

УДК 621.391

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЕРВИСА В ИНТЕГРИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ



[В.И. ТИХОНОВ](#),

[О.В. ГОЛУБОВА](#)

Одесская национальная
академия связи им. А.С. Попова

Сформульовані критерії якості мережного сервісу на основі запатентованої авторами двовимірної шкали якості сервісу в інтегрованій технології телекомунікацій UA-ITT. Обґрунтовані й обчислені конкретні фізичні параметри, що відповідають кодам шкали якості сервісу.

The quality criteria of network service based on the patented by the authors two-dimensional quality service scale are specified, in respect to the integrated telecommunication technology UA-ITT. The concrete physical parameters for the quality service degree are defined and calculated.

Сформулированы критерии качества сетевого сервиса на основе запатентованной авторами двумерной шкалы качества сервиса в интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ITT. Обоснованы и рассчитаны конкретные физические параметры, соответствующие кодам шкалы качества сервиса.

Введение

В современных телекоммуникационных сетях используются два основных метода управления трафиком – коммутация каналов и коммутация (или маршрутизация) пакетов. В компьютерных сетях, которые преимущественно работают по технологии коммутации пакетов, существует *проблема* обеспечения качества сервиса при передаче трафика реального времени. Она обусловлена случайными задержками передачи и возможными потерями пакетов, временными перегрузками каналов связи, очередями обслуживания пакетов в узлах маршрутизации и др. Известны различные механизмы частичной компенсации этих недостатков и улучшения качества сервиса: деление трафика по классам обслуживания, управление очередями, использование алгоритмов обратной связи и резервирования ресурсов [1-3]. С 1992 года в компьютерных сетях, для обеспечения возможности управления качеством сервиса на сетевом уровне, в структуре IP-пакета предусмотрено однооктетное поле типа сервиса (Type of Service, ToS, RFC 1349 [4]). В байте ToS используются первые семь бит, а восьмой бит является резервным. Из 128 потенциально возможных значений семибитового поля в составе октета ToS, концепция ToS реализует кодировку только 40 различных типов сервиса.

В 1998 году введена новая модель дифференцированного обслуживания DiffServ (RFC 2474 [5], RFC 2475 [6]). В модели DiffServ октет предыдущей модели ToS был переименован в DS-байт, а назначение его бит изменилось. В байте DS используется 6-битовое поле DSCP (DiffServ Code Point). Шесть бит этого поля позволяют реализовать 64 типа сервиса, из которых на данный момент (2010 г.) классифицирован 21 тип,

а остальные пока находятся в резерве. Первые три бита байта DS определены как «селектор класса». Структура поля «селектор класса» по форме совпадает со структурой 3-битового поля «приоритет» в модели ToS. Это позволяет обеспечить частичную обратную совместимость кодов DSCP с кодами IP-приоритета в концепции ToS, а именно: значение селектора класса в концепции DiffServ может интерпретироваться как значение приоритета (записываемое в первых трех битах поля ToS).

На практике обе модели (ToS и DiffServ) продолжают использоваться. Однако эти модели не могут гарантированно обеспечить необходимое качество сервиса при передаче разнородных видов трафика средствами сетевого уровня, а также осуществлять контроль виртуальных соединений. Решение этих задач переносится на протоколы вышележащих уровней – транспортного (например, TCP, UDP, RTP, RSVP) и прикладного (например, протоколы сигнализации SIP, H323 и др.). Это создает дополнительную нагрузку на сеть, поскольку многоуровневая инкапсуляция увеличивает долю служебного трафика в общем цифровом потоке.

I. Многоуровневое представление интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ИТТ

Один из новых подходов к управлению качеством сервиса предложен в интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ИТТ (Ukraine Integrated Telecommunication Technology) [7-15]. Он основан на использовании двумерной шкалы градаций качества сервиса. Данная шкала предусматривает структуризацию диапазона телекоммуникационных услуг по двум направлениям оценки качества (средняя скорость передачи данных и стабильность скорости передачи в реальном времени). Однако в литературе отсутствует методика оценки физических параметров качества сервиса в заданном диапазоне предоставляемых услуг по технологии UA-ИТТ. В этой связи целью данной работы является разработка методики оценки физических параметров качества сервиса в заданном диапазоне предоставляемых услуг по технологии UA-ИТТ.

Протокольная модель с применением технологии UA-ИТТ в качестве основной задачи ставит реализацию более высоких стандартов качества сетевых услуг при существенном снижении накладных транспортных расходов и повышении эффективности использования сетевых ресурсов. Технология UA-ИТТ базируется на новой модели взаимодействия открытых систем, которая предусматривает три уровня. Первый (нижний) уровень охватывает физический и частично канальный уровень (не выше потока байт) семиуровневой модели открытых систем OSI [9]. Второй уровень объединяет четыре уровня модели OSI (сетевой, транспортный, сеансовый и представительский), а также частично – канальный уровень. При этом поток байт является исходящим потоком физического уровня модели ИТТ и входящим потоком канального уровня. Таким образом, технология UA-ИТТ позиционируется как второй уровень трехуровневой модели взаимодействия открытых систем ИТТ, представленной на рис. 1. Третий (прикладной) уровень модели ИТТ соответствует седьмому уровню модели OSI. Соответствие модели ИТТ и современной протокольной модели TCP/IP устанавливается из этого же рисунка.

OSI/ISO	TCP/IP	ИТТ
7. Прикладной	4. Прикладной	3. Прикладной
6. Представительский		2. Сетевой (UA-ИТТ)
5. Сеансовый	3. Транспортный	
4. Транспортный	2. Межсетевой	
3. Сетевой	1. Уровень доступа	
2. Канальный		
1. Физический		

Рис. 1. Сравнительная диаграмма моделей взаимодействия открытых систем

По технологии UA-ИТТ цифровой поток в канале связи формируется в виде последовательности команд и данных. Для различения команд и данных зарезервированы два байта: один состоит из восьми нулей (признак данных), а другой – из восьми единиц (признак команды). В десятичном виде эти байты имеют значения соответственно 0 и 255. Эти байты не могут использоваться в составе данных или команд.

Последовательность байт в потоке, расположенная между байтом «0» (слева) и байтом «255» (справа) интерпретируется как целостный сегмент данных. Последовательность байт, ограниченная байтом «255» (слева) и байтом «0» (справа) рассматривается как команда. Для передачи байт со значениями «0» и «255», которые могут встречаться в потоке данных, в списке команд выделяются две специальные команды с кодами 1 и 254. Последовательность данных, в которой присутствуют байты «0» и/или «255», преобразуется в поток, содержащий данные и команды, как показано на рис. 2.

Последовательность данных	9	254	45	31	0	90	50	1	70	255	20	75		
Поток байт в канале	9	254	45	31	255	1	90	50	1	70	255	254	20	75

Рис. 2. Схема передачи резервированных байт «0» и «255» командами

Каждая команда цифрового потока состоит из двух полей: поле «код команды» и поле «операнды команды». В большинстве случаев код команды содержит один байт. С учетом того, что в качестве кодов команд не могут использоваться зарезервированные значения «0» и «255», а также того факта, что для передачи данных вида «0» и «255» выделены два кода специальных команд («1» и «254»), общее количество одно-

байтовых команд составляет 252. Совокупность этих команд обозначим как «основная таблица команд». Обозначим эту таблицу СТ-1 (Command Table-1). Для расширения множества команд из общего списка команд основной таблицы СТ-1 выделены две мета-команды расширения с кодами команд «252» и «253». Команда «252» переключает таблицу команд, и вместо СТ-1 подключает дополнительную таблицу СТ-2, которая может содержать до $254^2=64516$ команд. Код команды дополнительной таблицы СТ-2 записывается в 2-х байтах, следующих за байтом основной таблицы СТ-1.

Команда «253» переключает таблицу команд, и вместо СТ-1 подключает дополнительную таблицу СТ-3. Код команды дополнительной таблицы СТ-3 записывается в трех байтах, следующих за байтом кода команды основной таблицы СТ-1. Каждый из трех байт кода команды в таблице СТ-3 может принимать до 254 значений в диапазоне от 1 до 254. Общее количество возможных команд в таблице СТ-3 равно $254^3=16'387'064$. Таким образом, всего в трех таблицах команд (СТ-1, СТ-2 и СТ-3) могут использоваться до $250+64516+16387064=16'451'830$ команд. Такое количество команд обеспечивает возможность длительной эволюции технологии UA-ITТ.

Количество байт в поле операнда зависит от кода конкретной команды. Могут быть команды без операндов, команды с одним, двумя и более байтами операндов. Максимальное количество байт в поле операнда не фиксируется. На рис. 3 показан пример цифрового потока, содержащего команды и данные.

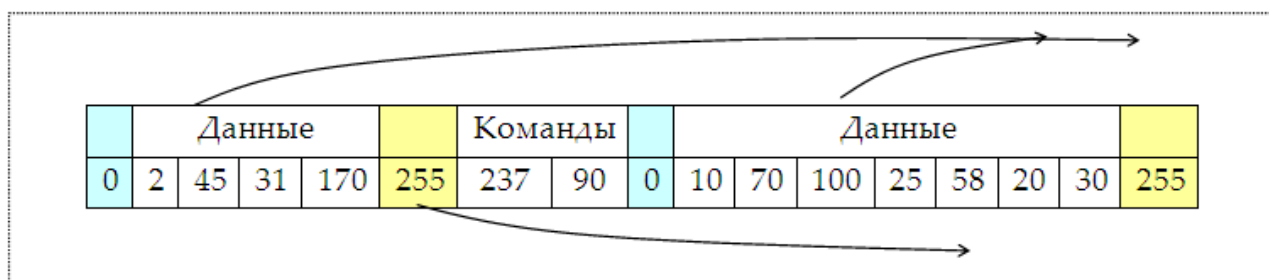


Рис. 3. Разделение цифрового потока на команды и данные

II. Структура шкалы категорий сервиса QSD в технологии UA-ITТ

В технологии UA-ITТ для классификации типов качества сервиса вводится двумерная шкала категорий сервиса QSD (Quality Service Degree scale). Шкала QSD представляет собой квадратную матрицу размером $N \times N$, рис. 4.



Рис. 4. Двумерная шкала категорий сервиса QSD

Шкала категорий сервиса QSD является открытой для расширения, а ее формат может задаваться одним или несколькими байтами. Байты QSD являются операндами команд управления качеством сервиса, в частности, команды «запрос виртуального соединения». Для обеспечения возможности расширения шкалы качества в общем количестве кодов первого байта QSD резервируются два специальных кода расширения: 0F и F0 (рис. 5). Эти коды означают представление шкалы QSD соответственно двумя и тремя байтами. Если первый байт QSD не совпадает ни с одним из указанных двух кодов расширения, то этот первый байт является единственным представляющим байтом шкалы QSD.

Шкала QSD обычно кодируется одним байтом (назовем его Q), а матрица QSD имеет размер 16 x 16 кодовых состояний. Общее число таких состояний равно 256. Из 256 кодовых состояний QSD зарезервирована группа из 30 кодов: 15 кодов нулевой строки и 15 нулевого столбца (рис. 5). Эти коды предназначены для специальных режимов обслуживания. Два из них являются упомянутыми выше кодами расширения 0F и F0, а оставшиеся 28 используются для сопряжения категорий сервиса UA-ITТ с типами сервиса ныне действующей технологии IP. Сведения о типе трафика передаются в общем потоке операндом команды запроса виртуального соединения, например, одним байтом Q, который может представлять до $(256-2-28-2)=224$ категорий сервиса. Здесь учтены также два кода «0» «255», которые зарезервированы для разделения цифрового потока на сегменты команд и данных. На шкале QSD (рис. 5) этим двум кодам соответствуют значения 00 и FF. Для решения задачи маршрутизации коммутируемых потоков технологии UA-ITТ коды Q необходимо соотнести с реальными физическими параметрами качества обслуживания, выраженными в статистических оценках.

сервиса QSD заключается в следующем. По мере изменения кодов q_1 параметра $\bar{\mu}$ (рис. 5) от 1 до максимального значения F, значение гарантированной средней скорости передачи увеличивается в логарифмическом масштабе с основанием 2 (т.е. каждая следующая категория удваивает величину $\bar{\mu}$). Период усреднения показателя $\bar{\mu}$ не оговаривается и зависит от сложившейся реальной ситуации в конкретной сети. Один из возможных подходов к его оценке – усреднение за сутки.

Параметр $\bar{\mu}$ является одним из двух основных показателей качества виртуального соединения шкалы QSD. Этот показатель определяет широкополосность категорий сервиса в каждом из столбцов шкалы QSD, на достаточно большом интервале времени (например, в течение нескольких часов или суток). В отдельные промежутки времени (например, в час пиковых нагрузок) текущая скорость передачи μ в соединении может иметь отклонения от заданной усредненной величины $\bar{\mu}$. Количественной оценкой этих отклонений является параметр σ . Диапазон возможных значений σ выбирается таким образом, чтобы наибольшее возможное значение σ_{max} соответствовало некоторой гарантированной скорости передачи в соединении (для заданного $\bar{\mu}$). Минимальное значение σ_{min} выбирается достаточно малым, что соответствует высокой стабильности скорости передачи.

Примем гипотезу о том, что отклонения скорости передачи μ от заданного среднего значения $\bar{\mu}$ подчиняются нормальному закону распределения. Как известно, нормальный закон определяется двумя параметрами – средним значением и стандартным (т.е. среднеквадратичным) отклонением. Таким образом, объективной контролируемой характеристикой качества соединения может служить пара $(\bar{\mu}, \sigma)$, где σ – обозначенное выше среднеквадратичное отклонение величины μ от $\bar{\mu}$. Параметр σ является мерой неустойчивости соединения. Стабильные соединения высокого качества имеют минимальные значения σ . Эти соединения кодируются верхней строкой матрицы QSD с кодами 1F - EF, рис. 5.

При увеличении заданной средней скорости передачи $\bar{\mu}$, диапазон отклонений μ от $\bar{\mu}$ также увеличивается. Поэтому, для удобства расчета физических параметров двумерной шкалы качества QSD, выберем в качестве контролируемого параметра неустойчивости скорости передачи величину относительного стандартного отклонения $\sigma' = \sigma/\bar{\mu}$. Потребуем, чтобы в пределах каждой строки значение σ' было одинаковым для всех элементов двумерной табличной шкалы QSD (коды 1F - EF, рис. 5). Таким образом, для одного и того же значения средней скорости передачи $\bar{\mu}$ виртуального соединения, характеристика неустойчивости соединения σ' может ступенчато изменяться от некоторой заданной величины σ'_{max} до $\sigma'_{min} \approx 0$ (т.е. близкого к идеальному соединению с устойчивой полосой пропускания). Вектор градиента качества сервиса по шкале QSD направлен по диагонали от кода «00» к правому верхнему значению «NN», рис. 4. В соответствии со шкалой категорий сервиса QSD в технологии UA-ITТ строится симметричная ей шкала тарификации услуг MSD (Monetary Service Degree scale). Наличие критериев качества по шкале QSD и тарифов на услуги по шкале MSD позволяет решать задачи оптимального управления трафиком на различных уровнях – как со стороны клиента, так и со стороны провайдера услуг.

III. Коды управления качеством сервиса по шкале QSD

Рассмотрим содержательную интерпретацию кодов управления качеством сервиса по двумерной шкале QSD. Представим байт Q типа сервиса по шкале QSD двумя шестнадцатеричными цифрами q_1, q_2 . Например, значение байта Q=A5 в двоичном коде имеет вид 10100101. Первые четыре бита этого кода обозначают шестнадцатеричную цифру «А», что является кодом q_1 средней скорости передачи $\bar{\mu}$ для категории сервиса, обозначенной байтом Q=A5. Значения кода q_1 указаны по горизонтальной оси двумерной шкалы качества на рис. 5. Вторые четыре бита байта Q представляют шестнадцатеричную цифру q_2 , которая является кодом показателя стабильности σ текущей скорости передачи. Значения кода q_2 указаны по вертикальной оси двумерной шкалы качества на рис. 5. В качестве условной логарифмической единицы измерения средней скорости передачи (т.е. параметра $\bar{\mu}$) выбрана величина 64 Кбит/с, которая соответствует основному европейскому стандарту цифровой телефонии [16]. Все элементы первого столбца шкалы QSD (с кодами 11- 1F) имеют значение $q_1=1$, что соответствует $\bar{\mu}=64$ Кбит/с. Все категории первого столбца QSD – это варианты услуг цифровой телефонии с различными показателями стабильности соединения и ценами на услуги.

Элементы второго столбца матрицы QSD с кодами $2q_2$ (т.е. $q_1=2, q_2=1, 2, \dots, F$) кодируют среднюю скорость передачи 128 Кбит/с. Подмножество категорий $2q_2$ можно расценивать как расширенный вариант услуг типа «аудио+Интернет». В рамках этого подмножества категорий сервиса код 2F соответствует услуге двойного телефонного канала стандартного качества. Самые дорогие и высококачественные категории услуг (для однобайтовой шкалы QSD) имеют коды, близкие к FF. При этом, как указано выше, сам код FF не используется для обозначения категорий качества, т.к. он зарезервирован для служебных целей. Услуга типа FE по своему смыслу близка к понятию широкополосного мультиплексного канала, способного вместить 16 тысяч параллельных телефонных соединений стандартного качества. Услуги такого уровня могут поставляться Интернет провайдерам и операторам телекоммуникаций.

Для всех категорий сервиса, которые представлены элементами i -го столбца матрицы QSD, средняя скорость передачи в соединении определяется по формуле

$$\bar{\mu} = 64 \cdot 2^{(q_1-1)} \text{Кбит/с.} \quad (1)$$

Определим относительное среднеквадратическое отклонение как величину $\sigma' = \sigma / \bar{\mu}$. Эта величина, в отличие от σ , не зависит от $\bar{\mu}$. Поэтому для всех категорий сервиса, в пределах одной строки шкалы QSD, значение σ' является одинаковым.

Введем следующие допустимые отклонения текущей пропускной способности μ для граничных категорий сервиса однобайтной шкалы QSD:

- а) $q_2=1$ (уровень минимальных гарантий): $\mu(q_2 = 1) / \bar{\mu}(q_2 = 1) = (1 \pm 0.998)$;
- б) $q_2=F$ (уровень максимальных гарантий): $\mu(q_2 = F) / \bar{\mu}(q_2 = F) = (1 \pm 0.01)$.

Если принять гипотезу о нормальном законе распределения текущей скорости передачи μ , то с вероятностью 0.95 значение μ попадает в доверительный интервал $\bar{\mu}$

$\pm 2\sigma$ шириной 4σ , где σ – среднеквадратическое отклонение случайной величины μ , $\bar{\mu}$ – среднее значение величины μ . Тогда получим:

$$\sigma = \sigma' \cdot \bar{\mu}; \quad (2)$$

$$\sigma(q_2 = 1) = \bar{\mu}(q_2 = 1) \cdot [(1 + 0.998) - (1 - 0.998)] / 4 = 0.499 \bar{\mu}(q_2 = 1); \quad (3)$$

$$\sigma(q_2 = F) = \bar{\mu}(q_2 = F) \cdot [(1 + 0.01) - (1 - 0.01)] / 4 = 0.005 \bar{\mu}(q_2 = F). \quad (4)$$

Таким образом, для строки, в которой $q_2=1$, значение σ' равно 0.499, а для строки $q_2=15$ это значение равно $\sigma' = 0.005$. Для произвольной категории сервиса со значением $q_1 = n$, где $n \in [1, F]$ значение относительного среднеквадратического отклонения σ' определим путем линейной интерполяции граничных точек:

$$\sigma'(n) = 0.499 + (1 - n) \cdot (0.499 - 0.005) / 14. \quad (5)$$

Формулы (1) и (5) определяют методику оценки и контроля физических параметров качества сервиса по значению кода типа сервиса Q. Диапазон предоставляемых услуг по шкале QSD в технологии UA-ИТТ определяется четырьмя величинами: $\bar{\mu}_{min}$, $\bar{\mu}_{max}$, σ_{min} , σ_{max} . Значение $\bar{\mu}_{min}$ равно 64 Кбит/с, а величина $\bar{\mu}_{max}$ в соответствии с формулой (1) равна 1.048576 Гбит/с – при условии, что вся шкала QSD имеет размер 16×16 . В общем случае, если эта шкала имеет размер $N \times N$, то величина $\bar{\mu}_{max}$ определяется при подстановке в формулу (1) значения q_1 , равного N.

Граничные значения среднеквадратического отклонения σ текущей скорости передачи μ от среднего значения $\bar{\mu}$ рассчитываются по формуле (2) с учетом формулы (5) для каждого n -го столбца шкалы QSD, путем подстановки величины средней скорости передачи $\bar{\mu}(n)$ и относительного среднеквадратического отклонения $\sigma'(n)$. На рис. 6 представлены результаты расчета граничных значений параметров $\bar{\mu}$ и σ для шкалы качества размером 16×16 . Поскольку нулевая строка и нулевой столбец шкалы качества зарезервированы для обеспечения совместимости с протоколом IP, то фактическое количество различных категорий и граничных параметров качества в технологии UA-ИТТ для данного размера шкалы QSD 16×16 соответствует матрице размером 15×15 .

Заключение

В заключение отметим, что предложенная в статье двумерная шкала сервиса по технологии UA-ИТТ определяет свойства виртуального соединения в широком диапазоне категорий качества сервиса применительно к сетям со статистическим мультиплексированием потоков. Эта шкала может быть использована в сетях доступа как провайдерами Интернет, так и клиентскими приложениями для контроля качества и расчета стоимости фактически оказанных услуг. С этой целью на стороне провайдера и клиента должны быть установлены сертифицированные служебные программы регистрации, учета и документирования количества и качества оказываемых услуг, на основании которых производятся взаиморасчеты между сторонами.

Q	1F	2F	3F	4F	5F	...	BF	CF	DF	EF	FF
σ_{min}	0,32	0,64	1,28	2,56	5,12		327,68	655,36	1,311* 10 ³	2,621* 10 ³	5,243* 10 ³
	2,58										
	4,84										
	7,1										
	9,35										
	11,61										
	13,87										
	16,13										
	18,39					...					
	20,65										
	22,9										
	25,16										
	27,42										
	29,68										
σ_{max}	31,94	63,9	128	255	511		3,27* 10 ⁴	6,54* 10 ⁴	1,308* 10 ⁵	2,616* 10 ⁵	5,232* 10 ⁵
μ , Кбит/с	64	128	256	512	1,024* 10 ³		6,554* 10 ⁴	1,311* 10 ⁵	2,621* 10 ⁵	5,243* 10 ⁵	1,048* 10 ⁶
Q	11	21	31	41	51	...	B1	C1	D1	E1	F1

Рис. 6. Граничные значения параметров для шкалы качества сервиса QSD

Список литературы:

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
2. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 368 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.
4. RFC 1349 Type of Service in the Internet Protocol Suite. – July 1992. – Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1349.txt>.
5. RFC 2474 Определение поля DS в заголовках IPv4 и IPv6. – 1998. – Режим доступа: <http://www.protocols.ru/files/RFC/rfc2474.pdf>.
6. RFC 2475 Архитектура дифференцированного обслуживания (DiffServ) – 1998. – Режим доступа: <http://www.protocols.ru/files/RFC/rfc2475.pdf>.
7. Воробієнко П.П., Тихонов В.І. Відкрита система гнучкої адресації вузлів мережі // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 29473 від 15.07.2009 р.
8. Воробієнко П.П., Тихонов В.І. Адаптивний універсальний комутатор // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 29474 від 15.07.2009 р.

9. Воробієнко П.П., Тихонов В.І. Багатофункціональний мережний мета-протокол // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 29486 від 20.07.2009 р.

10. Воробієнко П.П., Тихонов В.І. Спосіб розподіленої інкапсуляції пакетів у телекомунікаційних мережах // Патент України на корисну модель № 46188 від 10.12.2009 р. (Реєстр. № у 2009 06517 від 22.06.2009 р.)

11. Воробієнко П.П., Тихонов В.І. Спосіб адаптивної адресації вузлів телекомунікаційних пакетних мереж // Патент України на корисну модель № 46477 від 25.12.2009 р. (Реєстр. № у 2009 06513 від 22.06.2009 р.)

12. Воробієнко П.П., Тихонов В.І. Спосіб адаптивної пакетної комутації в телекомунікаційних мережах // Патент України на корисну модель № 46761 від 11.01.2010 р. (Реєстр. № у 2009 055192 від 25.05.2009 р.)

13. Воробієнко П.П., Тихонов В.І. Спосіб побудови телекомунікаційних пакетних мереж з динамічною адресацією вузлів // Патент України на корисну модель № 46762 від 11.01.2010 р. (Реєстр. № у 2009 05194 від 25.05.2009 р.)

14. Воробієнко П.П., Тихонов В.І. Концепція сетевой интеграции по технологии UA-ITТ // 64-а Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів / 1-4 грудня 2009 р. Матеріали конференції, ч.1 – «Інфокомунікації». – С. 45–52.

15. Тихонов В.І. Метод динамической адресации по технологии UA-ITТ // 64-а Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів / 1-4 грудня 2009 р. Матеріали конференції, ч.1 – «Інфокомунікації». – С.55–62.

16. Рекомендация ITU-T G.711. – 1988. – Режим доступа: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.711-198811-I/en>.