УДК 338.984:519.6

МЕТОДЫ ВЫБОРА ПРОЕКТНЫХ ВАРИАНТОВ СИСТЕМЫ, ОПТИМАЛЬНЫХ ПО СОВОКУПНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА, С УЧЕТОМ ИНФОРМАЦИИ ОТ ЭКСПЕРТОВ

В.М. Безрук
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*

Ю.В. Скорик
Аспирант*
*Кафедра «Сети связи»
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

В даній статті аналізується ряд формалізованих методів вибору єдиного варіанту системи з деякої кількості варіантів систем, з урахуванням сукупності показників якості на основі допоміжної суб'єктивної інформації, отриманої від експертів

Ключові слова: IP–телефонія, оптимізація, показники якості, кодек, варіант, кількість, експерт

В данной статье анализируется ряд формализованных методов выбора единственного варианта системы из некоторого множества вариантов систем, с учетом совокупности показателей качества на основе дополнительной субъективной информации, полученной от экспертов

Ключевые слова: IP–телефония, оптимизация, показатели качества, кодек, вариант, множество, эксперт

In given article a number of the formalized methods of a choice of a unique variant of system from some set of variants of systems taking into account set of indicators of quality on the basis of the additional subjective information received from experts is analyzed

Keywords: IP-telephony, optimisation, quality indicators, the codec, variant, set, the expert

Раньше процесс проектирования сложных систем сводился к выбору из небольшого количества вариантов систем и только тех, которые удовлетворяют заданным ограничениям на их тактико-технические характеристики. С усложнением систем и возрастанием их стоимости, проектировщики начали сравнивать значительное число альтернативных вариантов построения системы и выбирать из них оптимальный вариант системы. В данной статье рассмотрены особенности и сложности формализованной постановки и решения задачи выбора оптимальной системы с учетом совокупности показателей качества.

Как следует из теории многокритериальной оптимизации [1,2], решением указанной задачи выбора оптимальных проектных вариантов систем является подмножество Парето-оптимальных вариантов. Для сужения подмножества Парето до единственного проектного варианта, следует построить формализованную процедуру выбора с учетом дополнительной информации от экспертов – опытных проектировщиков подобных систем [3].

В данной статье анализируется ряд формализованных методов выбора единственного варианта системы из некоторого множества вариантов систем с учетом совокупности показателей качества на основе дополнительной субъективной информации, полученной от экспертов – опытных проектировщиков. Дается описание этих методов на основе работы [3] и приводятся некоторые результаты их применения для выбора оптимального варианта речевого кодека при проектировании сетей IP-телефонии.

1. Особенности применения математических методов при оптимальном проектировании систем

Понятие оптимальности связывается с выбором наилучших в установленном смысле вариантов системы. Задача выбора оптимальных вариантов систем с позиции системного анализа есть типичной задачей в области исследования операций, в частности, в теории выбора и принятия решений. В задаче выбора оптимальных решений рассматривается пара $\langle X, ПО \rangle$, где X - множество допустимых вариантов системы, ПО - принцип оптимальности, который определяет понятие наилучших (оптимальных) вариантов. Решением указанной задачи выбора является подмножество оптимальных вариантов $X_0 \subseteq X$, полученное с использованием выбранного принципа оптимальности. Математическим выражением принципа оптимальности есть некоторая функция выбора $C_0(\bullet)$, которая сопоставляет с множеством допустимых вариантов X подмножество оптимальных вариантов системы $X_0 = C_0(X)$ [2].

Определенное свойство варианта системы $x \in X$ можно охарактеризовать показателем качества - числом $k = \varphi(x)$, которое является оценкой варианта по некоторой целевой функции $\varphi(x)$. При этом имеет место отображение $\varphi: X \to R^1$. На практике, как правило, система характеризуются не одним, а несколькими свойствами, что определяет необходимость характеризовать систему вектором показателей качества $\vec{K} = (k, \ldots, k_m)$. При этом варианты системы x оценивается по совокупности целевых (критериальных) функций $\vec{\varphi}(x) = (\varphi_1(x), ..., \varphi_m(x))$, а множество X отображается в критериальное пространство R^m, где каждому альтернативному варианту $x \in X$ отвечает свой вектор оценок $\vec{K} = \vec{\varphi}(x) \in R^m$.

Существуют разные методы многокритериальной оптимизации выбора оптимальных систем, которые вкладывают в понятия оптимальности разное понимание [1,2]. Тем не менее, большинство правил выбора наилучших решений имеет общую черту: выбор выполняется на основе информации о попарном (бинарном) сравнении вариантов систем. Такое сравнение может осуществляться на множестве допустимых вариантов систем. Однако чаще это удобно выполнять в критериальном пространстве $V \subseteq R^m$, поскольку здесь варианты систем сравниваются путем сравнения векторов показателей качества $\vec{K}$, которые имеют количественный характер.

При проектировании систем имеют место прямые и обратные задачи. Прямые задачи – это задачи анализа, которые отвечают на вопрос: какое значение принимает вектор показателей качества $\vec{K}$ для выбранного варианта системы $x \in X$. Обратные задачи - это задачи синтеза, которые отвечают на вопрос: как выбрать вариант системы x, для которого векторная целевая функция $\vec{\varphi}(x) = (\varphi_1(x), ..., \varphi_m(x))$ достигает екстремума.

Однако существует неопределенность, связанная с отсутствием достаточной априорной информации для формализации расплывчатого представления заказчика про оптимальность системы, которая не позволяет четко сформулировать и формализовать глобальную цель функционирования системы. Известными есть только требования к отдельным свойствам (показателей качества) системы.

Это и приводит к задачам векторной оптимизации, в которых возникает необходимость искать экстремум векторной целевой функции $\vec{\varphi}(x) = (\varphi_1(x), ..., \varphi_m(x))$. Сравнительно с задачами скалярной оптимизации ($m = 1$), это значительно более сложные математические задачи.

Лишь в случае нейтральных и согласованных между собой показателей качества, решение оптимизационной задачи находится путем независимой оптимизации отдельных целевых функций $x_{0i} = \arg\underset{x \in X}{\mathrm{extr}}\{\varphi_i(x)\}$, $i = \overline{1, m}$.

При связанных между собой и конкурирующих показателях качества системы совпадение отдельных решений $x_{01} = x_{02} = ... = x_{0m}$ является скорее случаем, чем правилом. В этом случае решением задачи $x_0 = \arg\underset{x \in X}{\mathrm{extr}}\{\vec{\varphi}(x)\}$ является согласованный оптимум, которому отвечают наилучшие значения любого из показателей качества, которые могут быть достигнутые при фиксированных (но произвольных) значениях других показателей.

Решением таких оптимизационных задач, как правило, есть не один вариант системы, а некоторое множество вариантов, которые называют Парето-оптимальными.

Таким образом, поскольку сразу не удается выбрать глобальный критерий оптимальности в виде скалярной целевой функции, включающей совокупность показателей качества, приходится вводить совокупность целевых функций, связанных с соответствующими показателями качества. Это приводит к необходимости решения задач векторной (многокритериальной) оптимизации, в результате чего получают подмножество Парето-оптимальных вариантов системы.

Для дальнейшего выбора единственного варианта системы из полученного подмножества Парето-оптимальных вариантов, необходимо привлекать дополнительную информацию от экспертов (опытных проектировщиков), которая дает возможность уточнить начальное нечеткое представление заказчика про оптимальность системы. С использованием такой субъективной информации появляется возможность определить некоторую конструктивную процедуру выбора единственного варианта системы из подмножества Парето-оптимальных вариантов системы.

При этом решается непростая задача "аппроксимации" функции выбора оптимального варианта системы, которая есть в воображении заказчика системы, некоторой другой функцией выбора (критерием оптимальности), которая может быть формализована с использованием строгих математических методов.

2. Методы сужения множества Парето-оптимальных решений

Формальная модель задачи Парето-оптимизации не содержит информации для выбора единой альтернативы. При этом множество допустимых вариантов системы $\Phi_д$ лишь суживается к множеству Парето путем исключения безусловно худших вариантов по отношению строгого предпочтения $\succ$. Тем не менее, для следующих этапов проектирования системы, как правило, может быть выбран единый вариант системы. Таким образом, возникает необходимость сужения множества Парето-оптимальных решений с привлечением дополнительной информации от экспертов. Такая информация появляется в результате разностороннего анализа структуры и параметров Парето-оптимальных вариантов системы, полученных многомерных диаграмм обмена показателей качества системы, относительной важности показателей качества, сравнительного анализа полученных вариантов системы между собою.

Полученная при этом дополнительная информация может быть использована для формализованного построения скалярной целевой функции $U(k_1(\phi),..., k_m(\phi))$, оптимизация которой на множестве Парето-оптимальных решений $P_{\vec{k}}(Ц_д)$ приводит к выбору единого оптимального варианта системы

$$\phi_0 = \text{opt}\,(U(k_1(\phi),..., k_m(\phi))), \quad \phi \in P_{\vec{k}}(Ц_д) \quad . (1)$$

Общее требование к функции $U(k_1(\phi), ..., k_m(\phi))$ сводится к тому, чтобы она была монотонной (возрастающей или спадающей) по каждому из своих аргументов.

Существуют как объективные, так и субъективные подходы к построению такой функции. В ряде случаев на основе рассмотрения назначения системы, которая проектируется в составе более сложной надсистемы (комплекса), объективными методами может быть установлена взаимосвязь показателей качества системы $(k_1,..., k_m)$ с каким-то показателем качества K надсистемы, в виде соответствующей функции $K = U(k_1,..., k_m)$. Однако, в большинстве случаев объективно ввести такую функцию не удается и приходится прибегать к ее построению в значительной мере субъективными методами. Рассмотрим некоторые из них.

2.1. Выбор оптимального варианта системы с использованием функций ценности. Одним из широко используемых методов сужения подмножества Парето-оптимальных решений является использование скалярной функции ценности (полезности), оптимизация которой ведет к выбору одного из оптимальных вариантов системы. Числовую функцию $U(k_1,..., k_m)$ называют функцией ценности для отношения строгого предпочтения $\succ$, если для произвольных оценок $\vec{k}'$, $\vec{k}'' \in V$ в пространстве V неравенство $U(\vec{k}') > U(\vec{k}'')$ имеет место тогда и только тогда, когда $\vec{k}' \geq \vec{k}''$. Предположим, что отношение строгого преимущества $\succ$ удовлетворяет аксиоме Парето. При этом из неравенства $\vec{k}' \geq \vec{k}''$ вытекает отношение $\vec{k}' \succ \vec{k}''$, которое означает $U(\vec{k}') > U(\vec{k}'')$, то есть функция ценности $U(\vec{k})$ есть возрастающая по отношению $\geq$. Если существует функция ценности $U(\vec{k})$, то оптимальная оценка вектора $\vec{k}^0$ находится путем максимизации этой функции на множестве Парето $\vec{k} \in \text{opt} \geq V$

$$U(\vec{k}^0) = \max_{\vec{k} \in \text{opt} \geq V} U(\vec{k}). \qquad (2)$$

Таким образом, нахождение оптимальной оценки сводится к решению задачи скалярной оптимизации функции многих переменых $U(\vec{k})$.

Вопрос существования функций ценности и способы их оценивания детально рассматриваются во многих работах. При этом могут быть построены адитивная, мультипликативная, полинейная функции ценности.

Процедура образования функции ценности $U(\vec{k})$ иногда называется сверткой векторного критерия $\vec{K} = (k_1, k_2,..., k_m)$.

Операция свертки возможна, если:

• частичные критерии количественно суммарны по важности, то есть любому из них отвечает определенное число C_i, которое определяет его относительную важность соответственно другим критериям;

• частичные критерии являются однородными, то есть количественно сравниваются в одной размерности.

Существуют разные формы представления обобщенного скалярного критерия и выбора соответствующих оптимальных решений. В частности, это такие способы свертки частичных показателей качества:

• формируется обобщенный критерий, числитель которого составляет произведение показателей, которые подлежат максимизации, а знаменатель – произведение показателей, которые подлежат минимизации;

• формируется обобщенный критерий на основе использования элементов теории адитивной полезности, то есть суммирование частичных показателей с определенными весовыми коэффициентами в числителе и знаменателе;

• формируется обобщенный критерий относительно всех частичных показателей.

Обобщенная функция ценности может принимать вид

$$U(k_1, ..., k_m) = \sum_{j=1}^{m} c_j \varphi_j(k_j), \qquad (3)$$

где $\varphi_j(.)$ - одномерные функции ценности, которые характеризуют ценность системы по j-му показателю качества; c_j - весовые коэффициенты.

Задача построения функции (3) сводится к оценке коэффициентов c_j, выбору вида функций $\varphi_j k_j$, проверке их независимости по отношению предпочтения $\geq$, проверке согласованности построенной функции ценности. В ряде случаев может быть использована более простая функция ценности (3) в виде

$$U(\vec{k}) = \sum_{j=1}^{m} c_j k_j. \qquad (4)$$

При этом используются разные методы получения дополнительной информации о значении коэффициентов c_j. В частности, это хорошо разработанные методы экспертных оценок. Они сводятся к опрашиванию выбранной группы экспертов с учетом информации о ценности полученных Парето-оптимальных вариантов системы, относительной важности показателей качества и прочем.

Иногда для выбора единственного варианта ограничиваются так называемой пороговой оптимизацией: наиболее весомый показатель подвергается оптимизации, другие показатели качества включаются в систему ограничений. Фактически соотношение (4) определяет байесовый детерминированный критерий оптимальности. При неопределенности об условиях выбора решений, используют методы теории игр. Такие ситуации выбора проектных решений при создании систем часто называют “играми с природой”. Для принятия решений выбирают наилучшую стратегию, с использованием критерия Вальда, критерия Севиджа, критерия Гурвица, критерия Лапласа и других [5].

2.2 Выбор оптимального варианта системы на основе теории размытых множеств. Этот подход базируется на том, что через априорную неопределенность понятия “наилучший вариант системы” невозможно определить точно. Можно считать, что это понятие представляет собой размытое множество, и для оценки системы могут быть использованы основные положения теории размытых множеств. В общем случае размытое множество G на множестве X задается функцией принадлежности: $\xi_G: X \to [0,1]$, которая сопоставляет с каждым элементом $x \in X$ действительное число ξ_G на интервале $[0,1]$. Это число называется степенью принадлежности элемента x размытому множеству G. Чем оно более близко к 1, тем выше степень принадлежности. Функция $\xi_G(x)$ является обобщением обычной характеристической функции множеств, которая приобретает лишь два значения: 1 - при $x \in G$ і 0 - при $x \notin G$. В случае дискретных множеств используется запись размытого множества как множество пар $G = \{x, \xi_G(x)\}$.

В соответствии с этими основными положениями, каждый показатель качества системы может задаваться в виде размытого множества $k_j = \{k_j, \xi_{kj}(k_j)\}$, где $\xi_{kj}(k_j)$ - функция принадлежности конкретного j -го показателя качества размытому множеству наилучшего значения. Такая запись отдельного показателя качества имеет высокую информативность, поскольку дает представление о физической природе показателя качества, конкретном его значении и ценности относительно наилучшего (экстремального) значения, которое характеризует функция принадлежности. Универсальная форма функции принадлежности, которая может быть использована как скалярная целевая функция, имеет такой вид

$$U(k_1,\ldots,k_m) = \frac{1}{m}\left\{\sum_{j=1}^{m}\left[\xi_{\vec{k}}(k_j)\right]^{\beta}\right\}^{\frac{1}{\beta}}. \tag{5}$$

Преимуществом такой целевой функции является то, что выбором параметра β может быть реализован широкий класс функций от линейной адитивной при условии $\beta = 1$, до сугубо нелинейной при $\beta \to \infty$.

2.3. Выбор оптимального варианта системы при строго упорядоченных по важности показателях качества (лексографический метод). Иногда для заказчика системы по результатам анализа Парето-оптимальных вариантов становится желательным получить как можно большее значение одного из показателей качества, например k_1, даже за счет ухудшения других показателей качества. Это означает, что показатель k_1 является самым важным по сравнению с другими показателями качества.

Возможен также случай, когда весь набор показателей качества $k_1,\ldots, k_m$, строго упорядочен по важности, то есть показатель k_1 более важный, чем показатели $k_2, \ldots, k_m$, показатель k_2 более важный, чем показатели $k_3, k_4,\ldots, k_m$ и т. д.

Этому отвечает ситуация, когда при сравнении систем используется лексикографическое отношение. Приведем определение этого отношения и особенности его использования при выборе единого варианта системы.

Пусть есть два вектора оценок показателей качества $\vec{k}'$, $\vec{k}'' \in V$. Лексикографическое отношение $\vec{k}' \overset{lex}{\succ} \vec{k}''$ имеет место тогда и только тогда, когда выполняется одно из таких условий

$$\begin{aligned} &\vec{k}'_1 > \vec{k}''_1, \\ &\vec{k}'_1 = \vec{k}''_1, \quad \vec{k}'_2 > \vec{k}''_2, \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &\vec{k}'_j = \vec{k}''_j, \quad j = 1, 2\ldots, m-1; \quad \vec{k}'_m > \vec{k}''_m. \end{aligned} \tag{6}$$

Для $m = 1$ лексикографическое отношение совпадает с отношением $>$ на подмножестве действительных чисел. При выполнении отношения $\vec{k}' \overset{lex}{\succ} \vec{k}''$ говорят, что вектор $\vec{k}'$ лексикографически больше, чем вектор $\vec{k}''$.

Если используется лексикографическое отношение при выборе единственного варианта системы, то это означает, что из пары оценок показателей качества (и соответствующих им систем) предпочтение отдается той оценке показателей качества, у которой первая компонента вектора $\vec{k}'$ (то есть оценка показателя качества k_1) больше, независимо от соотношения по другим компонентам вектора $\vec{k}$. Если первые компоненты оценок векторов $\vec{k}'$ и $\vec{k}''$ одинаковые, то предпочтение отдается той оценке, у которой большая вторая компонента вектора $\vec{k}'$ (оценка показателя качества k_2). Следующие компоненты вектора $\vec{k}'$ могут при этом значительно проигрывать соответствующим компонентам вектора $\vec{k}''$.

Аналогичные выводы имеют место при равенстве первых двух компонент, трех компонент и так далее $(m-1)$ компонентам векторов $\vec{k}'$ і $\vec{k}''$. В таких случаях утверждают, что оценки показателей качества системы $k_1(\varphi), k_2(\varphi), \ldots, k_m(\varphi)$ строго упорядоченны по важности.

В определении лексикографического отношения важную роль играет порядок перечисления показателей качества. Изменение нумерации показателей качества приводит к другому лексикографическому отношению.

Кроме упомянутых выше методов построения скалярной целевой функции и выбора единственного варианта из множества Парето-оптимальных, существует и много других методов. Выбор подходящего метода определяется исходными данными и типом конкретной оптимизационной задачи. Но, как бы то ни было, оптимальные варианты системы следует искать среди Парето-оптимальных вариантов. То есть, этап Парето-оптимизации является обязательным при проектировании систем, оптимальных с учетом совокупности показателей качества.

3. Некоторые практические особенности применения рассмотренных методов на примерах выбора оптимальных речевых кодеков с учетом совокупности показателей качества

Для проведения сравнительного анализа речевых кодеков и выбора единственного варианта данные из работы [4]. Это данные о 23 речевых кодеков, описанные совокупностью 5-ти технико–экономическими показателями: скорость кодирования, оценка качества кодирования речи, сложность реализации, размер кадра, суммарная задержка.

Таблица 1

Показатели качества речевых кодеков

№	Кодеки	скорость кодирования, кбит/с	оценка качества кодирования речи, MOS (1-5)	сложность реализации, MIPS	размер кадра, мс	суммарная задержка, мс
1	G 711	64	3,83	11,95	0,125	60
2	G 721	32	4,1	7,2	0,125	30
3	G 722	48	3,83	11,95	0,125	31,5
4	G 722(a)	56	4,5	11,95	0,125	31,5
5	G 722(b)	64	4,13	11,95	0,125	31,5
6	G 723.1(a)	5,3	3,6	16,5	30	37,5
7	G 723.1	6,4	3,9	16,9	30	37,5
8	G 726	24	3,7	9,6	0,125	30
9	G 726(a)	32	4,05	9,6	0,125	30
10	G 726(b)	40	3,9	9,6	0,125	30
11	G 727	24	3,7	9,9	0,125	30
12	G 727(a)	32	4,05	9,9	0,125	30
13	G 727(b)	40	3,9	9,9	0,125	30
14	G 728	16	4	25,5	0,625	30
15	G 729	8	4,05	22,5	10	35
16	G 729a	8	3,95	10,7	10	35
17	G 729b	8	4,05	23,2	10	35
18	G 729ab	8	3,95	11,5	10	35
19	G 729e	8	4,1	30	10	35
20	G 729e(a)	11,8	4,12	30	10	35
21	G 727(c)	16	4	9,9	0,125	30
22	G 728(a)	12,8	4,1	16	0,625	30
23	G 729d	6,4	4	20	10	35

Нетрудно видеть, что эти показатели качества связаны между собой и носят конкурирующий характер.

Временная задержка увеличивается с увеличением размера кадра, а также с увеличением сложности алгоритма кодирования. При передаче речи допустимая задержка в одном направлении не может быть больше 250 мс.

Размер кадра влияет на качество воспроизводимой речи: чем длиннее кадр, тем более эффективно моделируется речь. С другой стороны, большие кадры увеличивают влияние задержки на обработку передаваемой информации.

Размер кадра кодека определяется компромиссом между этими требованиями.

Сложность алгоритма кодирования связана с необходимыми вычислениями в реальном времени. Сложность алгоритма определяет скорость обработки, измеряемую в миллионах инструкций в секунду (Millions of Instructions per second – MIPS). Сложность обработки влияет на физические размеры кодирующего, декодирующего или комбинированного устройства, а также на его стоимость и потребляемую мощность.

Оценка качества кодирования речи с использованием различных кодеков, которая производится с помощью характеристики MOS (Mean Opinion Score), это усредненное совокупное мнение по 5-бальной шкале.

В табл. 2 приведены результаты преобразования исходных значений показателей качества. В частности, выполнены операции нормирования показателей к максимальным значениям $k_{iн} = \frac{k_i}{k_{imax}}$. Затем показатели были преобразованы в сопоставимый вид, чтобы все показатели носили однотипный характер в зависимости от технических характеристик кодеков. В частности, для показателей $k_{3н}$ и $k_{5н}$ выполнены преобразования $k'_{3н} = \frac{1}{k_{3н}}$, $k'_{5н} = \frac{1}{k_{5н}}$.

Таблица 2

Преобразованные значения показателей качества речевых кодеков

№	Кодеки	$K_{1н}$	$K_{2н}$	$K'_{3н}$	$K_{4н}$	$K'_{5н}$
1	G 711	1	0,851	0,604	0,004	0,515
2	G 721	0,5	0,911	1	0,004	1
3	G 722	0,75	0,851	0,604	0,004	0,969
4	G 722(a)	0,875	1	0,604	0,004	0,969
5	G 722(b)	1	0,918	0,604	0,004	0,969
6	G 723.1(a)	0,083	0,8	0,439	1	0,818
7	G 723.1	0,1	0,867	0,424	1	0,818
8	G 726	0,375	0,822	0,748	0,004	1
9	G 726(a)	0,5	0,9	0,748	0,004	1
10	G 726(b)	0,625	0,866	0,748	0,004	1
11	G 727	0,375	0,822	0,727	0,004	1
12	G 727(a)	0,5	0,9	0,727	0,004	1
13	G 727(b)	0,625	0,866	0,727	0,004	1
14	G 728	0,25	0,889	0,281	0,021	1
15	G 729	0,125	0,9	0,317	0,333	0,879
16	G 729a	0,125	0,878	0,669	0,333	0,879
17	G 729b	0,125	0,9	0,309	0,333	0,879
18	G 729ab	0,125	0,878	0,626	0,333	0,879
19	G 729e	0,125	0,911	0,237	0,333	0,879
20	G 729e(a)	0,184	0,915	0,237	0,333	0,879
21	G 727(c)	0,25	0,889	0,727	0,004	1
22	G 728(a)	0,2	0,911	0,453	0,021	1
23	G 729d	0,1	0,889	0,359	0,333	0,879

На основе данных табл. 2, рассмотрены практические особенности применения описанных выше методов выбора единственного проектного решения оптимального по совокупности показателей качества, при учете информации экспертов.

В методе, который основан на введении скалярной функции ценности (4), от экспертов поступает информация о значениях весовых коэффициентов C_i, $i=\overline{1,m}$, характеризующих относительную важность показателей качества. Эти коэффициенты получают в результате специальной обработки мнений группы экспертов.

В табл. 3 приведены значения функции ценности (4) для разных случаев распределения важности показателей качества согласно мнений экспертов. Видно, что при разных выбранных значениях c_i, $i=\overline{1,m}$ экстремальное значение функции ценности (4) получается для одного и того же речевого кодека (соответственно G 722(a) и G 722(a)).

Таблица 3

Практическое применение нахождения оптимального решения с использованием функций ценности

№	Кодеки	Значение функции $U(4)$	
		$c_1=0{,}3$ $c_2=0{,}25$ $c_3=0{,}2$ $c_4=0{,}15$ $c_5=0{,}1$	$c_1=0{,}2$ $c_2=0{,}3$ $c_3=0{,}15$ $c_4=0{,}1$ $c_5=0{,}25$
1	G 711	0,4369	0,32103
2	G 721	0,5584	0,63892
3	G 722	0,4472	0,49952
4	G 722(a)	0,6981	0,77837
5	G 722(b)	0,6246	0,66795
6	G 723.1(a)	0,22888	0,25507
7	G 723.1	0,3247	0,36882
8	G 726	0,3256	0,41158
9	G 726(a)	0,4769	0,57081
10	G 726(b)	0,4707	0,54129
11	G 727	0,3201	0,40745
12	G 727(a)	0,4714	0,56669
13	G 727(b)	0,4652	0,53717
14	G 728	0,2582	0,40663
15	G 729	0,26342	0,37341
16	G 729a	0,3248	0,4055
17	G 729b	0,2613	0,37183
18	G 729ab	0,3135	0,39706
19	G 729e	0,2579	0,37621
20	G 729e(a)	0,2832	0,39603
21	G 727(c)	0,3726	0,49261
22	G 728(a)	0,3175	0,46657
23	G 729d	0,2506	0,35755

В методе выбора, который основан на теории размытых множеств, единственное проектное решение выбирается из условия экстремума скалярной функции (5).

Здесь от экспертов берется информация о значении коэффициента β, определяющей характер изменения этой функции. В табл. 4, для примера, приведены значения данной скалярной функции для двух значений коэффициента β.

Видно, что при этом экстремальное значение функции в зависимости от заданного значения β достигается для одного и того же речевого кодека (соответственно, речевой кодек G 722(b) и G 722(b) при $\beta=2$ и $\beta=3$).

Таблица 4

Практическое применение нахождения оптимального решения на основе теории размытых множеств

№	Кодеки	Значение $U(5)$ для разных β	
		$\beta=2$	$\beta=3$
1	G 711	0,30686	0,25084
2	G 721	0,35099	0,24688
3	G 722	0,32189	0,25886
4	G 722(a)	0,35039	0,28188
5	G 722(b)	0,35476	0,28532
6	G 723.1(a)	0,31677	0,25791
7	G 723.1	0,32314	0,26308
8	G 726	0,30827	0,25309
9	G 726(a)	0,32369	0,26294
10	G 726(b)	0,32863	0,26445
11	G 727	0,30625	0,25165
12	G 727(a)	0,32177	0,26154
13	G 727(b)	0,32675	0,26307
14	G 728	0,27801	0,24056
15	G 729	0,26904	0,22785
16	G 729a	0,29102	0,23837
17	G 729b	0,26866	0,22771
18	G 729ab	0,28717	0,23581
19	G 729e	0,26722	0,22832
20	G 729e(a)	0,26912	0,22898
21	G 727(c)	0,30863	0,25622
22	G 728(a)	0,28813	0,24582
23	G 729d	0,26927	0,22716

Для иллюстрации выбора единственного решения с помощью лексографического метода, в табл. 5 приведены данные по речевым кодекам, которые соответствуют следующему упорядочению по важности показателей качества:

1 – оценка качества кодирования речи;
2 – суммарная задержка;
3 – скорость кодирования;
4 – сложность реализации;
5 – размер кадра.

Таблица 5

Практическое применение нахождения оптимального решения при строго упорядоченных по важности показателей качества

№	Кодеки	$K_{1н}$	$K'_{2н}$	$K_{3н}$	$K'_{4н}$	$K_{5н}$
1	2	3	4	5	6	7
1	G 711	0,851	0,515	1	0,604	0,004
2	G 721	0,911	1	0,5	1	0,004
3	G 722	0,851	0,969	0,75	0,604	0,004
4	G 722(a)	1	0,969	0,875	0,604	0,004
5	G 722(b)	0,918	0,969	1	0,604	0,004
6	G 723.1(a)	0,8	0,818	0,083	0,439	1
7	G 723.1	0,867	0,818	0,1	0,424	1
8	G 726	0,822	1	0,375	0,748	0,004
9	G 726(a)	0,9	1	0,5	0,748	0,004
10	G 726(b)	0,866	1	0,625	0,748	0,004
11	G 727	0,822	1	0,375	0,727	0,004
12	G 727(a)	0,9	1	0,5	0,727	0,004
13	G 727(b)	0,866	1	0,625	0,727	0,004
14	G 728	0,889	1	0,25	0,281	0,021
15	G 729	0,9		0,125	0,317	0,333
16	G 729a	0,878	0,879	0,125	0,669	0,333
17	G 729b	0,9	0,879	0,125	0,309	0,333
18	G 729ab	0,878	0,879	0,125	0,626	0,333
19	G 729e	0,911	0,879	0,125	0,237	0,333
20	G 729e(a)	0,915	0,879	0,184	0,237	0,333
21	G 727(c)	0,889	1	0,25	0,727	0,004
22	G 728(a)	0,911	0,879	0,2	0,453	0,021
23	G 729d	0,889	0,879	0,1	0,359	0,333

Из табл. 5 видно, что согласно лексографического метода по максимуму первой компоненты вектора показателя качества, следует выбрать речевой кодек G 722(a).

В случае другого упорядочивания показателей качества по важности будет выбираться другой кодек.

Выводы

1. В данной статье рассмотрены теоретические и практические аспекты применения разных методов выбора единственного проектного решения с учетом совокупности показателей качества, при учете дополнительной информации, получаемой от экспертов.

2. Приведены иллюстрации применения методов выбора из 23 речевых кодеков серии «G» с учетом 5-ти показателей качества: скорость кодирования, оценка качества кодирования речи, сложность реализации, размер кадра, суммарная задержка.

3. Показано, что выбор оптимального речевого кодека зависит как от значений показателей качества, так и от дополнительной информации получаемой от экспертов – опытных проектировщиков.

4. Результаты данной работы могут быть использованы при проектировании сетей IP-телефонии, в частности при выборе оптимального речевого кодека.

Литература

1. Ногин В.Д., Протодьяконов И.О., Евлампиев И.И. Основы теории оптимизации. – М.: Высшая школа, 1986.
2. Березовский Б.А., Барышников Ю.М., Борзенко В.И., Кепнер Л.М. Многокритериальная оптимизация. Математические аспекты. – М.: Наука, 1986.
3. Безрук В.М. Векторна оптимізація та статистичне моделювання в автоматизованому проектуванні систем зв'язку. – Харків: ХНУРЕ, 2002.
4. Семенов Ю.В. Проектирование сетей святи следующего поколения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
5. Иваненко В.И., Лабровский В.А. Проблема неопределенности в задачах принятия решений. – К.: Наукова думка, 1990.