

ОПТИМАЛЬНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

А. С. Аниконов

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14-я линия ВО, д. 39
<anikonov@mail.spbnit.ru>

УДК 681.3

А. С. Аниконов. **Оптимальная модернизация мобильных систем связи** // Труды СПИИРАН, Вып. 2, т. 2. — СПб.: Наука, 2005.

Аннотация. Проанализированы ключевые аспекты оптимальной модернизации мобильных систем связи. Показано, что рассматриваемая проблема сводится к основной проблеме оптимального планирования упомянутых систем. — Библ. 9 назв.

UDC 681.3

A.S. Anikonov. **Optimal modernization of mobile communication systems** // SPIIRAS Proceedings. Issue 2, vol. 2. — SPb.: Nauka, 2005.

Abstract. The key aspects of optimal modernization of mobile communication systems are analyzed. The problem is shown to be reduced to the basic problem of optimal planning of such systems. — Bibl. 9 items.

1. Введение

Современное развитие мобильных систем связи (МСС) характеризуется значительным ростом потребительского спроса на различные виды беспроводных мультимедийных услуг: речевые сообщения, передача данных, видео, электронная почта, Интернет и др. Повышенные требования к спектру скоростей передачи мультимедийной информации и к пропускной способности МСС обуславливают стремительный прогресс в развитии соответствующих телекоммуникационных технологий, которые являются основой МСС новейших поколений. Так, в мае 2001 года компания NTT Do Co Mo (крупнейший Интернет-провайдер Японии) осуществила экспериментальный запуск МСС третьего поколения с максимальной скоростью 384 kbps для мобильного Интернета [1]. А уже в июне 2001 года число пользователей такой системы достигло 23 миллионов. В настоящее время интенсивно развиваются МСС 4-го поколения, которые должны обеспечить значительный скачок в скорости передачи мультимедийной информации с акцентом на мобильный Интернет: от 2 до 20 Mbps для пользователей в автомобилях и от 50 до 100 Mbps для пешеходов внутри и вне зданий [2].

В таких условиях модернизация существующих МСС является одной из актуальных проблем внедрения телекоммуникационных технологий новейших поколений. Отметим два важнейших аспекта указанной модернизации: технический и экономический. Технический аспект связан с заменой различных технических средств (базовых станций, антенн и т.д.) и, если это необходимо, размещением дополнительных базовых станций (БС). Экономический аспект обусловлен требованием операторов существующих МСС минимизировать дополнительные капиталовложения для повышения их конкурентной способности на бурно развивающемся рынке беспроводных телекоммуникационных услуг. В частности, один из важнейших вопросов заключается в том, сколько и какие из существующих БС следует повторно использовать при модернизации МСС.

Очевидно, что модернизация МСС представляет собой сложную оптимизационную проблему, решение которой зависит от многих факторов различной природы: топография и морфология зоны обслуживания (ЗО), пространственное распределение трафика мультимедийной информации, существующая инфраструктура МСС, технические и стоимостные характеристики БС и т.д.

Большинство работ по МСС новейших поколений посвящено основной проблеме оптимального планирования МСС [3-7]. Проблема же модернизации существующих МСС практически не рассмотрена в открытой печати. Настоящая работа имеет целью восполнить указанный пробел. Именно, проанализированы ключевые аспекты оптимального планирования и оптимальной модернизации МСС и исследована взаимосвязь решений этих проблем.

2. Основная проблема оптимального планирования МСС

В данном разделе мы рассмотрим ключевые аспекты основной проблемы оптимального планирования МСС, поскольку именно к ней, как это будет показано ниже, сводится решение проблемы оптимальной модернизации МСС. Оптимальное планирование МСС состоит в определении необходимого числа БС и их размещения в ЗО, высот и пространственной ориентации соответствующих антенн, мощностей передатчиков, а также в пространственном распределении доступных радиочастот таким образом, чтобы выполнялись требования к качеству и надежности передачи мультимедийной информации в ЗО при минимальной полной стоимости МСС. Отметим, что в основной проблеме рассматривается развертывание новой МСС в ЗО с "белого листа".

Указанная проблема принадлежит к числу труднейших комбинаторных оптимизационных проблем. Сложность её решения обусловлена тем, что оно зависит от многих факторов различной природы и многих параметров, описывающих МСС. Поэтому классические методы решения оптимизационных задач оказываются здесь неэффективными для нахождения точного решения за разумное время [4-5]. Вот почему основную проблему сводят к частным оптимизационным задачам меньшей сложности, для решения которых разрабатываются различные приближенные решения. К анализу упомянутых задач мы сейчас и переходим.

2.1. Планирование сотовых ячеек

В реальных условиях форма сотовых ячеек имеет иррегулярный характер, обусловленный разнообразием рельефа местности, присутствием зданий, деревьев и иных объектов, существенно влияющих на распространение радиосигналов. При выбранном месте размещения БС в ЗО форма соответствующей сотовой ячейки определяется также рядом параметров, таких как высота и пространственная ориентация антенны, мощность передатчика и др.

Оптимальное планирование сотовой ячейки заключается в нахождении указанных параметров, при которых достигается максимальная площадь ячейки и одновременно выполняются различные локальные оптимизационные ограничения на мощность принимаемого сигнала, трафическую нагрузку, качество и надежность передачи мультимедийной информации. К настоящему времени разработаны эффективные методы решения этой задачи с использованием цифровых моделей местности [4,8].

2.2. Планирование размещения базовых станций

Ключевым фактором, определяющим полную стоимость МСС, является стоимость БС. Она включает стоимость технического оборудования и его размещения, антенн, зданий и башен, если они используются, и др. При решении рассматриваемой задачи обычно задаются некоторым избыточным дискретным множеством V допустимых мест размещения БС в ЗО. Для каждого элемента этого множества соответствующая сотовая ячейка находится из решения предыдущей частной оптимизационной задачи.

Оптимальное планирование размещения БС в ЗО заключается в выборе подмножества S из исходного множества V таким образом, чтобы минимизировать суммарную стоимость БС при одновременном выполнении глобальных оптимизационных ограничений на покрытие ЗО в отношении реальной полной площади обслуживания и реальной полной трафической нагрузки. Очевидно, что суммарная стоимость БС при таком подходе зависит от исходного множества V , изменение которого приводит, вообще говоря, к изменению решения рассматриваемой задачи.

В частности, выбранному множеству V отвечает среднее значение и дисперсия стоимостей БС. Если дисперсия мала, то условие минимизации суммарной стоимости БС оказывается эквивалентным условию минимизации числа необходимых БС примерно одинаковой стоимости. Тогда решение частной задачи оптимального размещения БС упрощается и сводится к чисто геометрическим операциям с реальными сотовыми ячейками. Если же указанная выше дисперсия стоимостей БС велика, то любое потенциальное место размещения БС будет характеризоваться уже двумя параметрами – стоимостью БС, которая может сильно отличаться от среднего значения на множестве V , и размером соответствующей сотовой ячейки. Задача оптимального размещения БС оказывается сложнее в этом случае и требует специального рассмотрения.

2.3. Частотное планирование

В современных условиях резкого повышения потребительского спроса на мультимедийные беспроводные услуги экономичное использование ограниченного частотного ресурса является одним из важнейших факторов оптимального планирования МСС.

Здесь следует различать экономический аспект, определяемый затратами на использование доступных радиочастот, и физический аспект, связанный с интерференцией в ЗО. Оптимальное частотное планирование состоит в распределении радиочастот по сотовым ячейкам таким образом, чтобы минимизировать суммарное число используемых частот в ЗО при одновременном выполнении ограничений на уровень интерференции в каждой ячейке. При этом предполагается, что предыдущая задача оптимального размещения БС в ЗО уже решена.

Отметим, что задача оптимального частотного планирования к настоящему времени подробно изучена и разработаны эффективные методы её решения [9].

3. Оптимальная модернизация МСС

Как отмечалось во введении, модернизация существующих МСС заключается во внедрении новейших телекоммуникационных технологий при минимальных капиталовложениях, существенном расширении спектра беспроводных мультимедийных услуг и улучшении качества и надежности связи в условиях бурного роста спроса на такие услуги. При модернизации заметно изменяются форма и размеры сотовых ячеек, условия интерференции и т.д. Поэтому, вообще говоря, требуется коренная перепланировка существующих МСС применительно к новым условиям. Рассмотрим особенности процесса модернизации МСС с точки зрения решения частных оптимизационных задач, упомянутых в разделе 2.

Очевидно, суть и методы решения первой и третьей частных задач основной проблемы оптимального планирования МСС остаются прежними и при модернизации МСС. Существенно же изменяется содержание второй частной задачи оптимального размещения БС в ЗО. Именно, в условиях планирования МСС с "чистого листа" стоимость любой потенциальной БС из множества V обязательно включает основную компоненту – стоимость офиса или здания, в котором размещается БС. При модернизации же МСС можно использовать существующие БС, стоимость которых уже не включает указанную основную компоненту, что позволяет существенно снизить суммарные капиталовложения. Таким образом, исходное множество V потенциальных мест размещения БС в ЗО при модернизации МСС всегда содержит подмножество существующих БС и подмножество новых БС, причем стоимость первых существенно ниже, чем вторых.

Принципиальным фактором здесь является требование оператора МСС к тому, какие и сколько из существующих БС обязательно надо сохранить в процессе модернизации. Здесь возможны три варианта, которые мы сейчас и рассмотрим.

Вариант 1: все существующие БС обязательно сохраняются в модернизированной МСС. В этом случае необходимо рассчитать новые оптимизированные сотовые ячейки для прежних мест размещения БС, сформировать новую ЗО путем вычитания указанных сотовых ячеек из исходной ЗО, и в этой новой области решить задачу оптимального размещения БС основной проблемы оптимального планирования.

Вариант 2: только часть из существующих БС обязательно сохраняется в модернизированной МСС. Как и в предыдущем случае, формируем новую ЗО и в этой области решаем задачу оптимального размещения БС основной проблемы с учетом существенного различия стоимостей БС в исходном множестве V .

Вариант 3: никакие из существующих БС не требуется обязательно сохранять в модернизированной МСС. В этом случае все существующие БС включаем в множество V , исходная ЗО не меняется и в этой области решаем вторую задачу основной проблемы оптимального планирования МСС с учетом резкого различия стоимостей БС в множестве V .

Таким образом, во всех возможных вариантах повторного использования существующих БС в процессе модернизации МСС задача оптимального размещения БС сводится к аналогичной задаче основной проблемы оптимального планирования. Ранее мы показали, что оптимизация сотовых ячеек и частотно-

го планирования при модернизации МСС производится также, как и при оптимальном планировании МСС. Следовательно, проблема оптимальной модернизации МСС сводится к основной проблеме оптимального планирования МСС, рассмотренной в разделе 2.

4. Заключение

В данной работе проанализированы ключевые аспекты оптимального планирования МСС и оптимальной модернизации МСС. Показано, что при всех вариантах требований операторов МСС к повторному использованию существующих БС, проблема оптимальной модернизации МСС сводится к основной проблеме оптимального планирования МСС. При этом актуальной становится задача оптимального размещения БС с учетом существенного различия стоимостей потенциальных БС. Указанная задача требует отдельного рассмотрения, которое будет дано в следующей нашей публикации.

Литература

- [1] *M Sugiyama*. IMT 2000 to open new era for mobile communications. NEC Research & Development, v. 42, no. 4, 2001. — p. 327–328.
- [2] <<http://www.ist-matrice.org.files>>.
- [3] *Bahai A., Aghvani H.* Network planning and optimization in the third generation wireless networks. 3G Mobile Communications Technologies, Conference Publication No. 471, IEE 2000. — p. 441–445.
- [4] *Huang X., Behr U., Wiesbeck W.* Automatic cell planning for a low-cost and spectrum efficient wireless network. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v. 18, no. 3, 2000. — p. 276–282.
- [5] *Hao Q., Soong B. et al.* A low-cost cellular mobile communication system: a hierarchical optimization network resource planning approach. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v. 15, no. 7, 1997. — p. 1315–1325.
- [6] *Hamabe K., Furuta M., Nagata Y.* WCDMA radio network planning. NEC Research & Development, v. 42, no. 4, 2001. — p. 338–341.
- [7] *Ahn D., Tafazolli R.* Interference characteristics analysis of mixed services in wideband CDMA UMTS. 3G Mobile Communications Technologies, Conference Publication No. 471, IEE 2000. p. 60–64.
- [8] *Vishnevsky E.P., Anikonov A.S. et al.* Method of defining network cells in a communication network. Patent application WO01/72071, PCT Electronic Gazette, 27.09.2001.
- [9] *Koster A.* Frequency assignment — models and algorithms. Ph.D. thesis, Maastricht University, The Netherlands, 1999. — 132 p.