

Подход к моделированию процесса информационного обмена по протоколу ТСП на основе теории конечных марковских цепей

д.т.н. проф. Цимбал В.А., Якимова И.А., к.т.н. Тоискин В.Е., Рябцев С.В.

Университет машиностроения

8(4967)35-31-93, 8(4967)76-33-08

Филиал Военной академии РВСН имени Петра Великого (г. Серпухов)

8(4967)78-92-23

МОУ «Институт Инженерной Физики» (г. Серпухов)

8(4967)75-22-03

Аннотация. В статье представлен подход к моделированию процесса информационного обмена по протоколу ТСП.

Ключевые слова: сеть передачи данных (СПД), конечная марковская цепь (КМЦ), шаг перехода из состояния в состояния КМЦ, временные характеристики, вероятностно-временные характеристики, протокол ТСП.

Основным этапом работы протокола ТСП является ведение информационного обмена по установленному логическому соединению [1]. Осуществим моделирование процесса информационного обмена по указанному протоколу с использованием теории конечных марковских цепей [2, 3, 4, 5].

Для начала рассмотрим простейший случай передачи одного сегмента с возможностью одного повтора, граф переходов которого представлен на рисунке 1.

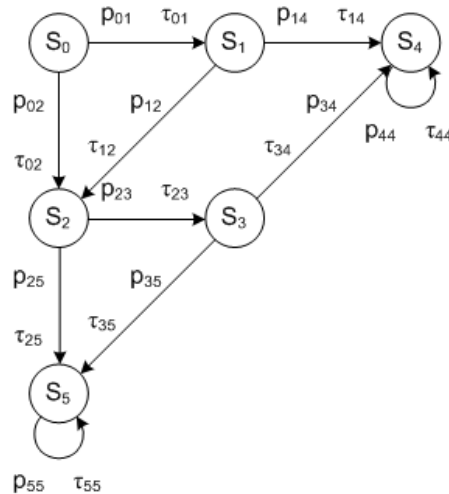


Рисунок 1. Граф переходов поглощающей конечной марковской цепи (ПКМЦ) для варианта доведения односегментного сообщения и одного повтора

Формализуем состояния указанной ПКМЦ: *состояние* S_0 – хост А передал сегмент хосту В; *состояние* S_1 – хост В получил сегмент от хоста А, передал квитанцию; *состояние* S_2 – по истечению тайм-аута повторной передачи ($\tau_{\text{пп}}$) хост А не получил квитанции от хоста В; повторно передал сегмент хосту В; *состояние* S_3 – хост В получил сегмент от хоста А после повторной передачи, передал квитанцию; *состояние* S_4 – хост А получил квитанцию от хоста В. **Сообщение передано**; *состояние* S_5 – по истечению двухкратного значения тайм-аута повторной передачи ($2\tau_{\text{пп}}$) хост А не получил квитанции от хоста В; разрыв соединения; **возврат к процедуре установления соединения**. Таким образом, в данной ПКМЦ имеется два поглощающих состояния – S_4 и S_5 .

Матрица переходных вероятностей (МПВ) для данной ПКМЦ имеет вид:

$$P_{[6;6]} = \begin{pmatrix} 0 & p_{01} & p_{02} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{12} & 0 & p_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{23} & 0 & p_{25} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{34} & p_{35} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{55} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Для нахождения компонентов МПВ (1) введем обозначения: p_c – вероятность доведения сегмента от хоста А до хоста В, которая определяется по формуле:

$$p_c = \left((1 - p_0^{(1)})^{L_c} \right) \left((1 - p_0^{(2)})^{L_c} \right) \dots \left((1 - p_0^{(k)})^{L_c} \right), \quad (2)$$

где: L_c – длина пакета в битах; $p_0^{(k)}$ – вероятность ошибки в k -м канале связи;

$p_{кв}$ – вероятность доведения квитанции, которая определяется по формуле:

$$p_{кв} = \left((1 - p_0^{(1)})^{L_{кв}} \right) \left((1 - p_0^{(2)})^{L_{кв}} \right) \dots \left((1 - p_0^{(k)})^{L_{кв}} \right), \quad (3)$$

где: $L_{кв}$ – длина квитанции в битах.

При этом q_c – вероятность неприема сегмента; $q_{кв}$ – вероятность неприема квитанции определяются как $q_c = 1 - p_c$, $q_{кв} = 1 - p_{кв}$.

Переходные вероятности матрицы (1) находятся так. Переход из состояния S_0 в состояние S_1 , а также из состояния S_2 в состояние S_3 возможен тогда, когда сегмент, переданный хостом А, принят хостом В. Вероятность такого события равна вероятности доведения сегмента.

Переход из состояния S_1 в состояние S_4 , а также из состояния S_3 в состояние S_4 возможен, когда квитанция о приеме сегмента, переданная хостом В, принята хостом А. Вероятность такого события равна вероятности доведения квитанции.

Анализируемый процесс перейдет из состояния S_0 в состояние S_2 , а также из состояния S_2 в состояние S_5 , тогда, когда при передаче сообщения сегмент не был принят хостом В. Вероятность такого события равна вероятности неприема сегмента. Переходы из состояния S_1 в состояние S_2 и из состояния S_3 в состояние S_5 осуществляются с вероятностью неприема квитанции.

Определив соответствующие значения p_c , $p_{кв}$, q_c , $q_{кв}$, можно получить все компоненты искомой МПВ.

Матрица шагов переходов рассматриваемого процесса имеет вид:

$$T_{[6;6]} = \begin{pmatrix} 0 & \tau_{01} & \tau_{02} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tau_{12} & 0 & \tau_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \tau_{23} & 0 & \tau_{25} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \tau_{34} & \tau_{35} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \tau_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \tau_{55} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Значения компонентов МШП определяются так:

$$\tau_{01} = \tau_{23} = \frac{L_c}{V_{nu}}, \quad \tau_{14} = \tau_{34} = \frac{L_k}{V_{nu}}, \quad \tau_{02} = \tau_{12} = \tau_m, \quad \tau_{25} = \tau_{35} = 2\tau_m, \quad \tau_{44} = \tau_{55} = 1, \quad (5)$$

При передаче двухсегментного сообщения по установленному логическому соединению появляется возможность рассмотреть процедуру «скользящее окно».

На рисунке 2 представлен граф ПКМЦ для случая, когда «скользящее окно» равно одному сегменту, а также возможен один повтор.

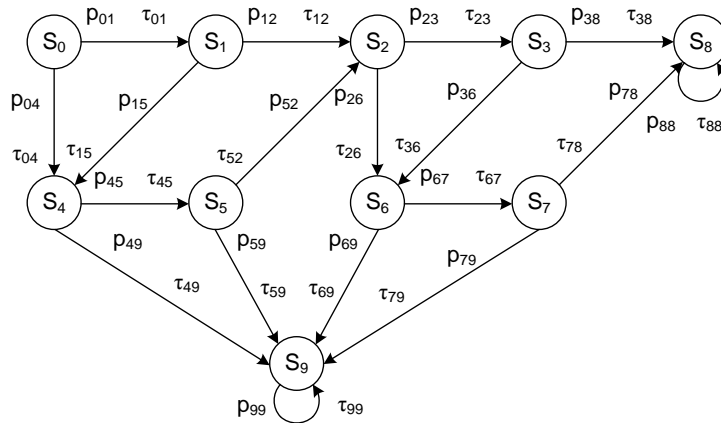


Рисунок 2. Граф переходов ПКМЦ для варианта доведения двухсегментного сообщения, одного повтора и «скользящим окном» равным одному сегменту

Матрица переходных вероятностей описанного процесса имеет вид:

$$P_{[10;10]} = \begin{pmatrix} 0 & p_{01} & 0 & 0 & p_{04} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{12} & 0 & p_{14} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{23} & 0 & 0 & p_{26} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{36} & 0 & p_{38} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{45} & 0 & 0 & 0 & p_{49} \\ 0 & 0 & p_{52} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{59} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{67} & 0 & p_{69} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{78} & p_{79} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{88} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{99} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Матрица шагов переходов строится аналогично выражению (6)

Переходные вероятности и времена шагов переходов определяются так же, как и для случая передачи односегментного сообщения.

Проведенный анализ процесса передачи сообщений в соединении «точка-точка» с различным количеством сегментов (w), повторов (m) и размером скользящего окна (v), показывает, что графы ПКМЦ, описывающих процесс доведения многопакетного сообщения (МПС) с большим числом w , m и v , будут строиться аналогично графам ПКМЦ, описывающих процесс доведения МПС с меньшим числом w , m и v . При этом граф процесса передачи сообщения с большими значениями указанных параметров будет включать в себя граф с меньшими значениями w , m и v . Следовательно, появляется возможность автоматизированного синтеза ПКМЦ, описывающих исследуемый процесс.

Номера состояний графа и их взаимосвязи отображаются переходными вероятностями, а последние, в свою очередь, определяются своими индексами. Исходя из изложенного, задача нахождения (синтеза) элементов МПВ выливается в задачу нахождения соответствующих им индексов. Прежде всего отметим, что количество состояний процесса передачи – n в зависимости от описанных параметров равно:

$$n = 2 + (m + 1) \left(w + \sum_{i=0}^{v-1} (w - i) \right), \quad (7)$$

где: w – количество сегментов; m – количество повторов сегмента по истечению тайм-аутов; v – размер скользящего окна в сегментах.

При этом состояние с номером $n-1$ для всех вариантов будет определять состояние разрыва соединения хостом А (передающая сторона) по истечению m -кратного значения тайм-аута повторной передачи, а состояние с номером $n-2$ – состояние успешного окончания информационного обмена. Данные состояния во всех графах будут поглощающими.

Введем параметры i и j и выразим через них текущие номера состояний k графа переходов. Параметр j показывает в графе номер ряда, в котором находится состояние S_k , а параметр i пробегает все значения от 0 до $(n-j)$. Тогда алгоритм такого синтеза МПВ следующий. Тогда элементы МПВ могут быть построены по следующим правилам П1 – П18:

П1. $P_{2(i+jw),2(i+jw)+1} = vp_c(1-p_c)^{v-1}$, где $0 \leq i \leq w-v$, $0 \leq j \leq m$;

П2. $P_{2(i+jw),2(i+jw)+1} = (w-i)p_c(1-p_c)^{w-i-1}$, где $w-v+1 \leq i \leq w-1$, $0 \leq j \leq m$;

П3. $P_{2(i+wj)+1,2(i+wj)+2} = P_k$, где $0 \leq i \leq w-2$, $0 \leq j \leq m$;

П4. $P_{2(i+jw)+1,n-2} = P_k$, где $i = w-1$, $0 \leq j \leq m$;

П5. $P_{2(i+jw),2(i+jw)+2w} = (1-p_c)^v$, где $0 \leq i \leq w-v$, $0 \leq j \leq m-1$;

П6. $P_{2(i+jw),2(i+jw)+2w} = (1-p_c)^{w-i}$, где $w-v+1 \leq i \leq w-1$, $0 \leq j \leq m-1$;

П7. $P_{2(i+mw),n-1} = (1-p_c)^v$, где $0 \leq i \leq w-v$;

П8. $P_{2(i+mw),n-1} = (1-p_c)^{w-i}$, где $w-v+1 \leq i \leq w-1$;

П9. $P_{2i+1,2(i+wj)} = 1-p_k$, где $0 \leq i \leq wm-1$, $j=1$;

П10. $P_{2(i+w)+1,n-1} = 1-p_c$, где $0 \leq i \leq wm-1$;

П11. $P_{2(i+jw),(m+1)\left(lw-\frac{(l-1)(l-2)}{2}\right)+(w+1-l)j+i} = C_v^l p_c^l (1-p_c)^{v-l}$, где $0 \leq i \leq w-v$, $0 \leq j \leq m$;

П12. $P_{2(i+jw),(m+1)\left(lw-\frac{(l-1)(l-2)}{2}\right)+(w+1-l)j+i} = C_{w-i}^l p_c^l (1-p_c)^{w-i-1}$, где $w-v+1 \leq i \leq w-1$, $0 \leq j \leq m$;

П13. $P_{(m+1)\left(lw-\frac{(l-1)(l-2)}{2}\right)+(w+1-l)j+i,2l+2i} = p_k$, где $0 \leq i \leq w-l-1$, $0 \leq j \leq m$;

П14. $P_{(m+1)\left(lw-\frac{(l-1)(l-2)}{2}\right)+(w+1-l)j+i,n-2} = p_k$, где $i = w-l$, $0 \leq j \leq m$;

П15. $P_{(m+1)\left(lw-\frac{(l-1)(l-2)}{2}\right)+(w+1-l)j+i,2(i+j+w)} = 1-p_k$, где $0 \leq j \leq m-1$, $0 \leq i \leq w-l$;

П16. $P_{(m+1)\left(lw-\frac{(l-1)(l-2)}{2}\right)+(w+1-l)j+i,n-1} = 1-p_k$, где $j = m$, $0 \leq i \leq w-l$;

П17. $P_{n-2,n-2} = 1$;

П18. $P_{n-1,n-1} = 1$.

Остальные элементы МПВ равны нулю.

Таким образом, сформулированы правила автоматизированного синтеза матриц переходных вероятностей описывающих процесс доведения МПС по стеку протоколов ТСР/IP с процедурой «скользящее окно». На этой базе можно создать программную реализацию математической модели описывающей данный процесс с целью дальнейшего её исследования.

Литература

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы./СПб. – Питер, 2012.-943 с.
2. Кемени Джон Дж., Снелл Дж. Ларк. Конечные цепи Маркова / Пер. с англ. – М.: Наука, 1970.
3. Цимбал В.А. Информационный обмен в сетях передачи данных. Марковский подход : монография [Текст] / В.А. Цимбал. – М.: Вузовская книга, 2014. – 144 с.: ил.
4. Цимбал В.А. Математическая модель доставки многопакетных сообщений в соединении «точка-точка» на сети передачи данных с процедурой «скользящее окно» [Текст] / В.А.

Цимбал, Л. Н. Косарева, Т. А. Исаева, С. Е. Потапов, И. Н. Ваганов // Известия Ин-та инженерной физики: науч.-техн. журн. – Серпухов: ЗАО «А-Принт», 2009. – № 3(13) – С. 13–19. – ISSN 2073-8110.

5. Цимбал В.А. Анализ характеристик конечных марковских цепей при разных шагах переходов [Текст] / В.А. Цимбал, А.М. Вальваков, М.Ю. Попов // Известия Ин-та инженерной физики: науч.-техн. журн. – Серпухов: ЗАО «А-Принт», 2014. – № 1(31) – С. 53–56. – ISSN 2073-8110.