

6. Афонин, П. В. Гибридные системы интеллектуального имитационного моделирования на основе бионических подходов и многоагентных моделей [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.17 / П. В. Афонин. -М., 2005. — 209 с.
7. Крыжановский М. В. Метод построения систем "автономного адаптивного управления" [Текст] / М. В. Крыжановский, Б. М. Магомедов // Искусственный интеллект. -2005. -№4 -С. 342-353.
8. Жданов, А. А. Автономный искусственный интеллект [Текст] / А. А. Жданов. -М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. -359 с.
9. Бурцев, М. С. Исследование новых типов самоорганизации и возникновения поведенческих стратегий [Текст] : дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 / М. С. Бурцев. -М., 2005. -120 с.
10. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное пособие. [Текст] / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Ф. Мешалкин -М.: Финансы и статистика, 1983 – 471 с.

Розглянуті практичні особливості застосування методів оптимізації з урахуванням сукупності показників якості для вибору оптимальних проектних варіантів на номінальному етапі планування мереж мобільного зв'язку третього покоління

Ключові слова: СММЗ, 3G, планування, оптимізація, показник якості

Рассмотрены практические особенности применения методов оптимизации с учетом совокупности показателей качества для выбора оптимальных проектных вариантов на номинальном этапе планирования сетей мобильной связи третьего поколения

Ключевые слова: ССМС, 3G, планирование, оптимизация, показатель качества

The practical features of optimization methods application are considered with taking into account of the sum total of quality parameters for selection of the optimal project variants on the nominal planning stage of the third generation mobile connection networks

Keywords: ССМС, 3G, planning, optimization, quality parameter

УДК 381.324:621.394.79

ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ НА НОМИНАЛЬНОМ ЭТАПЕ ПЛАНИРОВАНИЯ

Д. В. Чеботарёва

Аспирант, ассистент

Кафедра «Сети связи»

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

Контактный тел.: 063-380-02-63

E-mail: dasha-che@ukr.net

1. Введение

В настоящее время всё большее распространение в мире получают сети мобильной связи третьего поколения (3G), функционирующие на основе множественного абонентского доступа с кодовым разделением каналов.

Сети поколения 3G отличаются высокой скоростью передачи данных, а также широким и более высоким качеством предоставления услуг. Поэтому оптимальное планирование таких сетей мобильной связи является актуальной задачей.

Процесс планирования сотовой сети мобильной связи 3G, также как и сетей второго поколения, состоит из двух этапов:

- номинальный этап (предварительное планирование);
- этап детального планирования.

Номинальный этап планирования сети связан с выбором стратегии [1] - заданием ключевых параметров сети (таких как покрытие, емкость и др.) Во время предварительного планирования оцениваются компоновку сети и предполагаемое размещение элементов сети радиодоступа; количество базовых станций, необходимое для выбранного покрытия. Также оцениваются возможности базовых станций, их конфигурация и другие элементы сети с учетом требований оператора.

Как правило, на номинальном этапе планирования используют гипотетические данные о параметрах и инфраструктуре сети, которые уточняются на следующем этапе планирования.

На этапе детального планирования осуществляется [1]:

- планирование конфигурации сети (определение типа и размещения базовых станций, типа и разме-

щения антенных систем, расчет баланса мощностей в линиях «вверх» и «вниз»);

- планирование топологии сети (расчет зон покрытия и границ базовых станций с учетом данных об абонентском трафике); особенностью расчета зон покрытия для сети UMTS является наличие эффекта «дыхания» соты, заключающегося в уменьшении размеров соты при увеличении абонентской нагрузки.

При детальном планировании требуются учет реального распространения радиоволн и оценка оператором трафика в каждой зоне. После завершения детального планирования можно проанализировать емкость и зону обслуживания для каждой ячейки.

Оптимизация сотовых сетей мобильной связи (ССМС) выполняется после запуска готовой сети на основании данных, полученных в результате верификации и мониторинга действующей сети [1, 2]. Однако достаточно полезным может быть применение методов оптимизации уже в процессе планирования ССМС. При этом актуальным является строгий учет совокупности показателей качества.

В данной работе предлагается использование методов многокритериальной оптимизации на номинальном этапе планирования ССМС третьего поколения.

2. Процесс поиска оптимального проектного варианта ССМС

Для оптимизации ССМС третьего поколения предлагается использовать методологию нахождения оптимальных вариантов, включающую такие этапы [3]:

- задание исходного множества вариантов сетей, которые отличаются различными исходными данными;

- выделение множества допустимых вариантов с учетом ограничений на структуру и параметры сетей, а также ограничений на значение показателей качества;

- выбор подмножества Парето-оптимальных вариантов сетей с использованием безусловного критерия предпочтения;

- анализ полученных Парето-оптимальных вариантов сетей, их многомерных потенциальных характеристик и многомерных диаграмм обмена показателей качества;

- выбор единственного варианта сети из подмножества Парето.

3. Практический пример оптимизации сети 3G на номинальном этапе планирования

Для решения оптимизационной задачи на номинальном этапе планирования сотовых сетей мобильной связи третьего поколения была использована методология выбора оптимальных проектных решений с учетом совокупности показателей качества, описанная в работе [3].

В качестве примера была поставлена и решена следующая практическая задача: для планируемой

сети третьего поколения стандарта UMTS из десяти возможных вариантов сети необходимо, исключив из рассмотрения безусловно худшие варианты, выбрать наилучший (оптимальный) вариант ССМС с учетом совокупности выбранных показателей качества.

Формирование исходного допустимого множества вариантов сети. В рассмотренном примере было сформировано множество из 10 вариантов построения ССМС стандарта UMTS, которые определялись различными исходными данными, в качестве которых использовались:

- планируемое количество абонентов в сети,
- размеры обслуживаемой территории (площадь),
- предполагаемая активность абонентов,
- допустимая вероятность блокировки вызова.

Для расчета параметров ССМС третьего поколения применима методика расчета для систем с кодовым разделением каналов, изложенная в работе [4].

Для решения задачи были рассчитаны следующие технические параметры ССМС:

1. Величина допустимой телефонной нагрузки в каждом секторе соты:

$$A = n_0 \left[1 - \sqrt{1 - \left(P_{\text{бл}} \sqrt{\frac{\pi n_0}{2}} \right)^{\frac{1}{n_0}}} \right] \text{ при } P_{\text{бл}} \leq \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}} \quad (1)$$

$$A = n_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2} + 2n_0 \ln \left(P_{\text{бл}} \sqrt{\frac{\pi n_0}{2}} \right)} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \text{ при } P_{\text{бл}} > \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}} \quad (2)$$

где n_0 – допустимое число абонентов, которые могут одновременно работать в одном секторе каждой соты.

2. Количество абонентов, обслуживаемых одной BTS:

$$N_{\text{аBTS}} = \text{Mint}(A/\beta), \quad (3)$$

где $\text{int}(x)$ – целая часть числа x ; M – число секторов антенны.

3. Число BTS, необходимое для обслуживания заданного количества абонентов:

$$N_{\text{BTS}} = \text{int}(N_{\text{а}}/N_{\text{аBTS}}). \quad (4)$$

4. Радиус одной соты:

$$R = \sqrt{\frac{1,21 \cdot S}{\pi N_{\text{BTS}}}}. \quad (5)$$

5. Эффективность использования радиоспектра (число активных абонентов, приходящихся на единицу полосы частот):

$$\gamma = 1,21 \frac{S_0}{\pi R^2 F_k}. \quad (6)$$

Множество исходных и рассчитанных параметров сетей представлено в табл. 1.

Таблица 1

Исходные и рассчитанные параметры для множества вариантов сетей

№ ССМС	Исходные параметры				Рассчитанные параметры					
	N_a	S_0	$P_{6л}$	β	N_a/S_0	A	N_{aBTS}	N_{BTS}	R	γ
1	50000	300	0,1	0,03	166	49,7	4971	11	3,2	$2,2 \cdot 10^{-6}$
2	40000	300	0,05	0,05	133	45,6	2736	15	2,8	$3 \cdot 10^{-6}$
3	45000	280	0,05	0,07	160	45,6	1956	24	2,1	$4,8 \cdot 10^{-6}$
4	50000	290	0,09	0,05	172	48,7	2925	18	2,5	$3,6 \cdot 10^{-6}$
5	48000	250	0,07	0,06	192	47,1	2358	21	2,1	$4,2 \cdot 10^{-6}$
6	42000	290	0,03	0,06	144	43,8	2193	20	2,4	$4 \cdot 10^{-6}$
7	42000	300	0,04	0,06	140	44,8	2241	19	2,5	$3,8 \cdot 10^{-6}$
8	40000	280	0,04	0,05	142	44,8	2688	15	2,7	$3 \cdot 10^{-6}$
9	55000	300	0,02	0,04	183	42,6	3201	18	2,5	$3,6 \cdot 10^{-6}$
10	55000	290	0,02	0,05	189	42,6	2559	22	2,5	$4,4 \cdot 10^{-6}$

В данном случае все полученные параметры в той или иной мере могут характеризовать качество сети, поэтому их можно использовать как показатели качества. Но для этого необходимо эти параметры привести к стандартному виду показателей качества. Поэтому все параметры были нормированы к максимальному значению:

$$k_{iH} = \frac{k_i}{k_{\max}} \tag{7}$$

А затем, чтобы привести параметры к сопоставимому виду, были определены параметры, которые необходимо максимизировать для улучшения системы и выполнено для них действие:

$$k_{iC} = 1 - k_i \tag{8}$$

Значения совокупности стандартных показателей качества для множества вариантов сетей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Совокупность стандартных показателей качества

№ ССМС	K_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	K_9	k_{10}
	N_a	S_0	$P_{6л}$	β	N_a/S_0	A	N_{aBTS}	N_{BTS}	R	γ
1	0,091	0	1	0,571	0,135	0	0	0,458	0	0,542
2	0,273	0	0,5	0,286	0,307	0,082	0,45	0,625	0,125	0,375
3	0,182	0,066	0,5	0	0,166	0,082	0,606	1	0,344	0
4	0,091	0,033	0,9	0,286	0,104	0,02	0,412	0,75	0,219	0,25
5	0,873	0,166	0,7	0,143	0	0,052	0,526	0,875	0,344	0,125
6	0,236	0,033	0,3	0,143	0,25	0,118	0,559	0,833	0,25	0,166
7	0,236	0	0,4	0,143	0,271	0,098	0,549	0,791	0,219	0,208
8	0,273	0,066	0,4	0,286	0,26	0,098	0,459	0,625	0,156	0,375
9	0	0	0,2	0,429	0,047	0,143	0,356	0,75	0,219	0,25
10	0	0,033	0,2	0,286	0,015	0,143	0,485	0,916	0,219	0,083

Выбор показателей качества сети. В данном при- мере решения оптимизационной задачи были выбраны

3 показателя качества - k_3 , k_5 и k_8 , которые характери- зуют вероятность блокировки ($P_{6л}$), плотность обслу- живаемых абонентов (N_a/S_0) и необходимое количе- ство базовых станций в сети (N_{BTS}) соответственно.

Нахождение подмножества Парето-оптимальных вариантов сетей. Выбор Парето-оптимальных реше- ний и исключение безусловно худших вариантов сетей был выполнен согласно методологии, описанной в работе [5]. А именно вариант сети включался в множе- ство Парето, если на множестве допустимых вариан- тов отсутствовали другие варианты системы, которые бы доминировали по отношению нестрогого предпо- чтения, согласно выражению:

$$\bar{k}(\varphi) \geq \bar{k}(\varphi^e) \tag{9}$$

Результатом таких вычислений являются данные представленные в табл. 3.

Таблица 3

Результаты Парето-оптимизации

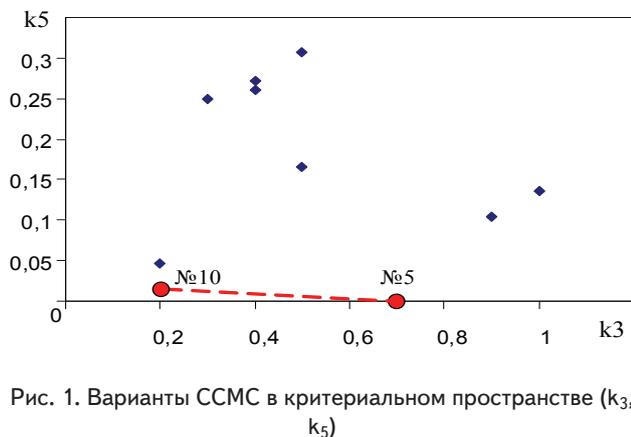
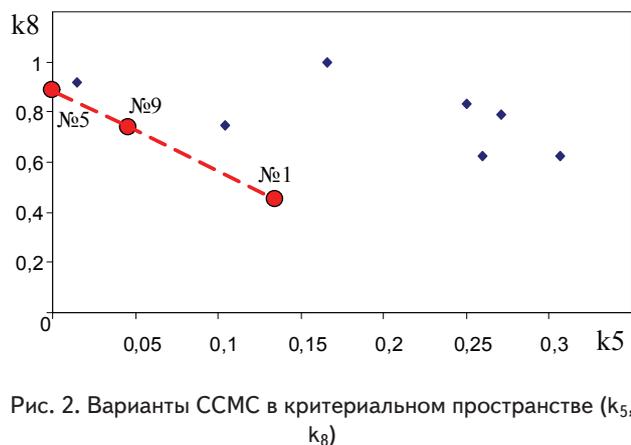
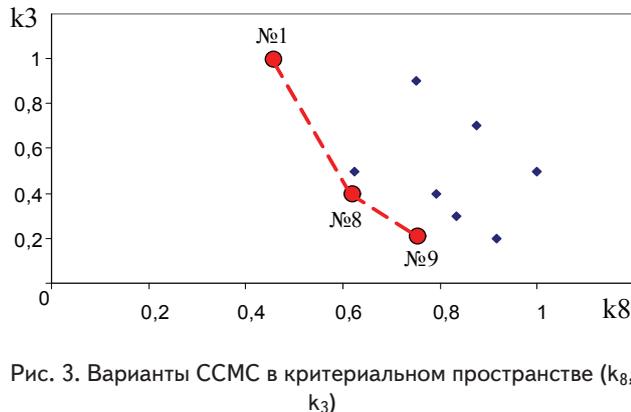
№ ССМС	k_3	k_5	k_8	Результаты Парето-оптимизации
	$P_{6л}$	N_a/S_0	N_{BTS}	
1	1	0,135	0,458	Парето-оптимальный вариант
2	0,5	0,307	0,625	безусловно худший вариант
3	0,5	0,166	1	безусловно худший вариант
4	0,9	0,104	0,75	безусловно худший вариант
5	0,7	0	0,875	Парето-оптимальный вариант
6	0,3	0,25	0,833	безусловно худший вариант
7	0,4	0,271	0,791	безусловно худший вариант
8	0,4	0,26	0,625	Парето-оптимальный вариант
9	0,2	0,047	0,75	Парето-оптимальный вариант
10	0,2	0,015	0,916	Парето-оптимальный вариант

Как видно из табл. 3, найденное подмножество Парето-оптимальных вариантов сети включает 5 вари- антов построения ССМС, а именно № 1, № 5, № 8, № 9 и № 10. Остальные 5 вариантов сети оказались без- условно худшими и были исключены из дальнейшего рассмотрения.

Анализ полученных Парето-оптимальных вари- антов сетей и многомерных диаграмм обмена пока- зателей качества. Нахождение Парето-оптимальных вариантов сетей выполнено в критериальном про- странстве векторных оценок введенных показателей качества по критерию Парето. Для иллюстрации на рис. 1-3 приведены рассматриваемые варианты ССМС, представленные в критериальном пространстве пока- зателей качества.

Жирными точками выделены варианты, представ- ляющие собой множество Парето для каждого из трех случаев. Фактически переход от одной Парето-опти- мальной точки к другой представляет собой диаграм- му обмена показателей качества (в данном случае двумерную диаграмму обмена).

Каждая точка такой диаграммы обмена определяет потенциально наилучшие значения каждого из по- казателей, которые могут быть достигнуты при фик- сированных, но произвольных значениях других по- казателей качества.

Рис. 1. Варианты ССМС в критериальном пространстве (k_3 , k_5)Рис. 2. Варианты ССМС в критериальном пространстве (k_5 , k_8)Рис. 3. Варианты ССМС в критериальном пространстве (k_8 , k_3)

Выбор единственного (наилучшего) проектного варианта сети. Для выбора единственного проектного

решения из подмножества Парето был использован метод, основанный на лексикографическом подходе. Сначала необходимо строго упорядочить по важности весь набор показателей качества. Предположено, что показатель k_3 более важный, чем показатели k_5 и k_8 , а показатель k_8 более важный, чем k_5 .

Если в качестве отношения строго предпочтения используют лексико-графическое отношение, то это означает, что из пары оценок показателей качества (и соответствующих им проектных решений) предпочтительнее та оценка, у которой первая компонента вектора оценок показателя качества k меньше, независимо от соотношений между остальными компонентами вектора оценок. Когда первые компоненты двух оценок одинаковы, то предпочтительнее оценка (и соответствующее проектное решение), имеющая меньшую вторую компоненту; остальные компоненты данной оценки могут при этом "значительно уступать" соответствующим вторым компонентам оценки и т.д.

В соответствии с лексикографическим подходом сначала было проведено сравнение всех Парето-оптимальных вариантов по показателю качества k_3 . Наилучшими оказались варианты № 9 и № 10 (у них значения k_3 минимальны и равны). Далее было проведено сравнение этих вариантов по показателю качества k_8 . Наилучшим вариантом оказался вариант № 9, у которого данный показатель качества минимален. Следовательно, оптимальным вариантом ССМС является вариант № 9. Как видно из табл. 1, он характеризуется минимальной допустимой вероятностью блокировки, довольно высокой плотностью обслуживаемых абонентов и относительно небольшим количеством базовых станций.

4. Выводы

В данной работе рассмотрены теоретические и практические особенности применения методов многокритериальной оптимизации для номинального этапа планирования сотовых сетей мобильной связи с учетом совокупности антагонистических показателей качества. Это является отличительной особенностью данной работы от других, посвященных планированию сетей мобильной связи.

В дальнейшем планируется рассмотреть особенности применения многокритериальной оптимизации на этапах планирования транспортной сети мобильной связи третьего поколения.

Литература

1. Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation. 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G [Текст] / Edited by Ajay R Mishra. – England: John Wiley & Sons Ltd, 2004. – 286pp.
2. Тихвинский, В.О. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS. [Текст] / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев. – М.: ЭкоТрендз, 2007. – 400с.
3. Безрук, В.М. Современные технологии автоматизации планирования сетей радиосвязи. Часть 1. Методы выбора проектных решений, оптимальных по совокупности показателей [Текст] / В.М. Безрук, Д.В. Чеботарёва // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 6/3 (30). – С. 9–13.
4. Быховский, М.А. Исследование эффективности сотовых систем сухопутной подвижной связи с кодовым разделением каналов [Текст] / М.А. Быховский // Электросвязь. – 1995. – №8. – С. 29–33.
5. Безрук, В.М. Векторна оптимізація та статистичне моделювання в автоматизованому проектуванні систем зв'язку [Текст] / В.М. Безрук. – Харків: ХНУРЕ, 2002. – 164 с.