

УДК 62-55:681.515

А.Л. Ткаченко

Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУ Украины "КПИ", Киев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПЕРЕГРУЗКОЙ

В статье исследованы процессы в системах активного управления очередью Active Queue Management (AQM – системах) при использовании нечетких регуляторов при переменных параметрах TCP/IP сети (случайном изменении нагрузки трафика – случайном изменении числа сессий TCP и случайном изменении времени следования туда и обратно – round trip time RTT) на основе интерактивной системы MATLAB.

Ключевые слова: активное управление очередью, нечеткий регулятор, терм, функция принадлежности.

Введение

Постановка проблемы. Для современных телекоммуникационных систем с коммутацией пакетов характерно явление перегрузки, для борьбы с которым используют различные методы. Среди них важное место занимают методы управления очередью пакетов в маршрутизаторах. Существует два вида управления очередью: активное и пассивное. При пассивном управлении происходит отбрасывание пакетов, которые приходят во время, когда в соответствующей канальной очереди отсутствуют свободные места. Это метод отбрасывания хвоста (Tail Drop), который прост в реализации, но имеет ряд существенных недостатков, с которыми успешно справляются методы активного управления очередью – Active Queue Management (AQM). Системы AQM, чтобы избежать переполнения очереди, отбрасывают или маркируют определенную часть пакетов, которые попадают в маршрутизатор до момента переполнения канальной очереди.

Анализ литературы. Типичным примером AQM – систем являются системы с PID (proportional – integral – derivative) – регулятором, PI (proportional – integral) – регулятором и RED (random early detection) – регулятором. При использовании PID, PI и RED алгоритмов поступающие в буфер пакеты случайно отбрасываются/маркируются с вероятностью, которая зависит от длины очереди. В работах [1 – 7] описаны и проанализированы линеаризованные системы AQM с этими алгоритмами как системы автоматического управления. Эти системы описаны передаточными функциями с постоянными параметрами, хотя реальные AQM системы являются системами со случайными, стохастическими параметрами. В данной работе исследованы AQM системы с нечеткими регуляторами как системы с переменными параметрами при случайном изменении нагрузки трафика (случайном изменении числа сессий TCP) и случайном изменении времени следования туда и обратно – round trip time RTT на основе интерактивной системы MATLAB [8 – 11].

Изложение основного материала

Основная модель AQM системы с нечетким регулятором (Fuzzy Controller) приведена на рис. 1. Исследуем систему при включении в эту систему простейших нечетких регуляторов с двумя функциями принадлежности, общая блок схема которых представлена на рис. 2. Данный метод проектирования нечетких регуляторов детально расписан в работе [12]. Интегратор (Integrator) включен с целью обеспечения в замкнутой системе более высокой точности в установившемся динамическом режиме обработки входного сигнала (т.е. обеспечения меньшей динамической ошибки при поступлении заданной длины очереди q_0), и пропорционального звена (Gain) с малым коэффициентом передачи αf_0 .

Вначале рассмотрим процессы в системе (рис. 1), использующей нечеткий регулятор, в котором формирователь величин A и B (блок 1 на рис. 2) с треугольными функциями принадлежности выполнен по схеме, приведенной на рис. 3. Этот формирователь использует только первую разность ошибки (скорость изменения ошибки).

Для этого нечеткого регулятора идентичные треугольные функции принадлежности, блок сравнения величин A(t) и B(t) и расчета u_c (блок 2 на рис. 2) и блок пересчета величины u_c в переменную m (блок 3 на рис. 2) показаны в работе [13]. Нечеткий регулятор настраивается на минимальную динамическую ошибку $\theta(t) = q_0 - q(t)$. Шаг квантования (шаг поступления данных в нечеткий регулятор) $h = 0,01c$.

В интерактивной системе MATLAB блок CRMS вычисляет значение корня из среднеквадратичной ошибки (root mean squared value).

В этом случае критерий качества можно записать как

$$J = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{v=0}^{L-1} \theta_v^2} = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{v=0}^{L-1} (q_0 - q(t))^2} \Rightarrow \min ,$$

где L – интервал наблюдения.

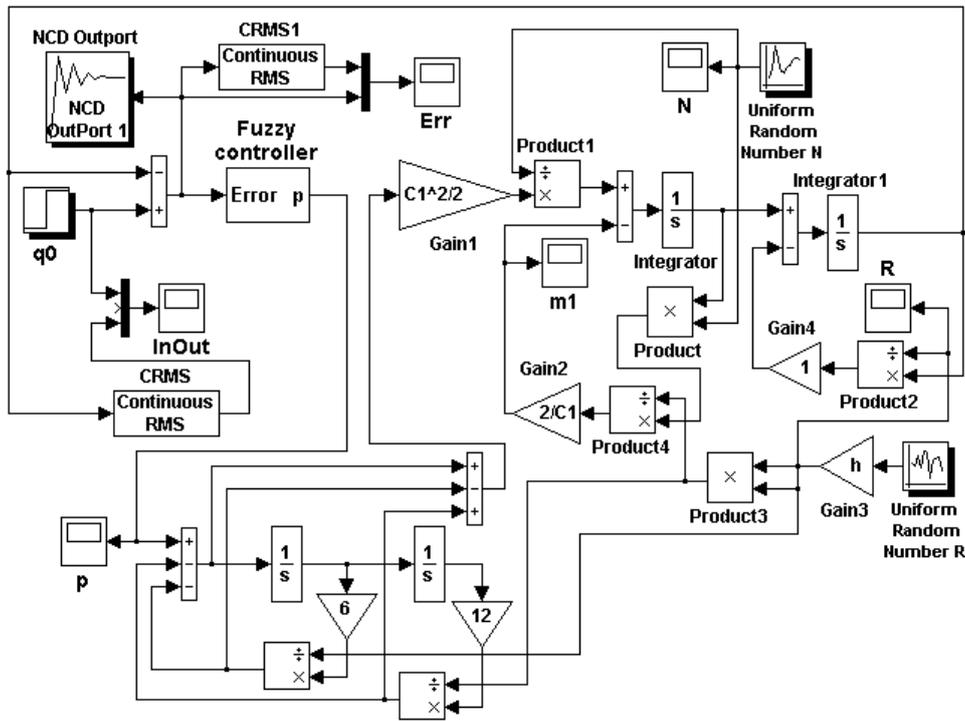


Рис. 1. Модель AQM системи з нечітким регулятором

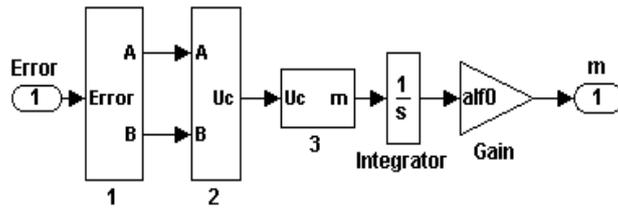


Рис. 2. Обща блок схема нечіткого регулятора з двома функціями приналежності

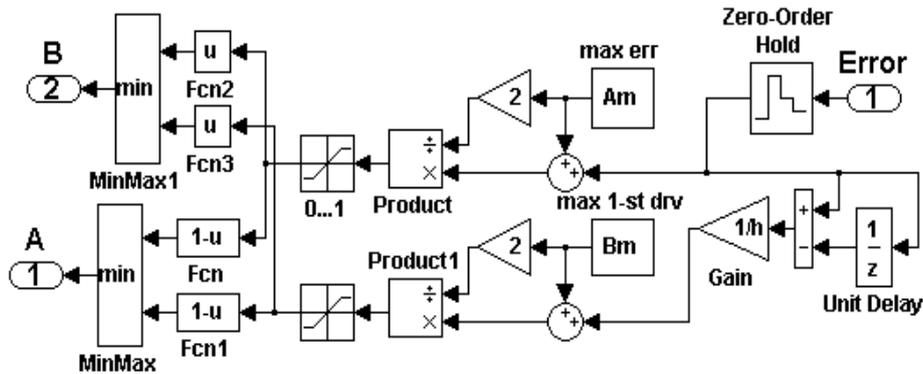


Рис. 3. Формирователь величин A и B

Поскольку переменные $q(t)$ – текущая длина (размер) очереди и $\theta(t)$ – текущая динамическая ошибка системы являются стохастическими, случайными величинами, то настройку нечетких регуляторов в AQM системах целесообразно производить путем сравнения заданного (желаемого) размера очереди q_0 и корня из среднеквадратичного значения текущей длины очереди по критерию

$$J = q_0 - \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{v=0}^{L-1} q^2(t)} \Rightarrow \min .$$

Параметры схемы на рис. 1 выбраны следующие: желаемый размер очереди $q_0 = 200$ пакетов, емкость связи $\tilde{N}_l = 3750$ пакетов/сек. Интервал наблюдения $L = 200$ секунд.

Процессы в AQM системе скорректированной FC-регулятором (Fuzzy Controller) с идентичными входными и выходными треугольными функциями принадлежности приведены на рис. 4, где представлены выходная переменная FC-регулятора $p(t)$ – вероятность отбрасывания/маркировки пакетов (а) и выход системы $q(t)$ – текущая длина очереди (б).

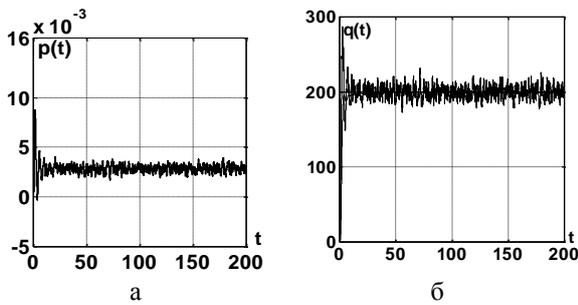


Рис. 4. Вероятность отбрасывания/маркировки пакетов $p(t)$ и текущая длина очереди $q(t)$

Процессы в AQM системе, скорректированной FC-регулятором, получены при следующих параметрах регулятора: $\text{alf0}=10^{-5}$; $h=0.01$; $A_m=165$; $B_m=295$; $D_m=4150$.

Рассмотрим процессы в системе (рис. 1), использующей нечеткий регулятор с тремя функциями принадлежности. Регулятор выполним по блок схеме рис. 5, которая имеет в наличии интегратор (Integrator). Данный интегратор включен с целью обеспечения в замкнутой системе более высокой точности в установившемся динамическом режиме отработки входного сигнала (т.е. обеспечения меньшей динамической ошибки при поступлении заданной длины очереди q_0), и пропорционального звена (Gain) с малым коэффициентом передачи alf0 .

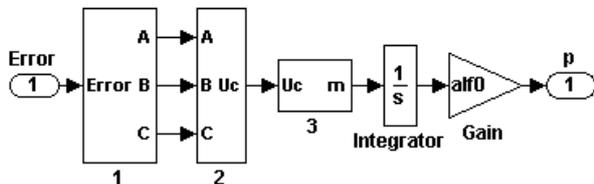


Рис. 5. Общая блок схема нечеткого регулятора с тремя функциями принадлежности

Формирователь величин A, B и C (блок 1 на рис.5) с треугольными функциями принадлежности выполнен по схеме, приведенной на рис.6. Этот формирователь использует только первую разность ошибки. Для этого нечеткого регулятора блок сравнения величин A(t), B(t) и C(t) и расчета u_c (блок 2 на рис.5) и блок пересчета величины u_c в переменную m (блок 3 на рис.5) показаны на рис. 7 и 8 соответственно. Нечеткий регулятор настраивается на минимальную динамическую ошибку $\theta(t) = q_0 - q(t)$. Шаг квантования (шаг поступления данных в нечеткий регулятор) $h = 0,01c$.

Процессы в AQM системе, скорректированной рассмотренным FC-регулятором с идентичными входными и выходными треугольными функциями принадлежности, приведены на рис. 9, где представлены выходная переменная FC-регулятора $p(t)$ – вероятность отбрасывания/маркировки пакетов (а) и выход системы $q(t)$ – текущая длина очереди (б).

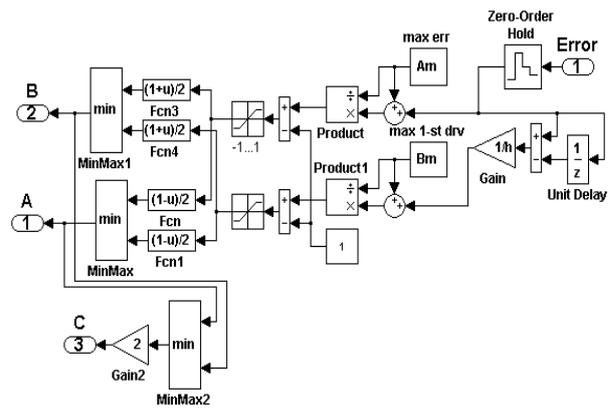


Рис. 6. Формирователь величин A, B и C

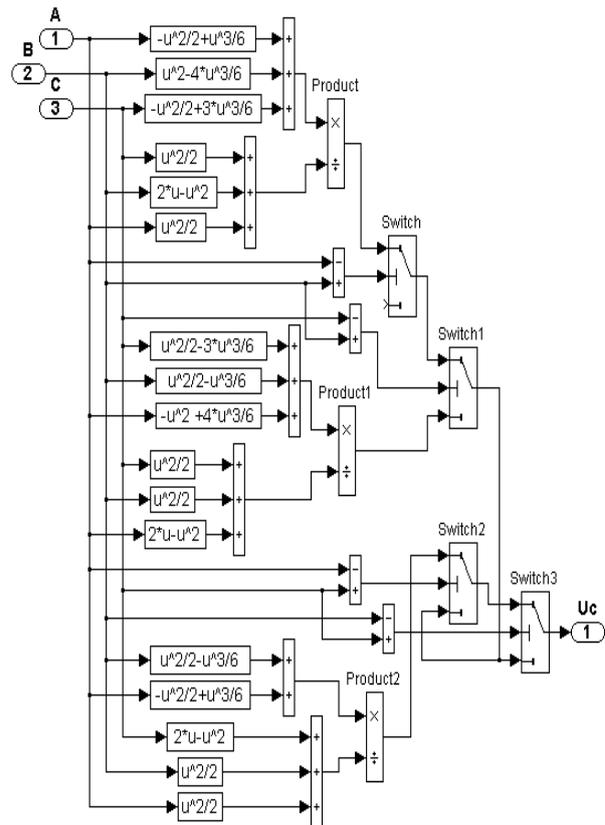


Рис. 7. Блок сравнения величин A(t), B(t) и C(t) и расчета u_c

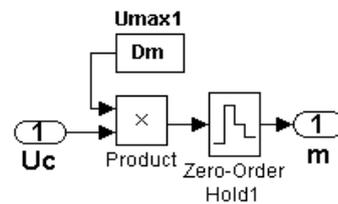


Рис. 8. Блок пересчета величины u_c в переменную m

Процессы в AQM системе, скорректированной FC-регулятором получены при следующих параметрах регулятора: $\text{alf0}=10^{-5}$; $h=0.01$; $A_m=198$; $B_m=330$; $D_m=2800$.

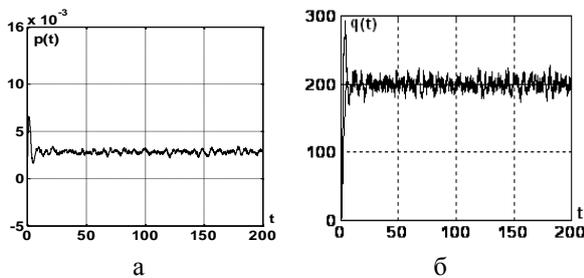


Рис. 9. Вероятность отбрасывания/маркировки пакетов $p(t)$ и текущая длина очереди $q(t)$

Выводы

Проведенные в статье исследования показывают, что AQM системы с нечеткими регуляторами весьма стабильно поддерживают заданную текущую длину очереди при достаточно малых значениях вероятности отбрасывания/маркировки пакетов (при желаемом размере очереди $q_0 = 200$ пакетов среднее значение вероятности отбрасывания/маркировки не более $3,5 \cdot 10^{-3}$ или меньше 0,35% пакетов отбрасывается или маркируется из общего числа поступающих пакетов).

Следует отметить, что рассмотренные выше регуляторы, которые в качестве входного сигнала используют ошибку и первую производную ошибки, являются нечеткими пропорционально-дифференциальными регуляторами – PD (proportional - derivative) – регуляторами.

Список литературы

1. Hollot C.V., Misra V., Towsley D., Gong W.B. "A Control Theoretic Analysis of RED," in *Proceedings of IEEE/INFORMCOM*, April, 2001, pp. 1510-1519.
2. Hollot C.V., Misra V., Towsley D., Gong W.B. "Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows". *IEEE/ACM Transactions on Automatic Control*, vol. 47, no.6, pp. 945-959, June 2002.

3. Hollot C.V., Misra V., Towsley D., Gong W.B., "On Designing Improved Controllers for Routers Supporting TCP Flows", in *Proceedings of IEEE INFOCOM'2001*, April 2001, pp. 1726-1734.

4. Ryu S., Ryu B., Jeong M., Park S. "PI-PD-controller for adaptive and robust active queue management for Internet congestion control" *SIMULATION*, Vol.81, Issue 6, June 2005. pp.437-459.

5. Ryu, S., Rump C. "Application of a PID feedback control algorithm for adaptive queue management to support TCP congestion control". *Journal of Communications and Networks* 6 (2), 2004, pp. 133-146.

6. Wu W., Ren Y., Shan X. "A self-configuring PI controller for active queue management". *Proc. of APCC'2001*, Tokyo, Japan, Sept.16–20, 2001, pp. 368–371.

7. Yanfei F., Fengyuan R., Chuang L. "Design a PID controller for active queue management". *Proceedings of ISCC'2003*, pp. 985-990.

8. Дорф Р. *Современные системы управления* / Р. Дорф, Р. Бишон: пер. с англ. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.

9. Дьяконов В.П. *MATLAB 6/6.1/6.5+Simulink 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя* / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 576 с.

10. Дьяконов В. *Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник* / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.

11. Куо Б. *Теория и проектирование цифровых систем управления* / Б. Куо. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.

12. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH* / А.В. Леоненков.- СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

13. Гостев В.И. *Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления* / В.И. Гостев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.И. Гостев, Государственный университет информационно-коммуникационных технологий, Киев.

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ З КОМУТАЦІЄЮ ПАКЕТІВ ДЛЯ БОРОТЬБИ З ПЕРЕВАНТАЖЕННЯМ

А.Л. Ткаченко

У статті досліджені процеси в системах активного керування чергою Active Queue Management (AQM – системах) при використанні нечітких регуляторів при змінних параметрах TCP/IP мережі (випадковій зміні навантаження трафіка – випадковій зміні числа сесій TCP і випадковій зміні часу проходження туди й обернено – round trip time RTT) на основі інтерактивної системи MATLAB.

Ключові слова: активне керування чергою, нечіткий регулятор, терм, функція приналежності.

USE OF THE FUZZY CONTROLLER IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS WITH PACKET SWITCHING FOR STRUGGLE AGAINST THE OVERLOAD

A.L. Tkachenko

In article processes in systems of active management by turn Active Queue Management (AQM - systems) are investigated at use of fuzzy controller at variable parameters TCP/IP of a network (casual change of loading of the traffic - casual change of number of sessions TCP and casual change of time of following there and back - round trip time RTT) on the basis of interactive system MATLAB.

Keywords: active management of turn, fuzzy controller, a term, accessory function.