

2. Хемминг Р.В. Теория кодирования и теория информации: пер. с англ. / Р.В. Хемминг. – М.: Радио и связь, 1983. – 176 с.
3. Галлагер Р. Теория информации и надежная связь / Р. Галлагер. – М.: Советское радио 1974. – 720 с.
4. Жураковський Ю.П. Теорія інформації та кодування / Ю.П. Жураковський, В.П. Полторак. – К.: Вища школа, 2001. – 255 с.
5. Берлекемп Э. Алгебраическая теория кодирования / Э. Берлекемп. – М.: 1971. – 477 с.

УДК 62-55:681.515

Гостев В.И., д.т.н.; Кунах Н.И., д.т.н.; Кротов В.Д., асп.; Артющик А.С., асп.
(Государственный университет информационно-коммуникационных технологий)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ AQM-СИСТЕМЫ, СКОРРЕКТИРОВАННОЙ AQM-РЕГУЛЯТОРОМ

Гостев В.И., Кунах Н.И., Кротов В.Д., Артющик О.С. Математична модель AQM-системи, скоректованої AQM-регулятором. В роботі описана та проаналізована математична модель AQM-системи, скоректованої AQM-регулятором, як замкненої системи автоматичного керування зі зворотним зв'язком та параметрами, які змінюються в часі.

Ключові слова. AQM-СИСТЕМА, НЕЧІТКИЙ РЕГУЛЯТОР, ФУНКЦІЯ ПАДЕ

Гостев В.И., Кунах Н.И., Кротов В.Д., Артющик А.С. Математическая модель AQM-системы, скорректированной AQM-регулятором. В работе описана и проанализирована математическая модель AQM-системы, скорректированной AQM-регулятором, как замкнутой системы автоматического управления с обратной связью и изменяющимися во времени параметрами.

Ключевые слова: AQM-СИСТЕМА, НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР, ФУНКЦИЯ ПАДЕ

Hostiev V.I., Kunakh N.I., Krotov V.D., Artiushchik O. S. Mathematical model AQM-system, adjusted for AQM-regulator. This paper describes and analyzes the mathematical model of AQM-system, adjusted for AQM-regulator, as a closed system of automatic control with reverse connection and parameters that change over time.

Keywords: AQM-SYSTEM, FUZZY CONTROLLER, PADE FUNCTION

Введение. AQM-система – система активного управления очередью в TCP/IP. Динамическая модель поведения (режима работы) TCP получена путем использования протекающих потоков информации и анализа стохастических дифференциальных уравнений в работах [1, 2], где используется упрощенная модель, которая не учитывает механизма прерывания (timeout mechanism) TCP. Результаты моделирования показывают, что эта модель точно охватывает динамику TCP. В работах [1, 2] рассмотрена модель, которая в результате линеаризации описывается линейными уравнениями. В данной работе показано, как на основании упрощенной модели получить модель с переменными параметрами, которую можно представить в системе MATLAB.

Решение задачи. Рассмотрим упрощенную модель, которая связывает среднее значение основных переменных сети и описывается нелинейными дифференциальными уравнениями:

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R(t)} - \frac{W(t)W(t-R(t))}{2R(t-R(t))} p(t-R(t)); \quad \dot{q}(t) = \frac{W(t)}{R(t)} N(t) - C, \quad (1)$$

где \dot{x} – производная от x ; W – предполагаемый размер окна TCP (в пакетах); $R = q/C + T_p$ – время следования туда и обратно – (round trip time RTT, в сек); C – емкость связи (пакеты/сек); T_p – задержка распространения (в сек); q – предполагаемая длина очереди (в пакетах); N – коэффициент нагрузки (число TCP сессий); p – вероятность маркировки/отбрасывания пакетов).

Длина очереди q и размер окна W являются положительными и ограниченными величинами ($q \in [0, \bar{q}]$ и $W \in [0, \bar{W}]$, где \bar{q} – емкость буфера и \bar{W} – максимальный размер

окна). Вероятность маркировки/отбрасывания p находится в пределах $[0,1]$. В установившемся режиме (W_o, q_o, p_o) , когда $\dot{W} = 0$ и $\dot{q} = 0$, имеем:

$$\dot{W} = 0 \Rightarrow W_o^2 p_o = 2; \quad \dot{q} = 0 \Rightarrow W_o = R_o C / N \text{ и } R_o = q_o / C + T_p. \quad (2)$$

Допуская, что $N(t) \equiv N$ и $R(t) \equiv R_o$ – постоянные величины, линеаризуем уравнения (1) около значений W_o, q_o, p_o . В результате линеаризации получаем линейные уравнения

$$\delta \dot{W}(t) = -\frac{N}{R_o^2 C} (\delta W(t) + \delta W(t - R_o)) - \frac{R_o C^2}{2N^2} \delta p(t - R_o); \quad \dot{\delta q}(t) = \frac{N}{R_o} \delta W(t) - \frac{1}{R_o} \delta q(t), \quad (3)$$

где $\delta W = W - W_o$; $\delta q = q - q_o$; $\delta p = p - p_o$.

Отметим, что в первом линейном уравнении в выражении $\delta W(t - R_o)$ задержкой можно пренебречь при условии $\frac{N}{R_o^2 C} = \frac{1}{W_o R_o} \ll \frac{1}{R_o}$, которое обычно выполняется, поскольку для типовых сетей связи $W_o \gg 1$. Тогда упрощенные линеаризованные линейные уравнения можно переписать в виде:

$$\delta \dot{W}(t) = -\frac{2N}{R_o^2 C} \delta W(t) - \frac{R_o C^2}{2N^2} \delta p(t - R_o); \quad \dot{\delta q}(t) = \frac{N}{R_o} \delta W(t) - \frac{1}{R_o} \delta q(t). \quad (4)$$

Применяя к дифференциальным уравнениям (4) преобразование Лапласа, запишем следующие алгебраические уравнения:

$$(s + \frac{2N}{R_o^2 C}) \delta W(s) = -\frac{R_o C^2}{2N^2} e^{-sR_o} \delta p(s); \quad (s + \frac{1}{R_o}) \delta q(s) = \frac{N}{R_o} \delta W(s). \quad (5)$$

Из этих алгебраических уравнений можно записать передаточную функцию объекта управления:

$$G(s) = \frac{\delta q(s)}{\delta p(s)} = \frac{\delta W(s)}{\delta p(s)} \cdot \frac{\delta q(s)}{\delta W(s)} = \frac{-e^{-sR_o} \frac{R_o C^2}{2N^2}}{s + \frac{2N}{R_o^2 C}} \cdot \frac{\frac{N}{R_o}}{s + \frac{1}{R_o}} = \frac{-e^{-sR_o} \frac{C^2}{2N}}{(s + \frac{2N}{R_o^2 C})(s + \frac{1}{R_o})}, \quad (6)$$

где передаточная функция $\delta W(s)/\delta p(s) = -e^{-sR_o} \frac{R_o C^2}{2N^2} / (s + \frac{2N}{R_o^2 C})$ описывает динамику механизма управления окнами (window-control mechanism) TCP; передаточная функция $\delta q(s)/\delta W(s) = \frac{N}{R_o} / (s + \frac{1}{R_o})$ описывает динамику очереди; а знак « \leftarrow » в формуле (6) указывает на отрицательную обратную связь.

Передаточную функцию объекта управления записывают также в виде $G(s) = P(s)e^{-sR_o}$,

$$P(s) = \frac{\frac{C^2}{2N}}{(s + \frac{2N}{R_o^2 C})(s + \frac{1}{R_o})} = \frac{\frac{(R_o C)^3}{(2N)^2}}{(\frac{R_o^2 C}{2N} s + 1)(R_o s + 1)}, \quad (7)$$

Собственные значения линеаризованного TCP и динамики очереди в уравнении (7) определяются соответственно как $-\frac{2N}{R_o^2 C} = -\frac{2}{W_o R_o}$ и $-\frac{1}{R_o}$. Так как все параметры сети являются положительными величинами, их отрицательные собственные значения указывают, что состояния равновесия нелинейных динамик каждого из звеньев локально асимптотически устойчивы. Интерпретация постоянной времени механизма управления окнами $W_o R_o / 2$ вытекает из выражения линеаризации для $\delta \dot{W}(t)$ в уравнении (3), где

$\frac{2N}{R_o^2 C} = \frac{2}{W_o R_o} = \lambda_o$ – скорость пакетной маркировки в равновесном состоянии (она может быть интерпретируема как средняя частота цикла TCP предотвращения перегрузки).

Постоянная времени механизма управления окнами выражается как $1/\lambda_o$. В равновесии, выражение $\dot{W} = 0$ подразумевает, что мультипликативное уменьшение в размере окна $W_o \lambda_o / 2$ сбалансировано аддитивным увеличением $1/R_o$ (или скорость прибывающих пакетов NW/R равна емкости связи C).

Используя линеаризованную TCP модель, система управления AQM может быть представлена блок-схемой, приведенной на рис.1,а.

В этой системе автоматического управления объект управления описывается передаточной функцией (6), а блок AQM-алгоритма представляет собой регулятор. Задача регулятора – обеспечить устойчивость и качественные показатели системы управления. Во-первых, у системы должен быть приемлемый переходный процесс. Во-вторых, регулятор должен обеспечить робастность системы к вариациям параметров модели.

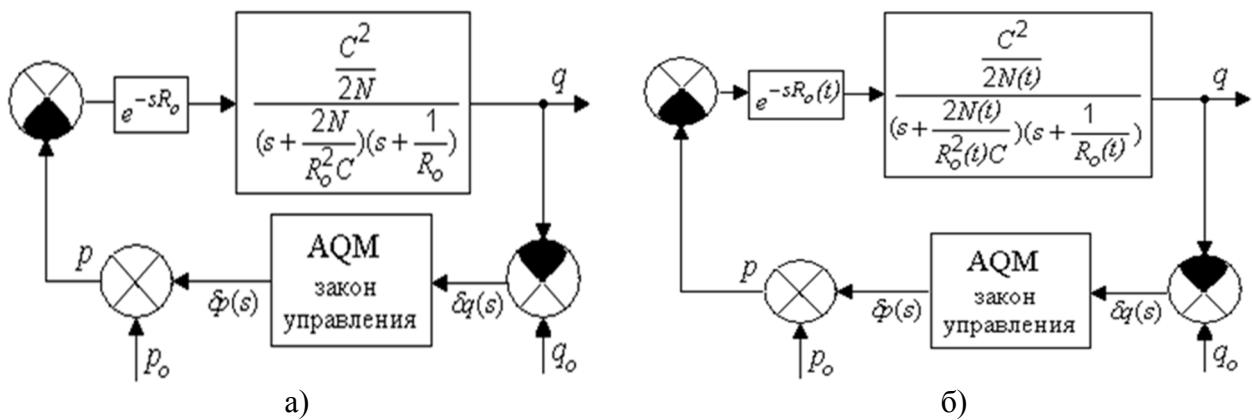


Рис. 1. Общая схема AQM-системы, скорректированной AQM-регулятором

Следует отметить, что коэффициент нагрузки (число TCP сессий) $N(t)$ и время следования туда и обратно – round trip time $R(t)$ являются переменными при работе сети, поэтому математическая модель AQM-системы, скорректированной AQM-регулятором, должна представлять нестационарную систему с переменными во времени параметрами. Общая схема такой AQM-системы представлена на рис.1,б.

В работе [3] исследованы AQM системы с PID (Proportional Integral Differential controller – пропорционально-интегральный дифференциальный регулятор), PI (Proportional Integral controller – пропорционально-интегральный регулятор), RED (Random Early Detection – Случайное Раннее Обнаружение) и 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.

В системе MATLAB можно представить модель объекта управления соединением звеньев с изменяющимися случайным образом параметрами $N(t)$ и $R_o(t)$. Структурную схему AQM системы, изображенную на рис.1,б, можно смоделировать используя мощное средство моделирования и исследования систем управления с обратной связью Simulink. В качестве примера на рис. 2 приведена конкретная модель AQM-системы с нечетким AQM-регулятором (Fuzzy controller) в системе MATLAB.

Усилительное звено $C^2 / 2 / N(t)$ моделируется блоками усилителем Gain1 и делителем Product1, на верхний (рис. 2) вход которого поступает сигнал $N(t)$. Апериодическое звено $[s + 2N(t) / R_o^2(t) / C]$ моделируется интегратором Integrator, охваченным отрицательной обратной связью, которая включает множитель Product, на нижний (рис. 2) вход которого

поступает сигнал $N(t)$, делитель Product4, на верхний (рис. 2) вход которого поступает сигнал $R_o^2(t)$ и усилитель Gain2 с коэффициентом $2/C$. Аперриодическое звено $[s+1/R_o(t)]$ моделируется интегратором Integrator1, охваченным отрицательной обратной связью, которая включает делитель Product2, на верхний (рис. 2) вход которого поступает сигнал $R_o(t)$, и усилитель Gain4 с коэффициентом, равным единице.

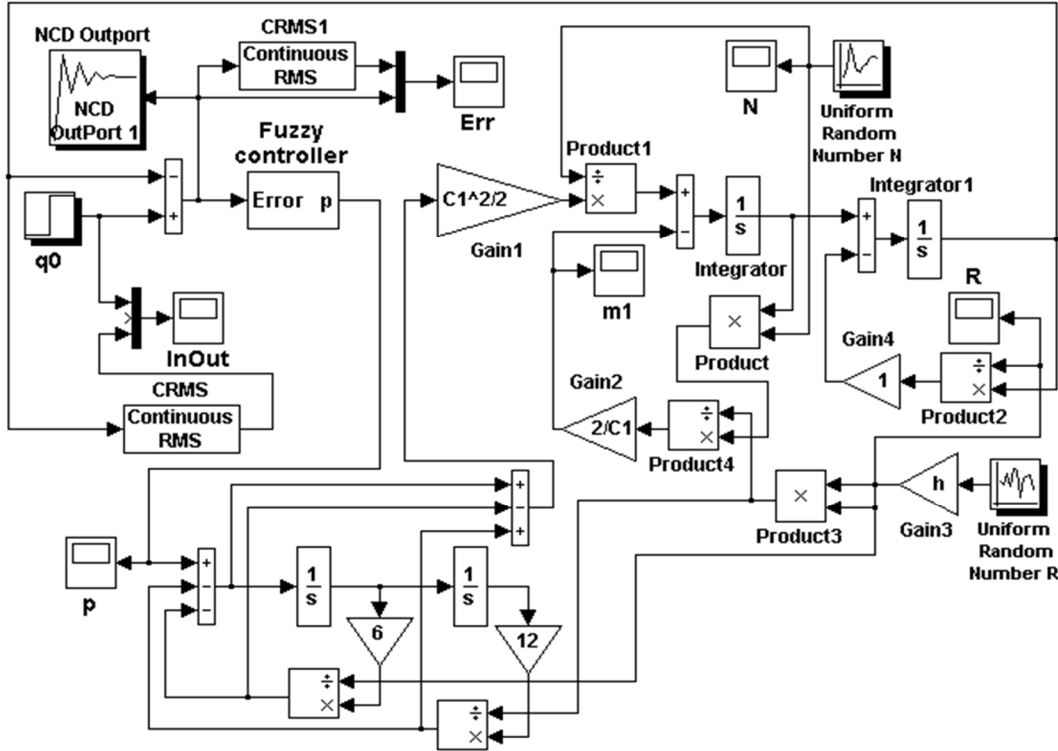


Рис. 2. Модель AQM системы, скорректированной нечетким регулятором (FC-регулятором)

Передаточную функцию звена чистого запаздывания при аппроксимации функцией Паде

второго порядка можно определить по формуле
$$e^{-sR_o(t)} \approx \frac{s^2 - \frac{6}{R_o(t)}s + \frac{12}{R_o^2(t)}}{s^2 + \frac{6}{R_o(t)}s + \frac{12}{R_o^2(t)}}.$$
 Это звено

моделируется при помощи двух интеграторов, двух усилителей с коэффициентами 6 и 12 и двух делителей на верхние (на рис. 2) входы которых поступают сигналы $R_o(t)$ и $R_o^2(t)$.

Наиболее сложной задачей для системы, показанной на рис. 2, является задание функций $R_o(t)$ и $N(t)$. Дело в том, что время следования туда и обратно $R_o(t)$ и нагрузка трафика $N(t)$ изменяются во времени случайным образом и в тоже время эти функции определяют переменные параметры в соответствующих звеньях системы.

Зададим, что время следования туда и обратно $R_o(t)$ изменяется случайным образом в пределах от 220 мс до 300 мс, а нагрузка трафика $N(t)$ изменяется также случайным образом в пределах от 40 до 80. “Возмущающие воздействия” на системы, показаны на рис. 3. Они могут генерироваться блоками Uniform Random Number. Подчеркнем, что в реальных сетях и время следования туда и обратно,

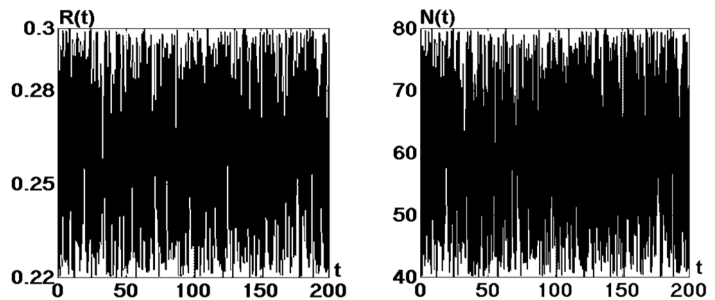


Рис. 3. Графики зависимостей $R_o(t)$ и $N(t)$

и нагрузка трафика может изменяться случайным образом в различных пределах, но для сравнения работы AQM-регуляторов следует выбирать одинаковые “возмущающие воздействия”, например, как показано на рис. 3.

Выводы. В интерактивной системе MATLAB получена стохастическая модель системы активного управления очередью в сетях TCP/IP, на основе которой могут быть исследованы AQM-системы с различными алгоритмами управления.

Литература

1. 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, 1726-1734.
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. Гостев В.И. Фаззи-системы активного управления очередью в сетях TCP/IP : монография / В.И. Гостев, С.Н. Скуртов. – Ніжин: ООО «Аспект-Поліграф», 2011. – 464 с.

УДК 621.391

Климаш М.М., д.т.н.; Вакула Ю.Я., асп. (Національний університет «Львівська політехніка»)

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПОСЛУГ В РАДІОМЕРЕЖАХ СТАНДАРТУ CDMA НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ ПОТУЖНІСТЮ МОБІЛЬНИХ СТАНЦІЙ

Климаш М.М., Вакула Ю.Я. Моделювання та дослідження якості послуг в радіомережах стандарту CDMA на основі алгоритму управління потужністю мобільних станцій. Розглянуто основні алгоритми управління потужністю в радіомережах стандарту CDMA та розроблено математичний апарат для моделювання в середовищі програми MatLab 2010. На основі проведених досліджень запропоновано покращити алгоритми управління потужністю внаслідок використання відношення SINR в якості критерію зміни потужності. Результати досліджень проаналізовані та подані у зручній формі для подальшого використання.

Ключові слова: CDMA МЕРЕЖІ, ЯКІСТЬ СЕРВІСУ, УПРАВЛІННЯ ПОТУЖНІСТЮ, DBPA, MSPC

Климаш М.Н., Вакула Ю.Я. Моделирование и исследование качества услуг в радиосетях стандарта CDMA на основе алгоритма управления мощностью мобильных станций. Рассмотрены алгоритмы управления мощностью в радиосетях стандарта CDMA и разработан математический аппарат для моделирования в среде программы MatLab 2010. На основе выполненных исследований предложено улучшить алгоритмы управления мощностью в результате использования отношения SINR в качестве критерия изменения мощности. Результаты исследований проанализированы и представлены в удобной форме для дальнейшего использования.

Ключевые слова: CDMA СЕТИ, КАЧЕСТВО СЕРВИСА, УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ, DBPA, MSPC

Klymash M.M., Vakula Yu. Ia. Quality of service research for CDMA networks on base of power control method. The article describes main methods for power control achievement in CDMA networks and proposes mathematical approach for further modelling using MatLab 2010 software environment. As the result of work the improvement for power control method using SINR in the role of rule for power deviation is proposed. Research results are analyzed and represented in a usable form for future investigations.

Key words: CDMA NETWORKS, QUALITY OF SERVICE, POWER CONTROL, DBPA, MSPC

Вступ. Для сучасних CDMA мереж особливої актуальності набула якість надання послуг. З точки зору користувачів CDMA мережі призначені для забезпечення високоякісних сучасних послуг, що базуються на передачі даних. Серед цих послуг можна виділити передачу потокового відео, візуалізацію конференцій в реальному часі, визначення поточного місця знаходження та інші. Новітні технології CDMA адаптовані для роботи із усіма видами мультимедійної інформації та являються засобами для забезпечення високої якості послуг, що надаються абонентам.