

## Применение методов многокритериальной оптимизации структурных характеристик при проектировании телекоммуникационных сетей

Работа посвящена теоретическим аспектам применения методов многокритериальной оптимизации структурных характеристик при проектировании сетей метро-уровня в условиях противоречивых требований к результирующей системе.

Шашов И.Ю.,  
аспирант ФГУП ЦНИИС,  
lshashov@gmail.com

Растущая важность проектов, высокая стоимость и масштабы телекоммуникационных систем предъявляют особые требования к качеству и срокам проектирования информационно-коммуникационных сетей (ИКС).

Для снижения капитальных затрат оператора и обеспечения требуемых параметров связи необходимо эффективное планирование, проведение которого невозможно без использования многокритериальной оптимизации с учетом совокупности множества противоречивых требований. В частности, в процессе создания и совершенствования сети связи масштаба города решаются две неразрывно связанные между собой задачи: минимизация затрат на реализацию сети и обеспечение требуемой производительности [1].

### Методология многокритериальной оптимизации при проектировании ИКС

В самом общем случае ИКС можно рассматривать как упорядоченное множество элементов, их взаимоотношений и свойств. Одновременное задание таких параметров полностью определяет систему, то есть особенности ее функционирования, структуру сети, в том числе, ее эффективность.

Рассмотрим общую методологию многокритериальной оптимизации систем, как взаимосвязанную совокупность множества допустимых проектных решений, в том числе выбора подмножества Парето-оптимальных решений и дальнейшее сужение его до единственного проектного решения.

Решение задачи выбора оптимального проектного варианта системы включает формирование множества допустимых вариантов системы, определение совокупности показателей качества, задание критерия оптимальности системы, а также выбор вариантов системы, оптимальных по заданному критерию оптимальности [2, 3].

Полагается, что каждый вариант системы определяется структурой (совокупностью элементов и связей) и набором параметров. Вместе они определяют множество допустимых проектных решений. Здесь существуют противоречивые требования. С одной стороны, желательно с максимальной полнотой представить все возможные варианты системы, чтобы не пропустить потенциально лучших вариантов. С другой стороны, существуют ограничения, определяемые допустимыми затратами (времени и средств) на процесс проектирования системы.

Для формулировки постановки задачи оптимального проектирования системы должно быть составлено математическое описание условий работы, структуры, показателей качества и критериев оптимальности системы в целом. Формализованная постановка задачи проектирования системы дает возможность использовать при

выборе оптимальных проектных решений математические методы моделирования и многокритериальной оптимизации систем.

Процесс задания критерия оптимальности для выбора наилучшей альтернативы на множестве допустимых проектных решений системы связан с формализацией представления заказчика системы про ее оптимальность. При этом могут быть использованы два подхода: ординалистический и кардиналистический [3].

Ординалистический подход апеллирует к порядку "лучше-хуже" и основан на введении некоторых бинарных отношений на множестве допустимых альтернатив. В зависимости от структуры допустимого множества множество оптимальных решений может содержать единственный элемент, конечное либо бесконечное число элементов.

Кардиналистический подход к описанию предпочтений приписывает каждой альтернативе некоторое число, интерпретируемое как полезность (ценность) альтернативы.

С учетом существования совокупности требований к полезности системы возникает задача оценивания и оптимизации проектных решений по совокупности показателей качества. Задачи оптимизации по совокупности показателей качества называются задачами многокритериальной либо векторной оптимизации. В результате решения таких задач находится подмножество Парето-оптимальных (эффективных) проектных решений, которое в общем случае содержит не один, а несколько вариантов системы, недифференцируемых по отношению строгого предпочтения.

Следует отметить, что по существу постановка многокритериальных задач оптимизации связана с заменой (аппроксимацией) представления заказчика про оптимальность системы некоторым другим понятием оптимальности, которое удается строго формализовать и свести задачу проектирования системы до конструктивной оптимизационной процедуры при векторном критерии оптимальности.

### Методы выбора Парето-оптимальных решений

Парето-оптимальные решения могут быть найдены как непосредственно на множестве допустимых решений с применением введенных бинарных отношений предпочтения, так и в пространстве оценок введенных показателей качества, которое также называется критериальным пространством. Важно отметить, что для заказчика желательно по каждому показателю получить наилучшее значение. Однако на практике этот случай встречается очень редко.

Показатели качества системы могут быть трех типов: нейтральными, согласованными между собой и конкурировать между собой. В первых двух случаях оптимизация системы 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 — оптимум по критерию Парето. Такой оптимум означает, что даль-

нейшее улучшение каждого из показателей может быть достигнуто лишь за счет ухудшения остальных показателей качества системы.

Таким образом, последовательно выполнив перебор и сравнение всех вариантов в критериальном пространстве согласно на множестве допустимых решений выделяет подмножество Парето-оптимальных вариантов системы. Остальные варианты системы являются безусловно худшими.

Нахождение Парето-оптимальных проектных решений может производиться либо непосредственно, либо с использованием специальных методов, например, весового метода, метода работы характеристик [4,5].

При решении оптимизационных задач получается некоторая многомерная поверхность в критериальном пространстве, которая при определенных условиях совпадает с Парето-оптимальной поверхностью [3,4]. Полученная в критериальном пространстве Парето-оптимальная поверхность связывает между собой потенциально достижимые значения показателей качества (в общем случае зависящих и конкурирующих между собой). Кроме того, проводя анализ можно выяснить, как необходимо изменить значения одного показателя качества системы для улучшения других показателей, а также выяснить, как при этом следует изменить структуру и параметры системы.

Если найденное подмножество Парето-оптимальных вариантов системы оказалось узким, то на дальнейших этапах проектирования можно использовать любой из них. Как правило, подмножество Парето-оптимальных вариантов содержит много вариантов системы. Поэтому возникает задача сужения найденного подмножества Парето-оптимальных проектных решений с привлечением дополнительной информации об отношениях предпочтения заказчика системы.

#### Методы сужения множества Парето до единственного проектного решения

Как правило, для последующих этапов проектирования должен быть выбран единственный вариант системы, поэтому возникает необходимость сужения подмножества Парето-оптимальных проектных решений до единственного варианта системы с привлечением дополнительной информации об отношениях предпочтения заказчика.

Такая информация появляется в результате всестороннего анализа Парето-оптимальных вариантов системы. Полученные при этом дополнительные информации о предпочтениях заказчика используется для построения некоторой скалярной целевой функции, оптимизация которой приводит к выбору единственного варианта системы.

Одним из распространенных способов сужения подмножества Парето-оптимальных решений является построение скалярной функции ценности, оптимизация которой приводит к выбору одного варианта системы из подмножества Парето.

#### Литература

1. Шалыга А.В. Цифровые сети связи: основы проектирования и эксплуатации. — М.: Эко-Трендз, 2001. — 282 с.
2. Визинский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. — М.: Технофера, 2000. — 512 с.
3. В.К. Боравило, Л.М. Качинер. Математические методы оптимизации. Математические аспекты. — М.: Наука, 1989. — 128 с.
4. Vesnik V.M., Rybkov D.V. Automation of communication systems design // IEEE "East-West Design & Test" Symposium (EWDTSDT). — Yerevan, 2007.
5. Ж. Топч. Введение в распределение аппаратуры. — М.: МЦНМО, 2009. — 113 с.