

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Безрук В.М., Чеботарёва Д.В.

Харьковский национальный университет радиозлектроники

Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф сетей связи, тел.(057) 702-14-29

E-mail: bezruk@kture.kharkov.ua; dasha-che@ukr.net; факс: (057) 702-91-13

There are represented theoretical and practical features of application of the methods multicriteria optimization for one of the stages of planning of the networks of cellular communication - planning of a transmission network.

Введение

В процессе создания и совершенствования сети мобильной связи решаются две неразрывно связанные задачи: планирование сети и оптимизация сети (перепланирование по результатам эксплуатации с целью повышения эффективности сети). Планирование ССС включает три основных этапа: предварительное планирование, детальное планирование и планирование сотовой транспортной сети [1].

Предварительное планирование сети связано с выбором стратегии построения сети, заданием покрытия, емкости, параметров качества связи. Кроме того, на этапе предварительного планирования оценивают компоновку сети и предполагаемое размещение элементов сети радиодоступа; количество базовых станций, необходимое для выбранного покрытия. В результате этого этапа должен быть представлен первоначальный развернутый план реализации сети.

Детальное планирование осуществляется на базе данных, полученных на этапе предварительного планирования. На этапе детального планирования ССС выполняются следующие операции: компьютерное проектирование сети для создания необходимого радиопокрытия территории; анализ помех (соканальных, внешних, шумов); частотное планирование; планирование СВЧ-каналов; документирование и пр. Этот этап включает планирование радиосети и системы коммутации сети.

Планирование транспортной сети (CTNP – Cellular Transmission Network Planning). На этом этапе главной задачей является разработка структуры (топологии) сети, обеспечивающей взаимодействие между всеми узлами сети (базовыми станциями, базовыми контролера, центром коммутации).

На всех этапах планирования ССС необходимо принимать во внимание совокупность противоречивых требований к сети, которые можно строго учитывать при использовании методов многокритериальной оптимизации [2].

С учетом выше сказанного актуальным является применение многокритериальной оптимизации на различных этапах планирования сотовых сетей связи. Целью настоящей работы является рассмотрение теоретических и практических особенностей планирования транспортной сотовой сети.

Методология выбора оптимальных проектных вариантов сети связи по совокупности показателей качества

Рассмотрим некоторые особенности методологии выбора оптимальных проектных вариантов сети связи при учете совокупности показателей качества [2]. Задаваемые ограничения на условия работы, структуру $s \in S_\delta$ и параметры $\beta \in B_\delta$ сети связи определяют подмножество допустимых вариантов $\Phi_\delta = S_\delta \times B_\delta$. При выборе критерия оптимальности сети существуют два подхода: ординалистический и кардиналистический. Ординалистический подход апеллирует к порядку (лучше-хуже) и основан на введении некоторых бинарных-отношений на множестве допустимых альтернатив. Решение $\phi^{(o)} \in \Phi_\delta$ называется оптимальным по отношению \succ , если не существует других решений $\phi \in \Phi_\delta$, для которых справедливо отношение $\phi \succ \phi^{(o)}$. Множество всех оптимальных решений по отношению \succ обозначается через $opt_\succ \Phi_\delta$. Кардиналистический подход к

описанию предпочтений приписывает каждой альтернативе $\phi \in \Phi_d$ некоторое числовое значение функции $U(\bullet)$, определяемой полезность альтернативы ϕ . Каждая функция полезности определяет соответствующий порядок (или предпочтение) R на множестве Φ_d ($(\phi'R\phi'')$) 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 недостаточной априорных представлений про оптимальность сети не удается в формализованном виде задать скалярный критерий оптимальности, приводящий к выбору единственного варианта решения $\phi^{(o)} = \underset{\phi \in \Phi_d}{opt} [U(\phi)]$. Поэтому на начальных этапах планирования сеть характеризуют совокупностью показателей качества и связанной с ними векторной целевой функцией:

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

При этом возникают задачи оптимизации проектных решений по совокупности показателей качества. Эти задачи также называются задачами многокритериальной либо векторной оптимизации.

Парето-оптимальные проектные решения могут быть найдены непосредственно на множестве Φ_d с применением введенных бинарных отношений предпочтения. Это подмножество Парето-оптимальных вариантов сети может быть найдено также и в пространстве введенных показателей качества (1), которое также называется критериальным пространством оценок:

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

Следует отметить, что показатели качества (целевые функции) могут быть трех типов; нейтральными, согласованными между собой и конкурировать между собой. В первых двух случаях оптимизация сети может осуществляться в отдельности по каждому из показателей качества. В третьем случае достигнуть потенциального значения каждого из показателей в отдельности не представляется возможным. При этом может быть достигнут лишь согласованный оптимум введенных целевых функций, который называется оптимум по критерию Парето. Согласованному оптимуму соответствует множество Парето-оптимальных оценок, которым соответствуют недоминируемые по критерию Парето варианты сети:

$$P(V) = \underset{V}{opt} \vec{v} = \{V^o \in R^m \mid \forall \vec{v} = \vec{k}(\phi) \in V : \vec{k}(\phi) \geq \vec{k}(V^o)\}. \quad (3)$$

Потенциально достижимые значения показателей качества, соответствующие оптимуму по Парето, представляют собой многомерные потенциальные характеристики сети. Нахождение оптимальных по критерию Парето вариантов сети может производиться либо непосредственно согласно (3) путем перебора всех допустимых вариантов системы Φ_d , либо с использованием специальных методов, например, весового метода, метода рабочих характеристик.

Как правило, для последующих этапов проектирования, должен быть выбран единственный вариант сети. Поэтому возникает необходимость сужения множества Парето-оптимальных решений до единственного варианта сети с привлечением дополнительной информации. 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 [2]. Полученные при этом дополнительные сведения используются для построения некоторой целевой скалярной функции, оптимизация которой приводит к выбору единственного варианта сети связи.

Практические особенности многокритериальной оптимизации при планировании транспортной сети ССС

Планирование транспортной сети (трансмиссии) – это выбор структуры сети проводной или радиорелейной связи, обеспечивающей соединение между BTS (базовыми станциями), BSC (базовыми контроллерами) и MSC (центром коммутаций) [1].

При планировании транспортной сети главной задачей является создание проекта оптимальной топологии транспортной сети и выбор типа линий связи, используемых в сети. При этом возможна либо установка собственных радиорелейных линий связи, либо прокладка волоконно-оптических линий связи, либо аренда уже существующих радиорелейных линий связи, вписывающихся по местоположению и условиям устойчивой радиосвязи в разрабатываемую сотовую сеть.

Каждая базовая станция должна быть соединена с базовым контроллером. Это соединение может быть организовано как напрямую, так и через другие базовые станции, поскольку оборудование BTS имеет гибкие возможности построения сети передачи различной конфигурации. Возможно создание сетей с топологическими структурами "звезда", "цепь", и "дерево". Зачастую может быть использована смешанная топология, включающая в себя элементы всех выше перечисленных топологий.

При выполнении данного этапа планирования сети необходимо учесть проблему соединения и координации больших потоков различной информации, а также выбрать высоконадежные широкополосные каналы, позволяющие обеспечить надежную связь между BTS и BSC.

В известных подходах к планированию транспортной сети при оптимизации топологии сети передачи по одному какому-либо показателю (например, по длине или стоимости) используют алгоритмы поиска кратчайшего дерева или определения максимального потока, такие как алгоритмы Прима, Краскала, Исау-Вильямса, Фогеля и др. При учете двух или более показателей качества появляются определенные трудности, так как многие показатели зависят не только друг от друга, но и от полученной в итоге топологии сети, например пропускная способность зависит от того напрямую BTS соединена с BSC или через другие базовые станции.

Поэтому важной задачей этого этапа планирования является проведение многокритериальной оптимизации топологической структуры сети по совокупности показателей качества. Чтобы решить на практике эту задачу планирования, необходимы детальная информация о структуре сотовой сети, полученной на предыдущих этапах планирования, формулировка задач сети и требований к ее качеству обслуживания.

Выбор показателей качества транспортных сетей. При планировании транспортных сетей можно использовать показатели качества, учитывающие: длину радиорелейного пролета; общую длину сети; количество звеньев в цепи; стоимостные характеристики: стоимость строительных работ, стоимость аренды существующих линий, стоимость оборудования и др.; используемую и резервную пропускную способность; надежность пролета; скорость передачи; полосу частот; вероятность ошибочного приема бита (BER) и др.

При этом необходимо отметить, что при оптимизации транспортной сети с учетом двух или более показателей качества появляются определенные трудности, так как многие показатели зависят не только друг от друга, но и от полученной в итоге (конкретной) топологии сети. Например, требуемая скорость передачи зависит от того, напрямую BTS соединена с BSC или через другие базовые станции.

Формирование исходного допустимого множества вариантов структуры транспортной сети. Предполагается, что каждый пролет и транспортная сеть в целом характеризуется некоторой совокупностью показателей качества:

$$\vec{k}(\phi) = (k_1(\phi), k_2(\phi), \dots, k_m(\phi)). \quad (4)$$

При формировании исходного допустимого множества вариантов структуры сети вначале может быть использована сокращенная совокупность n показателей качества. Далее предлагается ввести обобщенный показатель качества каждого пролета в виде взвешенной суммы выбранных показателей качества:

$$k_{\text{обобщ}} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot k_i, \quad (5)$$

где c_i - некоторые весовые коэффициенты, характеризующие важность каждого показателя.

Затем, в предположении, что каждый пролет теперь характеризуется скалярным показателем качества (5), с помощью одного из известных алгоритмов (Прима, Краскала) находится кратчайшее дерево для транспортной сети. Выбирая различные допустимые комбинации весовых коэффициентов c_i , можно найти некоторое множество других допустимых вариантов деревьев сети Φ_D , которые определяют различные топологии транспортной сети.

Нахождение подмножества Парето-оптимальных вариантов сетей. Для каждого допустимого варианта топологии (структуры) транспортной сети в целом оцениваются значения полной совокупности показателей качества транспортной сети (4). Каждый вариант структуры транспортной сети представляется в критериальном пространстве оценок показателей качества (4). Здесь с использованием одного из описанных выше методов выделяется подмножество Парето-оптимальных вариантов построения транспортной сети. Оптимумом по безусловному критерию предпочтения (критерию Парето) является множество Парето-оптимальных оценок, которые соответствуют недоминируемым вариантам сети согласно (3).

Следует отметить, что при нахождении подмножества Парето-оптимальных вариантов топологии транспортной сети оцениваются и учитываются показатели качества сети, которые зависят от конкретной топологии сети. Это могут быть такие показатели качества, как скорость передачи, вероятность ошибки, пропускная способность - $\vec{k} = (k_1(P_{\text{ош}}), k_2(C), k_3(R_{\text{пер}}))$ и др.

Выбор единственного проектного варианта топологии сети. Для выбора единственного варианта из подмножества Парето-оптимальных можно применить один из описанных выше методов сужения подмножества Парето, в частности, с использованием скалярной функции ценности.

Выводы

В данной работе рассмотрены теоретические и практические особенности применения методов многокритериальной оптимизации для планирования транспортной сети (трансмиссии) ССС с учетом совокупности противоречивых показателей качества, что представляет собой новизну работы.

В дальнейшем планируется более подробно рассмотреть особенности применения многокритериальной оптимизации на других этапах планирования ССС.

Литература:

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS. – М.: Эко-Трендз, 2007. – 400с.
2. Безрук В.М. Векторна оптимізація та статистичне моделювання в автоматизованому проектуванні систем зв'язку. - Харків: ХНУРЕ, 2002.