

УДК 330.43

Р.Р. РЗАЕВ, А.И. ГОЮШОВ

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УСЛУГ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЗМА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Предлагается подход к формированию модульной интеллектуальной системы оценки качества услуг телекоммуникационных связей, основанный на применении метода нечеткого логического вывода. Предлагаемая в рамках данного подхода базовая нечеткая модель оценки в необходимой мере учитывает рекомендации Международного Союза Электросвязи в части, касающейся функционирования сетей пакетной коммутации на основе IP-протокола.

Ключевые слова: IP-телефония, нечёткое множество, нечёткая импликация нечёткое отношение

1. Введение. На современном этапе развития телекоммуникационных сетей связи и беспроводных технологий наиболее остро стоит задача повышения качества услуг связи, которая постоянно совершенствуется по мере увеличения скорости передачи данных, повышения степени мобильности пользователей, расширения ассортимента предоставляемых услуг, улучшения степени использования радиочастотного спектра и степени интеллектуализации сетевого оборудования и абонентских гаджетов. При этом совершенствование телекоммуникационных сетей связи происходит на стыке противоречий между постоянно растущим потребительским спросом на абонентские услуги и ограниченным числом частот, что является вполне объективным. В свою очередь это обуславливает существенное расширение спектра предоставляемых операторами связи услуг, увеличение потребительских требований к их качеству и, как следствие, совершенствование применяемых технологий управления.

Дело в том, что в процессе эксплуатации объективные технические характеристики сетей связи наследуются системами телекоммуникационных услуг, трансформируясь тем самым в характеристики предоставляемых услуг. Но и сами услуги связи имеют свои характерные особенности, среди которых доминирующей является качество телекоммуникационных услуг. При этом если на начальном этапе становления и продвижения сетей связи качество предоставляемых ими услуг характеризуется совокупностью объективных технических характеристик, то уже на стадии эксплуатации происходит трансформация этих характеристик, т.к. в условиях конкурентного рынка телекоммуникационных услуг качества сетей становятся предметом обсуждения и субъективных оценок их пользователей. В результате категория качества предоставляемых телекоммуникационных услуг все больше смещается в сторону неметризуемых характеристик, отражающих общую меру субъективной удовлетворенности потребителей.

Как и любой потребительский товар, услуга связи подчиняется законам рынка. Поэтому увеличение клиентской базы, обеспечивающей конкурентную позицию и, соответственно, увеличение прибыли, становится основной прерогативой телекоммуникационных компаний. При этом требования абонентов связи, которые в основном оценивают услугу связи через свои субъективные суждения, такие, например, как «наличие (или отсутствие) прерываний связи», «недостаточно (или достаточно) хорошая слышимость», «приемлемая (или неприемлемая) разборчивость речи» и т.д., становятся доминирующими факторами, с которыми руководству телекоммуникационных компаний приходится считаться. Собственно, по набору перечисленных субъективных требований к качеству связи и осуществляется абонентский выбор в пользу той или иной услуги связи.

2. Постановка задачи. Очевидно, что субъективные оценки пользователей к качеству связи являются производными от объективных (технических) характеристик сети и результата их взаимодействия с характеристиками информационного трафика. В условиях жесткой конкуренции

эти неметризуемые субъективные оценки пользователей становятся целевыми функциями, через которые менеджменту компании необходимо оценить субъективную удовлетворенность клиента. С учётом мультисервисности современных телекоммуникационных сетей необходимо решить эту задачу для всего спектра услуг связи в рамках создания единой системы оценки качества, обрабатывающую как объективные (структурированные), так субъективные (слабо структурированные или неструктурированные) показатели качества.

3. Система контроля качества услуг связи в условиях нечеткой среды. На сегодняшний день одними из эффективных методов управленческих технологий являются элементы искусственного интеллекта, в т.ч. нечеткая логика и нечеткие 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 позволяет одинаково легко оперировать как метризуемыми, так и неметризуемыми данными.

Рассмотрим типовую функциональную схему системы контроля качества услуг связи [1, стр.26], в основе которой лежит механизм нечеткого логического вывода, позволяющий оперативно давать многокритериальную оценку предоставляемой услуги в условиях нечёткой информации (Рис. 3.1).

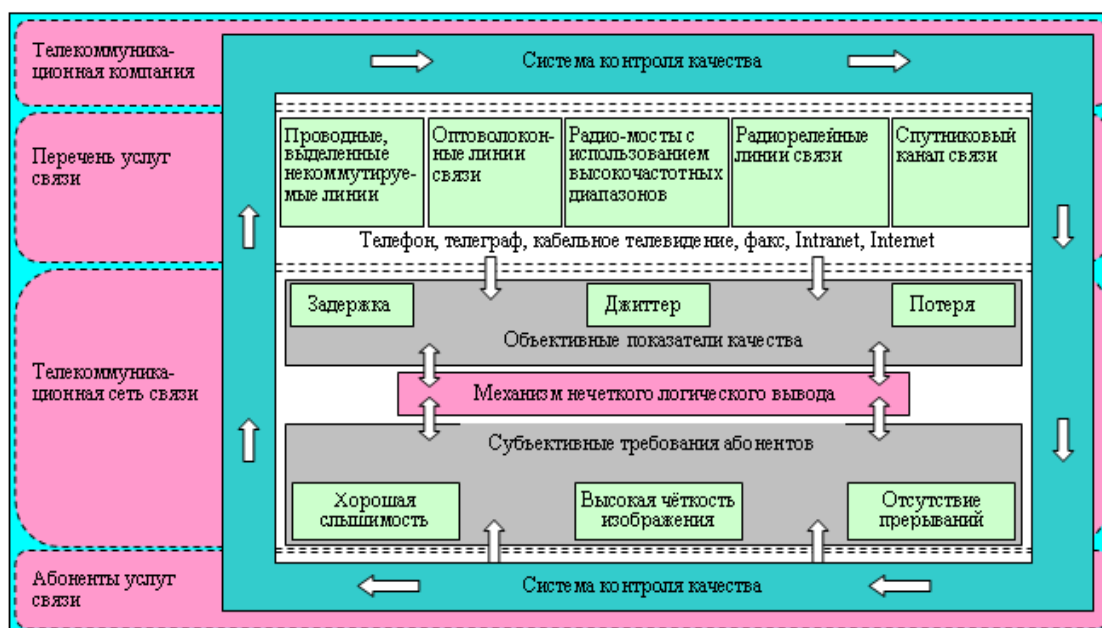


Рис. 3.1. Схема функционирования системы контроля качества услуг связи

В качестве объективных показателей качества выберем те, которые можно контролировать при определении уровней качества услуг связи. Более того, эти показатели должны быть хорошо известны, однозначно интерпретироваться и, что самое главное, адекватно отражать качество услуг. В ряде рекомендаций Международного Союза Электросвязи (МСЭ) (см. [2, стр.15]) для широко распространенных сетей пакетной коммутации на основе IP-протоколов (IPv4 и IPv6) предлагается контролировать конкретные объективные показатели качества для установления уровня услуг. В частности, в рекомендации Y.1541 МСЭ приводятся 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, которые представлены в Табл. 3.1.

Табл. 3.1

Классификация обслуживания по параметрам производительности сети

Параметр производительности сети	Комментарий	QoS Классы					
		Класс 0	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5 Неустановленный
Задержка в передаче (IPTD – IP packet Transfer Delay)	Верхняя граница от среднего IPTD	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	U
Джиттер (IPDV – IP packet Delay Variation)	Разброс от среднего максимального и минимального времени прохождения IP-пакета.	50 мс	50 мс	U	U	U	U
Вероятность потери (IPLR – IP packet Loss Ratio)	Верхняя граница вероятности потери IP-пакета	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	U
Вероятность ошибки (IPER – IP packet Error Ratio)	Верхняя граница вероятности ошибки в передаче IP-пакета	1×10^{-4}					U

В качестве примера услуги связи рассмотрим телефонную связь по протоколу IP (IP-телефонию), которая является приложением более общей технологии VoIP (Voice over IP) для передачи голоса. Выбор этой услуги обосновывается еще и тем, что IP-телефония очень чувствительна к джиттеру.

Согласно рекомендации Y.1541 IP-телефония может функционировать при наличии параметров производительности, соответствующих классам 0 и/или 1 [2, стр.15]. При этом предоставление услуги по классу 0 гарантирует высокое качество, а значит и удовлетворенность пользователей сети. В тоже время качество услуги IP-телефонии по классу 1 будет чуть хуже и это придется компенсировать за счет внедрения дополнительных опций, чтобы продолжать расширять клиентскую базу. В остальных случаях качество связи будет слишком низким.

В работе [1] предложен весьма любопытный подход для формирования нечеткой 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 (Табл. 3.1), т.е. судит об их качестве на основе объективных характеристик, интерпретируемых в виде адекватных нечетких множеств. Однако в представленном подходе не достаточно отчетливо 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

удовлетворенности пользователей сети, чем, собственно, мы и собираемся далее заняться.

4. Классификация степеней удовлетворенности потребителей телекоммуникационных услуг (на примере IP-телефонии). Очевидно, что оценка качества услуг связи является многокритериальной процедурой, подразумевающей применение композиционного правила агрегирования оценки в каждом конкретном случае. Для оценки качества услуг IP-телефонии выберем 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 $S=(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$ будем понимать совокупность признаков, по которым будем классифицировать качество услуг связи. Тогда, полагая технические характеристики сети (критерии оценки качества) нечёткими множествами, оценку предоставляемых услуг IP-телефонии произведём с использованием достаточного набора нечётких импликативных правил вида «Если..., тогда ...» и на их основе установим соответствующую шкалу градации удовлетворенности потребителей услуг.

Итак, сформулируем наши суждения следующим образом:

e_1 : «Если при передаче IP-пакета не наблюдаются задержка и существенный разброс от среднего максимального и минимального времени прохождения IP-пакета, тогда качество сети 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 приведённых высказываниях (причинно-следственных связях) входными характеристиками будем считать следующие признаки:

- X_1 – наличие задержки в передаче IP-пакета;
- X_2 – наличие джиттера в передаче IP-пакета;
- X_3 – вероятность потерь при передаче IP-пакета;
- X_4 – вероятность ошибки при передаче IP-пакета,

а выходной характеристикой Y , собственно, саму оценку качества услуги связи – уровень удовлетворенности потребителя. Тогда, определив соответствующие значения (термы) лингвистических переменных X_i ($i=1÷4$) и Y , на базе приведённых высказываний построим следующие импликативные правила:

e_1 : «Если X_1 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и X_2 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО, то Y =УДОВОЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ»;

e_2 : «Если X_1 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и X_2 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и X_3 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО, то Y =БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВОЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ»;

e_3 : «Если X_1 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и X_2 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и X_3 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и X_4 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО, то Y =БЕЗУПРЕЧНОЕ»;

e_4 : «Если X_2 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и X_3 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и X_4 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО, то Y =ОЧЕНЬ УДОВОЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ»;

e_5 : «Если X_1 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и X_3 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и X_4 =ИМЕЕТ МЕСТО, то Y =УДОВОЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ»;

e_6 : «Если X_3 =ИМЕЕТ МЕСТО и X_4 =ИМЕЕТ МЕСТО, то Y =НЕУДОВОЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ».

Лингвистическую переменную Y зададим на дискретном множестве $J=\{0;0.1;0.2;...;1\}$. Тогда

используемые в импликативных правилах её термы опишем нечёткими множествами с соответствующими функциями принадлежности [4, стр.78]:

- \tilde{S} =УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ, $\mu_{\tilde{S}}(x) = x, x \in J$;
- $M\tilde{S}$ =БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ, $\mu_{M\tilde{S}}(x) = \sqrt{x}, x \in J$;
- \tilde{P} =БЕЗУПРЕЧНОЕ, $\mu_{\tilde{P}}(x) = \begin{cases} 1, & x = 1, \\ 0, & x < 1, \end{cases} x \in J$;
- $V\tilde{S}$ =ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ, $\mu_{V\tilde{S}}(x) = x^2, x \in J$;
- $U\tilde{S}$ =НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ, $\mu_{U\tilde{S}}(x) = 1 - x, x \in J$.

Фаззификацию термов в левых частях принятых правил осуществим с помощью гауссовских функций принадлежности $\mu(u) = \exp(-u^2 / \sigma_k^2)$ ($k=1 \div 4$), восстанавливающих нечёткие множества по опорному вектору $(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$, где $u_i = \frac{d_{i-1} + d_i}{2}$ ($i=1 \div 5$) (Рис. 4.1). При этом значения для σ_k подбираются исходя из степени важности признаков, по которым классифицируется качество услуг связи.

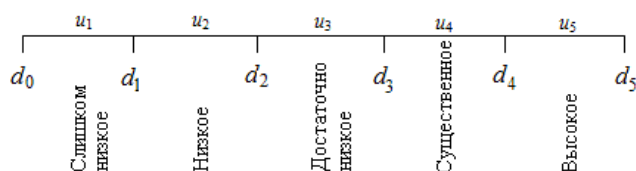


Рис. 4.1. Равномерная градация параметров производительности сети по их уровням¹

На Рис. 4.1 градация уровней производительности сети представлена в общем виде. Однако очевидно, что простым преобразованием $t = \frac{x - d_0}{d_5 - d_0}$, где $x \in [d_0, d_5]$, $t \in [0, 1]$, данный интервал $[d_0, d_5]$ можно легко свести к единичному интервалу $[0, 1]$. Поэтому, оценивая качество услуг связи с точки зрения ее технических характеристик, градуированных в масштабе единичного интервала (Рис. 4.2), где $d_i = 0.2i$ ($i=0 \div 5$), фаззифицируем термы из левых частей импликативных правил в следующем виде:

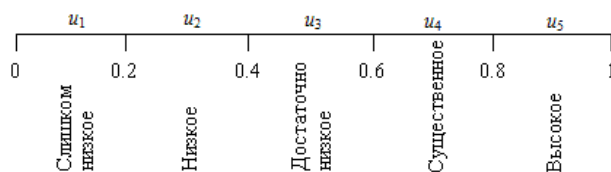


Рис. 4.2. Уровни значений параметров производительности сети в масштабе единичного отрезка

- НЕ ИМЕЕТ МЕСТО (задержка в передаче IP-пакета):

$$\tilde{A} = \frac{0.9394}{u_1} + \frac{0.5698}{u_2} + \frac{0.2096}{u_3} + \frac{0.0468}{u_4} + \frac{0.0063}{u_5};$$

- НЕ ИМЕЕТ МЕСТО (разброс от среднего максимального и минимального времени прохождения IP-пакета):

$$\tilde{B} = \frac{0.9518}{u_1} + \frac{0.6412}{u_2} + \frac{0.2910}{u_3} + \frac{0.0889}{u_4} + \frac{0.0183}{u_5};$$

¹ Данная градация может быть и неравномерной, что нисколько не меняет сути подхода.

- НЕ ИМЕЕТ МЕСТО (потеря IP-пакета):

$$\tilde{C} = \frac{0.9216}{u_1} + \frac{0.4797}{u_2} + \frac{0.1299}{u_3} + \frac{0.0183}{u_4} + \frac{0.0013}{u_5};$$

- НЕ ИМЕЕТ МЕСТО (ошибка при передаче IP-пакета):

$$\tilde{D} = \frac{0.8948}{u_1} + \frac{0.3679}{u_2} + \frac{0.0622}{u_3} + \frac{0.0043}{u_4} + \frac{0.0001}{u_5}.$$

Тогда с учётом этих формализмов нечёткие правила сформулируем как:

e_1 : «Если $X_1 = \tilde{A}$ и $X_2 = \tilde{B}$, то $Y = \tilde{S}$ »;

e_2 : «Если $X_1 = \tilde{A}$ и $X_2 = \tilde{B}$ и $X_3 = \tilde{C}$, то $Y = M\tilde{S}$ »;

e_3 : «Если $X_1 = \tilde{A}$ и $X_2 = \tilde{B}$ и $X_3 = \tilde{C}$ и $X_4 = \tilde{D}$, то $Y = \tilde{P}$ »;

e_4 : «Если $X_2 = \tilde{B}$ и $X_3 = \tilde{C}$ и $X_4 = \tilde{D}$, то $Y = V\tilde{S}$ »;

e_5 : «Если $X_1 = \tilde{A}$ и $X_3 = \tilde{C}$ и $X_4 = \neg\tilde{D}$, то $Y = \tilde{S}$ »;

e_6 : «Если $X_3 = \neg\tilde{C}$ и $X_4 = \neg\tilde{D}$, то $Y = U\tilde{S}$ ».

Далее, для левых частей этих правил вычислим функции принадлежности $\mu_{\tilde{M}_i}(u)$ ($i=1\div 6$). В

частности, имеем:

$$e_1: \mu_{\tilde{M}_1}(u) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u)\}$$

$$\tilde{M}_1 = \frac{0.9394}{u_1} + \frac{0.5698}{u_2} + \frac{0.2096}{u_3} + \frac{0.0468}{u_4} + \frac{0.0063}{u_5};$$

$$e_2: \mu_{\tilde{M}_2}(u) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u), \mu_{\tilde{C}}(u)\}$$

$$\tilde{M}_2 = \frac{0.9216}{u_1} + \frac{0.4797}{u_2} + \frac{0.1299}{u_3} + \frac{0.0183}{u_4} + \frac{0.0013}{u_5};$$

$$e_3: \mu_{\tilde{M}_3}(u) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u), \mu_{\tilde{C}}(u), \mu_{\tilde{D}}(u)\}, \quad \tilde{M}_3 = \frac{0.8948}{u_1} + \frac{0.3679}{u_2} + \frac{0.0622}{u_3} + \frac{0.0043}{u_4} + \frac{0.0001}{u_5};$$

$$e_4: \mu_{\tilde{M}_4}(u) = \min\{\mu_{\tilde{B}}(u), \mu_{\tilde{C}}(u), \mu_{\tilde{D}}(u)\}$$

$$\tilde{M}_4 = \frac{0.8948}{u_1} + \frac{0.3679}{u_2} + \frac{0.0622}{u_3} + \frac{0.0043}{u_4} + \frac{0.0001}{u_5};$$

$$e_5: \mu_{\tilde{M}_5}(u) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{C}}(u), 1 - \mu_{\tilde{D}}(u)\}$$

$$\tilde{M}_5 = \frac{0.1052}{u_1} + \frac{0.4797}{u_2} + \frac{0.1299}{u_3} + \frac{0.0183}{u_4} + \frac{0.0013}{u_5};$$

$$e_6: \mu_{\tilde{M}_6}(u) = \min\{1 - \mu_{\tilde{C}}(u), 1 - \mu_{\tilde{D}}(u)\}$$

$$\tilde{M}_6 = \frac{0.0784}{u_1} + \frac{0.5203}{u_2} + \frac{0.8701}{u_3} + \frac{0.9817}{u_4} + \frac{0.9987}{u_5}.$$

В итоге правила запишем в ещё более компактной форме:

e_1 : «Если $X = \tilde{M}_1$, то $Y = \tilde{S}$ »;

e_2 : «Если $X = \tilde{M}_2$, то $Y = M\tilde{S}$ »;

e_3 : «Если $X = \tilde{M}_3$, то $Y = \tilde{P}$ »;

e_4 : «Если $X = \tilde{M}_4$, то $Y = V\tilde{S}$ »;

e_5 : «Если $X = \tilde{M}_5$, то $Y = \tilde{S}$ »;

e_6 : «Если $X = \tilde{M}_6$, то $Y = U\tilde{S}$ ».

Для преобразования этих импликативных правил воспользуемся импликацией Лукасевича [3, с.54; 6, с.78]:

$$\mu_{\tilde{H}}(u, j) = \min(1, 1 - \mu_{\tilde{M}}(w) + \mu_{\tilde{Y}}(j)). \quad (4.1)$$

Тогда для каждой пары $(u, j) \in U \times Y$ получим следующие нечёткие отношения на $U \times Y$:

		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$R_1 =$	u_1	0.0606	0.1606	0.2606	0.3606	0.4606	0.5606	0.6606	0.7606	0.8606	0.9606	1
	u_2	0.4302	0.5302	0.6302	0.7302	0.8302	0.9302	1	1	1	1	1
	u_3	0.7904	0.8904	0.9904	1	1	1	1	1	1	1	1
	u_4	0.9532	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	u_5	0.9937	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_2 =$	u_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	u_2	0.0784	0.3946	0.5256	0.6261	0.7108	0.7855	0.8530	0.9150	0.9728	1	1
	u_3	0.5203	0.8366	0.9676	1	1	1	1	1	1	1	1
	u_4	0.8701	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	u_5	0.9817	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_3 =$	u_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	u_2	0.1052	0.1052	0.1052	0.1052	0.1052	0.1052	0.1052	0.1052	0.1052	0.1052	1
	u_3	0.6321	0.6321	0.6321	0.6321	0.6321	0.6321	0.6321	0.6321	0.6321	0.6321	1
	u_4	0.9378	0.9378	0.9378	0.9378	0.9378	0.9378	0.9378	0.9378	0.9378	0.9378	1
	u_5	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957	1
$R_4 =$	u_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	u_2	0.1052	0.1152	0.1452	0.1952	0.2652	0.3552	0.4652	0.5952	0.7452	0.9152	1
	u_3	0.6321	0.6421	0.6721	0.7221	0.7921	0.8821	0.9921	1	1	1	1
	u_4	0.9378	0.9478	0.9778	1	1	1	1	1	1	1	1
	u_5	0.9957	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_5 =$	u_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	u_2	0.8948	0.9948	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	u_3	0.5203	0.6203	0.7203	0.8203	0.9203	1	1	1	1	1	1
	u_4	0.8701	0.9701	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	u_5	0.9817	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_6 =$	u_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	u_2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9216
	u_3	1	1	1	1	1	0.9797	0.8797	0.7797	0.6797	0.5797	0.4797
	u_4	1	1	0.9299	0.8299	0.7299	0.6299	0.5299	0.4299	0.3299	0.2299	0.1299
	u_5	1	0.9183	0.8183	0.7183	0.6183	0.5183	0.4183	0.3183	0.2183	0.1183	0.0183

В результате пересечения нечётких отношений R_1, R_2, \dots, R_6 в итоге получим следующее общее функциональное решение, отражающее причинно-следственную связь между параметрами производительности сети и качеством предоставляемых ею услуг:

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1 \end{matrix} \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{matrix} & \begin{matrix} \left\| \begin{matrix} 0.0606 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.9216 \\ 0.4302 & 0.5302 & 0.6302 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.5797 & 0.4797 \\ 0.7904 & 0.8904 & 0.9299 & 0.8299 & 0.7299 & 0.6299 & 0.5299 & 0.4299 & 0.3299 & 0.2299 & 0.1299 \\ 0.9532 & 0.9183 & 0.8183 & 0.7183 & 0.6183 & 0.5183 & 0.4183 & 0.3183 & 0.2183 & 0.1183 & 0.0183 \\ 0.9937 & 0.9013 & 0.8013 & 0.7013 & 0.6013 & 0.5013 & 0.4013 & 0.3013 & 0.2013 & 0.1013 & 0.0013 \end{matrix} \right\| \end{matrix} \end{matrix}$$

Далее, для определения уровня качества услуг связи применим правило композиционного вывода в нечёткой среде:

$$\tilde{E}_k = \tilde{G}_k \circ R, \quad (4.2)$$

где \tilde{E}_k – качество услуг связи k -го уровня, \tilde{G}_k – отображение k -го уровня параметров производительности в виде нечёткого подмножества. Тогда, выбирая композиционное правило как

$$\mu_{\tilde{E}_k}(j) = \max_u \{ \min(\mu_{\tilde{G}_k}(u), \mu_R(u)) \}; \quad (4.3)$$

и, полагая, что $\mu_{\tilde{G}_k}(u) = \begin{cases} 0, & u \neq u_k; \\ 1, & u = u_k, \end{cases}$ в итоге имеем: $\mu_{\tilde{E}_k}(j) = \mu_R(u_k, j)$, т.е. \tilde{E}_k есть k -я строка матрицы R .

Теперь для классификации качества услуг применим процедуру дефаззификации нечётких выходов применённой модели. Итак, для оценочного понятия производительности сети u_1 нечёткой интерпретацией соответствующего ему уровня качества услуг связи будет нечёткое множество:

$$\tilde{E}_1 = \frac{0.0606}{0} + \frac{0.1052}{0.1} + \frac{0.1052}{0.2} + \frac{0.1052}{0.3} + \frac{0.1052}{0.4} + \frac{0.1052}{0.5} + \frac{0.1052}{0.6} + \frac{0.1052}{0.7} + \frac{0.1052}{0.8} + \frac{0.1052}{0.9} + \frac{0.9216}{1.0}.$$

Устанавливая уровневые множества $E_{1\alpha}$ и вычисляя соответствующие их мощности $M(E_{1\alpha})$ по формуле $M(E_{1\alpha}) = \sum_{j=1}^n \frac{x_j}{n}$, имеем:

- для $0 < \alpha < 0.0606$: $\Delta\alpha = 0.0606$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.5$;
- для $0.0606 < \alpha < 0.1052$: $\Delta\alpha = 0.0446$, $E_{1\alpha} = \{0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.55$;
- для $0.1052 < \alpha < 0.9216$: $\Delta\alpha = 0.8164$, $E_{1\alpha} = \{1\}$, $M(E_{1\alpha}) = 1$.

Для нахождения точечных оценок нечётких выходов \tilde{E}_k воспользуемся равенством

$$F(\tilde{E}_k) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(\tilde{E}_{k\alpha}) d\alpha, \quad (k=1 \div 5) \quad (4.4)$$

где α_{\max} – максимальное значение на \tilde{E}_k [6, с.56]. В данном случае имеем:

$$F(\tilde{E}_1) = \frac{1}{0.9987} \int_0^{0.9987} M(E_{1\alpha}) d\alpha = (0.5 \cdot 0.0606 + 0.55 \cdot 0.0446 + 1 \cdot 0.8164) = 0.9454.$$

Для оценочного понятия производительности сети u_2 :

$$\tilde{E}_2 = \frac{0.4302}{0} + \frac{0.5302}{0.1} + \frac{0.6302}{0.2} + \frac{0.6321}{0.3} + \frac{0.6321}{0.4} + \frac{0.6321}{0.5} + \frac{0.6321}{0.6} + \frac{0.6321}{0.7} + \frac{0.6321}{0.8} + \frac{0.5797}{0.9} + \frac{0.4797}{1.0},$$

соответственно имеем:

- для $0 < \alpha < 0.4302$: $\Delta\alpha = 0.4302$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.50$;
- для $0.4302 < \alpha < 0.4797$: $\Delta\alpha = 0.0494$, $E_{1\alpha} = \{0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.55$;

- для $0.4797 < \alpha < 0.5302$: $\Delta\alpha = 0.0506$, $E_{1\alpha} = \{0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.50$;
- для $0.5302 < \alpha < 0.5797$: $\Delta\alpha = 0.0494$, $E_{1\alpha} = \{0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.55$;
- для $0.5797 < \alpha < 0.6302$: $\Delta\alpha = 0.0506$, $E_{1\alpha} = \{0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.50$;
- для $0.6302 < \alpha < 0.6321$: $\Delta\alpha = 0.0019$, $E_{1\alpha} = \{0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.55$.

Точечной оценкой нечёткого выхода \tilde{E}_2 будет:

$$F(\tilde{E}_2) = \frac{1}{0.6321} \int_0^{0.6321} M(E_{2\alpha}) d\alpha = (0.5 \cdot 0.4302 + 0.55 \cdot 0.0494 + 0.5 \cdot 0.0506 + 0.55 \cdot 0.0494 + 0.5 \cdot 0.0506 + 0.55 \cdot 0.0019) = 0.5080.$$

Аналогичными действиями устанавливаем точечные оценки и для остальных выходов:

- при уровне производительности сети u_3 – $F(\tilde{E}_3) = 0.3161$;
- при уровне производительности сети u_4 – $F(\tilde{E}_4) = 0.2456$;
- при уровне производительности сети u_5 – $F(\tilde{E}_5) = 0.2271$.

Таким образом, в принятых допущениях итоговая шкала для оценки качества IP-телефонии может выглядеть так, как это показано на Нис. 4.3.

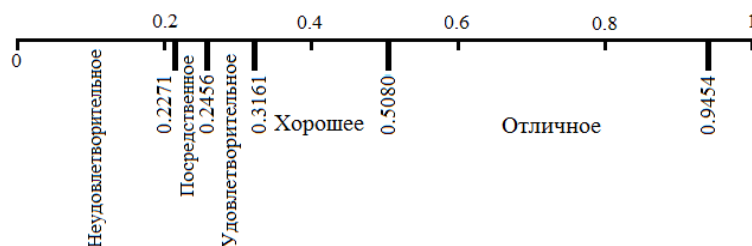


Рис. 4.3. Шкала градации качества услуг связи

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

- 0.2456 является верхней границей посредственной оценки;
- 0.3161 является верхней границей удовлетворительной оценки;
- 0.5080 является верхней границей хорошей оценки;
- 0.9454 является верхней границей отличной оценки.

5. Система оценки качества услуг связи и ее анализ (на примере IP-телефонии). Теперь, после того как мы установили обоснованную шкалу для классификации качества услуг связи, рассмотрим, собственно, саму нечёткую модель для оценки качества услуг связи. Для этого воспользуемся следующими достаточно тривиальными имплицативными правилами:

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 используются пять оценочных понятия, которые являются терминами лингвистических переменных – параметров производительности сети. Используя диапазоны численных значений параметров производительности сети (Табл. 1), реализуем данные правила в нотации MATLAB/Fuzzy Sets Toolbox. Здесь выходной характеристикой является лингвистическая переменная «качество услуги связи», которая принимает 5 нечетких значений (термов), формализуемых с помощью Гауссовских функций принадлежности с вершинами соответственно в точках: 0.2271, 0.2456, 0.3161, 0.5080 и 0.9454.

Итак, после задания входных и выходных характеристик нечеткой модели в виде Гауссовских функций принадлежности и нечетких импликативных правил приступим к анализу работы построенной системы. Реализация правил в нотации MATLAB/Fuzzy Sets Toolbox наглядно демонстрирует, что консолидированный уровень качества сети при гипотетически наилучших значениях параметров ее производительности не превышает значения 0.837 (Рис. 5.1).

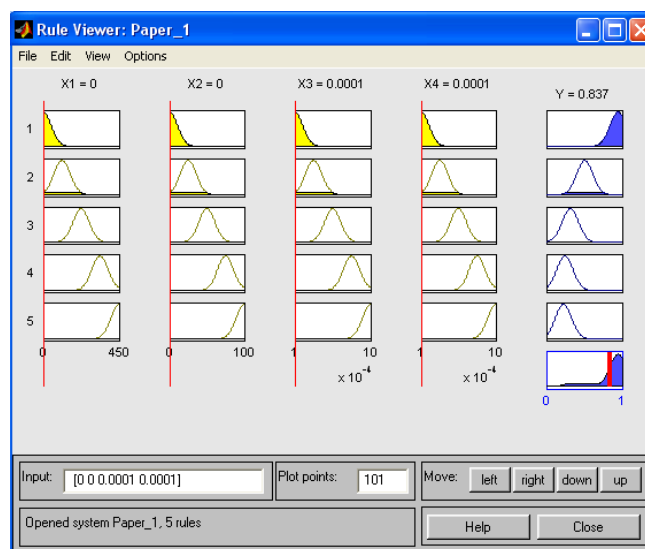


Рис. 5.1. Оценка качества услуг сети при наилучших значениях параметров производительности

С увеличением задержек IP-пакетов до 376 мс уровень услуг падает до 0.417 (что согласно нашей градации соответствует хорошему качеству сети) и остается неизменным при дальнейшем их росте (Рис. 5.2, а). При потере доли IP-пакета до 10^{-3} качество услуг сети резко падает до значения 0.417 (Рис. 5.2, б). Отметим также, что при данных сценариях качество услуг связи не меняется при увеличении уровня джиттера.

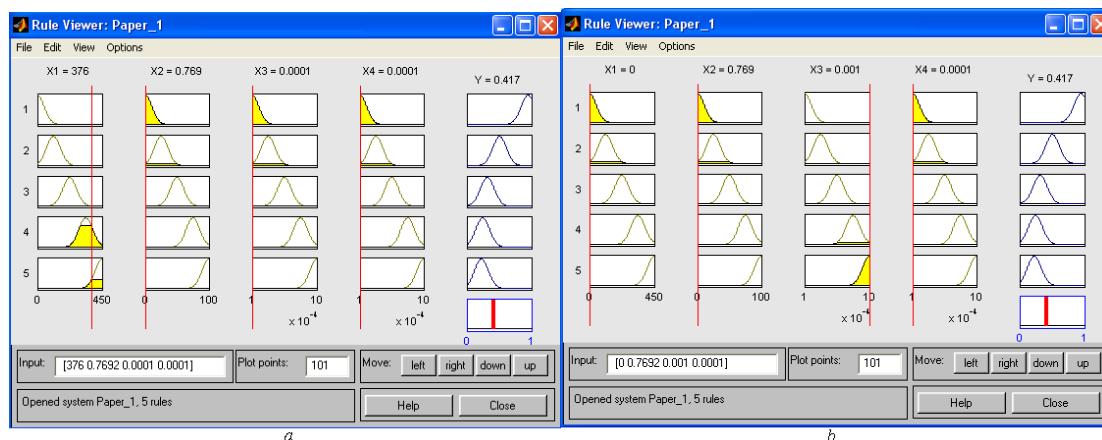


Рис. 5.2. Качества услуг IP-телефонии при двух экстремальных значениях параметров сети

Заключение. Как известно, нечеткая логика предоставляет возможность моделирования неопределенности естественного языка и позволяет вовлечь в вычислительный процесс неметризуемые субъективные категории, которыми, в частности, пользуются потребители при оценке предоставляемых им услуг [5, с.25]. Применение нечёткой логики позволяет легко учитывать множество разнородных параметров для принятия решения и не требует сложных математических вычислений.

В данной работе посредством ограниченного набора непротиворечивых импликативных правил была получена относительно обоснованная шкала для градации консолидированных оценок пользователей IP-телефонии. Предлагаемая на этой основе система оценки качества IP-телефонии не отличается параметрической и структурной оптимизацией. Возможные неточности могут быть устранены за счёт внедрения элемента самообучения системы на основе накопленных статистических данных. Тем не менее даже в таком «сыром» виде предлагаемая система может быть диверсифицирована на любые другие услуги связи и, тем самым, стать основой для создания модульной интеллектуальной системы оценки качества телекоммуникационных связей (Рис. 5.3).

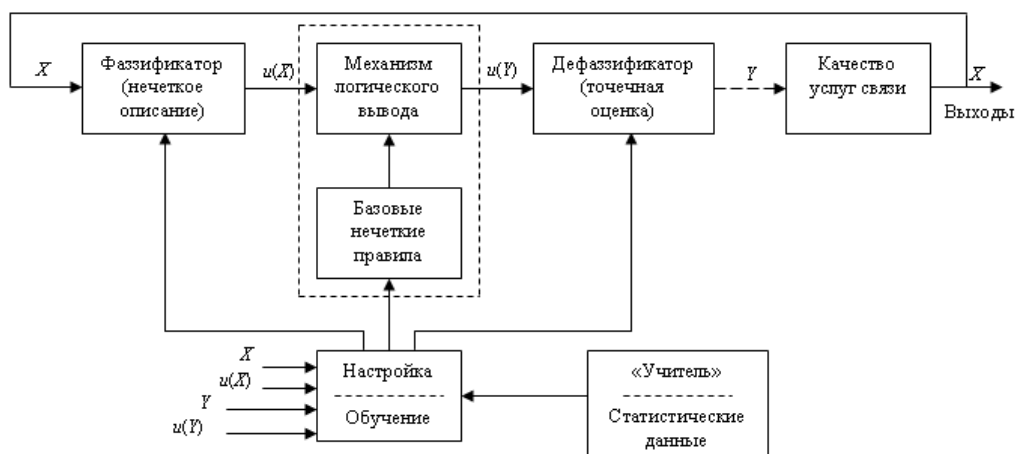


Рис. 5.3. Интеллектуальная система оценки качества телекоммуникационных связей

Таким образом, нечёткая система оценки качества услуг телекоммуникационной связи способна контролировать работу сети связи через субъективную консолидированную удовлетворенность клиентов уровнем предоставляемых им услуг. Данная система достаточно простая

с точки зрения проектирования и легко может быть адаптирована под различные условия.

Литература

1. Соколов Д. Нечеткая система оценки качества. Технологии и средства связи, №4, 2009, стр. 26-28.
2. <http://www.itu.int/rec/recommendation.asptype=series&lang=e&parent=T-REC>
3. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. М., 1974.
4. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М., 1976.
5. Заде Л.А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных/интеллектуальных систем//Новости Искусственного Интеллекта, 2001, № 2-3.
6. Рзаев Р.Р. Интеллектуальный анализ данных в системах поддержки принятия решений. Verlag: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2013, 130 стр.

UOD 330.43

R.R. Rzayev, A.İ. Göyüşev. Qeyri-səlis çıxarılış mexanizmi əsasında rabitə xidmətlərinin çoxmeyarlı qiymətləndirilməsi.

Telekommunikasiya rabitə xidmətlərinin keyfiyyətini qiymətləndirən modullu intellektual sistemin işlənməsi üçün qeyri-səlis çıxarılış mexanizminə əsaslanan yanaşma təklif olunur. Bu yanaşma çərçivəsi daxilində qiymətləndirmənin təklif olunan baza qeyri-səlis modeli Beynəlxalq Elektrorabitə İttifaqının IP-protokollar əsasında paket kommutasiyalı şəbəkələrin işlənməsinə dair tövsiyələrini lazımı dərəcədə nəzərə alır.

Açar sözlər: IP-telefoniya, qeyri-səlis çoxluq, qeyri-səlis implikasiya, qeyri-səlis münasibət

R.R. Rzayev, A.I. Goyushov. Multicriteria estimation of the communication services quality on the bases of use of the fuzzy conclusion method.

An approach to generation of modular intellectual system of the estimation of the telecommunication services qualities based on application of the fuzzy logical conclusion method is offered. The basic fuzzy estimation model offered within this approach in a necessary measure considers recommendations of the International Telecommunication Union in the part concerning functioning of networks of package switching on the basis of the IP-protocol.

Keywords: IP- telephony, fuzzy set, fuzzy implication, fuzzy relation

Институт кибернетики НАНА

Представлено 15.01.14