

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**Физический**  
**ИНСТИТУТ**  
*имени*  
*П.Н. Лебедева*



Российской академии наук

**Ф И А Н**

ПРЕПРИНТ

**20**

Р. А. ЧЕРНЫЙ

**ФОРМАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ МНОГОПАКЕТНЫХ  
СООБЩЕНИЙ ПО СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ  
С ПРОТОКОЛОМ TCP**

Москва 2012

### **Аннотация**

Рассмотрен Марковский подход к математическому моделированию процессов передачи с основными фазами функционирования виртуального соединения в сети передачи данных по протоколу TCP.

### **Abstract**

In article the Markovsky approach to mathematical modelling of the processes connected with the basic phases of functioning of virtual connection under report TCP is considered.

## **Формально – логическая модель процесса передачи многопакетных сообщений по сети передачи данных с протоколом ТСР.**

Черный Р.А.

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН

Как известно, при передаче данных протокол ТСР использует процедуру «скользящее окно». При этом для организации ТСР-сессии протоколом предусмотрены три основные фазы: установка соединения, передача данных и завершение соединения.

Этапы, необходимые для установки и разрыва соединения, могут быть представлены в виде модели конечного автомата (рисунок 1а) [1, 5], 11 состояний которого перечислены в таблице 1. В каждом из этих состояний могут происходить разрешенные и запрещенные события. В ответ на какое-либо разрешенное событие может осуществляться определенное действие. При возникновении запрещенных событий сообщается об ошибке.

Каждое соединение начинается в состоянии CLOSED (закрытое). Оно может выйти из этого состояния, предпринимая либо активную (CONNECT), либо пассивную (LISTEN) попытку открыть соединение. Если противоположная сторона осуществляет противоположные действия, соединение устанавливается и переходит в состояние ESTABLISHED. Инициатором разрыва соединения может выступить любая сторона. По завершении процесса разъединения соединение возвращается в состояние CLOSED.

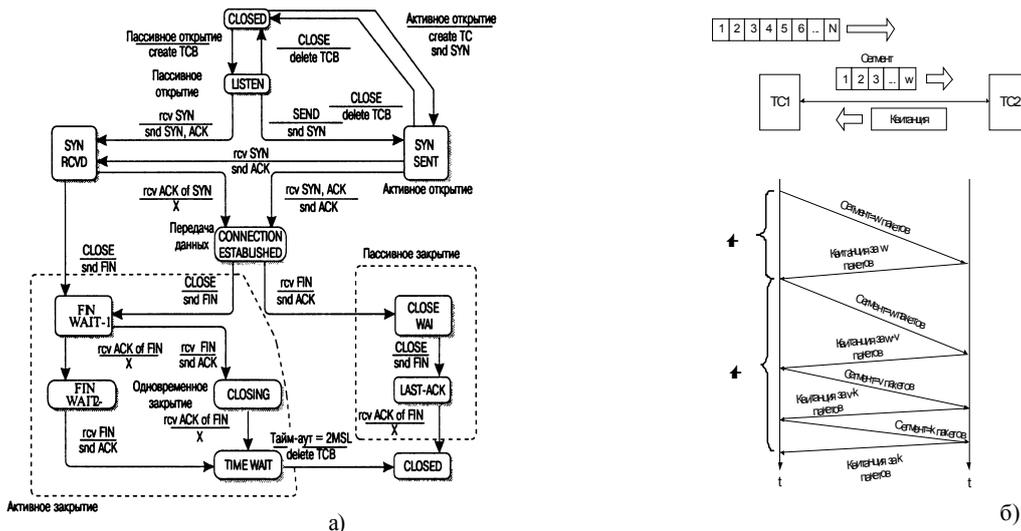


Рисунок 1 – Диаграмма состояний TCP-соединения

Таблица 1 – Состояния конечного автомата, управляющего TCP-соединением

Состояние	Описание
CLOSED	Закрото. Соединение не является активным и не находится в процессе установки
LISTEN	Ожидание. Сервер ожидает входящего запроса
SYN RCVD	Прибыл запрос соединения. Ожидание подтверждения
SYN RCVD	Запрос соединения послан. Приложение начало открывать соединение
ESTABLISHED	Установлено. Нормальное состояние передачи данных
FIN WAIT 1	Приложение сообщило, что ему больше нечего передавать
FIN WAIT 2	Другая сторона согласна разорвать соединение
TIMED WAIT	Ожидание, пока в сети не исчезнут все пакеты
CLOSING	Обе стороны попытались одновременно закрыть соединение
CLOSE WAIT	Другая сторона инициировала разъединение
LAST ACK	Ожидание пока в сети не исчезнут все пакеты

Из анализа процесса функционирования данного протокола следует, что в нём можно выделить следующие состояния:

состояние  $S_0$  – попытка установить соединение; состояние  $S_1$  – соединение установлено, идёт передача данных; состояние  $S_2$  – передача данных завершена, полное закрыть соединения. состояние  $S_3$  – соединение закрыто, сеанс связи завершён

Природа исследуемого процесса такова, что вероятность его перехода из одного состояния в любое другое зависит только от данного состояния и не зависит от того, как процесс в это состояние пришел. Следовательно, анализируемый процесс является марковским, имеющим конечное число

дискретных состояний с дискретным временем.

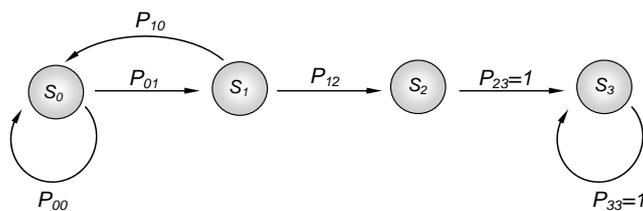


Рисунок 2 – Граф переходов состояний TCP-соединения

Динамика такого процесса хорошо описывается теорией конечных марковских цепей [2]. Направленный граф переходов поглощающей конечной марковской цепи, отображающий исследуемый процесс, представлен на рисунке 2. Состояния  $S_0, S_1, S_2$  – являются переходными, а  $S_3$  – поглощающим.

Матрица переходных вероятностей (МПВ) для графа на рисунке 2 имеет вид:

$$P_{\langle 3,3 \rangle} = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & 0 & 0 \\ P_{10} & 0 & P_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \text{ где:} \quad (1)$$

$P_{01} = P_{yc}$  – вероятность установления соединения;

$P_{00}$  – вероятность не установления соединения  $P_{00} = 1 - P_{01}$ ;

$P_{12}$  – вероятность того, что все данные будут переданы абоненту,  $P_{12} = 1 - P_{10}$ ;

$P_{10}$  – вероятность разрыва соединения, рассчитывается по формуле (2):

$$P_{pc} = 1 - \left( 1 - \int_0^{\tau_T} \frac{1}{\sigma[t]\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t_n - M[t])}{2\sigma[t]}} dt_n \right)^3 = \frac{\sqrt{2}\sigma[t] \cdot \left[ e^{\frac{M[t]}{2\sigma^2[t]}} - e^{\frac{0.5(M[t] - t_n)}{\sigma^2[t]}} \right]}{\sqrt{\pi}} \quad (2)$$

где  $M[t]$ ,  $\sigma[t]$  – соответственно среднее время и СКО времени доставки пакета по маршруту, зависящие от пропускной способности транзитных участков маршрута  $\tau_T$  – заданное для данного соединения время «таймаута»;

$P_{23}$  – вероятность завершения соединения равная 1.

Таким образом, определены все компоненты МПВ (1). Следовательно,

решая уравнение Колмогорова-Чепмена требуемое количество раз, получим вероятностно-временную характеристику процесса доведения многопакетных сообщений по протоколу ТСП.

Кроме того, из МПВ формируются, во-первых, так называемая, фундаментальная матрица [3], по которой находится значение среднего времени (выражение 3), и, во-вторых, дисперсионная матрица, матрица, по которой находится значение дисперсии времени доведения сообщений (выражение 4).

$$M[t] = \frac{\tau_0 + \tau_1 P_{0,1} + \tau_2 \cdot P_{0,1} \cdot P_{1,2}}{1 - P_{0,0} - P_{0,1} \cdot P_{1,0}}, \quad (3)$$

$$D[t] = \left( \frac{P_{0,1} \cdot P_{1,2}}{1 - P_{0,0} - P_{0,1} \cdot P_{1,0}} - \left( \frac{P_{0,1} \cdot P_{1,2}}{1 - P_{0,0} - P_{0,1} \cdot P_{1,0}} \right)^2 \right) \cdot \tau_2^2 +$$

$$+ \left( \frac{P_{0,1}}{1 - P_{0,0} - P_{0,1} \cdot P_{1,0}} \cdot \left( \frac{1 - P_{0,0} + P_{0,1} \cdot P_{1,0}}{1 - P_{0,0} - P_{0,1} \cdot P_{1,0}} \right) - \left( \frac{P_{0,1}}{1 - P_{0,0} - P_{0,1} \cdot P_{1,0}} \right)^2 \right) \cdot \tau_1^2 +$$

$$+ \left( \frac{1}{(1 - P_{0,0} - P_{0,1} \cdot P_{1,0})^2} - \frac{1}{1 - P_{0,0} - P_{0,1} \cdot P_{1,0}} \right) \cdot \tau_0^2, \quad (4)$$

где  $\tau_0$  и  $\tau_1$  – соответственно время установки соединения и передачи данных. Причём, время передачи данных зависит от количества передаваемых пакетов, ёмкости передаваемых сегментов и вероятности доставки пакета по сети, определяемых из [4] в соответствии с процедурой «скользящее окно», временная диаграмма которой представлена на рисунке 1б.

Таким образом, с помощью полученных выражений можно установить оптимальные значения регулируемых параметров ТСП-соединения, а именно: величины «таймаута» и ёмкости сегмента данных процедуры «скользящее окно». Что позволит передавать многопакетные сообщения с заданными требованиями по оперативности (среднему времени доведения) и надёжности доставки.

## Список литературы

- [1] TCP/IP для профессионалов. в-е мзд. / Т. Паркер, К. Сиян. - СПб.: Питер, 2004. - 859 с.: ил.
- [2] Кемени Джон Дж., Снелл Дж. Ларк. Конечные цепи Маркова / Пер. с англ. – М.: Наука, 1970. – 272 с.
- [3] Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1980. – 976 с.
- [4] Цимбал В.А. и др. Математическая модель доставки многопакетных сообщений в соединении «точка-точка» на сети передачи данных с процедурой «скользящие окно»././ Известия ИИФ №3 2009г.
- [5] Таненбаум Э.С. / Компьютерные сети 4е-издание. – СПб: «Питер», 2003. – 992 с.

Подписано в печать 29.10.2012 г.  
Формат 60x84/16. Заказ №66. Тираж 140 экз. П.л 0,5.  
Отпечатано в РИИС ФИАН с оригинал-макета заказчика  
119991 Москва, Ленинский проспект, 53. Тел. 499 783 3640