

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

УДК 004.72

А.Ю. ОСТРИКОВ

**АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА  
С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРА МОБИЛЬНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**

*Статья посвящена вопросам структурного синтеза сети абонентского доступа с учетом динамики поведения абонентов. Автором предложен алгоритм синтеза, основанный на решении задачи многомерной кластеризации методом k-средних. Проведена сравнительная оценка эффективности решений, полученных при помощи классических алгоритмов синтеза радиально-узловых структур (COM, Drop, R-структур) и предлагаемого алгоритма.*

**Ключевые слова:** структурный синтез; сеть абонентского доступа; точка доступа; кластеризация; алгоритм.

*Article is devoted to user's access network structural synthesis with view in dynamics behaviour of subscribers. Authors offer a algorithm based on the decision of multivariate clusterization problem by k-averages method. The comparative estimation of efficiency by classical synthesis algorithms for structures (COM, Drop, R-structure) and offered algorithm are leaded.*

**Keywords:** structural synthesis; user's access network; point of access; clusterization; algorithm.

**ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день неотъемлемым атрибутом конвергированных инфокоммуникационных сетей является возможность обеспечения услуг с использованием различных технологий доступа, в том числе, и мобильных [1, 6, 8]. Налицо изменение приоритетов на рынке инфокоммуникаций как со стороны операторов фиксированной проводной связи, так и операторов мобильного сегмента. Если первые расширяют спектр своих возможностей за счет внедрения устройств радио доступа (Wi-Fi Router, точки доступа WiMax), то вторые непрерывно совершенствуют технологии, позволяющие предоставлять высокоскоростные услуги, характерные для проводных технологий.

Эти тенденции ведут к неременной смене парадигмы в области проектирования сетей и принципов их организации. Современные инфокоммуникационные сети не только должны быть масштабируемыми и гибкими, но и обладать свойством некой технической инерции. Другими словами на этапе проектирования сети должны учитываться возможные траектории динамически изменяемых условий, например, передвижение абонентов, изменяемая нагрузка и т.д. С этой точки зрения наиболее важным аспектом является построение сети абонентского доступа.

Данная статья содержит отдельные результаты исследований автора, связанные с вопросами проектирования современных инфокоммуникационных сетей.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Задача синтеза сети абонентского доступа сводится к выбору мест размещения точек доступа и определения их характеристик. В качестве целевого эффекта при построении сети выступает качество обслуживания, показателем которого с учетом

специфики абонентских сетей выступает вероятность доступности с требуемыми параметрами (интенсивностями потоков). Таким образом, формальная постановка задачи синтеза сети абонентского доступа может быть представлена в виде (1):

$$\begin{aligned} P_{\text{доcm}}^i(R_i^{\text{TD}}, \lambda_i, t) &\rightarrow \max \\ \sum_i \lambda_i(j) &\leq \Lambda_j, \quad j = \overline{1..n} \\ nC^{\text{TD}} &\leq C^{\text{AC}} \end{aligned} \quad , \quad (1)$$

где  $R_i^{\text{TD}}$  – расстояние  $i$ -го абонента до точки доступа;

$\lambda_i$  – интенсивность потока от  $i$ -го абонента;

$\Lambda_j$  – максимально возможная нагрузка  $j$ -ой точки доступа;

$C^{\text{AC}}$  – нормативная стоимость абонентской сети;

$C^{\text{TD}}$  – стоимость точки доступа.

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

В качестве прототипа модели синтеза сети абонентского доступа целесообразно использовать аналитические решения задач кластеризации. Из существующих методов наиболее адекватен условиям решаемой задачи метод  $k$ -средних [7], принадлежащий группе итеративных методов кластеризации эталонного типа, поскольку он позволяет разбить исходное множество на то количество кластеров, которое задано исходными данными (например, количеством точек доступа).

Кроме того, метод  $k$ -средних использует два критерия разбиений исходного множества: первый определяет меру сходства объектов (например, евклидово расстояние), а второй – мощность сформированных кластеров, обеспечивающий равномерность их заполнения, что и отвечает требованиям к построению сетей абонентского доступа [4].

Пусть синтезируемая сеть должна предоставлять услуги  $n$  абонентам. Географическое положение абонентов определяется координатами  $(x, y)_n$ . Значение  $x$  и значение  $y$  являются случайными величинами, каждая из которых характеризуется плотностью функции распределения. События, определяющие местоположение абонентов относительно координат  $x$  и  $y$ , являются независимыми и поэтому могут быть описаны системой случайных величин с функцией распределения вероятности вида [2, 5]:

$$f(x, y)_n = f_1(x)_n \cdot f_2(y)_n \quad , \quad (2)$$

где  $f_1(x)_n, f_2(y)_n$  плотности функций распределения координат  $x$  и  $y$  для  $n$ -го абонента.

Таким образом, плотность функции распределения для географического положения абонента описывает поверхность распределения. Так, например, если в качестве закона распределения координат определим нормальный закон, характеризующийся математическим ожиданием  $m_x, m_y$  и дисперсией  $d_x, d_y$ , тогда поверхность распределения будет иметь вид, представленный на рисунке 1.

Вид поверхности распределения является одним из признаков, определяющий абонента как объект кластеризации. Другим признаком является интенсивность потока  $I_i$  порождаемого  $i$ -ым абонентом. Для уменьшения размерности пространства решений целесообразно использование мультипликативной свертки двух признаков:

$$f(x, y)_i' = f(x, y)_i \cdot I_i \quad (3)$$

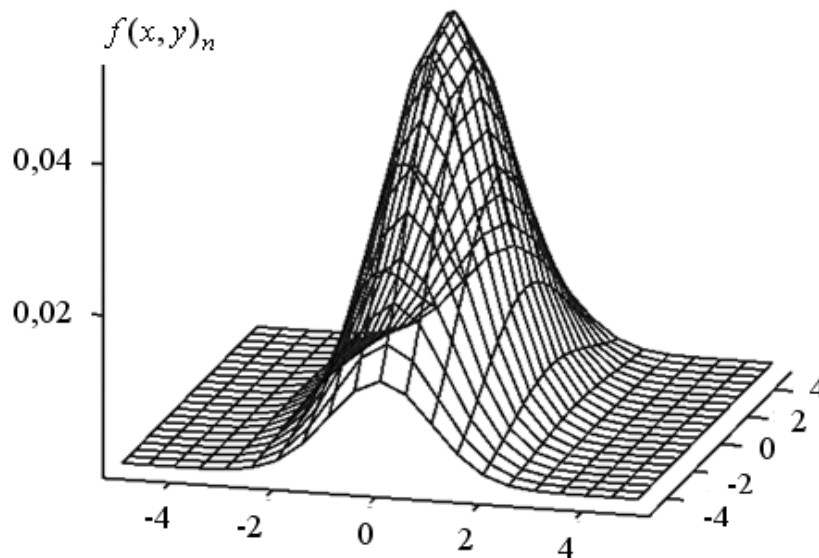


Рисунок 1 – Вид поверхности распределения

Учитывая независимость признаков объектов в качестве меры сходства целесообразно использовать евклидово расстояние между каждой парой классифицируемых объектов [7]:

$$d_{i,j} = r(f(x, y)_i, f(x, y)_j) = \sqrt{\sum_{i,j} \sum_{k=1}^l (x_i - x_j)^2_k + (y_i - y_j)^2_k + (f(x_i, y_j) - f(x_i, y_j))^2_k} \quad (4)$$

Для построения модели сети абонентского доступа воспользуемся аналитическими выражениями метода  $K$ -средних [7, 9]. В соответствии с этим методом из всего множества объектов выбираются эталоны  $E$ . Исходя из решаемой задачи, количество эталонов кластеризации определяется количеством точек доступа, концентрирующих нагрузку абонентской сети, а оно, в свою очередь, может быть заданно в качестве стоимостного ограничения на синтез сети.

Процедура объединение объектов в кластеры определяется выражением (5):

$$f(x, y)_j = \frac{w_j f(x, y)_j + f(x, y)_{n+1}}{w_j + 1} : d_{j,n+1} \rightarrow \max, \quad (5)$$

где  $j=1..e$  – номер кластера (при первой итерации за кластеры произвольно принимаются  $e$  объектов из множества  $N$ );

$w$  – коэффициент, учитывающий количество входящих в кластер объектов.

В результате  $m$  итераций, образующих устойчивые кластеры, формируются  $e$  объектов, характеризующихся приведенными плотностями функций распределения  $f_e(x, y)_e$ . Математическое ожидание и значение этой функции в точке математического ожидания определяют наиболее вероятное место географического положения концентрирующего элемента сети абонентского доступа (точки доступа), для которого рассчитываются характеристики потока, исходя из модели источника нагрузки.

В общем случае поток концентратора рассчитывается как сумма потоков всех терминалов, входящих в один кластер с концентратором (6) (7):

$$\Lambda_j^{ex} = \sum_{n \in E_j} I_n^{ex} \quad (6)$$

$$\Lambda_j^{ucx} = \sum_{n \in E_j} I_n^{ucx} \quad (7)$$

Специфика поведения пользователей предполагает решение задачи в динамике. Для этого необходимо определить временные интервалы, в пределах которых будет выполнен расчет конфигурации сети, а затем объединить частные решения в единое общее.

В связи с этим нагрузка абонента будет задаваться не интенсивностью и некоторым профилем  $I(t_p)_i$ . Анализ литературы [3, 8] показал целесообразность выбора временных интервалов размером астрономического часа.

### АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

На основании предложенной математической модели, алгоритм синтеза сети абонентского доступа может быть представлен в виде блок-схемы (рис. 2).

В качестве исходных данных задаются (бл.1):

- характер мобильности пользователя (функция  $f(x, y)$ ) на временных интервалах  $t_p$ ;
- профиль нагрузки абонентского терминала ( $I(t_p)$ );
- количество точек доступа  $K$ .

В совокупности признаки 1 и 2 определяют метрическое пространство, содержащее  $n$  объектов (абонентских терминалов).

В блоке 2 (рис. 2) для каждого терминала производится нормирование характеристики профиля нагрузки, а затем осуществляется мультипликативная свертка параметров  $f(x, y)$  и  $I(t)$  (блок 3).

В итоге для каждого терминала на выделенных временных интервалах формируется совокупность значений обобщенного признака  $f(x, y)_i^{t_p}$ , характеризующего как мобильность, так и интенсивность нагрузки объекта (рис. 3).

В блоках 5-8 алгоритма производится кластеризация объектов на заданные  $K$  кластеров методом  $k$ -средних в пределах каждого временного интервала  $t_p$ , в результате чего образуется множество новых объектов с признаками  $F_k^{cp}(x, y)_p$ , где  $k = \overline{1..K}$ ,  $p = \overline{1..T}$ ,  $T$  – количество рассматриваемых временных интервалов.