ISSN: 2181-3337 SCIENCE AND INNOVATION
INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL
2022 № 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ПРОТОКОЛАМ В КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ

Нуркулов Жалолиддин Алишер ўғли
Студент, Гулистанского государственного университета
https://doi.org/10.5281/zenodo.6784221

Аннотация. *В данной статье предлагается подход к разработке математических моделей процессов передачи данных через записи в корпоративных сетях на основе модели замкнутого марковского процесса. Исследованы теоретические и практические аспекты управления этими процессами на основе использования специального программного средства.*

Ключевые слова: *протокол, передача данных, корпоративная сеть, модель Марковского процесса.*

MODELING THE PROCESS OF DATA TRANSFER OVER PROTOCOLS IN A CORPORATE NETWORK

Abstract. *In this article, an approach to the development of mathematical models of data transfer processes through records in corporate networks is proposed based on the closed Markov process model. The theoretical and practical aspects of managing these processes were studied based on the use of a special software tool.*

Keywords: *protocol, data transmission, corporate networks, Markov process model.*

ВВЕДЕНИЕ

Процессы передачи данных по корпоративным компьютерным сетям зачастую функционируют в условиях значительных отклонений характеристик каналов (Раджабов и др., 2007). Эти изменения могут проявляться в виде достаточно медленных флуктуации, если это связано с погодными и прочими внешними условиями, или достаточно резко, если это связано с изменением взаимного положения при движении приемника и/или источника. При моделировании подобных каналов часто применяется модель скрытого Марковского процесса, частным случаем которой является модель Гильберта (Захаров, 1982; Гнеденко, Коваленко, 1987; Barakat, 2002), в которой состояние канала связи упрощенно описывается в терминах "хорошее" - "плохое", а переходы между ними, описываются Марковской цепью (Гнеденко, Коваленко, 1987). При оптимизации работы систем передачи данных обычно требуется максимизировать объем передаваемой информации по сети. При этом согласование скорости передачи данных с текущим состоянием канала приобретает решающее значение. Одним из известных подходов решения такого класса задач является идентификация характеристик канала и выбор оптимального метода кодирования сигнала, согласованного с текущей частотной характеристикой канала. Хотя этот метод обеспечивает, по-видимому, результаты весьма близкие к оптимальным, его аппаратная реализация достаточно сложна. В тоже время в уже действующих корпоративных сетях используются более или менее эффективные методы управления скоростью передачи данных, позволяющие согласовать ее с текущим состоянием канала.

В качестве примера можно указать протокол TCP/IP, где скорость передачи пакетов увеличивается по линейному закону до тех пор, пока не происходит потеря пакета. После этого скорость передачи уменьшается скачком в фиксированной пропорции и далее снова растет по линейному закону. Следует подчеркнуть, что данный способ управления является типичной реализацией некоторого управления стохастическим процессом по априорно неопределенным данным. Действительно, скорость потери пакетов является наблюдаемым процессом, связанным как с ненаблюдаемым состоянием канала, так и со скоростью передачи пакетов, а текущая скорость передачи пакетов есть и управление потоком данных. В последние годы были предложены механизмы управления, в которых производится прямое измерение параметров потока потерь пакетов. При этом, производятся настройка корпоративной сети таким образом, чтобы обеспечить максимальную адаптируемость к пользовательской нагрузке (Раджабов и др., 2007; Barakat, 2002).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Модели, описывающие протокол TCP/IP в терминах стохастических процессов, управляемых Марковскими процессами широко исследуются в последние годы и доказали свою состоятельность при сравнении результатов моделирования с практикой (Раджабов и др., 2007).

С другой стороны в теории стохастического управления (Раджабов и др., 2009) в системах со скрытыми Марковскими процессами (Захаров, 1982; Гнеденко, Коваленко, 1987) есть результаты, позволяющие надеяться на успех при их применении в задачах управления системами передачи данных в корпоративных сетях. Предлагаемый подход основан на следующих предпосылках: состояние канала описывается цепью Маркова с конечным множеством состояний и известными интенсивностями переходов; скорость передачи данных есть управляющий параметр, а интенсивность потерь пакетов, есть известная монотонная функция от скорости передачи и состояния канала; целью управления является выбор такого закона изменения скорости передачи данных при котором достигается максимум среднего значения успешно переданных пакетов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метод решения задачи основан на построении семейства достаточных статистик для текущего состояния канала и выбора такого значения скорости передачи, которое обеспечивает максимум условий реальной скорости передачи. В этом аспекте рассмотрим задачу моделирования закономерности процесса передачи данных.

Полагаем, что состояние линии связи описывается Марковским процессом (Раджабов и др., 2007; Гнеденко, Коваленко, 1987) с конечным множеством состояний $\theta_t \in \{1,\dots,n\}$, имеющим матрицу интенсивностей переходов $\Lambda_t = \{\lambda_t^{ij}\}_{i,j=1,\dots,n}$. Предположим также, что функции λ_t^{ij} непрерывны. Введем обозначения

$$X_t^i = I\{\theta_t = i\},\ X_t = \{X_t^1,\dots,X_t^n\}$$

где $I\{A\}$ есть индикаторная функция множества А. Тогда процесс $X = \{X_t; t \ge 0\}$ допускает представление

$$X_t = X_0 + \int_0^t \Lambda_s^T X_s ds + M_t,$$

где X_0 начальное состояние и $M = \{M_t; t \geq 0\}, M_t = \{M_t^1,..., M_t^n\}$ - квадратично интегрируемый мартингал с квадратичной характеристикой

$$\langle M \rangle_t = \int_0^t \left[\Lambda_s^T diagX_s + diagX_s\Lambda_s\right]ds + \int_0^t diag(\Lambda_s^T X_s)ds,$$

где $$diag\, X = diag\{X^1,..., X^n\}$$

обозначает диагональную матрицу с элементами $X^1,..., X^n$ и “T” – символ операции транспонирования. Эта модель обобщает известную модель Гильберта (Гнеденко, Коваленко, 1987), в которой имеется только два состояния: “хорошее” и “плохое”. В действительности, невозможно определить состояние соединения θ_t, хотя более или менее надежная оценка его характеристик могла бы быть весьма полезной для настройки параметров протокола и скорости передачи данных с целью обеспечения максимальной пропускной способности. В действующих протоколах TCP/IP процесс потери пакетов играет роль источника информации о состоянии сети. Если рассматривать его как процесс наблюдений, то естественно предположить, что интенсивность потери пакетов зависит с одной стороны от состояния соединения, а с другой от скорости передачи данных, которую естественно рассматривать как параметр управления потоком. С точки зрения теории случайных процессов поток потерь образует так называемый считывающий процесс

$$N_t = \sum_{\tau_i \leq t} I\{t \geq \tau_i\},$$

где τ_i моменты потери пакетов. Управление потоком $U(t)$ или текущая скорость передачи пакетов формируется как функционал от наблюдений $U_t = U(t, N_0^t)$ и является $F_t^N = \sigma\{N_s, s \leq t\}$ - предсказуемой случайной функцией. Здесь $\sigma\{N_s, s \leq t\}$ есть σ-алгебра событий, порожденных процессом N_t, и соответственно управление U_t является функцией от моментов времени $\tau_1,..., \tau_{N_t}$ и текущего времени t. Для описания эволюции процесса N_t удобно использовать его мартингальное представление

$$N_t = \int_0^t f(\theta_s, U_s)ds + v_t,$$

где v_t - квадратично интегрируемый мартингал с квадратичной вариацией

$$\langle v \rangle_t = \int_0^t f(\theta_s, U_s)ds.$$

Возможность использования данного представления основана на предположении, что интенсивность потока потерь $f(\theta_t, U_t)$ есть функция текущего состояния сети θ_t и текущей скорости передачи данных U_t. Эта характеристика имеет следующую интерпретацию: при передаче пакетов со скоростью U один пакет отправляется за $\Delta_t = 1/U$ единиц времени. Вероятность потери пакета отправляемого при состоянии канала связи θ_t со скоростью U_t при малых Δ_t допускает представление:

$$P\{\text{Потери пакета } v\} = f(\theta_t, U_t)\Delta_t + O((\Delta t)^2),$$

отсюда в частности следует соотношение

$$\frac{f(\theta,U)}{U} \le 1 \qquad (1)$$

для любых допустимых θ и U. Кроме соотношения естественно предположить выполнение при любых θ следующих условий:

- выполнение равенства $f(\theta,0)=0$,
- положительность и монотонность функции $f(\theta,U)$ по U при $U>0$ для любого θ,
- существование предела

$$\lim_{U\to\infty}\frac{f(\theta,U)}{U}=1. \qquad (2)$$

На основании вышеизложенного сформулируем критерий качества передачи данных. Целью выбора закона управления является максимальное увеличение объема переданной информации в течении заданного интервала времени $[0,T]$, что можно записать следующим образом:

$$J[U(\cdot)] = E\left\{\int_0^T U(s,N_0^s)ds - N_T\right\}.$$

Данная форма критерия качества отражает двойственность управления: с одной стороны для передачи максимального объема информации следует увеличивать скорость, с другой стороны соотношение (2) показывает, что увеличение скорости ведет к тому, что доля переданных пакетов становится очень малой. Кроме того, данное управление, модулируя процесс потерь, является источником косвенной информации относительно состояния соединения. Таким образом, данная задача формулируется как одна из версий задачи разового управления процессом и наблюдениями. Относительно управления допустимы различные формы задания ограничений, например, классическое управление скоростью передачи в классе кусочно-линейных функций (Захаров, 1982), ограничения на мгновенную скорость передачи вида

$$U(t)\in[0,U_{\max}]$$

или ограничения интегрального типа

$$\int_0^T U(t)dt \le M < \infty.$$

Для любого допустимого управления $U(t,N_0^t)$ имеет место соотношение

$$J[U(\cdot)] = E\left\{\int_0^T \left[U(s,N_0^s) - \sum_{i=1}^n P_s^i f(i,U(s,N_0^s))\right]ds\right\}.$$

Полученные теоретические результаты позволяют оптимизировать процессы передачи данных, в плане максимизации пропускной способности канала. Поведение параметра $\theta\in\{1,2\}$ моделируется следующим образом. Задается начальное значение θ, время, через которое происходит смена состояния, является экспоненциально распределенной случайной величиной с известными параметрами, содержащимся в заданной матрице Λ. Далее моделируется поведение самой цепи (Захаров, 1982; Гнеденко, Коваленко, 1987). В качестве модельных состояний были выбраны следующие функции

$$f(1,U)=\begin{cases}0, & U\le 0,\\ U^2/16, & U\le 16,\\ U, & U>16;\end{cases} \qquad f(2,U)=\begin{cases}0, & U\le 0,\\ U^2/9, & U\le 9,\\ U, & U>9.\end{cases}$$

При таком выборе функций уравнение

$$U\left(t,N_0^t\right)=\underset{0\le u\le U_{\max}}{\arg\max}\left[u-\sum_{i=1}^{n}P_t^i f(i,u)\right]$$

имеет аналитическое решение:

$$U(t)=\frac{72.0}{16.0-7.0*P_t^1}. \qquad (3)$$

Изменение условной вероятностей определяется формулой

$$d\bar{v}^c(t)=-\sum_{i=1}^{n}P_t^i f(i,U_t)dt, \qquad (4)$$

Ввиду того что $N(t)$ чисто разрывный процесс, в пересчете для двух состояний относительно $\dot{P}_t^1$ справедливо следующее выражение:

$$\dot{P}_t^1=-\lambda P_t^1+\mu\left(1-P_t^1\right)+P_t^1\left(1-P_t^1\right)\left(f(2,U_t)-f(1,U_t)\right).$$

Это уравнение справедливо на участках непрерывности. В моменты скачков N, то есть при $\Delta N_\tau=1$, его решение определяется по формуле

$$P_{\tau+}^1=\frac{P_{\tau-}^1 f\left(1,U_{\tau-}\right)}{P_{\tau-}^1 f\left(1,U_{\tau-}\right)+\left(1-P_{\tau-}^1\right)f\left(2,U_{\tau-}\right)}.$$

Здесь и выше λ,μ интенсивности переходов для Марковской цепи с состояниями "1-хорошее" и "2 -плохое", поэтому $f(2,U_t)-f(1,U_t)>0$ и при отсутствии скачков P_t^1 растет, а вместе с ней растет и скорость U_t. При заданных начальных условиях изменение условной вероятности описывается уравнением (4). На каждом шаге вычисляется значение управления по формуле (3). Затем, моделируется "отказ" (значение процесса N_t, зависящий от текущего состояния системы и вычисленного управления). Если отказ произошел, то производится расчет условных вероятностей и заново вычисляется значение управления, и т.д. Далее приведены графики, полученные при моделировании скоростных характеристик пропускной способности корпоративных сетей на базе предложенного подхода (Рис.1 - Рис.4.) Время $t\in[0,10]$.

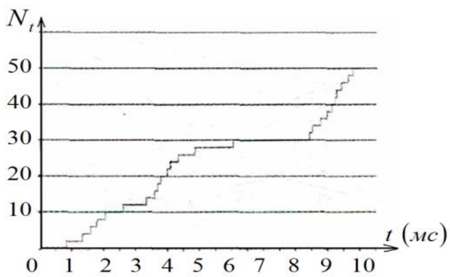

Рис.1. График количества отказов (состояние соединений в протоколах сети)

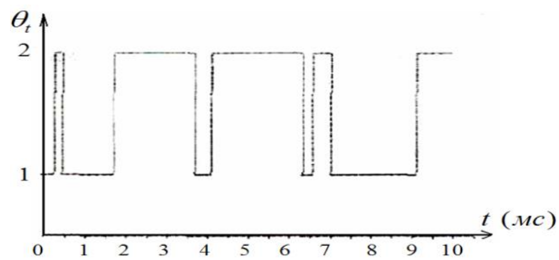

Рис.2. Изменение значения параметра θ при отсутствии управления

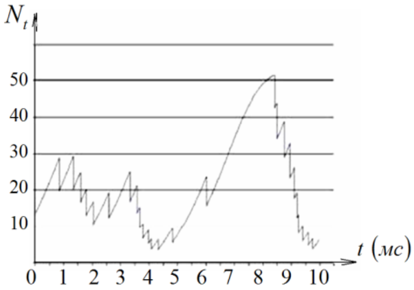

Рис.4. График количества отказов при наличии управления

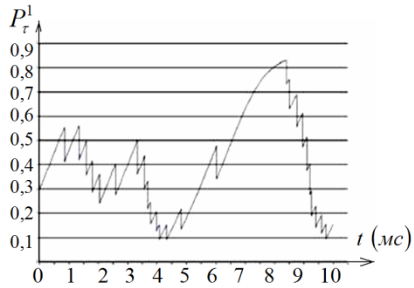

Рис. 3. Изменение вероятности состояния «Хороший»

ВЫВОДЫ

Для предложенной модели управления процессом передачи данных по флуктуирующему каналу связи разработана методика оценки состояния скрытого Марковского процесса. На ее основе получены оптимальные в смысле средне - квадратичной оценки состояния канала по наблюдениям процесса по показателю потери пакетов. Найдено локально оптимальное управление, демонстрирующее качественное сходство с принятым в протоколе TCP/IP. При поведении машинных экспериментов был использован программный инструментарии «Стохастическая оптимизация» (Раджабов и др., 2009).

Список литературы:

1. Абдураимов Д. Э. Описание алгоритмов важность программы Crocodile ICT //Вестник научных конференций. – ООО Консалтинговая компания Юком, 2019. – №. 4-3. – С. 8-9.
2. Абдураимов Д. Э. Ў., Абдурахманов О. Н. ОБЪЕКТ АЛОМАТ ВАЗНЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ ОРҚАЛИ РЕЙТИНГИНИ АНИҚЛАШ МОДЕЛИ //Science and Education. – 2021. – Т. 2. – №. 1. – С. 21-25.
3. Абдураимов Д. Э. Ў., Норматова М. Н., Монасипова Р. Ф. ЛИБМАН ТИПИДАГИ ИТЕРАЦИН УСУЛНИ ЭЛАСТИКЛИК НАЗАРИЯСИ МАСАЛАСИГА ҚЎЛЛАШНИНГ МАТЕМАТИК МОДЕЛИ //Science and Education. – 2021. – Т. 2. – №. 1. – С. 15-20.
4. Абдураимов Д. Э. Ў., Адилов А. Н., Турдиев А. П. Ў. АНИЗОТРОП ВА ИЗОТРОП ЖИСМЛАР УЧУН ТЕРМОЭЛАСТИК БОҒЛИҚ МАСАЛАНИНГ ИККИ ЎЛЧОВЛИ ҲОЛАТДАГИ МАТЕМАТИК МОДЕЛИ //Scientific progress. – 2021. – Т. 1. – №. 5. – С. 449-453.
5. Abdubanapovich, Yuldashev Ulmasbek, and Samatboyeva Marjona Baxtiyor Qizi."RAQAMLI TEXNOLOGIYALARINING TA'LIM SOHASIDA QO 'LLANILISHI." Science and innovation 1.B3 (2022): 110-113.
6. Mavlonov S. X. et al. TA'LIM JARAYONIDA CROCODILE ICT DASTURIDAN FOYDALANISH //Science and Education. – 2021. – Т. 2. – №. 3. – С. 323-327.
7. Захаров Г.П. Методы исследования сетей передачи данных. М.: Радио и связь, 1982. - 208 с.
8. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: 1987. - 336 с.