

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

На правах рукописи

АЙДЫН ИСЛАМ ОГЛЫ ГОЮШОВ

**РАЗРАБОТКА NEURAL-FUZZY МОДЕЛЕЙ И
АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
УСЛУГ СВЯЗИ**

Специальность: 1203.01 – «Компьютерные науки»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание учёной степени Доктора философии
по технике

Баку – 2016

Работа выполнена в Институте Систем Управления НАН
Азербайджана

Научный руководитель:

Гл. науч. сотрудник Института
систем управления НАНА, доктор
технических наук

Рзаев Р.Р.

Официальные оппоненты: доктор
технических наук, профессор

Казимов Н. М.

доктор философии по технике,
доцент

Набиев Р.И.

Ведущая организация:

**Кафедра «Информационные
технологии и
программирование»
Бакинского
Государственного
Университета**

Защита диссертации состоится 18 ноября 2016 г. в 15⁰⁰ часов
на заседании Диссертационного совета D01.121 при Институте
систем управления НАНА по адресу: ул. Б. Вахабадзе 9, Баку,
AZ1141.

С диссертационной работой можно ознакомиться в
библиотеке Института Систем Управления НАНА.

Автореферат разослан «_____» _____ 2016 года

**Учёный секретарь Диссертационного
совета D01.121, к.ф.м.н., доцент**

А.Б.Пашаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современный мир в значительной степени характеризуется экспоненциальным ростом объёмов передаваемой и обрабатываемой информации. Во избежание возможного тотального информационного коллапса сегодня наблюдается повсеместное развитие и стремительное распространение информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), что, несомненно, стало предпосылкой глобальной информационной революции. В частности, у современных пользователей сетей связи появилась острая необходимость в таких услугах, которые могли бы проявлять востребованную гибкость по отношению к периодически меняющимся их требованиям и пожеланиям. Кроме того, предоставляемые услуги современных телекоммуникационных сетей связи должны допускать маршрутизацию вызовов по разным адресам, т.е. на различные приложения пользователей в соответствии с их начальными запросами, в том числе: исходя из даты и/или времени, обеспечения состояния мобильности, в случае неограниченного доступа в корпоративную сеть из любой точки мира по средствам гаджетов и Интернета и т.д.

Развитие коммуникационных технологий происходит во многих направлениях, в том числе: в плане увеличения скорости передачи информации, повышения степени мобильности самих пользователей, расширения спектра предоставляемых услуг, улучшения степени использования радиочастотного спектра и степени интеллектуальности сетевого и абонентского оборудования. Библиография по этой отрасли научных исследований настолько обширна, что любой список будет не полным. Вместе с тем, отметим, что наибольший вклад здесь внесли: среди учёных из постсоветских республик – Г.П. Башарин, Л.Е. Варакин, Б.С. Гольдштейн, Д. Гринько, В.А. Ершов, Б.Я. Лихтциндер, А.А. Костин, В.Г. Лазарев, Ю.В. Семенов, Н.А. Соколов, В.О. Тихвинский и др.; среди учёных из дальнего зарубежья – В.Д. Амброск (Ambrosch W.D.), А. Майер

(Maher A.), Б. Сасскер (Sasscer B.), И. Файнберг (Faynberg I.), Л.Р. Габузда (Gabuzda L.R.), М.П. Каплан (Kaplan M.P.), Н.Дж. Шах (Shah N.J.) и др., среди азербайджанских учёных: А.З. Меликов, Б.Г. Ибрагимов и др. Кроме того, следует отметить, что в области изучения методологии по сетевому обеспечению качества услуг телекоммуникационных сетей связи активное участие принимали такие видные учёные, как Д.В. Андреев, А.Ю. Гребешков, Л.Д. Реймана, Л.Е. Варакина, А. Иткин, А. Кальченко, Е.А. Кучерявый и др.

Современный уровень развития ИКТ допускает создание такой телекоммуникационной сети связи, которая представляла бы собой узловую мобильную платформу, на которую могли бы быть «заточены» всевозможные виды услуг телекоммуникаций. В настоящее время такими телекоммуникационными сетями связи являются сети следующего поколения, которые так и называются: NGN-сети (NGN – *Next Generation Networks*). Повсеместное использование NGN-сетей позволяет значительно расширить спектр предоставляемых услуг, в том числе. и интеллектуальных. Поэтому проектирование NGN-сети должно учитывать необходимость обеспечения соответствующего качества мультисервисного обслуживания, что является главенствующим фактором в современных условиях информационного взаимодействия. При этом, доминирующим здесь являются требования самих абонентов к качеству предоставляемых им услуг связи со стороны мультисервисных сетей, что, в свою очередь, диктует новые правила и уровни услуг обслуживания. Таким образом, создание адекватной системы оценки и управления качеством услуг в телекоммуникационных сетях связи (или, проще говоря, в NGN-сетях) является актуальной задачей.

Цель работы. Разработка механизма проектирования системы оценки телекоммуникационных услуг связи по средством нечёткой логической системы вывода в нейросетевом логическом базисе. Благодаря своим способностям к структурному и параметрическому обучению данная система

должна периодически уметь контролировать работу телекоммуникационной сети связи через субъективную консолидированную удовлетворённость абонентов связи уровнем предоставляемых им телекоммуникационных услуг. Структура предлагаемой системы формируется на основе доступных обучающих примеров посредством технологии нейронного обучения применительно к адаптации нечётких логических (импликативных) правил и к нахождению оптимальных входных и выходных функций принадлежности.

Объект исследования. Объектом исследования является система управления качеством услуг связи на примере телекоммуникационной сети связи по передаче голосовых сообщений, т.е. вида VoIP.

Методика исследования. Основу методики настоящего исследования составляют методы управленческих технологий с применением элементов искусственного интеллекта, в том числе нечёткая логика и нечёткие процессоры, которые хорошо зарекомендовали себя в управлении беспроводными телекоммуникационными сетями. В частности, применение методов нечёткой логики в управлении когнитивными системами связи позволяет легко учитывать множество параметров для принятия решения и не требует сложных математических расчётов. Более того, математический аппарат теории нечётких множеств позволил одинаково легко оперировать как метризуемыми, так и неметризуемыми данными.

В работе использованы и гибридные методы нечёткой логики с искусственными нейронными сетями, которые дают возможность создать принципиально новые аппаратные и программные средства, позволяющие существенно расширить классы решаемых задач управления в условиях неопределённости.

Научная новизна. Основу научной новизны диссертационной работы составляют разработки:

- новых методов и алгоритмов реализации системы нечёткого логического вывода в нейросетевом логическом базисе для управления сетевой инфраструктурой ИТ-коммуникаций;
- универсальной шкалы градации для классификации степеней удовлетворённости потребителей услугами сетей связи (на примере IP-телефонии);
- автономной системы для оценки качества услуг связи (на примере VoIP);
- механизма для проектирования нечёткой логической системы оценки качества услуг телекоммуникационных сетей связи в нейросетевом логическом базисе.

Основные результаты диссертации, выносимые на защиту.

- Разработаны методы и алгоритмы проектирования системы нечёткого логического вывода в нейросетевом логическом базисе для управления сетевой инфраструктурой ИТ-коммуникаций.
- Создана универсальная шкала градации для классификации степеней удовлетворённости потребителей услугами телекоммуникационных сетей связи (на примере IP-телефонии).
- Разработана автономная система для оценки качества услуг связи (на примере VoIP).
- Разработан механизм для проектирования нечёткой логической системы оценки качества услуг телекоммуникационных сетей связи в нейросетевом логическом базисе.
- Сформулированы и описаны принципы построения интеллектуальной системы оценки гарантированного качества услуг телекоммуникационных сетей связи.

Личный вклад соискателя. Перечисленные основные результаты, выносимые соискателем на защиту настоящей диссертационной работы, получены им лично.

Теоретическая и практическая значимость. Разработанная система оценки качества и управления телекоммуникационных

услуг способна контролировать консолидируемую субъективную удовлетворённость пользователей уровнем услуг связи через коррекцию параметров сети и, тем самым, обеспечивать оперативное принятие решений для увеличения клиентской базы. В перспективе данная система способна функционировать и в автономном режиме, т.к. при её разработке и адаптации нет необходимости привлекать эвристические знания и дорогостоящие экспертные услуги. Предлагаемый подход к созданию системы оценки качества услуг связи позволяет достаточно быстро и относительно легко диверсифицировать полученные результаты и на другие виды услуг телекоммуникационной связи. Для этого достаточно собрать достаточную статистику консолидированных оценок пользователей по различным сценариям функционирования выбранной сети связи.

Практические результаты работы. Полученные в диссертации научные результаты были протестированы путем симуляций в программной оболочке пакета MATLAB и были реализованы в компании “Azerconnect” MMC на примере анкетных данных пользователей приложений.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были декларированы автором в январе 2015-го года на научной конференции ICFSTA – «International Conference on Fuzzy Set Theory and Applications» с международным научным индексом 13(1), а также на семинарах лаборатории «Методы распознавания сигналов и системы технической диагностики» и общеинститутских семинарах института систем управления НАН Азербайджана.

Публикации. По результатам проведённых исследований соискателем опубликованы всего 9 научных статей, из которых 8 опубликованы в зарубежных научных периодических журналах.

СОДЕРЖАНИЕ

Во введении диссертации изложена актуальность работы, приведён полный перечень поставленных задач, необходимых для реализации цели диссертации, описана структура и содержание работы, а также искомые результаты, выносимые на защиту.

В первой главе, посвящённой существующим проблемам управления качеством услуг в рамках телекоммуникационных сетей связи и интегрированных системах для их оценки, проведён анализ исторического развития сетей связи – вплоть до NGN-сетей, являющимися сетями нового поколения. Идеология NGN-сети подразумевает наличие технических решений, которые уже разработаны международными организациями стандартизации.

На рис. 1 представлено иерархическое строение NGN-сетей, которое включает: уровень управления услугами; уровень опорной коммутации; уровень управления коммутацией и передачей информации; уровень доступа.

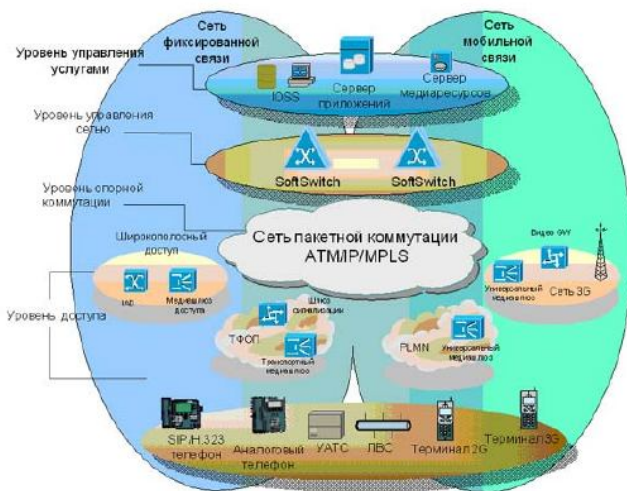


Рис. 1: Архитектура NGN-сети

Отмечается, что проблему управления качеством услуг связи в условиях мультисервисности современных сетей связи необходимо решить для всего спектра услуг в рамках создания

единой системы оценки качества, обрабатывающую как объективные, так и субъективные показатели качества. По сути, это и предопределило постановку задачи данного исследования, которая сформулирована в этой главе, как необходимость создания механизма проектирования интеллектуальной системы оценки качества телекоммуникационных услуг.

Во второй главе, посвящённой изучению существующих систем оценки и управления качеством телекоммуникационных сетей связи, описываются способы оценки показателей качества услуг связи и, самое главное, изложены основные требования, предъявляемые в странах ЕС к гарантированному качеству обслуживания потребителей телекоммуникационных услуг. Так, в соответствии с рекомендацией ITU-T Y.1541 основные объективные параметры, характеризующие качество обслуживания (QoS) в IP-сетях, представлены на рис. 2.

Производительность сети	
Надёжность сети (в т.ч. сетевых элементов)	
Параметры доставки IP-пакетов	Задержка в доставке IP-пакетов
	Джиттер (вариация задержки IP-пакетов)
	Коэффициент потери IP-пакетов
	Коэффициент ошибок IP-пакетов

Рис. 2: Объективные параметры, характеризующие QoS, предоставляемых телекоммуникационными сетями связи

В аспекте управления качеством в NGN-сети на рис. 3 показана взаимосвязь пользователей и оператора в плане оценки QoS.

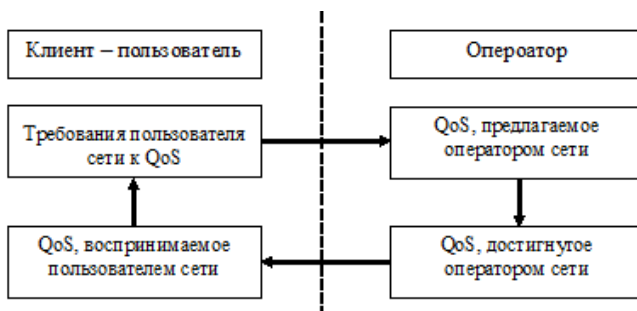


Рис. 3: Взаимосвязь пользователей и оператора в плане оценки QoS

Одной из основных проблем в области сетевого управления качеством телекоммуникационных услуг являются проблемы, связанные с градацией качества телекоммуникационной сети связи. В виде табл. 1 представлена матрица для сбора требований абонентов к услугам телекоммуникационной сети связи.

Табл. 1: Матрица для сбора требований абонентов к услугам телекоммуникационной сети связи

Функции услуги		Критерии качества услуги связи						
		Скорость	Точность	Доступность	Надёжность	Защита и безопасность	Простота	Гибкость
Управление услугой	Поставка, предоставление	×						
	Изменение	×						
	Поддержка услуги	×						
	Ремонт	×	×		×			
	Прекращение	×						
Техническое качество вызовов	Установление соединения	×	×	×	×			
	Передача информации	×	×	×	×			
	Разрыв соединения	×	×		×			
Оплата/расчёт		×	×					

× - критерии, для оценки которых существуют показатели

Гарантированное предоставление качественной услуги связи предусматривает периодическую комбинированную оценку и сравнение объективных (структурированных) сетевых

параметров и субъективных (слабо структурированных) экспертных или пользовательских суждений относительно текущего качества услуги связи. При этом, если сетевые параметры можно измерить при помощи соответствующих приборов, то с учётом мнения абонентов о качестве получаемых ими услуг связи дело обстоит несколько иначе. Мнение пользователя сети (UO) о её качестве устанавливается в виде соотношения: $UO = QoS / QoE$, где QoS – качество услуги связи, предлагаемого оператором, а QoE – качество услуги связи, воспринятого абонентом. Именно эти составляющие, по нашему мнению, и являются слабо структурированными величинами, т.е. являются такими, о которых известна их принадлежность к определённому типу. Например, такие величины могут быть заданы интервально: $x \in [x_{\min}, x_{\max}]$, или в виде утверждений типа терма «ПРИЕМЛЕМЫЙ», т.е. в виде нечёткого множества.

Современная сеть связи должна запоминать и уметь анализировать свои состояния и оценки абонентов качеству услуг связи, а также уметь адаптироваться к новым условиям с учётом полученного опыта. Поэтому данный подход может быть реализован за счёт внедрения элементов искусственного интеллекта в систему оперативного управления услугами связи.

В третьей главе предлагается подход к формированию модульной интеллектуальной системы оценки качества услуг сетей связи, основанный на применении метода нечёткого вывода. Предлагаемая базовая нечёткая модель оценки в необходимой мере учитывает рекомендации Международного Союза Электросвязи (МСЭ) в части, касающейся функционирования сетей пакетной коммутации.

В настоящее время многими исследователями в предметной области широко используется функциональная схема системы контроля качества услуг связи, в основе которой лежит механизм нечёткого логического вывода, позволяющий оперативно давать многокритериальную оценку предоставляемой услуги в условиях доступной нечёткой информации. Согласно рекомендации Y.1541 МСЭ здесь за

основу были приняты сетевые классы обслуживания (Network QoS Classes), формируемые по объективным признакам (качествам) пользовательских услуг связи и приложений. В качестве таких признаков в данной рекомендации указаны численные значения параметров производительности сети, представленных на рис. 2.

В работе Д. Соколова (Технологии и средства связи, №4, 2009) предложен подход для формирования нечёткой системы оценки качества услуг связи. По средствам сформированных непротиворечивых лингвистических правил автор проводит тщательный анализ качества предоставляемых услуг на базе доступной информации о параметрах производительности сети, что позволяет судить об их качестве на основе объективных характеристик, интерпретируемых в виде адекватных нечётких множеств. Однако в этом подходе недостаточно отчётливо проглядывается то, как эти объективные качества сетевых услуг трансформируются в субъективные суждения потребителей, в их субъективные критерии оценки. Другими словами, формируя причинно-следственные связи между этими характеристиками, можно было бы классифицировать качества предоставляемых услуг по степеням удовлетворённости пользователей сети, чем, собственно, мы и собираемся далее заняться. С этой целью были выбраны пять оценочных понятия для значений параметров производительности сети: u_1 – «СЛИШКОМ НИЗКОЕ»; u_2 – «НИЗКОЕ»; u_3 – «ДОСТАТОЧНО НИЗКОЕ»; u_4 – «СУЩЕСТВЕННОЕ»; u_5 – «ВЫСОКОЕ». Проще говоря, под множеством $C=(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$ понимается совокупность признаков, по которым классифицируется качество услуг связи. Тогда, полагая технические характеристики сети (критерии оценки качества) нечёткими множествами, оценку предоставляемых услуг IP-телефонии произведена с использованием набора нечётких импликативных правил e_1 – e_6 и на их основе установлена соответствующая шкала градации.

e_1 : «Если при передаче IP-пакета не наблюдаются задержка и существенный разброс от среднего максимального и минимального времени прохождения IP-пакета, тогда качество удовлетворительное»;

e_2 : «Если вдобавок к вышеперечисленным требованиям не имеют место потери IP-пакета, тогда качество сети более чем удовлетворительное»;

e_3 : «Если дополнительно к условиям, оговоренным в e_2 , не имеют место ошибки в передаче IP-пакета, тогда качество сети безупречное»;

e_4 : «Если при передаче IP-пакета не наблюдается существенный разброс от среднего максимального и минимального времени прохождения IP-пакета и не имеют место потери и ошибки, тогда качество сети очень удовлетворительное»;

e_5 : «Если при передаче IP-пакета не имеют место задержки и потери, но при этом наблюдаются ошибки в передаче IP-пакета, тогда качество сети все же удовлетворительное»;

e_6 : «Если при передаче IP-пакета наблюдаются потери и ошибки, тогда качество сети неудовлетворительное».

В результате реализации этих правил получена итоговая шкала для оценки качества IP-телефонии так, как это показано на рис. 4.

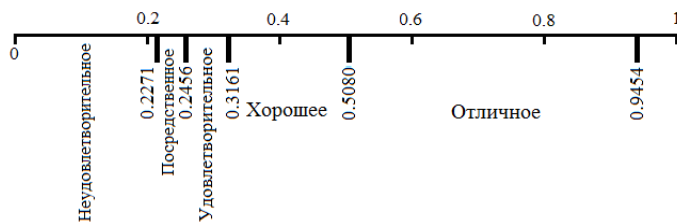


Рис. 4: Шкала градации качества услуг связи

По существу, значение 0.2271, являющееся наименьшим дефазифицированным выходом нечёткой модели многокритериальной оценки качества IP-телефонии, как верхняя граница соответствует консолидированной неудовлетворительной оценке пользователей сети. Аналогичным образом, с точки зрения потребителей услуг IP-телефонии дефазифицированный выход:

- 0.2456 – верхняя граница посредственной оценки;
- 0.3161 – верхняя граница удовлетворительной оценки;
- 0.5080 – верхняя граница хорошей оценки;

- 0.9454 – верхняя граница отличной оценки.

После установления обоснованной шкалы для классификации качества услуг связи, рассмотрена нечёткая модель, собственно, для оценки качества услуг связи в виде следующих достаточно тривиальных имплицативных правил:

1. если задержка в передаче слишком низкая и джиттер слишком низкий и вероятность потерь слишком низкая и вероятность ошибки слишком низкая, тогда качество IP-телефонии отличное;
2. если задержка в передаче низкая и джиттер низкий и вероятность потерь низкая и вероятность ошибки низкая, тогда качество IP-телефонии хорошее;
3. если задержка в передаче достаточно низкая и джиттер достаточно низкий и вероятность потерь достаточно низкая и вероятность ошибки достаточно низкая, тогда качество IP-телефонии удовлетворительное;
4. если задержка в передаче существенная и джиттер существенный и вероятность потерь существенная и вероятность ошибки существенная, тогда качество IP-телефонии посредственное;
5. если задержка в передаче высокая и джиттер высокий и вероятность потерь высокая и вероятность ошибки высокая, тогда качество IP-телефонии неудовлетворительное.

В качестве входных характеристик здесь использованы пять оценочных понятия, являющихся термами лингвистических переменных – параметров производительности сети. Используя диапазоны численных значений параметров производительности сети, заданных в рекомендациях Y.1541 МСЭ, данные правила реализованы в нотации пакета MATLAB. При этом, выходной характеристикой является лингвистическая переменная «*качество услуги связи*», которая принимает 5 термов, формализуемых с помощью функций принадлежности: $\mu(u) = \exp\{-(u - u_0)^2 / \sigma_k^2\}$ ($k=1 \div 5$), с вершинами u_0 соответственно в точках: 0.2271, 0.2456, 0.3161, 0.5080 и 0.9454. Проведённые симуляции показали (рис. 5), что консолидированный уровень качества сети при гипотетически наилучших значениях параметров её производительности не превышает значения 0.837.

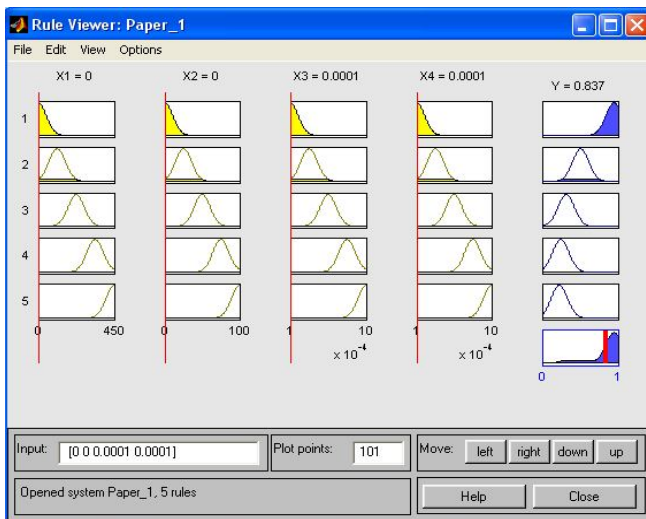


Рис. 5: Оценка качества услуг сети при наилучших значениях параметров

С увеличением задержек IP-пакетов до 376 мс уровень услуг падает до 0.417 (что согласно нашей градации, соответствует хорошему качеству сети) и остаётся неизменным при их росте (рис. 6, а). При потере доли IP-пакета до 10^{-3} качество услуг сети резко падает до значения 0.417 (рис. 6, б). Отметим также, что при данных сценариях качество услуг связи не меняется при увеличении уровня джиттера.

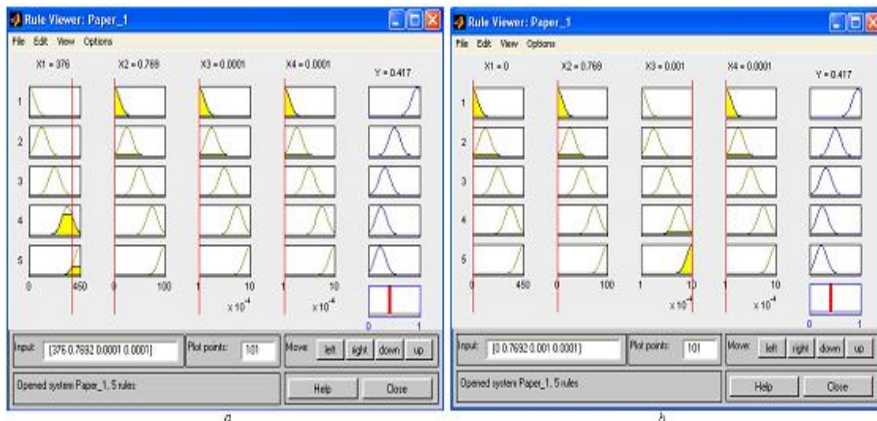


Рис. 6: Качества услуг сети при двух экстремальных значениях параметров

В результате проведенных симуляций стало понятным, что нечёткая система оценки качества услуг телекоммуникационной сети связи способна автономно контролировать работу сети связи через субъективную консолидированную удовлетворённость клиентов уровнем предоставляемых им услуг. Данная система достаточно простая с точки зрения проектирования и легко может быть адаптирована под различные условия.

В четвёртой главе разработана нечёткая логическая система оценки и управления качеством телекоммуникационных услуг в нейросетевом логическом базисе, которая благодаря своим способностям к структурному и параметрическому обучению способна контролировать работу сети связи через субъективную консолидированную удовлетворённость клиентов уровнем предоставляемых им телекоммуникационных услуг. В качестве примера услуги связи рассмотрена телефонная связь по протоколу IP, которая является приложением более общей технологии VoIP для передачи голоса. Выбор этой услуги обосновывается ещё и тем, что она очень чувствительна к джиттеру. Для обеспечения самого высокого класса обслуживания 0 необходимо обеспечение низкой задержки в передаче IP-пакета, низкого джиттера и низких потерь и ошибок. Для обеспечения обслуживания по классу 1 диапазон задержки может быть увеличен до средних значений. В контексте этих рассуждений сформирован базовый набор лингвистических переменных и следующих правил для построения системы нечёткого вывода:

d_1 : «если задержка в передаче IP-пакета НИЗКАЯ и джиттер НИЗКИЙ и вероятности потери и ошибки при передаче IP-пакета НИЗКИЕ, тогда качество IP-телефонии ВЫСОКОЕ»;

d_2 : «если задержка в передаче IP-пакета СРЕДНЯЯ и джиттер НИЗКИЙ и вероятности потери и ошибки при передаче IP-пакета НИЗКИЕ, тогда качество IP-телефонии СРЕДНЕЕ»;

d_3 : «если задержка в передаче IP-пакета НИЗКАЯ и джиттер ВЫСОКИЙ и вероятности потери и ошибки при передаче IP-пакета НИЗКИЕ, тогда качество IP-телефонии НИЗКОЕ»;

d_4 : «если задержка в передаче IP-пакета СРЕДНЯЯ и джиттер ВЫСОКИЙ и вероятности потери и ошибки при передаче IP-пакета НИЗКИЕ, тогда качество IP-телефонии НИЗКОЕ»;

d_5 : «если задержка в передаче IP-пакета ВЫСОКАЯ и джиттер ВЫСОКИЙ и вероятности потери и ошибки при передаче IP-пакета НИЗКИЕ, тогда качество IP-телефонии НИЗКОЕ»;

d_6 : «если вероятности потери и ошибки при передаче IP-пакета ВЫСОКИЕ, тогда качество IP-телефонии НИЗКОЕ».

Реализация этих правил в нотации MATLAB с помощью FIS-редактора типа Сугэно позволило получить выборку обучающих пар (Рис. 7), которая после загрузки в редактор ANFIS типа Сугэно генерирует структуру системы нечёткого вывода. Для этого через диалоговое окно активированы гауссовские функции принадлежности для описания выбранных термов входных переменных и выходной переменной. После генерации структуры гибридной сети удалось визуализировать структуру НЛСОК в нотации пятислойной нейронной сети (Рис. 8).

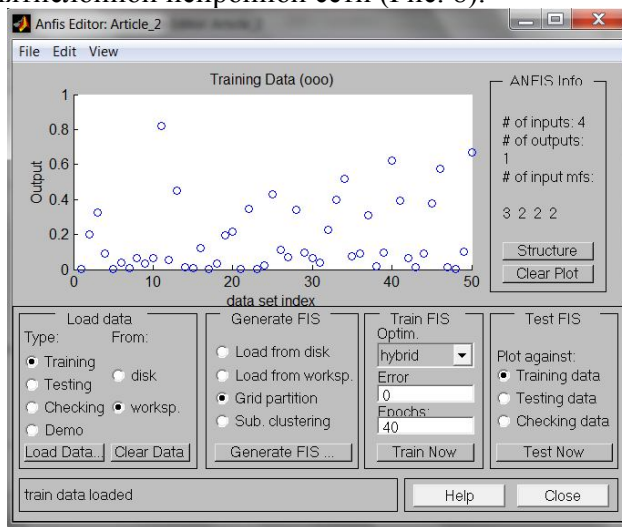


Рис. 7: Графический интерфейс редактора ANFIS после загрузки данных

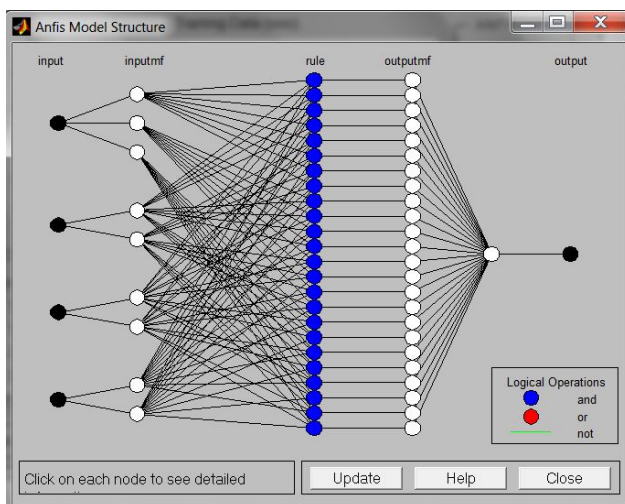


Рис. 8: Структура системы нечёткого вывода в нотации нейронной сети

Входом для каждого нейрона данной сети является:

$$\text{Input} = f(u_1^k, u_2^k, \dots, u_p^k; w_1^k, w_2^k, \dots, w_p^k),$$

где k обозначает номер слоя; p обозначает номер входной связи; u_i^k ($i = \overline{1, p}$) обозначает i -ый сигнал из k -го слоя; w_i^k ($i = \overline{1, p}$) обозначает вес i -ой связи из k -го слоя. В рамках принятых обозначений выходы нейронов в результате их активаций обозначим как: $\text{Output} = o_i^k = a(f), i = \overline{1, p}$, где $a(\cdot)$ является

функцией активации. В частности, полагая $f = \sum_{i=1}^p w_i^k u_i^k$, в качестве функции активации можно выбрать сигмоидную функцию вида $a = \frac{1}{1 + e^{-f}}$.

Дальнейшая настройка параметров построенной и обученной НЛСОК можно осуществить с помощью стандартных графических средств пакета Fuzzy Logic Toolbox. Так, на Рис. 9 представлены оптимизированные функции принадлежности, описывающие термы входных лингвистических переменных.

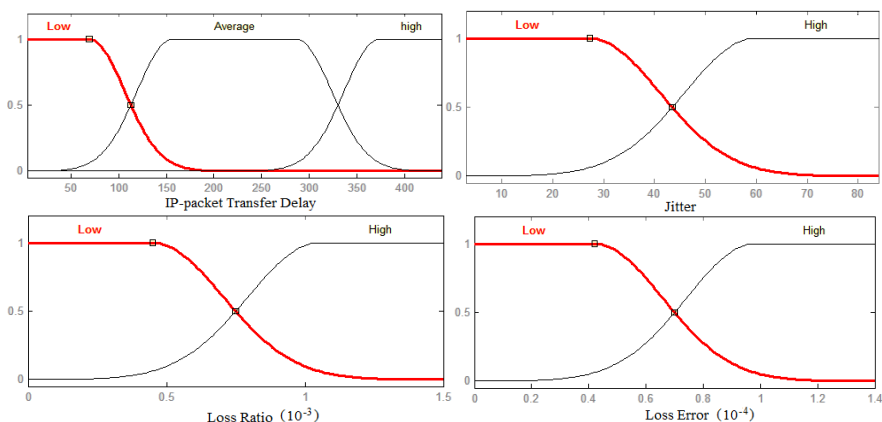


Рис. 9: Оптимизированные входные функции принадлежности

В процессе симуляции были использованы 4 объективных критерия качества телекоммуникационной сети связи, на базе которых посредством применения адаптированной FIS типа Сугэно удалось получить адекватную причинно-следственную зависимость между объективными параметрами сети связи, с одной стороны, и субъективными консолидированными оценками пользователей, с другой (Рис. 10). Общее качество IP-телефонии не превышает величину 0.55 при максимальной 1, относительно умеренно уменьшается с ростом задержек IP-пакетов и резко падает при превышении доли потерянных пакетов 10^{-3} и превышении доли ошибок при передаче IP-пакетов 10^{-4} . Задержка при передаче IP-пакетов более чем в 400 мс ведёт к деградации качества даже при уровне джиттера 50 мс, что соответствует практическим наблюдениям для услуг связи.

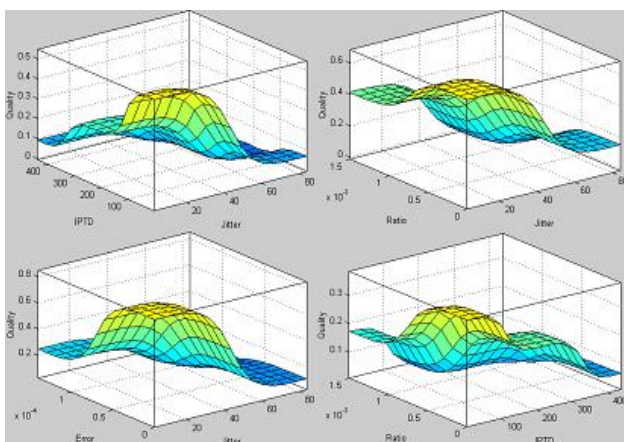


Рис. 10: Зависимость оценок качества сети связи от объективных показателей

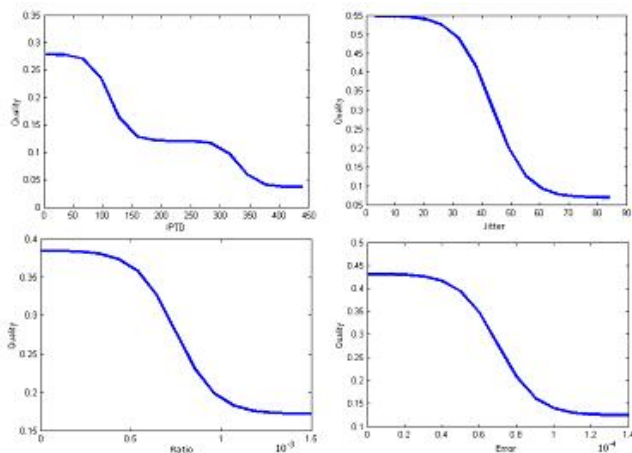


Рис. 11: Зависимости качества сети от параметров производительности

На Рис. 11 представлены кривые, демонстрирующие зависимости качества сети IP-телефонии от каждого параметра в отдельности. В свою очередь и они подтверждают приведённый выше вывод об изменениях в общем качестве сети IP-телефонии.

Предлагаемая система НЛСОК позволяет достаточно быстро и относительно легко диверсифицировать свои функции и на другие виды услуг телекоммуникационной связи. Для этого

достаточно собрать достаточную статистику консолидированных оценок пользователей по различным сценариям функционирования выбранной сети связи. Таким образом, с помощью НЛСОК можно контролировать консолидируемую субъективную удовлетворённость пользователей уровнем услуг телекоммуникационной связи через коррекцию параметров сети и, тем самым, обеспечивать увеличение клиентской базы. В перспективе данная система способна функционировать и в автономном режиме, т.к. при её разработке и адаптации нет необходимости привлекать экспертные услуги.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе разработана нечёткая логическая система оценки и управления качеством телекоммуникационных услуг в нейросетевом логическом базисе. Структура данной системы формируется на основе доступных обучающих примеров посредством технологии нейронного обучения применительно к адаптации нечётких логических (импликативных) правил и к нахождению оптимальных входных и выходных функций принадлежности.

Основными научными результатами, выносимыми на защиту, являются:

- 1) Разработка методов и алгоритмов проектирования системы нечёткого логического вывода для оценки и управления сетевой инфраструктурой ИТ-коммуникаций.
- 2) Создание универсальной шкалы градации для классификации степеней удовлетворённости потребителей услугами телекоммуникационных сетей связи (на примере IP-телефонии).
- 3) Формулирование и описание принципов построения интеллектуальной системы оценки гарантированного качества услуг телекоммуникационных сетей связи
- 4) Разработка автономной системы для оценки качества услуг связи (на примере VoIP).

5) Разработка механизма для проектирования нечёткой логической системы оценки качества услуг телекоммуникационных сетей связи в нейросетевом логическом базисе.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в следующих научных статьях:

1. R.R. Rzayev, A.I. Goyushov. Application of fuzzy interference model for assessment the quality of telecommunication services // Mitteilungen klosterneuburg, no. 64, 2014, pp. 1-15.
2. Р.Р. Рзаев, А.И. Гоюшов. Многокритериальная оценка качества услуг связи на основе применения механизма нечёткого вывода // Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, Т. XXXIV, №3, 2014, Баку, стр. 37-48.
3. Р.Р. Рзаев, А.И. Гоюшов. Интеллектуальная система оценки качества телекоммуникационных услуг // Журнал «Информационно-управляющие системы», №6 (73), 2014, Санкт-Петербург, стр. 57-67.
4. O.K. Nusratov, R.R. Rzayev, A.I. Goyushov. Assessment the Quality of Telecommunication Services by Fuzzy Interferences System // International Science Index January 23-24, 2015, Paris, France, pp. 1559-1571.
5. R.R. Rzayev, A.I. Goyushov, Z.R. Camalov, A.Sh. Almasov. Intelligent Scoring System of Telecommunication Service Quality by Neural Network Based Fuzzy Inference // International Journal of Intelligent Information Processing, Vol 5, №4, 2015, South Koreya, pp. 1-18.
6. Р.Р. Рзаев, А.И. Гоюшов, А.Ш. Алмасов. Оценка качества услуг телекоммуникационной сети связи на основе метода нечёткого моделирования // Журнал «Информационные технологии», Том 21, №3, 2015, Москва, стр. 193-200.
7. Р.Р. Рзаев, Ф.Б. Агаев, А.И. Гоюшов, З.Р. Джамалов. Информационная система поддержки принятия процессуальных решений // Журнал “Системы и средства информатики”, Т.26, №1, 2016, стр. 138-154.
8. R.R. Rzayev, E.T. Aliyev, A.I. Goyushov. Evaluation of balances costs within the Framework of UN FAO projects based on the fuzzy inference // International Journal of Information Processing and Management, Vol. 3, №5, 2016, South Koreya, pp. 9-16.
9. А.И. Гоюшов Оценка качества услуг связи на основе применения системы нечёткого логического вывода в логическом базисе

нейронной сети // Математические машины и системы. 2016. №2. стр. 44-55.

Личный вклад соискателя в трудах, опубликованных в соавторстве:

- [1] Анализ существующих систем оценки качества услуг телекоммуникационных сетей связи и построение причинно-следственных связей в условиях нечёткой информационной среды по средствам применения метода нечёткого вывода.
- [2] Разработка нечёткой модели для многокритериальной оценки качества услуг связи и соответствующей шкалы для градации субъективных мнений пользователей сети о состоянии качества предоставляемых им услуг связи.
- [3] Формулирование и разработка подхода к построению интеллектуальной системы поддержки принятия решений в области сетевого (объективного) управления качеством телекоммуникационных услуг связи.
- [4] Разработка нейро-нечёткой модели для численной оценки качества услуг IP-телефонии и описание принципов построения автономной системы оценки качества связи с учётом консолидированного мнения её абонентов.
- [5] Разработка гибридных методов сетевого управления качеством телекоммуникационных услуг связи.
- [6] Построение и анализ нечёткой системы вывода для проведения оперативной оценки текущего качества услуг связи на примере VoIP.
- [7] Разработка нейро-нечёткой модели для численной оценки оценочных понятий в процессуальном праве.
- [8] Разработка нечёткого классификатора для ранжирования оценочных понятий при оценивании FAO-проектов на предмет их соответствия финансовому механизму в рамках новой рамочной политики UN FAO.

**Rabitə xidmətlərinin keyfiyyətini qiymətləndirən
neyro-fuzzy modellərin və alqoritmlərin işlənməsi**

Xülasə

Telekommunikasiya rabitəsinin və simsiz texnologiyaların inkişafının müasir mərhələsində rabitə xidmətlərinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi məsələsi ən kəskin problem kimi qoyulur, hansı ki, verilənlərin ötürülmə sürətinin və istifadəçilərinin mobillik dərəcəsinin yüksəldilməsinə, göstərilən xidmətlərin çeşidlərinin genişlənməsinə və s. məsələlər sahəsində təkmilləşdirilməlidir. İşdə şəbəkəli İT-kommunikasiya infrastrukturunun idarə edilməsi üçün qeyri səlis məntiqi bazisdə qeyri-səlis məntiqi çıxarış sisteminin layihələndirilməsinin metodları və alqoritmləri işlənmişdir. Verilmiş sistem öz struktur və parametrik təlim imkanları sayəsində telekommunikasiya rabitə şəbəkəsinin işini pərdəlik idarəetmə imkanına malik olmalıdır. Bu da abonentlərin göstərilən telekommunikasiya xidmətləri ilə subyektiv konsalidə olunmuş qanə edilmə səviyyəsinin təyin edilməsinin köməyi ilə baş verməlidir. Telekommunikasiya rabitə şəbəkəsinin müştərilərinin təklif olunan xidmətlər ilə qanə olma səviyyəsinin təsnifatı üçün universal qradasiya şkalası yaradılmışdır (məsələn, İP-teleponiya). O cümlədən, rabitə xidmətlərinin keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi üçün avtonom sistem (VoIP üzərində) və neyroşəbəkəli məntiqi bazisdə telekommunikasiya rabitə şəbəkələrinin xidmətlərinin keyfiyyətini qiymətləndirən qeyri səlis məntiqi sistemin layihələndirilməsi üçün mexanizm işlənmişdir.

Bundan başqa telekommunikasiya rabitə şəbəkələrinin xidmətlərinin keyfiyyətini zamanətlə qiymətləndirən intellektual sistemin qurulma prinsipləri yaradılıb və təsvir olunub.

Goyushov Aydin Islam

**Development of neural-fuzzy algorithms and
methods for assessment the quality of communication services**

Abstract

The most pressing problem at the modern stage of development of telecommunications and wireless technologies is improving the quality of communication services, which must always improve following the increasing data transfer speed, user mobility, the expanding range of services provided, etc.

In this paper, we have developed methods and algorithms for designing a fuzzy inference system in the neural network logical basis to manage the network infrastructure of IT communications. Being capable of structure and parameter learning, this system must be able to regularly control the operation of the telecommunications network through consolidated satisfaction of network subscribers with the level of the provided telecommunications services. We have designed an all-purpose degree scale for classification of customer satisfaction with telecommunications network services (case study of IP telephony), as well as a self-contained system for assessing the quality of communication services (case study of VoIP) and a mechanism for designing a fuzzy inference system of assessment of quality of telecommunications services in the neural network logical basis. We have also laid down and described the principles of designing an intelligent system for assessing the guaranteed quality of telecommunications network services.

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
İSADƏETMƏ SİSTEMLƏRİ İNSTİTUTU**

Əlyazması hüququnda

GÖYÜŞOV AYDIN İSLAM OĞLU

**RABİTƏ XİDMƏTLƏRİNİN KEYFİYYƏTİNİ
QİYMƏTLƏNDİRƏN NEYRO-FUZZY MODELƏRİN VƏ
ALQORİTMLƏRİN İŞLƏNİLMƏSİ**

İxtisas: 1203.01 – Kompüter elmləri

**Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim
edilmiş dissertasiyasının**

AVTOREFERATI

Bakı – 2016