

ВЛИЯНИЕ ЗАДЕРЖКИ УПРАВЛЯЮЩЕГО СИГНАЛА НА ОПТИМАЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ КАДРОВ IEEE 802.3X

А. В. Макаренко

Северо-Кавказский государственный технологический университет

ABSTRACTS. В работе исследована стандартная для сетей Gigabit Ethernet система управления потоком кадров рекомендованная стандартом IEEE 802.3x. Исследование проводилось на предмет устойчивости и оптимальности системы при значительных задержках управления, возникающих на протяженных каналах связи из-за конечной скорости распространения сигнала. Для анализа системы управления в целом, применены положения технической кибернетики. С целью упрощения интерпретации результатов моделирования, рассмотрен только входной буфер порта коммутатора. По результатам анализа, предложены рекомендации по модернизации системы управления для длинных каналов связи.

key words: gigabit ethernet, switch, IEEE 802.3x, automation control, QoS.

1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным аналитической группы IDC [1], технология Ethernet используется сегодня более чем в 85% всех установленных сетевых подключений. Более 150 млн. персональных компьютеров, рабочих станций и серверов соединяются между собой в сетях Ethernet. Оставшиеся 15% приходятся на Token-Ring, FDDI, ATM, SDH, FrameRelay и прочие технологии. По прогнозу аналитиков из IDC, подобное соотношение для Ethernet сохранится и в ближайшие десять лет.

Технология Ethernet по праву занимает лидирующее положение благодаря высокой сетевой надежности, универсальности, низкой стоимости и развитым средствам управления. Появление новых механизмов управления приоритетом трафика, потоком кадров и виртуальными каналами, вкупе с технологией многопротокольной коммутации с заменой меток (Multiprotocol Label Switching, MPLS), делает очевидной возможность применения Ethernet в мультисервисных корпоративных и городских сетях. А с развитием технологии плотного волнового мультиплексирования (Density Wave De-Multiplexing, DWDM) и с принятием стандарта на 10 Гб/с технология Ethernet займет свою нишу и в сетях территориального уровня [2].

Следует отметить, что активное управление потоком кадров на канальном уровне, присущее Ethernet, вместо распространенного сегодня протокола TCP/IP допускающего потери пакетов, потенциально способно устранить разброс времен задержки при передаче кадров по сети и повысить эффективность использования канала за счет отсутствия в этом случае повторной передачи кадров. Данные возможности весьма существенны для городских и территориально-распределенных сетей передающих мультимедийный трафик.

В Gigabit Ethernet для управления потоком кадров применяется технология Flow Control (FC), описанная в стандарте IEEE 802.3x [3]. Этот стандарт был разработан для локальных сетей ориентированных в основном на передачу трафика данных, поэтому остаются открытыми вопросы обеспечения качества обслуживания [4] при передаче через коммутатор трафика критичного к задержкам (в частности видео и голос).

Анализ рекомендаций IEEE 802.3x [3] показал, что стандарт управления потоком кадров требует чтобы поддерживающее его сетевое устройство реагировало на сообщение о приостановке передачи, но не предписывает устройству выдавать подобные сообщения.

Стандартное решение IEEE 802.3х не учитывает класс и приоритет проходящего трафика. Подобные положения снижают управляемость телекоммуникационных систем, и могут приводить к множественным перегрузкам на узлах и каналах сетей. В тоже время опыт эксплуатации технологии Gigabit Ethernet показывает рост масштабов использования этой технологии в крупных сетях с новыми критичными приложениями, такими как передача компрессированного голоса, высококачественного видео, банковских транзакций, трафика Интернет.

Решение по управлению потоком кадров учитывающее класс и приоритет проходящего трафика, и способное выявлять узлы вызывающие перегрузку и целенаправленно на них воздействовать разработано компанией IBM [5]. Но при исследовании качества управления, компанией IBM [5] не была учтена существенная задержка управления возникающая на магистральных каналах связи из-за конечной скорости распространения сигнала.

В связи с вышеперечисленными фактами, исследование устойчивости и оптимальности системы управления потоком кадров при задержках управляющего сигнала является весьма актуальной задачей.

Структура данной работы такова. В разделе 2, предлагается математическая модель системы управления потоком кадров IEEE 802.3х. В разделе 3, исследовано влияние задержки управляющего сигнала на устойчивость и оптимальность системы управления. В разделе 4, представлены выводы, и высказаны рекомендации по продолжению исследований в этом направлении.

2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ КАДРОВ IEEE 802.3X

2.1. Постановка задачи

Математическая модель системы автоматического управления (САУ) состоит из модели объекта управления (ОУ) и модели устройства управления (УУ) [6]. В работе [7] предложена математическая модель динамики коммутатора Gigabit Ethernet (объекта управления). Модель учитывает переменный размер кадра, вариацию межкадровой паузы, и уровень загрузки коммутационного устройства. В ней учтены особенности режима коммутации с буферизацией (“store-and-forward”), так как именно этот режим применяется в большинстве магистральных коммутаторов Gigabit Ethernet. Но модель не учитывает активного управления потоком кадров. Следовательно для разработки модели САУ требуется расширить модель ОУ и построить модель УУ.

На рисунке 2.1 представлена функциональная модель автоматической системы управления входящим потоком кадров.

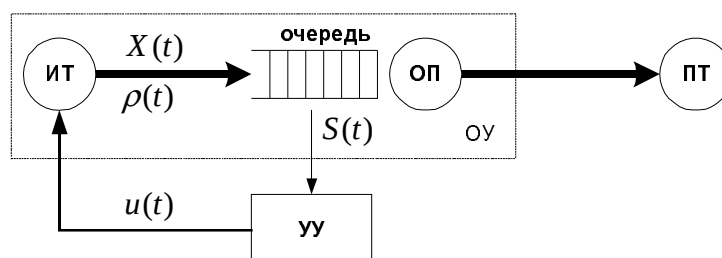


Рис. 2.1. Функциональная схема САУ

В качестве базовой функциональной модели ОУ (коммутатора) используется модель описанная в работе [7]. Устройство управления воздействует на источник трафика (ИТ) посредством управляющего воздействия $u(t)$, обрабатывая $S(t)$ – данные по состоянию ОУ. Нагрузкой коммутатора является потребитель трафика (ПТ). Уровень загрузки входного канала выражается через интенсивность потока заявок $\rho(t)$. Вектор состояния входного

канала обозначим через $X(t)$.

Критерий управления потоком, состоит в поддержке максимально возможной скорости следования кадров при гарантии отсутствия потерь из-за переполнения входного буфера, т.е.:

$$S_q^i - S_q(t) \geq 0, \text{ при } \tau_p(t) + u_p(t) \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

где S_q^i – объем входного буфера, $S_q(t)$ – текущее значение очереди, $\tau_p(t)$ – межкадровый интервал, $u_p(t)$ – переменная управления.

При этом, если значение управляющей переменной не превышает величины межкадрового интервала, то на вход ОУ поступает истинное значение τ_p , иначе на вход ОУ поступает значение u_p .

Согласно стандарту IEEE 802.3х [3] блок УУ выполняет следующие функции:

- контроль размера очереди во входном буфере кадров;
- контроль доступной полосы пропускания для передачи информации;
- управление обслуживающим прибором;
- управление периодом поступления кадров.

2.2. Разработка математической модели УУ

В IEEE 802.3х [3] определен закон управления, который удобно описать двумя соотношениями. Первое выражение:

$$u_p[k] = F_c(S_q(t_g^b[k]) + l_f[k]) [u_p^i + (u_p[k-1] + u_p^a - u_p^i) \Phi(u_p^i - u_p[k-1])], \quad (2.2)$$

где u_p^i – максимально допустимая величина переменной управления, u_p^a – дискрета изменения переменной управления, $t_g^b[k]$ – момент времени начала передачи кадра, l_f – размер кадра, $\Phi(\circ)$ – функция Хевисайда.

Второе выражение:

$$F_c(S_q) = F_c(S_q) \Phi(1 - \Phi(\dot{S}_q) - \Phi(-\dot{S}_q)) + (1 - \Phi(S_q^a - S_q)) \Phi(-\dot{S}_q) + (1 - \Phi(S_q^b - S_q)) \Phi(\dot{S}_q), \quad F_c(S_q(t=0)) = 0, \quad (2.3)$$

где S_q^b – критическая величина заполнения буфера при которой выдается команда: «Приостановить передачу» (Xoff), S_q^a – критическая величина заполнения буфера при которой выдается команда: «Возобновить передачу» (Xon). График функции $F_c(S_q)$ изображен на рис. 2.2.

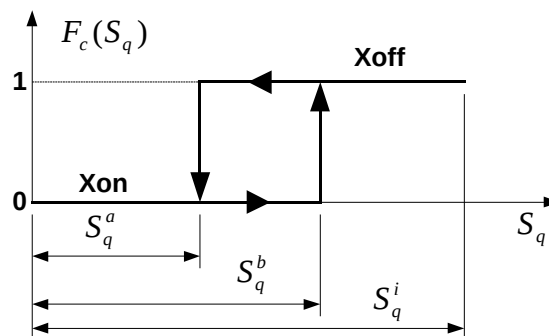


Рис. 2.2. Характеристика функции контроля

Начальным значением переменной управления является

$$u_p[k=0] = 0, \quad (2.4)$$

а ограничением тождество

$$0 \leq u_p \leq u_p^i . \quad (2.5)$$

При цели управления в виде (2.1), система управления при соответствующем быстродействии, гарантирует защиту от переполнения входного буфера если соблюдается неравенство

$$S_q^i - S_q^b > d_{fc} \max\{l_f\} , \quad (2.6)$$

где d_{fc} – задержка управления выраженная в количестве кадров находящихся в линии.

2.3. Описание математической модели ОУ

В качестве математической модели коммутатора (ОУ) используем модель разработанную и описанную в работе [7]. Так как модель не учитывает активного управления потоком кадров, расширим ее.

Если принять допущение об однородности трафика, то каждое состояние канала k – номер сгенерированного кадра, будет состоять из двух фаз: под первой фазой понимается межкадровая пауза ("p-"), под второй фазой передача кадра ("p+"). Длительность межкадрового интервала обозначим $\tau_p[k]$, а длительность передачи кадра $\tau_f[k]$. Процесс передачи кадров показан на рис. 2.3.

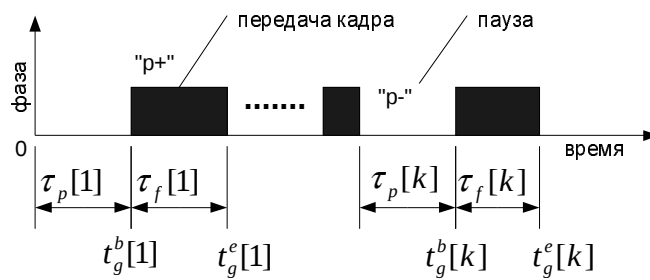


Рис. 2.3. Функциональная диаграмма процесса передачи кадров в канале

Длительность фазы "p+" связана с размером кадра $l_f[k]$, соотношением

$$\tau_f[k] = \frac{l_f[k]}{v_{bc}} , \quad (2.7)$$

где v_{bc} – битовая скорость канала, постоянный аппаратный параметр. Начало передачи кадра k характеризуется временной отметкой $t_g^b[k]$, а окончание отметкой $t_g^e[k]$.

Технология Gigabit Ethernet передает кадры переменной длины при переменном межкадровом интервале, поэтому минимальный вектор состояния канала характеризуется двумя компонентами [8]:

$$X[k] = \begin{bmatrix} l_f[k] \\ \tau_p[k] \end{bmatrix} . \quad (2.8)$$

При необходимости, минимальный вектор состояния канала может быть расширен компонентами из заголовочной части кадра, а также переменными сетевого и транспортного уровней, содержащимися в поле полезной нагрузки.

Кадр Gigabit Ethernet состоит из преамбулы (служит для синхронизации передатчика и приемника физического уровня), служебной части и полезной нагрузки [8]. Размер преамбулы в дуплексном режиме зафиксирован в 64 бита, а служебной части в 144 бит. Минимальное значение "чистого" межкадрового интервала в точности равно времени передачи 96 бит и составляет для Gigabit Ethernet 96 нс, а максимальное значение не ограничено. Учитывая что преамбула на канальном уровне не обрабатывается, получаем

значение “реального” минимального межкадрового интервала в 160 нс.

В итоге получаем, что компонента l_f вектора X дискретна по своей природе и определена на битовом отрезке

$$l_f \in [512, 12144] , \quad (2.9)$$

с дискретой в 8 бит. Компонента τ_p непрерывна и определена на наносекундном полуинтервале

$$\tau_p \in [160, \infty) . \quad (2.10)$$

С точностью достаточной для инженерных расчетов, компоненту τ_p можно также представить дискретной, с интервалом дискретизации в 1нс. Ошибка дискретизации в этом случае составляет не более $7 \cdot 10^{-3}$. Тогда процесс порождающий минимальный вектор состояния канала, будет дискретен и по времени и по уровню.

Полная структура модели САУ изображена на рис. 2.4.

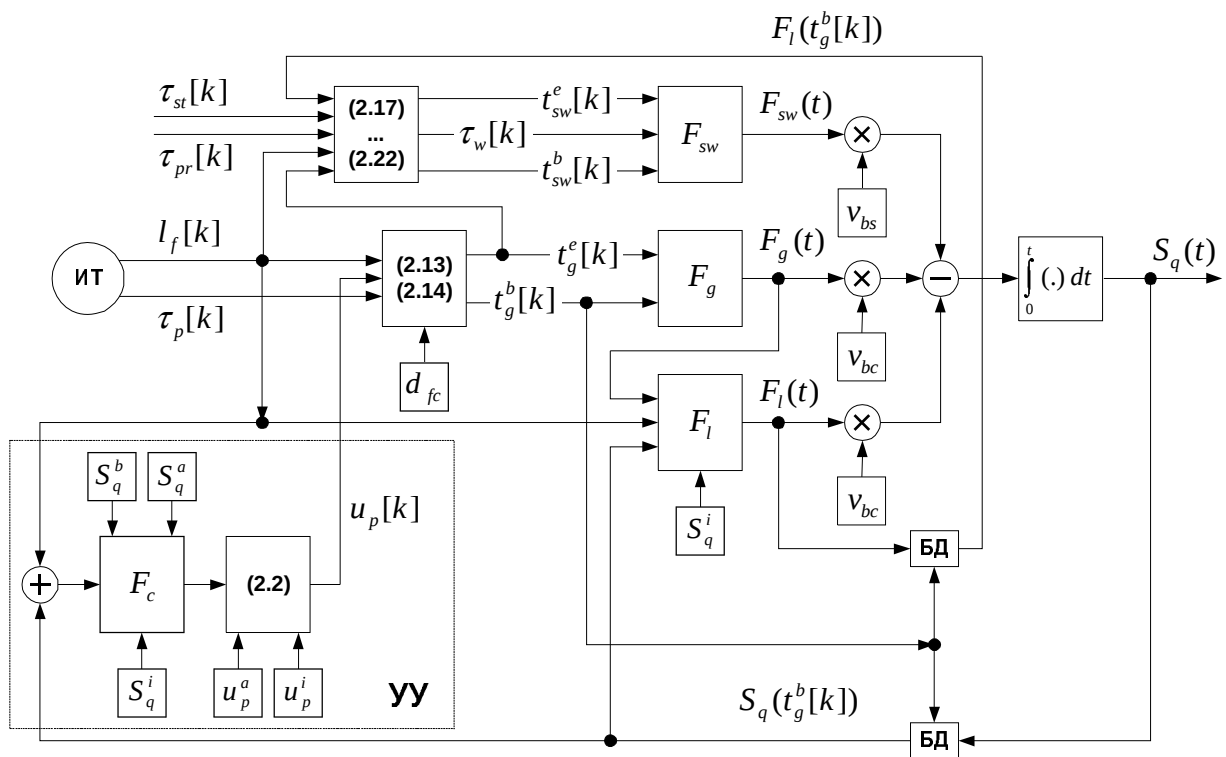


Рис. 2.4. Полная структура математической модели САУ

БД – обозначает дискретизацию функции по временной отметке.

На рис. 2.4 выделен блок УУ разработанный в подразделе 2.2. Остальная часть представляет структуру модели ОУ разработанную в работе [7], и расширенную для учета ею активного управления потоком кадров.

На вход коммутационного устройства от источника трафика (ИТ) поступает поток заявок, который описывается двумя случайными величинами: $\tau_p[k]$ – длительность межкадрового интервала, и $l_f[k]$ – размер кадра. Битовая скорость коммутации v_{bs} принимается постоянной, так как является аппаратным параметром. Время обработки $\tau_w[k]$ в общем случае зависит от размера кадра, времени обработки заголовка процессором $\tau_{pr}[k]$ (производится проверка контрольной суммы и определяется выходной порт по записи “адрес-порт” в таблице коммутации) и времени остающегося до освобождения выходного порта занятого другими процессами $\tau_{st}[k]$. Две последние

величины в нашей модели принимаем случайными, они зависят от конкретной технической реализации коммутатора и от режима его функционирования.

Так как входной буфер коммутатора имеет ненулевую конечную емкость, то для коммутационного устройства справедлив “закон баланса”, выражающийся в равенстве количества поступивших в систему кадров сумме количеств скомутированных, потерянных, и находящихся в буфере. Потерянные кадры возникают в силу конечной емкости буфера, при возникновении перегрузки и переполнении входного буфера. В качестве математической модели “закона баланса”, используем выражение

$$S_q(t) = \int_0^t [v_{bc}F_g(t_g^b, t_g^e, t) - v_{bc}F_l(S_q, F_g, l_f, t) - v_{bs}F_{sw}(t_{sw}^b, t_{sw}^e, \tau_w, t)] dt . \quad (2.11)$$

Функцию состояния источника трафика в терминах непрерывного времени t выразим следующим образом:

$$F_g(t_g^b, t_g^e, t) = \sum_{k \in K} [1 - \Phi(t_g^b[k] - t)][1 - \Phi(t - t_g^e[k])] , \quad (2.12)$$

где $\Phi(\circ)$ – функция Хевисайда.

Принимая во внимание дискретность процесса генерации кадров, с учетом влияния на него управляющей переменной u_p , моменты времени начала t_g^b и окончания t_g^e фазы "р+", выразим следующим образом:

$$t_g^b[k] = t_g^e[k-1] + (\tau_p[k] - u_p[k - d_{fc}]) \times \\ \times \Phi(\tau_p[k] - u_p[k - d_{fc}]) + u_p[k - d_{fc}], \quad t_g^e[0] = 0 , \quad (2.13)$$

$$t_g^e[k] = t_g^b[k] + \frac{l_f[k]}{v_{bc}} , \quad (2.14)$$

где k – номер обрабатываемого кадра, $k \in K$, $k = 1, 2, 3, \dots$, d_{fc} – задержка управления выраженная в количестве кадров находящихся в линии.

Именно выражение (2.13) и учитывает управление потоком кадров. При этом, если значение управляющей переменной не превышает величины межкадрового интервала, то на вход ОУ поступает истинное значение τ_p , иначе на вход ОУ поступает значение u_p .

Через функцию $F_l(S_q, F_g, l_f, t)$ определяется состояние коммутатора теряющего (сбрасывающего) входящие кадры из-за переполнения его входного буфера емкостью S_q^i .

Принимая во внимание вышесказанное, функцию сброса кадров определим так:

$$F_l(S_q, F_g, l_f, t) = F_g(t) \Phi(S_q(t_g^b[k]) + l_f[k] - S_q^i) . \quad (2.15)$$

Функцию состояния коммутационной матрицы $F_{sw}(\circ)$ (функцию коммутации) в терминах непрерывного времени t определим так:

$$F_{sw}(t_{sw}^b, t_{sw}^e, \tau_w, t) = \sum_{k \in K} [1 - \Phi(t_{sw}^b[k] - t)][1 - \Phi(t - t_{sw}^e[k])] \Phi(\tau_w[k]) . \quad (2.16)$$

Учитывая особенности функционирования коммутатора в режиме “store-and-forward” и учитывая дискретность процесса коммутации кадров, моменты времени начала t_w^b и окончания t_w^e обработки кадров выразим следующим образом:

$$t_w^b[k] = t_w^e[k-1] + (t_g^e[k] - t_w^e[k-1]) \Phi(t_g^e[k] - t_w^e[k-1]) , \quad (2.17)$$

$$t_w^e[k] = t_w^b[k] + \tau_w[k], \quad t_w^e[0] = 0 , \quad (2.18)$$

а время обработки через

$$\tau_w[k] = [1 - F_l(t_g^b[k])](\tau_{pr}[k] + \tau_{st}[k] + \tau_{sw}[k]) . \quad (2.19)$$

Время собственно коммутации определяется размером кадра $l_f[k]$ и битовой скоростью коммутации v_{bs} . Выразим

$$\tau_{sw}[k] = \frac{l_f[k]}{v_{bs}} . \quad (2.20)$$

Моменты времени начала и окончания собственно процесса коммутации кадра, выразим следующим образом:

$$t_{sw}^b[k] = t_w^e[k] - [1 - F_l(t_g^b[k])]\tau_{sw}[k] , \quad (2.21)$$

$$t_{sw}^e[k] = t_w^e[k] . \quad (2.22)$$

В работе [7] показана адекватность модели реальному коммутатору “Cajun P550”, производства компании “Avaya”, в части оценки его вероятностно-временных характеристик. Максимальная ошибка моделирования не превышает 10%, это говорит о достаточной адекватности модели исследуемому объекту. Данная точность вполне приемлема для практических, инженерных исследований.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ КАДРОВ IEEE 802.3X

3.1. Постановка задачи

Согласно положениям МСЭ-Т [4], качество обслуживания улучшается, когда значения параметров: вероятность потери кадра, задержка и вариация задержки при передаче кадра достигают своего минимума. Следовательно, основными динамическими характеристиками коммутирующих устройств, задающими качество обслуживания, являются следующие величины:

$S_q(t)$ – текущая длина очереди [бит].

P_l – вероятность потери кадра из-за переполнения входного буфера:

$$P_l = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\int_0^t F_l(t) dt}{\int_0^t F_g(t) dt} . \quad (3.1)$$

τ_{sd} – величина задержки при коммутации кадра [сек]:

$$\tau_{sd} = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (t_w^e[k] - t_g^e[k]) . \quad (3.2)$$

$\Delta \tau_{sd}$ – отклонение в задержках соседних кадров (Джиттер) [сек]:

$$\Delta \tau_{sd} = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |(t_w^e[k] - t_g^e[k] - \tau_d)| . \quad (3.3)$$

$\Delta \tau_p^{io}$ – рост межкадрового интервала [сек]:

$$\Delta \tau_p^{io} = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (t_{sw}^b[k] - t_{sw}^e[k-1] - \tau_p[k]) . \quad (3.4)$$

Для адекватной оценки качества системы управления в технической кибернетике введены понятия критерия оптимальности и функционала качества управления [9].

Как показывает практика, параметры (3.1) – (3.4) существенным образом зависят от длины очереди во входном буфере коммутатора и значений управляющих параметров. Эти

предпосылки и являются базовыми при создании функционала качества управления потоком кадров. Исходя из смысла решаемой задачи, была выбрана следующая форма функционала оптимальности системы управления:

$$J = M \left\{ \sum_{k=1}^K L(S_q[k], l_f[k], \tau_p[k], u_p[k], k) \right\} , \quad (3.5)$$

где $M\{\circ\}$ – оператор математического ожидания, k – номер кадра.

Функция Лагранжа состоит из двух слагаемых:

$$\begin{aligned} L(S_q[k], l_f[k], \tau_p[k], u_p[k], k) = \\ = \left| \frac{(u_p[k] - \tau_p[k])^2}{2a_u} \Phi(u_p[k] - \tau_p[k]) - F_f(S_q[k], l_f[k], k) \right| , \end{aligned} \quad (3.6)$$

где a_u – нормирующий коэффициент.

В формуле (3.6) в качестве слагаемого характеризующего затраты на управление, была выбрана стандартная квадратичная форма. При этом, если значение управляющей переменной не превышает величины межкадрового интервала, то управление не оказывает никакого влияния на процесс передачи кадров и затраты на управление равны нулю.

Функция штрафа F_f получена исходя из следующих соображений:

$F_f = 0$, при $S_q + l_f \leq a_q S_q^i$ – то есть когда значение выходной величины объекта управления лежит в эксплуатационной области, функция штрафа равна нулю;

$F_f = a_f (S_q + l_f - a_q S_q^i)$, при $a_q S_q^i < S_q + l_f \leq S_q^i$ – то есть когда значение выходной величины объекта управления выходит за эксплуатационную область, но остается в пределах конструктивных ограничений, функция штрафа растет линейно;

$F_f = b_f (S_q^i + l_f)^2$, при $S_q^i < S_q + l_f$ – то есть когда значение выходной величины объекта управления выходит за конструктивные ограничения, функция штрафа растет квадратично.

Таким образом функция штрафа представляется в виде

$$\begin{aligned} F_f(S_q[k], l_f[k], k) = & \Phi(S_q[k] + l_f[k] - a_q S_q^i) (1 - \Phi(S_q[k] + l_f[k] - S_q^i)) \times \\ & \times a_f (S_q[k] + l_f[k] - a_q S_q^i) + \Phi(S_q[k] + l_f[k] - S_q^i) (a_f S_q^i (1 - a_q) + b_f (S_q^i + l_f)^2) , \end{aligned} \quad (3.7)$$

где a_f, b_f – нормирующие коэффициенты, a_q – параметр ограничивающий эксплуатационную область.

Учитывая, что на вход объекта управления действует стохастический процесс, и оптимальность системы управления требуется в большом, период оптимизации в функционале (3.5) составляет весь период функционирования системы [10].

Принимая во внимание вышесказанное, представляется целесообразным анализ влияния задержки управления на качество САУ провести по оценке математического ожидания и максимальному значению следующих параметров: S_q , u_p , τ_{sd} , $\Delta\tau_{sd}$, $\Delta\tau_p^{io}$, задающих качество обслуживания, а также по параметрам P_I и J .

3.2. Результаты численного моделирования

Численное моделирование стандартной системы управления проводилось при уровне загрузки коммутатора в 0,5 – данная величина является типичной. На вход подавался реальный трафик с длиной последовательности в 100 000 кадров и со средним уровнем загрузки канала в 0,78. Объем буфера входного порта принимался равным 256КБ, а порог срабатывания САУ был установлен в 51КБ. В эксперименте использовались те же самые аппаратные параметры модели ОУ, что и при оценке ее адекватности [8]. Данное обстоятельство позволяет привязать результаты моделирования к коммутатору “Cajun P550”,

и тем самым повысить практическую значимость результатов работы.

В табл. 3.1 приведены усредненные показатели линий связи для каналов с типичной протяженностью. Диапазон охватывает значения от локальных до глобальных сетей.

Таблица 3.1

Усредненные показатели длинных линий

Длина канала, км	Задержка управления, нс	Количество кадров в линии, шт	Объем данных в линии, байт
0,1	505	1	800
1	3 507	3	2 400
5	16 849	15	11 800
20	66 883	50	40 000
50	166 949	120	100 000
100	333 727	250	200 000
1 000	3 335 729	2 550	2 000 000

Функционал качества управления рассчитывался при следующих значениях нормирующих коэффициентов: $a_u = 10^7$, $a_f = 10^{-5}$, $b_f = 10^{-3}$. Параметр $a_q = 0,1953$.

В данной работе не рассматривалось влияние алгоритмов управления классами, и очередями на динамику САУ, так как согласно положениям IEEE 802.3x на поведение стандартной системы управления влияния они не оказывают.

На рис. 3.1 приведены графики зависимости функционала оптимальности, а на рис. 3.2 параметров динамики от задержки управления.

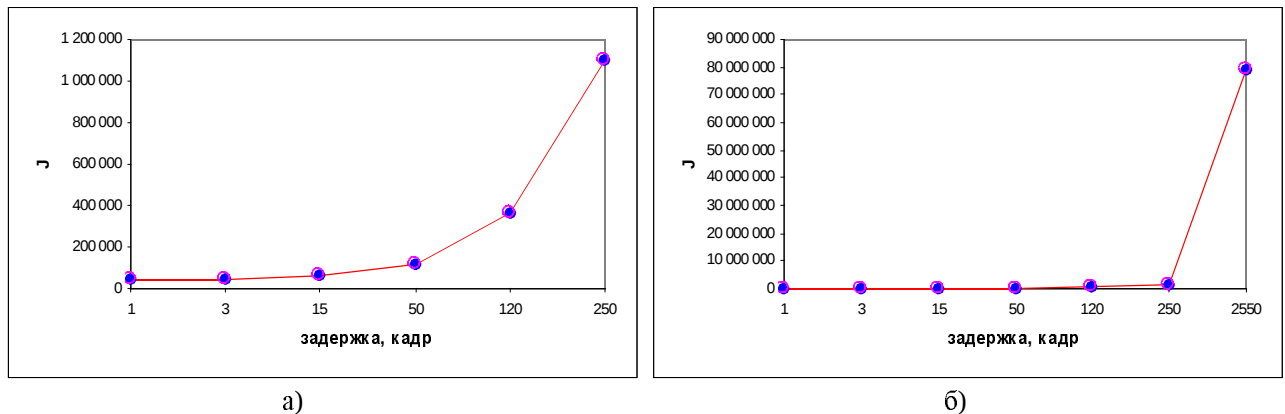
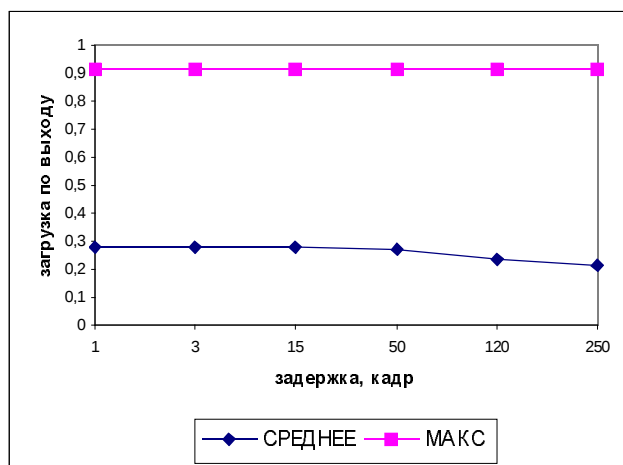
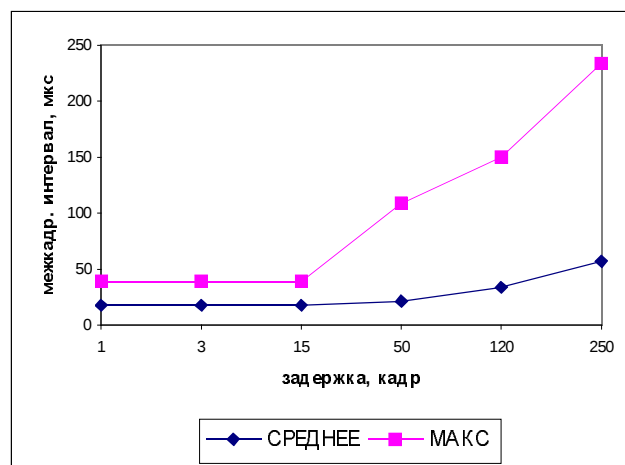


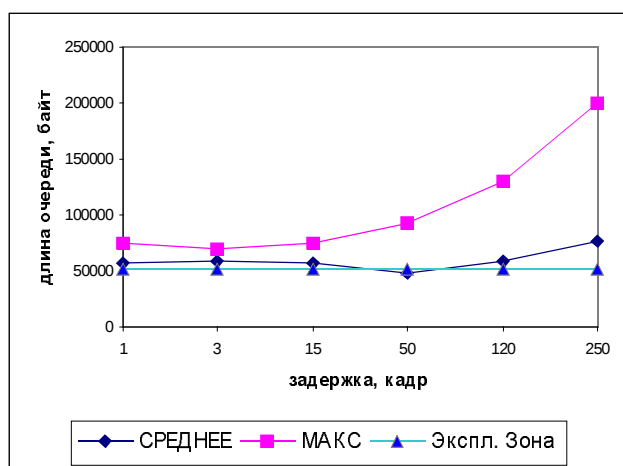
Рис. 3.1. Зависимость функционала оптимальности от задержки управления



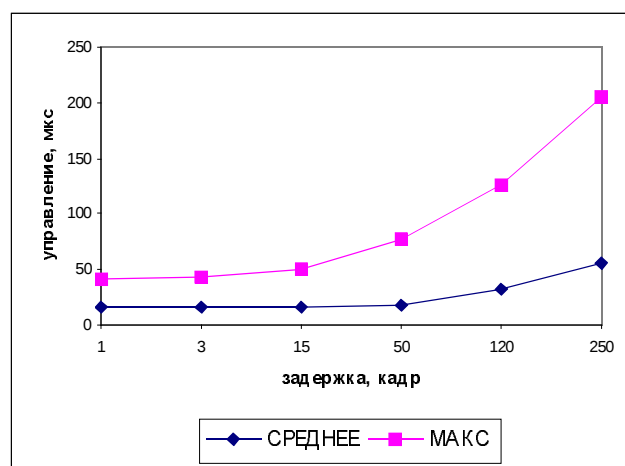
а)



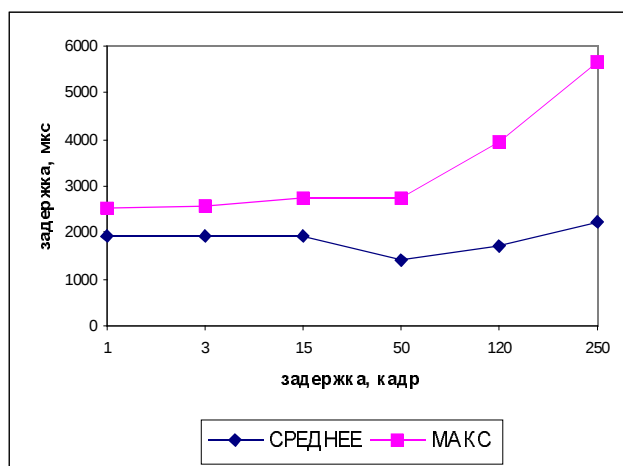
б)



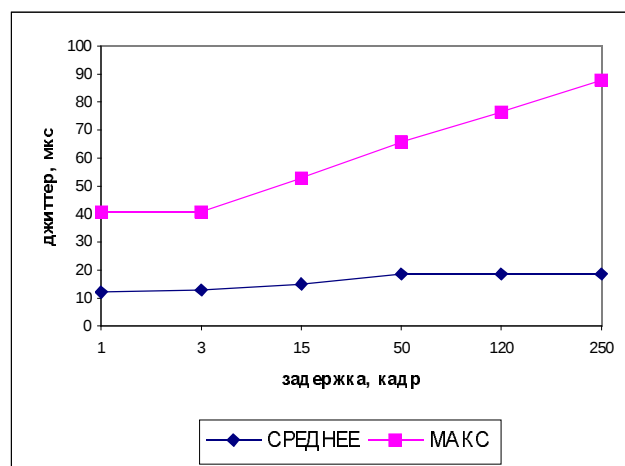
в)



г)



д)



е)

Рис. 3.2. Зависимость вероятностно-временных характеристик от задержки управления

В результате проведенного численного моделирования установлено, что при задержке управления более 500 кадров, коммутатор начинает терять кадры. При задержке в 1500 кадров, потери достигают 40%.

3.3. Анализ результатов

Данные рис. 3.2а показывают, что задержка управления практически не сказывается на уровне загрузки выходного порта коммутатора. Этот факт потенциально способствует разработке более качественных алгоритмов управления очередями и арбитражем коммутационной матрицы (шины).

Сравнение графиков (рис. 3.1а и рис. 3.2б-е) показывает адекватность функционала

оптимальности управления и его высокую чувствительность. В силу этого, анализ оптимальности управления на основе функционала получается более точным по сравнению с анализом на основе параметров динамики коммутатора.

Положительные результаты обнаруживаются для сетей с протяженностью каналов связи менее 5 км. Анализ данных рис. 3.1а показывает, что при увеличении задержки с 1 до 15 кадров, функционал оптимальности возрастает линейно не более чем на 30% от своего первоначального значения. В этом диапазоне задержка управления практически не сказывается на качестве обслуживания. Этот вывод подтверждается и анализом данных приведенных на рис. 3.2б-е.

При задержках управления более 15 кадров, функционал оптимальности растет уже нелинейно (рис. 3.1а). И при задержке более 120 кадров качество управления становится неприемлемым. А качество обслуживания уже значительно ухудшается при задержках управления более 50 кадров.

Одним из главных параметров определяющих качество обслуживания является вероятность потери кадра [4]. Размер буфера и динамика поведения очереди является одной из основных величин влияющих на этот показатель. Принимая во внимание, что при задержке управления более 500 кадров, коммутатор начинает терять кадры. И то, что при таких задержках в линии накапливается более 500 КБ “неуправляемых” данных, можно сделать вывод о неприемлемости стандартного подхода к управлению потоком кадров на магистральных каналах протяженностью свыше 500 км. Вывод о неприемлемости подхода подтверждает сравнение значений функционала оптимальности приведенных на рис. 3.1а и 3.1б. В зоне где начинаются потери кадров (выход за конструкционные ограничения) функционал оптимальности возрастает в 80 раз.

Здесь необходимо отметить, что вышеперечисленные результаты получены для потока трафика содержащего и голос и видео и компьютерные данные. Варианты чистых потоков голоса или видео или компьютерных данных, на сетях с каналами связи более 25 км маловероятны. Это объясняется тем, что конвергенция трафика удешевляет передачу информации на дистанции превосходящие эту величину. Это обстоятельство несомненно положительно влияет на практическую значимость результатов полученных в настоящей работе.

4. ВЫВОДЫ

В процессе проведенных в работе исследований получены следующие основные результаты:

1. Расширена разработанная ранее модель динамики коммутатора Gigabit Ethernet [7] в части учета его активного управления потоком кадров IEEE 802.3х.
2. В результате проведенного анализа стандарта IEEE 802.3х показано, что некоторые положения снижают управляемость телекоммуникационных систем, и могут приводить к множественным перегрузкам на узлах и каналах сетей.
3. Моделирование системы управления потоком кадров проводилось на основе математической модели учитывающей переменный размер кадра и вариацию межкадрового интервала, а также уровень загрузки коммутационного устройства. Учет данных параметров позволил точнее исследовать динамику различных режимов функционирования коммутатора и его систем управления, что способствует проектированию более оптимальных устройств и сетей.
4. Показано, что система управления IEEE 802.3х не оказывает существенного влияния на параметры качества обслуживания при каналах связи протяженностью менее 5 км. Это положительно сказывается на возможности применения Gigabit Ethernet на загруженных мультисервисных сетях локального и кампусного масштаба.
5. При применении Gigabit Ethernet на каналах связи протяженностью свыше 5 км, требуется

разработка иного закона управления потоком кадров, так как стандартное управление зависящее только от длины очереди значительно ухудшает показатели качества обслуживания. Это делает невозможным применение технологии Gigabit Ethernet на загруженных мультисервисных сетях городского масштаба.

6. При применении Gigabit Ethernet на магистральных каналах протяженностью свыше 500 км, требуется разработка иного подхода к управлению потоком кадров, так как стандартная система управления допускает значительные потери кадров (более 40 %). По всей видимости более оптимальным решением является разработка нового подхода к управлению потоком кадров не для Gigabit Ethernet, а для разрабатываемой в настоящее время технологии на 10 Gigabit Ethernet. Применение именно этой технологии более вероятно на магистральных зонавых сетях в комбинации с DWDM [2].

В настоящий момент проводится исследование на предмет разработки более оптимальной и качественной системы управления потоком кадров нежели стандартная.

Автор признателен С. Н. Кузнецову за внимательное прочтение первоначального варианта рукописи статьи, ряд ценных замечаний и конструктивную помощь.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kaplan R. "U. S. Metropolitan Ethernet Services Market Forecast and Analysis, 2001-2006". IDC Report #W249801, July 2001.
- [2] Энди Дорнани. Ethernet выходит в глобальные сети. – Журнал "LAN. Сетевые решения", №11, 2000. – 52-57 стр.
- [3] IEEE 802.3x. 1998 Edition. IEEE standards for Local Area Networks: Advanced Flow Control.
- [4] Нетес В. А. Качество обслуживания на сетях связи. Обзор рекомендаций МСЭ-Т. – Журнал "Сети и системы связи", №3, 1999. – 66-71 стр.
- [5] Aydemir M., Jeffries C., Lynch J., "Flow Control in Gbs Ethernet Networks", IBM, Nov. 11, 1998.
- [6] Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Т. 1./Под ред. В. В. Солодовникова. – М.: Машгиз, 1954.
- [7] Макаренко А. В. Модель динамики коммутатора Gigabit Ethernet.// Интернет публикация – Журнал "Радиоэлектроники", № 11, 2001. – <http://jre.cplire.ru/jre/nov01/2/text.html>
- [8] IEEE Std 802.3. 2000 Edition. IEEE standards for Local and Metropolitan Area Networks: Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications.
- [9] Справочник по теории автоматического управления, под ред. А. А. Красовского. – М.: Наука. Гл. Ред. Физ.-мат. Лит., 1987. – 712 с.
- [10] Казаков И. Е., Гладков Д. И. Методы оптимизации стохастических систем. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 304 с.

Автор: Макаренко Андрей Викторович, с.н.с. информационного центра СКГТУ,
E-mail: avm.science@mail.ru