{(5,0)}$ и $f_1^{(5,0)}$:

$$f_0^{(5,0)} = \theta_{1,1,1,3} \theta_{1,3,2,15} \theta_{2,15,2,16} \theta_{2,16,3,16} \theta_{3,16,2,17} \theta_{2,17,3,17} \theta_{3,17,1,8} \theta_{1,8,3,8} \theta_{3,8,5,0} = (1-g)^3;$$

$$\begin{aligned} f_1^{(5,0)} = & \\ = & \theta_{1,1,4,1} \theta_{4,1,1,2} \theta_{1,2,3,2} \theta_{3,2,2,15} \theta_{2,15,2,16} \theta_{2,16,3,16} \theta_{3,16,2,17} \theta_{2,17,3,17} \theta_{3,17,1,8} \theta_{1,8,3,8} \theta_{3,8,5,0} + \\ + & \theta_{1,1,3,1} \theta_{3,1,2,15} \theta_{2,15,2,16} \theta_{2,16,3,16} \theta_{3,16,2,17} \theta_{2,17,4,17} \theta_{4,17,2,18} \theta_{2,18,3,18} \theta_{3,18,1,9} \theta_{1,9,3,9} \theta_{3,9,5,0} + \\ + & \theta_{1,1,3,1} \theta_{3,1,2,15} \theta_{2,15,2,16} \theta_{2,16,3,16} \theta_{3,16,2,17} \theta_{2,17,3,17} \theta_{3,17,1,8} \theta_{1,8,4,17} \theta_{4,17,2,18} \theta_{2,18,3,18} \times \\ & \times \theta_{3,18,1,9} \theta_{1,9,3,9} \theta_{3,9,5,0} = g(3-g)(1-g)^3. \end{aligned}$$

Из определения $f_k^{(i,0)}$ и (5) следует, что вероятность P может быть рассчитана по формуле

$$P = \sum_{k=0}^{m^*+n^*-2} f_k^{(5,0)}, \tag{6}$$

причём вероятности $f_k^{(i,0)}$ можно представить в виде

$$f_k^{(i,0)} = \sum_{\substack{m+n=k \\ 0 \leq m < m^* \\ 0 \leq n < n^*}} p_{mn}^{(i,0)}, \tag{7}$$

где $p_{mn}^{(i,0)}$ — вероятность того, что за время установления соединения сообщение INViTE будет ретранслировано m раз, а сообщение 200 ОК — n раз, включая ретрансляции по причине ошибочной передачи сообщения АСК.

Введём множества $\Omega_{mn}^{(i,0)}$ траекторий, содержащих ровно m переходов $(1, r_1) \rightarrow (4, \cdot)$, а также в сумме n переходов $(2, r_5) \rightarrow (4, \cdot)$ и $(2, r_5) \rightarrow (1, r_2) \rightarrow (4, \cdot)$. Фрагмент графа ЦМ $\{\xi_n\}_{n \geq 0}$, иллюстрирующий эти переходы, изображён на рис. 7.

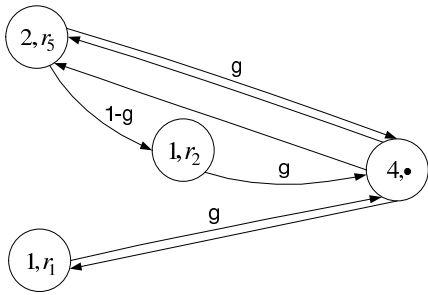


Рис. 7. Фрагмент графа ЦМ $\{\xi_n\}_{n \geq 0}$, описывающий переходы в состояние $(4, \cdot)$

Тогда вероятности $p_{mn}^{(i,0)}$ определяются формулой

$$p_{mn}^{(i,0)} = P \left\{ \omega \in \Omega_{mn}^{(i,0)} \right\}, \tag{8}$$

и, несложно убедиться, что

$$\begin{aligned} p_{mn}^{(5,0)} = P \left\{ \omega \in \Omega_{mn}^{(5,0)} \right\} &= g^m \left(\sum_{i=0}^n C_n^i g^i (g(1-g))^{n-i} \right) (1-g)^3 = \\ &= g^{m+n} (2-g)^n (1-g)^3, \quad 0 \leq m < m^*, \quad 0 \leq n < n^*. \end{aligned} \tag{9}$$

С учётом (6)–(9), вероятность $P = P(g)$ успешного установления соединения вычисляется по формуле

$$P(g) = (1 - g^{m^*}) (1 - g^{n^*} (2 - g)^{n^*}). \quad (10)$$

Перейдём к анализу СВ $\Delta_{\text{SIP}}(\cdot, \cdot) = \Delta_{\text{SIP}}$ — времени установления соединения по протоколу SIP, математическое ожидание которой определяется из формулы полной вероятности

$$\begin{aligned} M(\Delta_{\text{SIP}}) &= \sum_{m=0}^{m^*-1} \sum_{n=0}^{n^*-1} P(\tilde{B}_{mn}^{(5,0)}) M(\Delta_{\text{SIP}} | \tilde{B}_{mn}^{(5,0)}) = \\ &= \sum_{m=0}^{m^*-1} \sum_{n=0}^{n^*-1} \frac{p_{mn}^{(5,0)}}{P(g)} M(\Delta_{\text{SIP}} | \tilde{B}_{mn}^{(5,0)}), \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} B^{(5,0)} &= \{\omega \in \Omega^{(5,0)}\}; \\ B_{mn}^{(5,0)} &= \{\omega \in \Omega_{mn}^{(5,0)}\}; \quad \tilde{B}_{mn}^{(5,0)} = B_{mn}^{(5,0)} | B^{(5,0)}, \quad 0 \leq m < m^*, \quad 0 \leq n < n^*. \end{aligned}$$

Не ограничивая общности изложения, примем $\Delta_{\text{INVITE}} = \Delta_{\text{ACK}} = \Delta_1$, $\Delta_{100 \text{ Trying}} = \Delta_{183 \text{ Session Progress}} = \Delta_{200 \text{ OK}} = \Delta_2$, $\Delta_{\text{IP}} = \Delta_3 = \text{const}$, где Δ_i — СВ времени пребывания заявки в i -узле рассматриваемой СеМО. В таком случае, с учётом формулы (4), имеем

$$\begin{aligned} M(\Delta_{\text{SIP}} | \tilde{B}_{mn}^{(5,0)}) &= \\ &= 2M\Delta_1 + 3M\Delta_2 + 4M\Delta_{\text{IP}} + M(\beta(\cdot) | \tilde{B}_{mn}^{(5,0)}) + M(\gamma(\cdot) | \tilde{B}_{mn}^{(5,0)}). \end{aligned} \quad (12)$$

Пусть $v_i = M\Delta_i$, и, подставив (12) в (11), получим формулу для расчёта $M(\Delta_{\text{SIP}})$ в виде

$$M(\Delta_{\text{SIP}}) = \sum_{m=0}^{m^*-1} \sum_{n=0}^{n^*-1} \frac{p_{mn}^{(5,0)}}{P(g)} \cdot (2v_1 + 3v_2 + 4v_3 + \beta(m) + \gamma(n)). \quad (13)$$

Таким образом, мы получили метод для вычисления основных вероятностно-временных характеристик процесса установления соединения по протоколу SIP.

3. Численный анализ

Примем значения таймеров $T_1 = 0,5$ с, $T_2 = 4$ с в соответствии с требованиями международных стандартов [1]. Длины сообщений SIP, с учётом заголовков протоколов нижних уровней, выберем согласно [3] — среднюю длину сообщения INVITE примем равной 650 байт, сообщения 100 Trying — 260 байт, сообщения 183 Session Progress — 530 байт, сообщения 200 OK — 480 байт, сообщения ACK — 260 байт.

Произведём расчёт среднего времени установления соединения по формуле (13). Для этого примем величину задержки сообщений SIP по IP-сети $v_3 = 0,1$ с, а для вычисления среднего времени v_1 и v_2 пребывания заявок в узлах с номерами 1 и 2 рассчитаем интенсивности потоков заявок в этих узлах.

Интенсивности λ_{ir} , $(i, r) \in \mathcal{L}'$, потоков заявок класса r в узле i вычисляются из системы уравнений (14), имеющей единственное решение:

$$\begin{cases} \lambda_{1,1} = \sum_{(j,s) \in \mathcal{L}'} \lambda_{js} \theta_{js,1,1} + \lambda, \\ \lambda_{ir} = \sum_{(j,s) \in \mathcal{L}'} \lambda_{js} \theta_{js,ir}, \quad (i, r) \in \mathcal{L}' \setminus \{(1,1)\}, \end{cases} \quad (14)$$

где λ — интенсивность потока заявок из внешнего источника на Узел 1 или интенсивность поступления вызовов. Тогда средняя длина $\bar{l}_i$ сигнального сообщения, поступающего на i -й узел, может быть получена по формуле

$$\bar{l}_i = \frac{\sum_{(i,r) \in \mathcal{L}_i} \lambda_{i,r} l_r}{\sum_{(i,r) \in \mathcal{L}_i} \lambda_{i,r}}, \quad i = 1, 2, \tag{15}$$

где $\mathcal{L}_i$ — множество заявок, обслуживаемых в узле i , а l_r — длины соответствующих сообщений SIP. Среднее время b_i обслуживания в узлах определим из формулы

$$b_i = \frac{\bar{l}_i}{C}, \tag{16}$$

где C — ширина полосы пропускания. Таким образом, с учётом (14)–(16), для случая экспоненциального обслуживания в узлах с номерами 1 и 2 среднее время v_i пребывания в этих узлах определяется формулой

$$v_i = \frac{b_i}{1 - \rho_i}, \quad i = 1, 2. \tag{17}$$

На рис. 8 изображён график зависимости вероятности $\bar{P}(g)$ потери вызова от вероятности g ошибочной передачи сообщения. Как видно из графика, даже при ненадёжной работе IP-сети, когда с ошибкой передаётся один из 10 пакетов, вероятность потери вызова не превышает 10^{-7} , что позволяет говорить об эффективности механизмов ретрансляции сигнальных сообщений SIP, обеспечивающих высокую надёжность установления соединения.

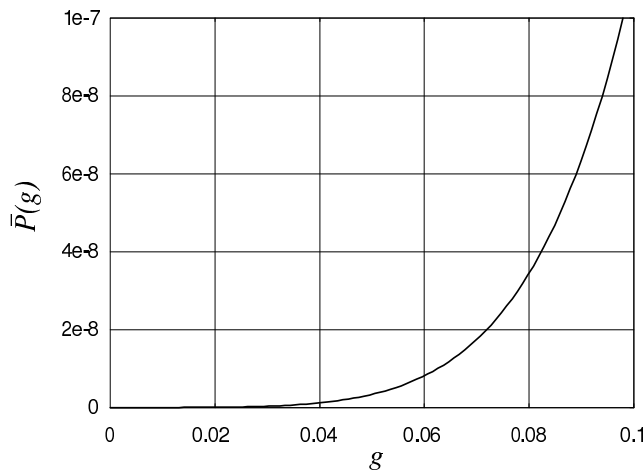


Рис. 8. Вероятность потери вызова

На рис. 9 показана зависимость среднего времени установления соединения $M(\Delta_{\text{SIP}})$ от интенсивности λ поступления вызовов для случаев, когда длина сообщения имеет экспоненциальное или детерминированное распределение. Согласно [8], вероятность потери IP-пакета в сетях следующего поколения не должна превышать 10^{-3} , именно это значение использовалось при построении графиков на рис. 9. Анализ результатов вычислений показывает, что при допустимых значениях вероятности $g \leq 10^{-3}$ среднее время установления соединения не превосходит 0,6 с, это удовлетворяет нормам Международного союза электросвязи, устанавливающего ограничение 3 с на время установления соединения [9]. Отметим, что аналогичные результаты были получены с помощью имитационного моделирования и измерений в ряде работ, в частности, в [10], где диапазон времени установления соединения изменяется от 0,49 до 1 с.

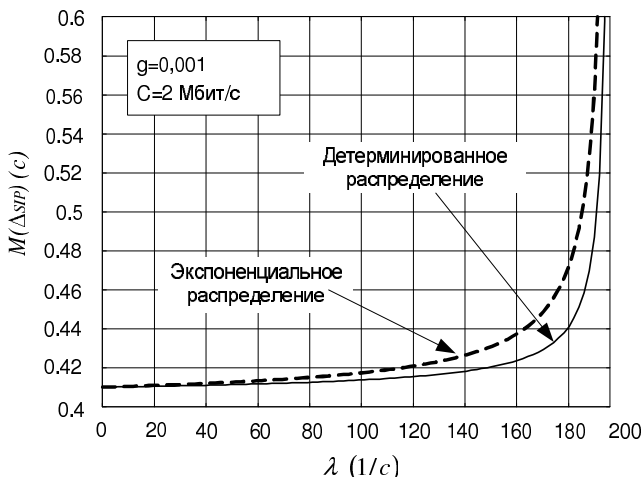


Рис. 9. Зависимость времени установления соединения от интенсивности поступления вызовов

Заключение

Разработка методов анализа показателей качества функционирования протокола SIP является важной прикладной задачей, решение которой может быть использовано на этапе проектирования сетей следующего поколения (NGN — Next Generation Networks), а также оценки качества предоставляемых услуг следующего поколения (NGS — Next Generation Services). С этой целью в статье предложена математическая модель в виде сети массового обслуживания и метод расчёта вероятности успешного установления соединения и среднего времени установления соединения.

В ближайшем будущем перед авторами стоит задача усовершенствования представленных методов, позволяющая снять ряд упрощающих предположений, а также разработка методов анализа при использовании в качестве транспорта протоколов TCP (Transmission Control Protocol) и SCTP (Stream Control Transport Protocol) и учёт задержек, связанных с работой протокола RTCP (RTP Control Protocol).

Литература

1. SIP: Session Initiation Protocol / J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo et al // IETF RFC 3261. — 2002.
2. Rosenberg J., Schulzrinne H. Reliability of Provisional Responses in the Session Initiation Protocol (SIP) // IETF RFC 3262. — 2002.
3. Hannu H. Signaling Compression (SigComp) Requirements & Assumptions // IETF RFC 3322. — 2003.
4. Башарин Г. П., Толмачев А. Л. Теория сетей массового обслуживания и ее приложения к анализу информационно-вычислительных систем // Итоги науки и техники. Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика. — Т. 21. — 1983.
5. Бочаров П. П., Печинкин А. В. Теория массового обслуживания. — М.: РУДН, 1995.
6. Open, Closed, and Mixed Networks of Queues with Different Classes of Customers / F. Baskett, K. M. Chandy, R. R. Muntz, F. G. Palacios // Journal of the ACM. — Vol. 22, No 2. — 1975. — Pp. 248–260.
7. Вишневецкий В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. — М.: Техносфера, 2003.

8. ITU-T Recommendation Y.1541, Network Performance Objectives for IP-Based Services. — 2002.
9. ITU-T Recommendation E.721, Network Grade of Service Parameters and Target Values for Circuit-Switched Services in the Evolving ISDN. — 1991.
10. Wu J.-S., Wang P. Y. The Performance Analysis of SIP-T Signaling System in Carrier Class VoIP Network // Proceedings of the 17th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'03). — 2003.

UDC 621.39

Modelling SIP Connections with Open Multiclass Queueing Networks

K. E. Samouylov, M. V. Luzgachev, O. N. Plaksina

*Telecommunications Systems Department
Peoples' Friendship University of Russia
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia*

In this paper we study the performance of the session initiation protocol (SIP). We focus on SIP session setup over UDP that can be affected by the quality of the link. The transmissions are assumed to experience errors, which result in retransmissions of SIP messages based on session timers mechanism. We propose the technique of analysis with network of queues with different classes of customers (BCMP-networks). Finally, formulas for session setup time and session setup rate estimation are represented.