

Адаптивное управление сервером видеоконференцсвязи при организации дополнительного сервиса в корпоративных сетях

О. Н. Коваленко, К. С. Фадеев, Д. Н. Коваленко

В статье предложена система организации дополнительного сервиса в служебных сетях передачи данных, принимающая решение о качестве передаваемого видеопотока с помощью математического аппарата нечеткой логики. Показана необходимость гибкого управления сервером видеоконференцсвязи (ВКС) при наличии каналов служебной сети передачи данных с ограниченной полосой пропускания. Введены параметры, требуемые для принятия решения о необходимости изменения выделяемой полосы пропускания для аудио- и видеопотоков. Для составления функций принадлежности предлагается использовать метод парных сравнений.

Ключевые слова: видеоконференцсвязь, полоса пропускания, трафик, теория нечеткой логики.

Видеоконференцсвязь (ВКС) применяется во многих производственных процессах. С помощью видеоконференций организуются обучающие семинары, совещания, собеседования, и, как следствие, снижаются затраты на командировки и повышается эффективность взаимодействия распределенных сотрудников.

Однако с развитием техники в целом и улучшения качества ВКС значительно возрастают требования к пропускной способности сетей передачи данных (СПД). Также необходимо отметить, что у многих крупных распределенных компаний, например ОАО «РЖД», СПД служат для обеспечения основных технологических процессов [1]. Сети передачи данных без предварительной модернизации не смогут гарантировать ключевых качественных показателей при внедрении полномасштабных систем ВКС.

Таким образом, цель работы – определение использования ресурсов служебной СПД в периоды невысокой загрузки для организации дополнительных сервисов, не допуская при этом наличия непроизводительного трафика в период «всплеска активности» основных систем.

Для решения данной проблемы можно использовать технологию адаптивного потокового вещания (adaptive streaming), которая позволяет подстраивать скорость доставки видеoinформации под состояние сети. Также существует технология масштабируемого видеокодирования SVC (Scalable Video Coding), позволяющая передавать в одном потоке несколько подпотоков видео различного качества. SVC позволяет серверу видеоконференций подстраивать видеопоток под изменяющиеся характеристики терминалов участников, такие как процессорные ресурсы и ширина канала связи. [2].

Однако обе эти технологии предназначены для гарантированной доставки видеосигналов, т.е. относятся к видео как к основной услуге, а в нашем случае гарантия должна быть предоставлена другому классу трафика – трафику служебных программ.

Также поставленную задачу можно решить с помощью приоритизации трафика и выделения соответствующего канального ресурса трафику каждого приоритета [3]. Однако в

большинстве работ, например в [3–5], показывается, что трафик видеоконференцсвязи относится к трафику реального времени, чувствительного к джиттеру, поэтому для обеспечения QoS рекомендуется присваивать данному трафику наивысший приоритет. Если высший приоритет установлен для видео, то пострадает основной трафик.

Предлагается адаптивное управление сервером видеоконференций в зависимости от заданных параметров с целью организации ВКС как дополнительного внутреннего сервиса в служебных сетях.

В качестве параметров должны быть использованы уровни загрузки ключевых узлов и каналов, качество активных конференций, иерархия проводимых собраний, а также нужно учесть прогнозируемый объем трафика. На основании этих данных может быть принято решение о том, можно ли начинать новую конференцию и с каким качеством; выданы ли рекомендации по переключению разрешения или необходимости отключения видеопотока; досрочного окончания всех совещаний для недопущения сбоя основных технологических процессов. Управляющие команды могут применяться автоматически, переключая режимы работы сервера ВКС, или носить рекомендательный характер для администратора сервера при ручном управлении.

Однако при реализации такой модели одновременный анализ нескольких разнородных параметров осложняет принятие оперативных решений. Поэтому в рамках данной статьи описывается применение агрегированной оценки о требуемой полосе пропускания для проведения ВКС, полученной с помощью аппарата нечеткой логики. В отличие от существующих методов расчета необходимых ресурсов сети [6, 7], теория нечетких множеств позволяет учитывать как параметры, измеренные с высокой точностью, так и субъективные параметры, выраженные, например, высказываниями «хорошая разборчивость» или «нечеткое изображение». В условиях часто изменяющихся условиях функционирования телекоммуникационной сети это позволяет уменьшить количество измерений, необходимых для принятия решения, а следовательно, увеличить быстроту реакции системы управления ВКС на изменения.

Обобщенно схема управления системой ВКС с использованием математического аппарата теории нечеткой логики представлена на рис. 1.

Блок системы управления (СУ), построенной на базе нечеткого вывода, получает данные от блоков заданных параметров качества (ЗПК), прогнозирования загрузки (ПЗ) и системы мониторинга (СМ), проводит необходимые вычисления и выдает управляющие сигналы блоку ВКС.

Блок ЗПК содержит информацию о заданных допустимых параметрах качества и ограничениях. Принимая данные о характеристиках текущих конференций, он проводит необходимые сравнения и сопоставления и передает на вход блока СУ результаты вычислений.

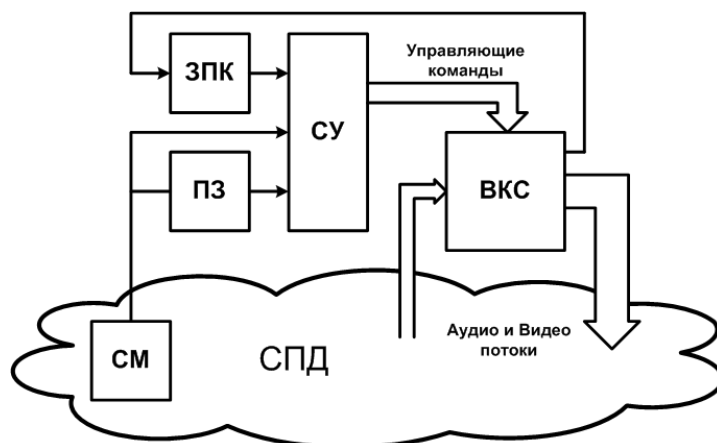


Рис. 1. Схема управления сервером ВКС

Блок ПЗ с помощью методов прогнозирования и экстраполяции оперирует данными на основе статистики загрузки СПД за прошлые периоды, полученной от блока СМ. Результаты передаются на вход блока СУ.

Блок СМ представляет собой систему мониторинга сети СПД. Такая система существует в любой корпоративной сети и отвечает за оперативный сбор информации с коммутационного оборудования ключевых узлов. Дополнительно эта система ведет контроль работы этих узлов и в заданных случаях организует оповещение технических служб. Данные по выбранным узлам передаются в блок СУ для дальнейшей обработки.

Блок ВКС представляет собой непосредственно сервер ВКС, организующий маршрутизацию аудио- и видеопотоков. Также этот блок собирает статистику по потерям, задержкам и джиттеру активных конференций и передаёт эти данные на вход блока ЗПК.

Основной задачей системы управления сервером ВКС является предоставление услуги на заданном уровне качества. Однако в зависимости от ситуации для разных конференций могут быть заданы различные приоритеты и уровни допустимого качества. Таким образом, необходима единая система оценки параметров с гибкой системой результирующих рекомендаций.

При создании такой системы определенную сложность представляет количественная оценка субъективных показателей.

Для обобщенной оценки качества предоставляемой услуги ВКС целесообразно воспользоваться рекомендациями Международного союза электросвязи (МСЭ) Y.1221 [8], Y.1540 [9], Y.1541 [10]. В рекомендации Y.1540 определяются объективные показатели качества, которые следует контролировать в IP-сетях. Рекомендация Y.1541 вводит понятие классов обслуживания (Network Quality of Service Classes), привязывая их к различным видам пользовательских услуг и приложений. В этой же рекомендации приводятся численные значения для параметров, определенных в Y.1540, которые также сопоставляются с классами обслуживания (табл. 1). Рекомендация Y.1221 дает подробное описание и схемы измерений величин этих показателей обслуживания, минимизируя тем самым возможность разночтений при измерениях.

Таблица 1. Классы обслуживания по рекомендации МСЭ Y.1541

Сетевая характеристика	Классы обслуживания					
	Класс 0	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
Задержка	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	Н
Джиттер	50 мс	50 мс	Н	Н	Н	Н
Вероятность потерь	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	Н

Рекомендация Y.1541 устанавливает следующее соответствие между классами качества обслуживания и приложениями [6]:

- 1) класс 0 – приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (VoIP, видеоконференции);
- 2) класс 1 – приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, интерактивные (VoIP, видеоконференции);
- 3) класс 2 – транзакции данных, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (например, сигнализация);
- 4) класс 3 – транзакции данных, интерактивные;
- 5) класс 4 – приложения, допускающие низкий уровень потерь (короткие транзакции, массивы данных, потоковое видео);
- 6) класс 5 – традиционное применение сетей IP.

Таким образом, согласно Y.1541 качественное оказание услуги передачи голоса и видео доступно по классу обслуживания 0 или 1. При прочих условиях качество связи будет очень низкое, а значит, поток видео и голоса лучше вообще отключить.

Из табл. 1 видно, что для обеспечения класса обслуживания 0 необходимо обеспечение низкой задержки, низкого джиттера и низких потерь. Для обеспечения обслуживания по классу 1 допустимый диапазон задержки может быть увеличен до средних значений.

Для работы блока СУ на базе нечеткого вывода необходимо оценить значения входных параметров и определить соответствие этих значений заданным требованиям. Для этого математический аппарат нечеткой логики оперирует такими понятиями, как лингвистическая переменная, терм-множество и функция правдоподобия нечеткого множества [12].

Таким образом, можно сформировать полный набор лингвистических переменных и правил для построения системы нечеткого вывода. Для удобства все переменные сведены в табл. 2.

Таблица 2. Переменные системы нечеткого вывода

X	x1	Имя переменной	Задержка
		Терм-множество	{низкая, средняя, высокая}
		Пределы значений	[0, 450] мс
	x2	Имя переменной	Джиттер
		Терм-множество	{низкий, высокий}
		Пределы значений	[0, 100] мс
	x3	Имя переменной	Вероятность потерь
		Терм-множество	{низкая, высокая}
		Пределы значений	[10 ⁻⁴ , 10 ⁻²]
Y		Имя переменной	Задержка
		Терм-множество	{низкая, средняя, высокая}
		Пределы значений	[0, 450] мс

Система правил в табличной форме будет иметь вид, приведенный в табл. 3.

Таблица 3. Табличный вид системы лингвистических правил

Номер правила	Задержка	Джиттер	Потери	Качество
1	Низкая	Низкий	Низкие	Высокое
2	Средняя	Низкий	Низкие	Среднее
3	Низкая	Высокий	Низкие	Низкое
4	Средняя	Высокий	Низкие	Низкое
5	Высокая	Высокий	Низкие	Низкое
6	Любая	Любой	Высокие	Низкое

В теории нечетких множеств лингвистические переменные описываются пятеркой величин (N, T, U, G, M) , где N – имя переменной; T – терм-множество, элементы которого задаются нечеткими множествами на универсальном множестве U ; G – синтаксические правила, порождающие название термов; M – семантические правила, определяющие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами из G .

Для каждого имеющегося множества термов $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ и универсального множества $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ нечеткое множество t_j для задания лингвистического терма t_j на универсальном множестве U представляется в виде [7]:

$$t_j = \left(\frac{\mu_{1j}(u_1)}{u_1}, \frac{\mu_{1j}(u_2)}{u_2}, \dots, \frac{\mu_{1j}(u_n)}{u_n} \right), \quad j = \overline{1, m}. \quad (1)$$

Таким образом, для работы системы необходимо определить семантические правила для каждой переменной. В терминах теории нечетких множеств следует задать функции принадлежности для каждого терма, определив степени принадлежности элементов множества U к элементам из множества T , т.е. найти $\mu_j(u_i)$ для всех j и i .

Согласно общей теории нечетких множеств существуют прямые и косвенные методы задания функции принадлежности для выбранных лингвистических переменных.

Прямые методы для одного эксперта состоят в непосредственном задании функции, позволяющей вычислять значения. Такие методы осложнены необходимостью строгого однозначного ранжирования проявления заданных свойств у рассматриваемых объектов. При этом так как степень принадлежности рассматривается на реальном множестве, а не в абсолютном смысле, то интенсивность принадлежности можно определить, исходя из попарных сравнений элементов [14].

Воспользуемся методом парных сравнений. Этот метод используется в случае, если универсальное множество конечно и имеет небольшую размерность.

Для каждой пары элементов универсального множества U оценим преимущество одного элемента над другим по отношению к свойству заданного нечеткого множества. Для оценки интенсивности проявления некоторого свойства используется девятибалльная шкала Саати:

$$\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\} \{1/k\}, k = 1 \dots 9, \quad (2)$$

где 0 – два объекта в отношении некоторого свойства незначимы (нет значимости);

1 – очень слабая значимость;

3 – слабая значимость;

5 – более или менее значимы;

7 – сильная значимость;

9 – абсолютная значимость;

2, 4, 6, 8 – промежуточные значения, предназначены для случаев неуверенности экспертов, но чаще всего не используются.

С помощью 9-балльной шкалы Саати составим матрицу парных сравнений для функции принадлежности нечеткого множества «низкая задержка» (табл. 4).

Таблица 4. Матрица парных сравнений для функции принадлежности нечеткого множества «низкая задержка»

Задержка, мс	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
0	1	1	1	3	7	9	9	9	9	9
50	1	1	1	3	7	9	9	9	9	9
100	1	1	1	3	5	9	9	9	9	9
150	1/3	1/3	1/3	1	3	5	5	5	7	9
200	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	3	3	5	7
250	1/9	1/9	1/9	1/5	1	1	1	3	3	5
300	1/9	1/9	1/9	1/5	1/3	1	1	1	1	3
350	1/9	1/9	1/9	1/5	1/3	1/3	1	1	1	3
400	1/9	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1
450	1/9	1/9	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1

Найдем собственный вектор матрицы A как $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ из системы уравнений [15]:

$$\begin{cases} AW = \lambda_{\max} W, \\ w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1 \end{cases} \quad (3)$$

Вычислим степени принадлежности по координатам собственного вектора:

$$\mu(u_i) = w_i, i = 1, n. \quad (4)$$

Находя собственный вектор матрицы согласно (4), получим значения степеней принадлежности для данного нечеткого множества (табл. 5).

Таблица 5. Степени принадлежности для нечеткого множества «низкая задержка»

Задержка, мс	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
μ	1.000	1.000	0.956	0.482	0.233	0.166	0.107	0.097	0.079	0.062

Аналогично рассчитываются степени принадлежности для нечеткого множества «средняя задержка» и «высокая задержка», а также для джиттера и вероятности потерь. Таким образом, задаются функции принадлежности всех входных переменных, на основании которых вычисляется оценка задержки.

Данный пример расчета показывает простоту перехода от субъективных показателей к числовым значениям при использовании математического аппарата нечеткой логики. Разработка нечеткой системы оценки практически не требует точных знаний о значениях показателей качества и привлечения многочисленных экспертов. Также не требуется составление сложных функций описания работы системы в целом. Все возможные неточности при проектировании системы могут быть скорректированы благодаря возможности самообучения системы на основе накопленных статистических данных.

Аналогичным образом могут быть преобразованы и в дальнейшем сопоставлены любые другие необходимые параметры.

Все рассчитанные функции принадлежности используются блоками ЗПК и СУ, где с помощью классических методов нечеткой логики производятся необходимые сравнения и вычисления, принимаются решения и выдаются рекомендации или управляющие команды для системы управления видеоконференцией. Таким образом, можно осуществить адаптивное динамическое управление услугой предоставления ВКС как дополнительного сервиса.

Предложенная модель управления позволяет обеспечивать адаптивное выделение ресурсов сети для организации ВКС с учетом загрузки сети трафиком технологических процессов. Применение аппарата нечеткой логики позволяет упростить принятие решения о распределении ресурсов сети в условиях изменяющейся конфигурации сети передачи данных и отсутствия статистических данных.

В дальнейшем планируется предлагаемую методику распределения ресурсов сети между технологическим трафиком и трафиком ВКС на основе теории нечетких множеств апробировать на конкретной сети.

Литература

1. Коваленко О. Н., Коваленко Д. Н. ВКС как дополнительный сервис корпоративных сетей // Материалы V МНПК «Актуальные направления научных исследований: от теории к практике». Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. № 3 (5). С. 266–267.
2. Флюстер Н. ВКС. Скачок в будущее // Технологии и средства связи. 2014. № 2. С. 34–36.
3. Меликов А. З., Пономаренко Л. А., Паладюк В. В. Телетрафик: модели, методы, оптимизация. Киев: ИПК Политехника, 2007. 256 с.
4. Яновский Г. Г. Качество обслуживания в сетях IP // Вестник связи. 2008. № 1. С. 8–24.
5. Пшеничников А. П., Али Раад А. М. Оценка времени установления соединений при предоставлении услуг IPTV с использованием платформы IMS // T-Comm – Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 7. С. 99–101.

6. Вишневский В. М., Семенова О. В. Математические методы исследования систем поллинга // Автоматика и телемеханика. 2006. Вып. 2. С. 3–56.
7. Заринова Э. Р. К методам исследования процесса обмена сообщениями при предоставлении видеоконтента // Материалы всероссийской конференции «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем». М.: РУДН. 2014. С. 86–87.
8. ITU-T Recommendation Y.1221 (2002). Traffic control and congestion control in IP based networks.
9. ITU-T Recommendation Y.1540 (2002). Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters.
10. ITU-T Recommendation Y.1541 (2002). Network performance objectives for IP based services.
11. Соколов Д. П. Нечеткая система оценки качества // Технологии и средства связи. 2009. № 4. С. 26–28.
12. Курилов О. С. Объективный анализ качества речи в IP-телефонии // Технологии и средства связи. 2002. № 4. С. 22–28.
13. Новак В., Перфильева И., Мочкорж И. Математические принципы нечеткой логики: пер. с англ. М.: Физматлит, 2006. 347 с.
14. Яхьяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети. М.: БИНОМ, 2006. 316 с.

*Статья поступила в редакцию 14.02.2019;
переработанный вариант – 24.05.2019.*

Коваленко Ольга Николаевна

к.т.н., доцент, доцент кафедры «Телекоммуникационные, радиотехнические системы и сети» ОмГУПС (644050, Омск, пр. К. Маркса, д. 35), e-mail: onkovalenko@mail.ru.

Фадеев Константин Сергеевич

к.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедры «Телекоммуникационные, радиотехнические системы и сети» ОмГУПС, e-mail: fadeev_spi@mail.ru.

Коваленко Дмитрий Николаевич

ведущий технолог Новосибирского ИВЦ – структурного подразделения ГВЦ – филиала ОАО «РЖД» (644020, Омск, ул. Леконта, д. 4), e-mail: dnkovalenko@mail.ru.

**Adaptive control via video conference server while organizing additional service
in corporate networks**

O. Kovalenko, K. Fadeev, D. Kovalenko

In this article, organization of additional service system in office data transmission networks making a decision on quality of the transferred video flow by means of a mathematical apparatus of fuzzy logic is presented. The necessity of flexible server control of VCS in the presence of service data network channels with limited bandwidth is shown. The parameters demanded for making decision on the necessity for changing the selected bandwidth for audio-and video flows are entered. To draw up accessory functions a method of paired comparisons is offered.

Keywords: video conference, bandwidth, traffic, theory of fuzzy logic.