

*У статті наведена математична модель і постановка задачі частотно-територіального планування мультисервісних мереж доступу. У якості критерію оптимальності ухваленого рішення пропонується використовувати критерій максимуму прибутку оператора зв'язку*

*Ключові слова: безпроводна мережа доступу, частотно-територіальне планування, прибуток*

---

*В статье приведена математическая модель и постановка задачи частотно-территориального планирования мультисервисных сетей доступа. В качестве критерия оптимальности принятого решения предлагается использовать критерий максимума прибыли оператора связи*

*Ключевые слова: беспроводная сеть доступа, частотно-территориальное планирование, прибыль*

---

*In the given article decrypted mathematical model and problem definition power and frequency assignment problem for multiservice wireless access network. Maximum profit of telecommunication provider criteria usage is offered for definition this problem*

*Key words: wireless access network, power and frequency assignment problem, profit*

# ПЛАНИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ДОСТУПА СОГЛАСНО КРИТЕРИЮ МАКСИМУМА ПРИБЫЛИ ОПЕРАТОРА СВЯЗИ

**Д. В. Агеев**  
Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра телекоммуникационных систем  
Харьковский национальный университет  
радиоэлектроники  
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166  
Контактный тел.: (057) 705-25-46  
E-mail: dm@ageyev.in.ua

## Введение

Бурное развитие информационных технологий и их широкое распространение выдвигает повышенные требования к телекоммуникационным системам. Удовлетворение выдвигаемых к телекоммуникационным системам требований возможно как за счет развития методов управления сетью, так и за счет развития методов проектирования. Одной из задач, решаемых при развертывании современных мультисервисных телекоммуникационных систем, является обеспечение доступа абонентов из любого места к любой информации в любое время. Это делает актуальным развертывание беспроводных мультисервисных сетей доступа, например, таких как UMTS, WiMAX и др. Одной из задач, решаемых при проектировании беспроводных сетей, является задача частотно-территориального планирования.

Наличие большого количества операторов связи функционирующих в условиях конкуренции на одной и той же территории, а также быстрое моральное устаревание современных телекоммуникационных систем приводит к изменению критериев оптимальности используемых при проектировании. В качестве критерия оптимальности принятого проектного решения автором предлагается использовать критерий максимуму прибыли оператора связи.

В данной статье предлагается математическая модель, и постановка задачи частотно-территориального планирования беспроводных мультисервисных сетей доступа согласно критерию максимума прибыли оператора, как задачи смешанного целочисленного программирования.

## 1. Обзор подходов к решению задачи

При проектировании беспроводных сетей абонентского доступа возникает задача частотно-территориального планирования, суть которой сводится к нахождению мест расположения базовых станций и закрепления за ними рабочих частот, используемых для связи с абонентскими терминалами, так чтоб при выполнении ряда ограничений (чаще всего качественные параметры канала связи), принятое решение было оптимально согласно выбранному критерию оптимизации. При планировании беспроводных сетей доступа стремятся охватить как можно больше территории на которой могут располагаться потенциальные потребители, создаваемая система должна иметь как можно меньшую стоимость и уровень сигнала должен быть достаточным, чтобы не оказывать влияния на качество предоставляемой услуги.

Процесс проектирования беспроводных сетей доступа требует адекватной модели охватываемой террито-

рии. В данной работе используется модель территории предложенная в работе [1], которая базируется на использовании тестовых точек (ТТ). Согласно этой модели вся территория разбивается на квадратные области с установленной в центре антенной. К каждой тестовой точке приписывается набор параметров, которые являются общими для всех абонентов в данной зоне, величина нагрузки, оказываемая на сеть равна суммарной нагрузки от всех абонентов находящихся в данной зоне.

**2. Математическая модель и постановка задачи**

Рассмотрим постановку задачи частотно территориального планирования беспроводной сети доступа мультисервисной телекоммуникационной системы по критерию максимума прибыли провайдера инфотелекоммуникационных услуг. Данная задача сформулирована как задача смешанного целочисленного линейного программирования, в основу которого положена формулировка задачи планирования сетей WiMAX [2].

Проектируемая система является фиксированной беспроводной сетью доступа. Она состоит из множества базовых станций распределенных по территории, которые обеспечивают доступ абонентских станций в мультисервисную сеть. Возможные месторасположения базовых станций определяются дискретным множеством мест.

Зададим исходные данные следующим образом:

$A = \{a\}$  - множество тестовых точек, соответствующие множеству эквивалентных по размеру квадратных зон покрывающих территорию сети доступа.

$Z = \{z\}$  - множество передатчиков, которые могут устанавливаться на базовых станциях в местах-кандидатах.

Каждый устанавливаемый передатчик характеризуется набором параметров. В рамках данной оптимизационной задачи нас будет интересовать следующие:

$f$  - частотный канал используемый для организации радиоканала между абонентской и базовой станцией для доступа абонента в сеть. Используемый частотный канал выбирается из ограниченного множества возможных каналов  $F$ , каждый из которых имеет постоянную полосу  $W$ ;

$P_z^f$  - излучаемая мощность передатчиком  $z \in Z$  на частоте  $f \in F$ ,  $P_z^f \in [P_z^{\min}, P_z^{\max}]$ .

На каждой базовой станции, на каждой частоте может быть установлен один передатчик с круговой ДНА или несколько - с направленными антеннами. Активация передатчика может запрещать аналогичную активацию другого передатчика на базовой станции работающего на той же частоте, например, с тем же азимутом. Введем семейство  $\zeta = \{G_1, G_2, \dots, G_{|\zeta|}\}$ , где  $G_i \subseteq Z, i = 1, \dots, |\zeta|$  - множество взаимоисключающих передатчиков.

$c_z$  - стоимость монтажа и активации передатчика  $z$ .

При планировании беспроводных сетей доступа необходимо адаптировать модель распространения ЭМИ для прогнозирования условий распространения сигнала и оценки суммарного затухания  $\gamma_{az} \in [0, 1]$  от передатчика  $z$  до центра каждой ТТ  $a \in A$ . Мощность сигнала  $P_z^f(a)$  принимаемого в ТТ  $a$  от передатчика  $z$  на частоте  $f$  может быть определена как:

$$P_z^f(a) = \gamma_{az} \cdot P_z^f. \tag{1}$$

Беспроводная сеть доступа покрывает ТТ, если качество приема сигнала базовой станции имеет достаточное качество. Качество приема зависит не только от уровня принимаемого сигнала, но и от уровня сигналов мешающих станций. Чаще всего для оценки качества сигнала используют отношение сигнал/помеха (SIR – signal to interference ratio). Таким образом, ТТ считается, что покрывается сетью, если SIR выше определенного уровня  $\mu$ . Данное требование на частоте  $f$  можно записать следующим образом:

$$\frac{\gamma_{a\beta} \cdot P_\beta^f}{\sum_{z \in Z \setminus \{\beta\}} \gamma_{az} \cdot P_z^f + N} \geq \mu, \tag{2}$$

где  $\beta$  – передатчик обслуживающий ТТ  $a$ ;  $N$  – уровень теплового шума.

Современные беспроводные сети поддерживает режим адаптивного выбора метода модуляции и метода помехоустойчивого кодирования. Для разных режимов работы существует разные комбинации метода модуляции и используемого помехоустойчивого кода, каждая из которых называется профилем. При этом для получения более высокой скорости передачи требуется более высокое значение  $\mu$ . В рамках решаемой задачи набор используемых профилей ограничен множеством  $V$ . Для каждого профиля  $v \in V$  определена пара значений параметров  $v = (\mu_v, \phi_v)$ , где  $\mu_v$  - граничное значение SIR;  $\phi_v$  - спектральная эффективность (бит/с·Гц).

В сети предоставляется набор инфотелекоммуникационных услуг, которые можно задать множеством  $S$ . С каждой ТТ  $a \in A$  ассоциируется множество услуг  $S_a \subseteq S$ , которые потенциально потребляются группой абонентов в зоне данной ТТ. При предоставлении услуги  $s \in S_a$  абоненту в единичном объеме оператор получает доход  $E(s)$ . Обозначим:  $h^s$  - величина трафика, создаваемого услугой  $s \in S_a$ ;  $q_a^s$  - объем услуги  $s \in S_a$  потребляемой в ТТ  $a \in A$ .

Тогда величина трафика, потребляемого в  $a \in A$ , при предоставлении полного перечня услуг в заказываемом объеме можно определить как

$$h_a = \sum_{s \in S_a} h^s \cdot q_a^s. \tag{3}$$

Получаемый оператором доход в этом случае можно определить как

$$e_a = \sum_{s \in S_a} E(s) \cdot q_a^s. \tag{4}$$

При развертывании сети доступа оператор связи имеет возможность определять, какие из потенциально потребляемых услуг абонентом предоставлять в развертываемой сети.

Введем обозначения:

$$y_a = \begin{cases} 1, & \text{если ТТ } a \in A \text{ обслуживается,} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \tag{5}$$

$$y_z^f = \begin{cases} 1, & \text{если передатчик } z \in Z \text{ использует частоту } f, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \tag{6}$$

$$x_{az}^{fv} = \begin{cases} 1, & \text{если ТТ } a \in A \text{ обслуживается передатчиком } z \in Z \\ & \text{на частоте } f \in F \text{ с использованием профиля } v \in V, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \tag{7}$$

$$x_a^s = \begin{cases} 1, & \text{если услуга } s \in S_a \text{ предоставляется в ТТ } a \in A, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \tag{8}$$

Полунепрерывная переменная  $p_z^f$  определяет мощность излучаемую передатчиком  $z \in Z$  в частотном канале  $f \in F$ :

$$p_z^f \in \left\{0, \left[ P_z^{\min}, P_z^{\max} \right] \right\}. \quad (9)$$

Тестовая точка  $a \in A$  обслуживается, если хотя бы один передатчик  $z$  обслуживает  $a$  на частоте  $f$  с использованием профиля  $v$ . Что можно задать как:

$$y_a \leq \sum_{z \in Z} \sum_{f \in F} \sum_{v \in V} x_{az}^{fv}, \quad a \in A. \quad (10)$$

Если  $x_{az}^{fv} = 1$  для некоторого  $z \in Z, f \in F, v \in V$ , то передатчик  $z$  должен быть активирован на частоте  $f$ :

$$x_{az}^{fv} \leq y_z^f, \quad a \in A, z \in Z, f \in F, v \in V. \quad (11)$$

Условие (2) по требуемому уровню SIR можно записать в линейном виде для всех  $a \in A, \beta \in Z, f \in F, v \in V$ :

$$\gamma_{a\beta} \cdot P_\beta^f - \mu_v \sum_{z \in Z, \{ \beta \}} a_{az} \cdot P_z^f + M \cdot (1 - x_{a\beta}^{fv}) \geq \mu_v \cdot N, \quad (12)$$

где  $M$  – некоторая большая константа.

Когда ТТ  $a$  покрывается сетью, то есть  $x_{az}^{fv} = 1$ , то потребляемый трафик

$$h_a = \sum_{s \in S_a} h^s \cdot q_a^s \cdot x_a^s, \quad (13)$$

занимает часть пропускной способности  $W$  частотного канала  $f$ . Суммарная полоса частот, требуемая для обслуживания потребляемого трафика не должна превышать пропускную способность канала связи:

$$\sum_{a \in A} \sum_{s \in S_a} \sum_{v \in V} h^s \cdot q_a^s \cdot x_a^s \cdot \frac{1}{\phi_v} \cdot x_{az}^{fv} < W \quad z \in Z, f \in F. \quad (14)$$

Для избегания активации взаимоисключающих передатчиков введем следующее условие:

$$\sum_{z \in G} y_z^f \leq 1, \quad z \in Z, f \in F. \quad (15)$$

В случае если передатчик не активен  $y_z^f = 0$  на частоте  $f$ , то излучаемая мощность равна нулю. Это условие задается неравенствами:

$$p_z^f \geq y_z^f \cdot P_z^{\min}, \quad z \in Z, f \in F, \quad (16)$$

$$p_z^f \leq y_z^f \cdot P_z^{\max}, \quad z \in Z, f \in F. \quad (17)$$

В процессе планирования беспроводной сети доступа необходимо найти такую конфигурацию сети, чтобы обеспечить максимум прибыли оператора связи. Что можно представить в следующем виде

$$\sum_{a \in A} \sum_{s \in S_a} E(s) \cdot q_a^s \cdot x_a^s \cdot y_a - \sum_{z \in Z} \sum_{f \in F} c_z \cdot y_z^f \rightarrow \max \quad (18)$$

Запишем формулировку задачи частотно-территориального планирования беспроводных мультисервисных сетей доступа в окончательном виде

$$\sum_{a \in A} \sum_{s \in S_a} E(s) \cdot q_a^s \cdot x_a^s \cdot y_a - \sum_{z \in Z} \sum_{f \in F} c_z \cdot y_z^f \rightarrow \max, \quad (19)$$

при условии

$$\gamma_{a\beta} \cdot P_\beta^f - \mu_v \sum_{z \in Z, \{ \beta \}} a_{az} \cdot P_z^f + M \cdot (1 - x_{a\beta}^{fv}) \geq \mu_v \cdot N, \quad (20)$$

$$a \in A, \beta \in Z, f \in F, v \in V \quad (20)$$

$$y_a \leq \sum_{z \in Z} \sum_{f \in F} \sum_{v \in V} x_{az}^{fv}, \quad a \in A \quad (21)$$

$$\sum_{a \in A} \sum_{s \in S_a} \sum_{v \in V} h^s \cdot q_a^s \cdot x_a^s \cdot \frac{1}{\phi_v} \cdot x_{az}^{fv} < W \quad z \in Z, f \in F \quad (22)$$

$$\sum_{z \in G} y_z^f \leq 1, \quad z \in Z, f \in F \quad (23)$$

$$x_{az}^{fv} \leq y_z^f, \quad a \in A, z \in Z, f \in F, v \in V \quad (24)$$

$$p_z^f \geq y_z^f \cdot P_z^{\min}, \quad z \in Z, f \in F \quad (25)$$

$$p_z^f \leq y_z^f \cdot P_z^{\max}, \quad z \in Z, f \in F \quad (26)$$

$$y_z^f \in \{0, 1\}, \quad z \in Z, f \in F \quad (27)$$

$$x_{az}^{fv} \in \{0, 1\}, \quad a \in A, z \in Z, f \in F, v \in V \quad (28)$$

$$y_a \in \{0, 1\}, \quad a \in A \quad (29)$$

$$x_a^s \in \{0, 1\}, \quad s \in S_a, \quad a \in A \quad (30)$$

$$p_z^f \in \left\{0, \left[ P_z^{\min}, P_z^{\max} \right] \right\}, \quad z \in Z, f \in F \quad (31)$$

Для решения поставленной задачи смешанного целочисленного программирования предлагается использовать пакеты математического моделирования и расчета, например, такие как ILOG CPLEX 10.0. Для возможности решения задач большой размерности предлагается применить методику позволяющую сократить количество переменных описанную в работе [2].

## Заключение

В условиях многооператорности и конкуренции на рынке предоставления инфотелекоммуникационных услуг более рациональным с точки зрения автора статьи является использование, при проектировании мультисервисных сетей доступа критерия максимума прибыли оператора связи. При использовании данного критерия в процессе проектирования дополнительно появляется такой варьируемый параметр как перечень предоставляемых услуг и множество абонентов, которым предоставляются услуги. В результате решаемая оптимизационная задача является более близкой к задачам, решаемым при создании бизнес планов оператор связи.

Решение задачи частотно-территориального планирования мультисервисных беспроводных сетей доступа можно свести к задаче смешанного целочисленного программирования. Для решения данной задачи можно использовать стандартные программные пакеты математического моделирования и решения задач целочисленного программирования, например, такие как ILOG CPLEX 10.0.

Предложенная в статье постановка задачи может быть применена на практике при проектировании сетей NGN, содержащих беспроводные сети доступа.

## Литература

1. Tutschku K. Demand-based radio network planning of cellular mobile communication systems / Institute of Computer Science, University of Würzburg, Germany – 1997. – Report № 177.
2. Yan Zhang WiMAX network planning and optimization / Yan Zhang. - Auerbach Publications, 2009 – 443 p. - ISBN 978-1-4200-6662-3.