

№ 2 (82) март-апрель 2014

Издается с 2002 года. Выходит 6 раз в год

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Государственный университет —
учебно-научно-производственный комплекс» (Госуниверситет – УНПК)

Редакционный совет

Голенков В.А., председатель
Радченко С.Ю., заместитель председателя
Борзенков М.И., секретарь

Астафичев П.А., Иванова Т.Н., Киричек А.В.,
Колчунов В.И., Константинов И.С.,
Новиков А.Н., Попова Л.В., Степанов Ю.С.

Главный редактор

Константинов И.С.

Редколлегия

Архипов О.П. (Орел, Россия)
Аверченков В.И. (Брянск, Россия)
Бок Т. (Мюнхен, Федеративная Республика Германия)
Гайндрик К. (Кишинев, Молдова)
Долгий А. (Сент-Этьен, Франция)
Еременко В.Т. (Орел, Россия)
Иванников А.Д. (Москва, Россия)
Ипатов О.С. (Санкт-Петербург, Россия)
Колоколов Ю.В. (Ханты-Мансийск, Россия)
Коськин А.В. (Орел, Россия)
Маркарян Г. (Ланкастер, Великобритания)
Подмастерьев К.В. (Орел, Россия)
Поляков А.А. (Москва, Россия)
Распопов В.Я. (Тула, Россия)

Сдано в набор 15.02.2014 г.
Подписано в печать 26.02.2014 г.
Формат 60х88 1/8.

Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.
Заказ № 145/14П1

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической ба
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65

Подписной индекс 15998
по объединенному каталогу

«Пресса России»

Материалы статей печатаются в авторской редакции.
Право использования произведений предоставлено
авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части
ГК РФ.

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий, определенных ВАК для
публикации трудов на соискание ученых степеней
кандидатов и докторов наук.

Рубрики номера

1. Математическое и компьютерное
моделирование.....5-27
2. Информационные технологии
в социально-экономических
и организационно-технических
системах28-44
3. Автоматизация и управление
технологическими процессами и
производствами.....45-57
4. Математическое и программное обеспечение
вычислительной техники и
автоматизированных систем.....58-77
5. Телекоммуникационные системы
и компьютерные сети.....78-118
6. Информационная безопасность и защита
информации.....119-128

Редакция

О.И. Константинова
К.Д. Оболенская
А.А. Митин

Адрес учредителя журнала

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 42-00-24; www.gu-unpk.ru;
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40
(4862) 43-40-39; www.gu-unpk.ru;
E-mail: isit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере
связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций.
Св-во о регистрации средства массовой
информации ПИ № ФС77-47350 от 03.11.2011 г.

©Госуниверситет – УНПК, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Д.Ю. АКАТЬЕВ

Информационная система распознавания речи в задачах обучения языку и постановки произношения.....5-11

А.В. САВЧЕНКО

Сегментация речи на основе вероятностной нейронной сети с проверкой однородности.....12-18

А.В. КОСЬКИН, А.Ю. УЖАРИНСКИЙ

Методика формирования интегрирующей модели данных на основе имеющихся разнородных источников данных.....19-27

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Я. БАНАСИКОВСКА

Основные услуги электронного правительства, рекомендуемые европейским союзом, и методика определения уровня их зрелости.....28-36

Е.С. МОЛЧАНОВА, Н.А. БЫЧКОВ, С.П. ЧЕРНЯЕВ

Зарубежный опыт сбора и обработки информации по вредным и опасным производственным факторам в системе информационного обеспечения охраны труда.....37-44

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

В.А. ДУНАЕВ, О.В. ТАРАКАНОВ

Особенности управления параметрами репликации распределенной базы данных предприятия горнопромышленного комплекса.....45-52

В.А. ЯГУПОВ

Методика выбора компонентов комплекса средств автоматизации на объекте хранения газа.....53-57

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

С.И. МАТЮХИН, Г.Р. МАКУЛЕВСКИЙ, О.В. ДЕЕВ

Современное программное обеспечение для моделирования в электронике.....58-71

И.Ю. ПАРАМОНОВ, В.А. СМАГИН

Расчет оптимального числа и результативности действия центров сбора и обработки информации.....72-77

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

К.А. БАТЕНКОВ

Подходы к решению задачи оптимального дискретного отображения непрерывного канала связи на основе обобщенной штрафной функции.....78-83

В.М. БЕЗРУК, Ю.В. СКОРИК, О.Г. ЛЕБЕДЕВ, В.В. ЛОМАКИН, М.В. ЛИФИРЕНКО

Выбор оптимальных речевых кодеков на основе методологии многокритериальной оптимизации.....84-92

А.В. ЕРЕМЕНКО, Д.С. МИШИН, А.Н. ОСИПОВ, Н.И. ПЕНЬКОВ, А.Г. ПОЛЯКОВА, С.Н. ИВАНОВА

Анализ технических решений по построению модульных структур сбора и обработки данных газотранспортных предприятий.....93-100

В.Ф. МАКАРОВ, Н.А. РОГОВА

Передача информации в компьютерных технологиях на основе ортогональных сигналов.....101-109

А.Н. СЕКРЕТЕВ, В.А. ШПЕНСТ

Разработка метода маршрутизации для беспроводных децентрализованных сетей на основе оптимизации пропускной способности в «узких местах».....110-118

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

Ю.Г. ДАНИК, В.И. ШЕСТАКОВ, С.В. ЧЕРНЫШУК

Подход к классификации кибернетических угроз.....119-128

УДК 338.984:519.6

В.М. БЕЗРУК, Ю.В. СКОРИК, О.Г. ЛЕБЕДЕВ,
В.В. ЛОМАКИН, М.В. ЛИФИРЕНКО

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЧЕВЫХ КОДЕКОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В данной статье представлена методология выбора речевых кодеков на основе многокритериальной оптимизации. Были описаны критерии оптимизации выбора речевых кодеков. На основе критериев найдено подмножество Парето-оптимальных вариантов речевых кодеков. Показано применение многокритериального метода принятия решения – метода анализа иерархий с использованием алгоритма оценки и повышения степени согласованности матриц парных сравнений. Результаты работы могут быть использованы при проектировании сетей IP-телефонии.

Ключевые слова: речевые кодеки; принятие решений; многокритериальная оптимизация; Парето-оптимальность.

ВВЕДЕНИЕ

При создании сетей IP-телефонии возникает необходимость выбора речевых кодеков, оптимальных с учетом совокупности показателей качества [1]. Учитывая, что показатели качества речевых кодеков зависимы и противоречивы между собой, при выборе оптимальных проектных вариантов существует необходимость применения методов многокритериальной оптимизации. Формальное решение задачи многокритериальной оптимизации систем сводится к нахождению некоторого подмножества недоминируемых, то есть Парето-оптимальных вариантов систем [2-4]. В случае, когда для последующих этапов проектирования должен быть выбран единственный вариант системы, возникает необходимость сужения подмножества Парето-оптимальных вариантов до единственного проектного решения с привлечением некоторой дополнительной информации [4, 5].

В данной статье рассмотрены теоретические и практические особенности применения методологии многокритериальной оптимизации проектных решений [4] для многокритериального выбора оптимальных речевых кодеков с учетом совокупности показателей качества. При этом находится подмножество Парето-оптимальных вариантов речевых кодеков. Сужение подмножества Парето до единственного варианта речевого кодека выполнено на основе метода анализа иерархий Саати [5].

МЕТОДОЛОГИЯ НАХОЖДЕНИЯ ПОДМНОЖЕСТВА ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ СИСТЕМЫ

На начальных этапах проектирования из-за априорной неопределенности, как правило, не удастся в формализованном виде задать скалярный критерий оптимальности системы, который приводит к выбору единственного проектного варианта системы $\phi^{(n)} = \arg \max_{\phi \in \Phi_0} [U(\phi)]$ из множества допустимых вариантов Φ_0 . Поэтому систему $\phi \in \Phi_0$ характеризуют совокупностью показателей качества и связанной с ними векторной целевой функцией

$$\vec{k}(\phi) = (k_1(\phi), \dots, k_i(\phi), \dots, k_n(\phi)), \quad (1)$$

заданной на множестве Φ_0 .

Показатели качества системы обычно являются зависимыми и противоречивыми между собой. При этом возникают задачи оптимизации проектных решений по совокупности показателей качества. Эти задачи также называются задачами многокритериальной либо векторной оптимизации [2, 3]. В результате решения таких задач находится в общем случае не один вариант, а некоторое подмножество Парето-оптимальных вариантов системы, которые являются недоминируемыми по безусловному критерию предпочтению.

Парето-оптимальные варианты системы могут быть найдены либо непосредственно на множестве Φ_δ с применением введенных бинарных отношений строгого предпочтения, либо в пространстве векторных оценок показателей качества (1), которое также называется критериальным пространством:

$$V = \tilde{K}(\Phi_\delta) = \{ \vec{v} \in R^m | \vec{v} = (k_1(\phi), k_2(\phi), \dots, k_n(\phi)), \phi \in \Phi_\delta \}. \quad (2)$$

При этом достигается согласованный оптимум целевых функций (1), который называется также оптимумом по критерию Парето. Он означает, что достигаются потенциально возможные значения каждого из показателей качества системы при фиксированных значениях других показателей качества сети. Дальнейшее улучшение каждого из показателей качества может быть достигнуто лишь за счет ухудшения значений других показателей качества.

Выделение подмножества Парето-оптимальных вариантов систем в критериальном пространстве сводится к нахождению подмножества соответствующих им недоминируемых по бинарному отношению $\geq$ векторных оценок $\vec{k}(\phi^o) \in V^o = \text{opt}_2 V$ [2-4]:

$$\text{opt}_2 V = \{ \vec{k}(\phi^o) \in V^o | \forall \vec{k}(\phi) \in V : \vec{k}(\phi) \geq \vec{k}(\phi^o) \}. \quad (3)$$

Процедура выбора оптимальных по критерию Парето векторных оценок и соответствующих им недоминируемых вариантов систем, согласно (3), означает, что векторная оценка $\vec{k}(\phi^o)$ включается в подмножество Парето, если не существует других оценок $\vec{k}(\phi)$, для которых было бы справедливо бинарное отношение $\vec{k}(\phi) \geq \vec{k}(\phi^o)$. После выбора Парето-оптимальных вариантов системы остальные варианты системы являются, безусловно, худшими и исключаются из дальнейшего рассмотрения.

Нахождение Парето-оптимальных вариантов системы может производиться либо непосредственно, согласно (3), путем сравнения всех допустимых вариантов системы Φ_δ , либо с использованием специальных методов, например, весового метода, метода рабочих характеристик, метода последовательных уступок и др. [4].

В ряде случаев, когда для последующих этапов проектирования должен быть выбран единственный вариант системы, возникает необходимость сужения подмножества Парето-оптимальных вариантов до единственного проектного варианта системы с привлечением некоторой дополнительной информации. Существуют разные методы сужения подмножества Парето до единственного варианта: на основе применения функций ценности, на основе теории размытых множеств, на основе лексографических отношений, на основе метода анализа иерархий Саати и др. [4, 5].

Рассмотрим практические особенности нахождения Парето-оптимальных вариантов и выбор единственного варианта из подмножества Парето на примере многокритериального выбора речевых кодеков, который имеет место при проектировании сетей IP-телефонии.

НАХОЖДЕНИЕ ПОДМНОЖЕСТВА ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЧЕВЫХ КОДЕКОВ С УЧЕТОМ СОВОКУПНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

Для проведения сравнительного анализа речевых кодеков и выбора оптимального варианта кодека с учетом совокупности показателей качества использовались данные о 23 речевых кодеках, которые характеризуются пятью показателями качества: k_1 – скорость кодирования, k_2 – оценка качества кодирования речи, k_3 – сложность реализации, k_4 – размер кадра, k_5 – суммарная задержка [1]. Нетрудно видеть, что показатели качества речевых кодеков связаны и противоречивы между собой. Проанализируем эти показатели качества.

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-балльной шкале.

В таблице 1 приведены результаты преобразования исходных значений показателей качества речевых кодеков. В частности, выполнены операции нормирования показателей к максимальным значениям $k_{in} = \frac{k_i}{k_{i,max}}$. Затем показатели были преобразованы в сопоставимый вид, чтобы все показатели носили однотипный характер в зависимости от технических характеристик кодеков. В частности, для показателей k_3 и k_5 выполнены преобразования:

$$k'_{3n} = \frac{1}{k_{3n}}, \quad k'_{5n} = \frac{1}{k_{5n}}.$$

На основе полученных данных в критериальном пространстве векторных оценок из исходного множества 23 вариантов речевых кодеков выделено, согласно (3), подмножество Парето-оптимальных, которое включает 12 вариантов речевых кодеков (в таблице 1 они отмечены знаком +).

Таблица 1 – Выбор Парето-оптимальных вариантов речевых кодеков

№ кодека	Тип кодека	k_{1n}	k_{2n}	k_{3n}	k_{4n}	k_{5n}	Парето-оптимальные варианты (+)
K1	G 711	1	0,851	0,604	0,004	0,515	-
K2	G 721	0,5	0,911	1	0,004	1	+
K3	G 722	0,75	0,851	0,604	0,004	0,969	-
K4	G 722a	0,875	1	0,604	0,004	0,969	+
K5	G 722b	1	0,918	0,604	0,004	0,969	+
K6	G 723.1a	0,083	0,8	0,439	1	0,818	+
K7	G 723.1	0,1	0,867	0,424	1	0,818	+
K8	G 726	0,375	0,822	0,748	0,004	1	-
K9	G 726a	0,5	0,9	0,748	0,004	1	-
K10	G 726b	0,625	0,866	0,748	0,004	1	+
K11	G 727	0,375	0,822	0,727	0,004	1	-
K12	G 727a	0,5	0,9	0,727	0,004	1	-
K13	G 727b	0,625	0,866	0,727	0,004	1	-
K14	G 728	0,25	0,889	0,281	0,021	1	+
K15	G 729	0,125	0,9	0,317	0,333	0,879	+
K16	G 729a	0,125	0,878	0,669	0,333	0,879	+
K17	G 729b	0,125	0,9	0,309	0,333	0,879	-
K18	G 729ab	0,125	0,878	0,626	0,333	0,879	-
K19	G 729e	0,125	0,911	0,237	0,333	0,879	-
K20	G 729ea	0,184	0,915	0,237	0,333	0,879	+

K21	G 727c	0,25	0,889	0,727	0,004	1	-
K22	G 728a	0,2	0,911	0,453	0,021	1	+
K23	G 729d	0,1	0,889	0,359	0,333	0,879	+

ВЫБОР ЕДИНСТВЕННОГО РЕЧЕВОГО КОДЕКА ИЗ ПОДМНОЖЕСТВА ПАРЕТО МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Метод анализа иерархий состоит в декомпозиции проблемы выбора единственного варианта системы на простые составляющие части, получение численных данных суждений экспертов по парным сравнениям различных элементов проблемы выбора. В результате обработки полученных данных получаются оценки компонент вектора глобальных приоритетов, характеризующие приоритетность сравниваемых вариантов системы [5].

Для случая выбора единственного варианта речевого кодека из подмножества Парето-оптимальных принцип декомпозиции предусматривает структурирование проблемы выбора в виде иерархии, которая включает три уровня: уровень 1 – цель выбора (проблема), уровень 2 – показатели качества (критерии), уровень 3 – варианты речевых кодеков (альтернативы). Построение иерархии было произведено в системе поддержки принятия решений (СППР) «Решение» [8] (рис. 1).

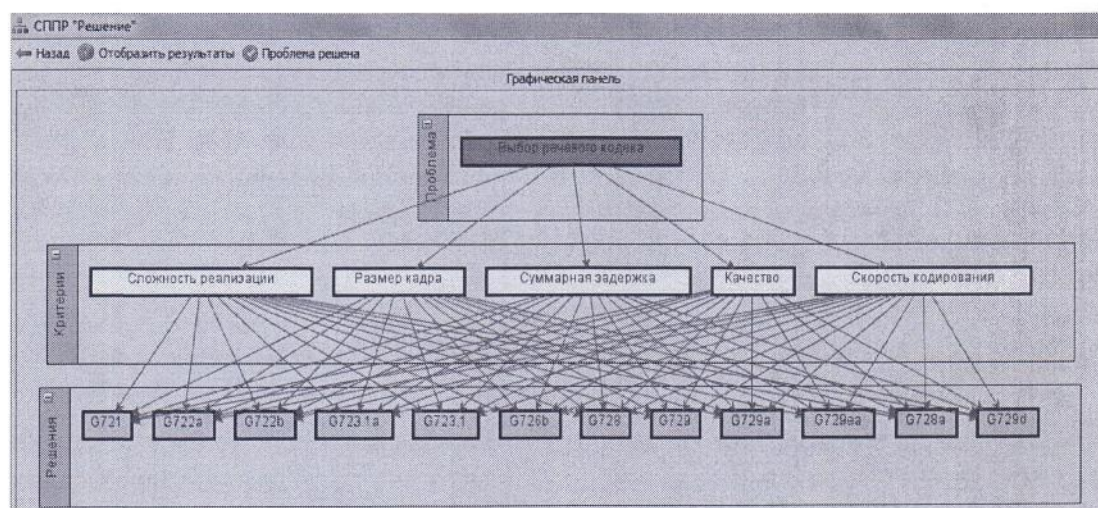


Рисунок 1 – Декомпозиция задачи выбора с помощью иерархии сравнения кодеков в СППР «Решение»

Для получения вектора глобальных приоритетов сравниваемых вариантов речевых кодеков с привлечением суждений опытных экспертов на каждом уровне иерархии формируется и выполняется обработка матриц парных сравнений альтернатив. Основные вычислительные процедуры при обработке матрицы парных сравнений определяются соотношениями [5]:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $\frac{w_i}{w_j} = a_{ij}$ – числовые оценки парных сравнений показателей качества.

$$V_i = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n \frac{w_i}{w_k}}, \quad (5)$$

$$P_i = \frac{V_i}{S}, \quad (6)$$

где $S = \sum_{i=1}^n V_i$; V_i – значения главного собственного вектора матрицы, P_i – приоритеты сравниваемых элементов.

Согласно (5), компоненты главного собственного вектора матрицы парных сравнений вычисляются как среднее геометрическое значение в строке матрицы парных сравнений, а компоненты вектора приоритетов, согласно (6), вычисляются как нормированные значения компонент главного собственного вектора.

Рассмотрен пример выбора единственного варианта речевого кодека из подмножества Парето-оптимальных речевых кодеков, приведенных в таблице 1. Построена матрица парных сравнений для совокупности показателей качества (т.е. на втором уровне иерархии). Для заполнения этой таблицы с помощью опытного эксперта выполнены парные сравнения важности показателей качества речевых кодеков. Диагональ этой матрицы заполнена значениями «1», а элементы матрицы, лежащие ниже диагонали, заполнены обратными значениями. Результаты вычисления значений компонент вектора приоритетов показателей качества, согласно (5) и (6), приведены на рисунке 2.

	1.	2.	3.	4.	5.	Приоритеты
1. Сложность реализации	1	3	5	1/3	1/3	0,154
2. Размер кадра	1/3	1	3	1/5	1/5	0,073
3. Суммарная задержка	1/5	1/3	1	1/7	1/7	0,037
4. Качество	3	5	7	1	1/4	0,268
5. Скорость кодирования	3	5	7	4	1	0,467

СЗ: 5,492 ИС: 0,123 ОС: 0,145

* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения

Рисунок 2 – Матрица парных сравнений показателей качества и результаты вычисления компонент вектора приоритетов в СППР «Решение»

Далее выполнены парные сравнения альтернатив на третьем уровне иерархии. В частности, выполнены парные сравнения речевых кодеков по отношению к выбранным показателям качества: скорости кодирования, качеству кодирования речи, сложности реализации, размеру кадра, суммарной задержке. В результате обработки полученных матриц парных сравнений вычислены, согласно (5) и (6), компоненты соответствующих собственных векторов и векторов приоритетов. Для примера на рисунке 3 приведена матрица парных сравнений речевых кодеков по отношению к сложности реализации, а также вычисленные компоненты главного собственного вектора $\vec{V}$ и соответствующего вектора приоритетов речевых кодеков $\vec{O}_3$.

Сравнение решений по критерию "Сложность реализации"													Приоритеты
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
1. G721	1	5	5	7	7	3	7	9	5	9	5	7	0,249
2. G722a	1/5	1	1/4	5	7	1/5	9	7	1/5	9	5	7	0,088
3. G722b	1/5	4	1	5	5	1/5	7	7	1/5	9	5	7	0,106
4. G723.1a	1/7	1/5	1/5	1	3	1/7	7	5	1/7	7	3	5	0,049
5. G723.1	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1/7	7	5	1/7	5	3	7	0,040
6. G726b	1/3	5	5	7	7	1	9	9	3	9	7	7	0,209
7. G728	1/7	1/9	1/7	1/7	1/7	1/9	1	1/7	1/9	3	1/7	1/5	0,010
8. G729	1/9	1/7	1/7	1/5	1/5	1/9	7	1	1/7	5	1/7	1/5	0,016
9. G729a	1/5	5	5	7	7	1/3	9	7	1	9	7	9	0,167
10. G729ea	1/9	1/9	1/9	1/7	1/5	1/9	1/3	1/5	1/9	1	1/9	1/7	0,008
11. G728a	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/7	7	7	1/7	9	1	5	0,037
12. G729d	1/7	1/7	1/7	1/5	1/7	1/7	5	5	1/9	7	1/5	1	0,021

СЗ: 15,402 ИС: 0,309 ОС: 0,206

* Для сравнения критериев двойной
клик на ячейке матрицы сравнения

OK Cancel Корректировка

Рисунок 3 – Матрица парных сравнений речевых кодеков по отношению к сложности реализации и результаты вычисления компонент вектора приоритетов речевых кодеков в СППР «Решение»

При проведении процедуры сравнения кодеков возникают трудности, связанные с низкой степенью согласованности суждений. Если подмножество Парето состоит из достаточно большого количества элементов, то матрицы парных сравнений имеют большую размерность. Например, на рисунке 3 матрица парных сравнений имеет размерность 12, после заполнения её экспертом значение отношения согласованности равно 20,6%, что превышает рекомендуемое значение 10% [6]. Определим, возможно ли получение матрицы парных сравнений с приемлемым значением ОС при сохранении упорядочения элементов, полученного на основании экспертных данных (рис. 3).

Для осуществления данной процедуры и повышения степени согласованности парных сравнений применяется алгоритм корректирования матрицы парных сравнений, основанный на получении коэффициентов зависимости парных сравнений друг от друга [7]. Данный алгоритм предполагает вычисление коэффициентов зависимости парных сравнений, которые могут быть использованы в качестве индикаторов наиболее несогласованных парных сравнений с другими. Использование данного алгоритма гарантирует корректные результаты сравнения кодеков, в качестве лучшего будет выбран оптимальный по предложенным критериям. Корректировка элементов парных сравнений была произведена в СППР «Решение», где реализован данный алгоритм. Установлено, что после применения корректировки ОС снизилось до допустимых пределов, при этом результаты вычисления остались примерно такими же, как и до корректировки.

Аналогично вычислены компоненты векторов приоритетов $\vec{O}_i$ по отношению к скорости кодирования, к задержке при кодировании, к размеру кадра, к качеству кодирования речи. Компоненты этих векторов приведены в виде соответствующих столбцов в таблице 2. В этой таблице в нижней строке также приведены полученные ранее (рис. 2) компоненты вектора приоритетов показателей качества $\vec{P}$. С использованием этих данных вычислены значения компонент вектора глобальных приоритетов $\vec{C}$, согласно соотношению

$$C_j = \sum_{i=1}^5 P_i Q_{ij}, \quad j = \overline{1,12}. \quad (7)$$

Вычисленные значения компонент вектора глобальных приоритетов $\vec{C}$ приведены в последнем столбце таблицы 2.

Таблица 2 – Результаты вычисления компонент вектора глобальных приоритетов речевых кодеков

Типы кодеков	Компоненты векторов приоритетов речевых кодеков по отношению к показателям качества $\vec{O}_i, i = \overline{1,5}$					Компоненты вектора глобальных приоритетов $\vec{C}$
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	
G 721	0,26	0,13	0,25	0,02	0,21	0,2
G 722a	0,02	0,24	0,09	0,01	0,09	0,09
G 722b	0,01	0,15	0,11	0,01	0,09	0,07
G 723.1a	0,03	0,01	0,05	0,23	0,01	0,04
G 723.1	0,04	0,03	0,04	0,26	0,01	0,05
G 726b	0,02	0,02	0,21	0,02	0,15	0,06
G 728	0,22	0,05	0,01	0,04	0,17	0,13
G 729	0,06	0,08	0,02	0,11	0,05	0,06
G 729a	0,06	0,03	0,17	0,09	0,02	0,07
G 729ea	0,01	0,09	0,01	0,08	0,04	0,08
G 728a	0,12	0,11	0,04	0,03	0,12	0,1
G 729d	0,05	0,06	0,02	0,1	0,04	0,05
Компоненты вектора $\vec{P}$	0,47	0,27	0,15	0,07	0,04	

Согласно методу Саати, единственный вариант речевого кодека из подмножества Парето-оптимальных выбирается по максимальному значению соответствующей компоненты вектора глобальных приоритетов $\vec{C}$. В данном случае таким кодеком оказался речевой кодек G.721, который характеризуется следующими показателями качества: скорость кодирования – 32 кбит/с, качество кодирования речи – 4,1, сложность реализации – 7,2 MIPS, размер кадра – 0,125 мс, суммарная задержка – 30 мс.

ВЫВОДЫ

Рассмотрены теоретические и практические аспекты применения методологии многокритериальной оптимизации для выбора проектных решений, оптимальных по совокупности зависимых и противоречивых между собой показателей качества. Вначале из множества допустимых вариантов системы выделяется подмножество Парето-оптимальных решений, которые являются недоминируемыми вариантами системы по безусловному критерию предпочтения. Остальные варианты системы являются, безусловно, худшими и исключаются из дальнейшего рассмотрения. Затем подмножество Парето сужается до единственного варианта речевого кодека с применением метода анализа иерархий Саати в СППР «Решение».

Приведен пример применения методологии многокритериальной оптимизации на основе СППР «Решение» для многокритериального выбора оптимальных речевых кодеков серии «G» с учетом пяти показателей качества: скорости кодирования, оценки качества кодирования речи, сложности реализации, размера кадра, суммарной задержки.

Результаты данной работы могут быть использованы при проектировании сетей IP-телефонии, в частности, для выбора оптимальных речевых кодеков с учетом совокупности показателей качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семёнов Ю.В. Проектирование сетей связи следующего поколения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 236 с.
2. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 176 с.
3. Березовский Б.А. Многокритериальная оптимизация. Математические аспекты / Б.А. Березовский, Ю.М. Барышников, В.И. Борзенко, Л.М. Кепнер. – М.: Наука, 1986. – 254 с.
4. Чеботарёва Д.В., Безрук В.М. Многокритериальная оптимизация проектных решений при планировании сотовых сетей мобильной связи. – Х.: Компания СМИТ, 2013. – 148 с.
5. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
7. Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов // Фундаментальные исследования, 2013. – № 11. – С.1798-1803.
8. Лифиренко М.В., Ломакин В.В. Система поддержки принятия управленческих решений на основе усовершенствованного аналитико-иерархического процесса // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013616249 от 02.07.2013 г.

Безрук Валерий Михайлович

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сетей связи
E-mail: valeriy_bezruk@ukr.net

Скорик Юлия Валерьевна

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков
Аспирантка кафедры сетей связи
E-mail: skorik_y@list.ru

Лебедев Олег Григорьевич

Харьковский университет воздушных сил, г. Харьков
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Ломакин Владимир Васильевич

Белгородский национальный государственный исследовательский университет, г. Белгород
Кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационного менеджмента
E-mail: Lomakin@bsu.edu.ru

Лифиренко Максим Вячеславович

Белгородский национальный государственный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры информационного менеджмента
E-mail: Lifirenko@bsu.edu.ru

V.M. BEZRUK (*Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Networks*)

Yu.V. SKORIK (*Post-graduate Student of the Department of Networks*)
National University of Radionics, Xar'kov

O.G. LEBEDEV (*Candidate of Engineering Science, Senior Researcher*)
University of Air Force, Xar'kov

V.V. LOMAKIN (*Candidate of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Information Management*)

M.V. LIFIRENKO (Post-graduate Student of the Department of Information Management)
National Research University, Belgorod

OPTIMAL VOICE CODEC SELECTION BASED ON MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION METHODOLOGY

In the article methodology of voice codec selection based on multiobjective optimization is presented. Optimization criteria of voice codec selection are described. Subset of Pareto-optimal voice codec variants was found using those criteria. Application of multiobjective decision-making method – analytic hierarchy method using algorithm of analysis and coordination of pair comparison matrix is showed. Work products can be used at IP-telephony network design.

Keywords: voice codecs; decision making; multiobjective optimization; Pareto-optimality.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Semyonov Yu.V. Proektirovanie setej svyazi sleduyushhego pokoleniya. – SPb.: BXV-Peterburg, 2005. – 236 s.
2. Nogin V.D. Prinyatie reshenij v mnogokriterial'noj srede: kolichestvenny'j podxod. – M.: FIZMATLIT, 2002. – 176 s.
3. Berezovskij B.A. Mnogokriterial'naya optimizaciya. Matematicheskie aspekty' / B.A. Berezovskij, Yu.M. Bary'shnikov, V.I. Borzenko, L.M. Kepner. – M.: Nauka, 1986. – 254 s.
4. Chebotaryova D.V., Bezruk V.M. Mnogokriterial'naya optimizaciya proektny'x reshenij pri planirovanii soto'vy'x setej mobil'noj svyazi. – X.: Kompaniya SMIT, 2013. – 148 s.
5. Saati T., Kerns K. Analiticheskoe planirovanie. Organizaciya sistem. – M.: Radio i svyaz', 1991. – 224 s.
6. Saati T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij. – M.: Radio i svyaz', 1993. – 278 s.
7. Lomakin V.V., Lifirenko M.V. Algoritm povy'sheniya stepeni soglasovannosti matricy' parny'x sravnenij pri provedenii e'kspertny'x oprosov // Fundamental'ny'e issledovaniya, 2013. – № 11. – S.1798-1803.
8. Lifirenko M.V., Lomakin V.V. Sistema podderzhki prinyatiya upravlencheskix reshenij na osnove usovershenstvovannogo analitiko-ierarxicheskogo processa // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy' dlya E'VM №2013616249 ot 02.07.2013 g.