

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЧЕВЫХ КОДЕКОВ ДЛЯ СЕТЕЙ IP-ТЕЛЕФОНИИ С УЧЕТОМ СОВОКУПНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

Введение

Начальные этапы проектирования сложных систем базируются на системном подходе, при котором учитываются всесторонние, как правило, противоречивые требования к проектируемой системе. Раньше при проектировании систем ограничивались выбором строго допустимых систем. С усложнением и увеличением стоимости проектируемых систем актуальным является нахождение оптимальных вариантов систем. Для выбора оптимальных вариантов системы следует задать критерий оптимальности – критерий предпочтения одного варианта системы над другим. Как правило, при этом необходимо учитывать совокупность показателей качества системы. Здесь возникает непростая задача «аппроксимации» функции выбора оптимальных вариантов системы, которая имеется в воображении заказчика системы (лица, принимающего решения (ЛПР)), некоторой другой функцией выбора, которую можно можно представить в виде формализованного критерия оптимальности с использованием строгих математических методов [1 – 3].

В частности, при проектировании сетей IP-телефонии возникает необходимость выбора оптимальных речевых кодеков с учетом совокупности показателей качества [4]. Поскольку технико-экономические показатели речевых кодеков связаны между собой и антагонистичны, при этом должны применяться методы многокритериальной оптимизации. Формальное решение задач многокритериальной оптимизации сводится к нахождению некоторого подмножества компромисных, то есть Парето-оптимальных вариантов системы [1, 2]. В этом случае достигается компромис, то есть согласованный по критерию Парето оптимум, введенных показателей качества системы. Такой оптимум означает, что дальнейшее улучшение каждого из показателей может быть достигнуто лишь за счет ухудшения других показателей качества системы. Так как для последующих этапов проектирования должен быть выбран единственный вариант системы, возникает необходимость формализованного сужения подмножества Парето-оптимальных решений до единственного варианта системы с привлечением дополнительной субъективной информации от эксперта – лица, принимающего решения.

В данной статье рассмотрены теоретические и практические особенности применения методов многокритериальной оптимизации, подробно изложенных в работе [3], для выбора оптимальных речевых кодеков с учетом совокупности показателей качества. Приводится пример, иллюстрирующий нахождение подмножества Парето-оптимальных вариантов речевых кодеков и последующего выбора единственного варианта кодека.

Особенности выделения подмножества Парето-оптимальных решений и его сужения до единственного проектного варианта системы

При выборе критерия оптимальности системы существуют ординалистический и кардиналистический подходы [1, 2]. Ординалистический подход апеллирует к порядку (лучше-хуже) и основан на введении некоторых бинарных отношений на множестве допустимых альтернатив $\phi \in \Phi_{\partial}$. Решение $\phi^{(o)} \in \Phi_{\partial}$ называется оптимальным по отношению строгого предпочтения \succ , если не существует других решений $\phi \in \Phi_{\partial}$, для которых справедливо бинарное отношение $\phi \succ \phi^{(o)}$. Множество всех оптимальных решений по отношению \succ обозначается через $opt_{\succ} \Phi_{\partial}$. Кардиналистический подход к описанию предпочтений приписывает каждой альтернативе $\phi \in \Phi_{\partial}$ некоторое числовое значение функции $U(\bullet)$, определяющей полезность альтернативы ϕ . Каждая функция полезности определяет соответствующий по-

рядок (или предпочтение) R на множестве Φ_∂ ($(\phi'R\phi'')$) тогда и только тогда, когда $U(\phi') \geq U(\phi'')$. В этом случае говорят, что функция полезности $U(\bullet)$ является индикатором предпочтения R .

В ряде случаев из-за недостаточных априорных представлений об оптимальности системы не удается в формализованном виде задать скалярный критерий оптимальности, приводящий к выбору единственного решения $\phi^{(o)} = \underset{\phi \in \Phi_\partial}{opt} [U(\phi)]$. Поэтому на начальных этапах

проектирования систему $\phi \in \Phi_\partial$ характеризуют совокупностью показателей качества и связанной с ними векторной целевой функцией

$$\bar{k}(\phi) = (k_1(\phi), \dots, k_m(\phi)). \quad (1)$$

При этом возникают задачи оптимизации проектных решений по совокупности показателей качества. Эти задачи также называются задачами многокритериальной либо векторной оптимизации [2]. В результате находится не один вариант, а некоторое подмножество компромиссных (Парето-оптимальных) вариантов сети, не доминируемых по введенному отношению строгого предпочтения.

Парето-оптимальные решения могут быть найдены непосредственно на множестве Φ_∂ с применением введенных бинарных отношений предпочтения \succ . Наряду с этим подмножество Парето-оптимальных вариантов системы может быть найдено также и в пространстве оценок показателей качества (1), которое называется критериальным пространством

$$V = \bar{K}(\Phi_\partial) = \{\bar{v} \in R^m \mid \bar{v} = (k_1(\phi), k_2(\phi), \dots, k_m(\phi)), \phi \in \Phi_\partial\}. \quad (2)$$

Следует отметить, что показатели качества (целевые функции) могут быть трех типов: нейтральными, согласованными между собой и антагонистическими (конкурировать между собой). В первых двух случаях оптимизация сети может осуществляться в отдельности по каждому из показателей качества. В третьем случае достигнуть потенциально наилучшего значения каждого из показателей в отдельности не представляется возможным. Может быть достигнут лишь согласованный оптимум целевых функций (1), который называется также оптимумом по критерию Парето. Он означает, что достигается потенциально возможное значение каждого из показателей качества, которое может быть достигнуто при фиксированных значениях других показателей качества сети. При этом дальнейшее улучшение каждого из показателей качества может быть достигнуто лишь за счет ухудшения других показателей качества.

Согласованный оптимум показателей качества определяется нахождением подмножества Парето-оптимальных оценок V^o , не доминируемых по бинарному отношению нестрогого предпочтения \geq [2]

$$opt_{\geq} V = \{\bar{k}(\phi^o) \in V^o \mid \forall \bar{k}(\phi) \in V : \bar{k}(\phi) \geq \bar{k}(\phi^o)\}. \quad (3)$$

Правило выбора оценок, оптимальных по критерию Парето (3), означает, что оценка вектора (1) $\bar{k}(\phi^o) \in V^o$ включается в подмножество Парето в том случае, если не существует других оценок $\bar{k}(\phi)$, для которых было бы справедливо бинарное отношение $\bar{k}(\phi) \geq \bar{k}(\phi^o)$.

Потенциально достижимые значения оценок показателей качества (1) по критерию Парето представляют собой многомерные потенциальные характеристики системы. В критериальном пространстве совокупность Парето-оптимальных оценок образует Парето-оптимальную поверхность и связанные с ней многомерные потенциальные характеристики системы и соответствующие диаграммы обмена показателей качества.

Нахождение Парето-оптимальных вариантов системы может производиться либо непосредственно согласно (3) путем перебора и сравнения всех допустимых вариантов системы

Φ_0 , либо с использованием специальных методов, например весового метода, метода рабочих характеристик [1 – 3].

Как правило, для последующих этапов проектирования должен быть выбран единственный вариант сети. Поэтому возникает необходимость сужения множества Парето-оптимальных решений до единственного варианта системы с привлечением дополнительной информации от экспертов. Такая информация появляется в результате всестороннего анализа Парето-оптимальных вариантов сети, в частности их структуры, параметров, многомерных диаграмм обмена показателей качества, относительной важности введенных показателей качества и др. Полученные при этом дополнительные сведения о предпочтениях ЛПР используются для построения некоторой целевой скалярной функции, оптимизация которой приводит к выбору единственного варианта системы.

Существуют разные методы сужения подмножества Парето до единственного варианта: на основе теории размытых множеств, при использовании лексикографического подхода с применением функций ценности [1, 3]. Для конкретности в статье будет применяться метод выбора единственного варианта на основе теории размытых множеств. При этом скалярная целевая функция может принимать такой вид

$$U(k_1, \dots, k_m) = \frac{1}{m} \left\{ \sum_{j=1}^m [\xi_{\bar{k}}(k_j)]^\beta \right\}^{\frac{1}{\beta}}. \quad (4)$$

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 $\beta \rightarrow \infty$. При этом от эксперта должна быть получена дополнительная информация о задаваемом значении параметра β .

Практические особенности выбора оптимального речевого кодека с учетом совокупности показателей качества

Для проведения сравнительного анализа речевых кодеков и выбора оптимального варианта кодека использовались данные о 23 речевых кодеках, которые описаны совокупностью 5 технико-экономических показателей: скорость кодирования, оценка качества кодирования речи, сложность реализации, размер кадра, суммарная задержка [4]. Исходные значения показателей качества речевых кодеков приведены в табл. 1. Нетрудно видеть, что показатели качества речевых кодеков связаны между собой и имеют 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 кодируется 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 пятибалльной шкале.

Таблица 1

Номер	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

В табл. 2 приведены результаты преобразования исходных значений показателей качества.

Таблица 2

Номер	Кодеки	K_{1i}	K_{2i}	K'_{3i}	K_{4i}	K'_{5i}	Выбор Парето-оптимальных вариантов
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	+

В частности, выполнены операции нормирования показателей к максимальным значениям $k_{iH} = k_i / k_{i\max}$. Затем показатели были преобразованы в сопоставимый вид, чтобы все показатели носили однотипный характер в зависимости от технических характеристик кодеков. А для показателей k_{3H} и k_{5H} выполнены преобразования $k'_{3H} = 1/k_{3H}$, $k'_{5H} = 1/k_{5H}$.

На основе полученных данных табл. 2 рассмотрены практические особенности применения описанных выше методов выделения подмножества Парето-оптимальных вариантов речевых кодеков с учетом совокупности показателей качества, а также выбора единственного проектного решения. Из исходного множества 23 вариантов речевых кодеков выделено по критерию Парето (3) подмножество Парето, которое включает 12 вариантов кодеков (отмечены в табл. 2 значком +). Единственное проектное решение выбиралось из условия экстремума скалярной целевой функции (4) при двух разных значениях коэффициента β , определяющего характер изменения этой функции. В табл. 3 приведены значения данной функции для Парето-оптимальных вариантов речевых кодеков при $\beta = 2$ и $\beta = 3$. При этом экстремальное значение целевой функции при разных значениях β достигается для одного и того же речевого кодека G 722(b). Таким образом, при заданной постановке задачи оптимальным речевым кодеком с учетом совокупности показателей качества является кодек №5 – 722(b), который имеет следующие значения показателей качества: скорость кодирования – 64 кбит/с, оценка качества кодирования речи – 4.13 MOS, сложность реализации – 11,95 MIPS, размер кадра – 0,125 мс, суммарная задержка – 31,5 мс.

Таблица 3

Номер	Кодеки	Значения $U(\bar{k})$ для разных β	
		$\beta = 2$	$\beta = 3$
2	G 721	0,35099	0,24688
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	0,32312	0,26308
10	G 726(b)	0,32863	0,26445
14	G 728	0,27801	0,24056
15	G 729	0,26904	0,22785
16	G 729a	0,29103	0,23837
20	G 729e(a)	0,26912	0,22898
22	G 728(a)	0,28812	0,24582
23	G 729d	0,26927	0,22716

Выводы

1. В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты применения методов многокритериальной оптимизации для выбора проектных решений, оптимальных по совокупности показателей качества.

2. Приведена иллюстрация особенностей применения методов выбора оптимальных проектных решений на примере речевых кодеков серии «G» с учетом пяти показателей качества: скорости кодирования, оценки качества кодирования речи, сложности реализации, размера кадра, суммарной задержки.

3. Результаты данной работы могут быть использованы при проектировании сложных систем, в частности сетей IP-телефонии при выборе оптимальных речевых кодеков.

Список литературы: 1. Ногин В.Д., Протодяконов И.О., Евлампиев И.И. Основы теории оптимизации. М.: Высш. шк., 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 связи следующего поколения. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редакцию 02.10.2009