

УДК 004.725

Ю.И. Воротницкий, В.П. Кочин, Д.А. Стрикелев

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ С ЗАДАНЫМ КАЧЕСТВОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Описывается математическая модель оптимизации расположения точек доступа Wi-Fi с заданным качеством обслуживания. Разрабатывается модифицированный генетический алгоритм оптимизации расположения точек доступа Wi-Fi. Проводится апробация результатов для тестового здания.

Введение

Задачи проектирования и оптимизации сетей передачи данных, актуальные на данный момент в науке и промышленности, характеризуются высокой вычислительной сложностью и немонотонным, «зашумленным» ландшафтом пространства решений. При решении этих задач традиционные аналитические методы оптимизации либо неприменимы, либо находят локальные субоптимальные решения, далекие от глобальных экстремумов, а методы полного перебора неприменимы из-за размерности пространства решений. Это обусловило появление и развитие нового класса эвристических методов, основанных на имитации механизмов, действующих в природе, в частности генетических алгоритмов. Назовем их наиболее важные преимущества:

- высокая степень распараллеливаемости на различных уровнях (как микро-, так и макро-);
- эффективность при решении многокритериальных задач по следующим причинам: поиск ведется в различных областях пространства решений одновременно, не требуется априорного задания весов критериев, на выходе получаются множества решений с различными приоритетами критериев.

1. Постановка задачи

Требуется определить оптимальное расположение точек доступа Wi-Fi в заданном помещении с целью организации беспроводного доступа к мультимедийным ресурсам с требуемым качеством обслуживания и с учетом особенностей организации учебного процесса вуза – требований на возможность подключения заданного количества пользователей в аудиториях [1].

Размещение пользователей в помещении задается выражением

$$U = \{x, y\}_i, \quad i = \overline{1, R}, \quad (1)$$

где R – общее число пользователей; x, y – координаты пользователей.

Подключение пользователей к точкам доступа задано матрицей UM размерностью $R \times N$:

$$UM_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й пользователь подключен к } j\text{-й точке доступа;} \\ 0, & \text{если } i\text{-й пользователь не подключен к } j\text{-й точке доступа,} \end{cases} \quad (2)$$

где R – количество пользователей; N – количество точек доступа.

Помещение представляет собой множество стен с заданными координатами их углов, толщиной и проницаемостью материала стены

$$W_i = \{f_i(x); x'_i; x''_i; h_i; \varepsilon_i\}, \quad i = \overline{1, M}, \quad (3)$$

где M – количество стен в здании; $f_i(x)$ – уравнение i -й стены с граничными условиями x'_i, x''_i ; h_i – толщина i -й стены; ε_i – диэлектрическая проницаемость стены.

Возможность подключения пользователей к точке доступа определяется ее техническими характеристиками, а также мощностью сигнала, ослабляемого при прохождении препятствий.

Для расчета ослабления сигнала применяется выражение, полученное в [2] и зависящее от следующих аргументов:

d – расстояния в свободном пространстве, которое проходит волна;

h – толщины стены, через которую проходит волна;

k – коэффициента ослабления материала стены;

f – частоты волны.

С помощью выражения [2] становится возможным вычислить ослабление сигнала при распространении из точки (x_i, y_i) в точку (x'_i, y'_i) :

$$\Psi(x_i; y_i; x'_i; y'_i). \quad (4)$$

Для расчета скорости доступа при заданной мощности сигнала и количестве пользователей применяется выражение, приведенное в [3]. На основе данного выражения и требований качества сервиса положим:

$$\varphi(P_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й пользователь подключен с соблюдением требований } QoS; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, целевая функция оптимизации приобретет вид

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^N UM_{ij} \times \phi(\Psi(x_i; y_i; x'_j; y'_j)) \rightarrow \max; \\ \sum_{i=1}^N UM_{ij} \leq 1, \forall i \in \overline{1, R}, \end{cases} \quad (6)$$

где x_i, y_i – координаты i -го пользователя; x'_j, y'_j – координаты j -й точки доступа Wi-Fi.

Искомым решением задачи является множество координат точек доступа X (размерности N), $X_i = \{x'_i, x''_i\}$.

2. Генетический алгоритм оптимизации размещения точек доступа

В рамках описанной математической модели задачи решением будет являться набор координат точек доступа. Координаты каждой точки будут определяться геном, а их множество – формировать хромосому.

Первым шагом алгоритма является генерация начальной популяции решений. В классических генетических алгоритмах начальная популяция генерируется случайным образом. Однако в рассматриваемом случае это может привести к росту вычислительной сложности и к вырождению конечного решения. В связи с этим предлагается двухэтапный алгоритм формирования исходной популяции. На первом этапе необходимо определить места с наибольшим количеством пользователей Wi-Fi и центры этих «скоплений». Для решения подобных задач исследователями применялись такие алгоритмы кластеризации, как K-means, C-means, Fuzzy-clustering и др. [4–6].

Решаемая задача характеризуется рядом ограничений:

- количеством пользователей, подключаемых к точке доступа;
- геометрией помещения (возможно, ближайший клиент будет находиться через стенку, но по мощности будет самый худший);
- вычислительной сложностью, с учетом того что необходимо сгенерировать популяцию с Q количеством особей.

Таким образом, ни один из перечисленных выше алгоритмов не удовлетворяет условиям задачи. В связи с этим в данной статье предложен следующий алгоритм (рис. 1).

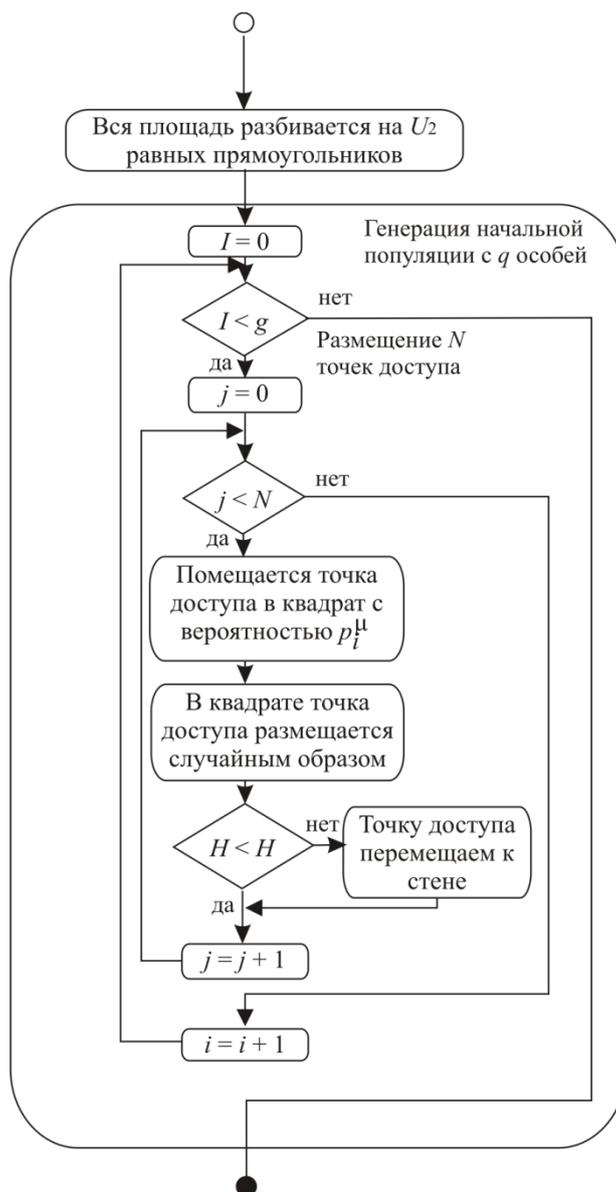


Рис. 1. Схема алгоритма генерации начальной популяции

Геометрическая конфигурация помещения, в котором размещаются точки доступа, вписывается в прямоугольник с координатами левого нижнего угла $(x_{min}; y_{min})$ и правого верхнего угла $(x_{max}; y_{max})$.

Вся площадь расположения точек доступа Wi-Fi разбивается на U^2 квадратов. При этом U определяется соотношением

$$(U - 1)^2 < N \leq U^2, \tag{7}$$

где N – количество точек доступа Wi-Fi, которые необходимо разместить.

Далее определяется количество абонентов в каждом квадрате, для чего точки доступа помещаются в квадрат с вероятностью p_i^u , пропорциональной количеству абонентов:

$$p_i^u = \frac{R_i}{R}, \tag{8}$$

где R_i – количество абонентов в i -м квадрате; R – общее количество абонентов.

На втором этапе работы алгоритма точка доступа случайным образом помещается внутри i -го квадрата. Также необходимо учитывать, что осуществить установку точки доступа возле

стены технически более просто. Для учета данного допущения определяется расстояние H до ближайшей стены, и если $H < H_0$, где H_0 – эталонное расстояние равное 0,5 м, то точку доступа перемещаем к стене по перпендикуляру.

На следующем этапе определяется алгоритм подключения клиентов к точке доступа (рис. 2):

1. Если $R^k < R_{max}^k$, где R^k – количество подключенных клиентов к точке доступа k , R_{max}^k – максимально разрешенное количество абонентов точки доступа k , то переходим к шагу 2; иначе, если не существует точки доступа с $R^k < R_{max}^k$, устанавливаем скорость доступа для клиента в точке $X B = 0$.

2. Для клиента в точке X рассчитываем скорость доступа B_k при подключении к точке доступа K .

3. Подключаем клиента к точке доступа с $\max(B_k)$.

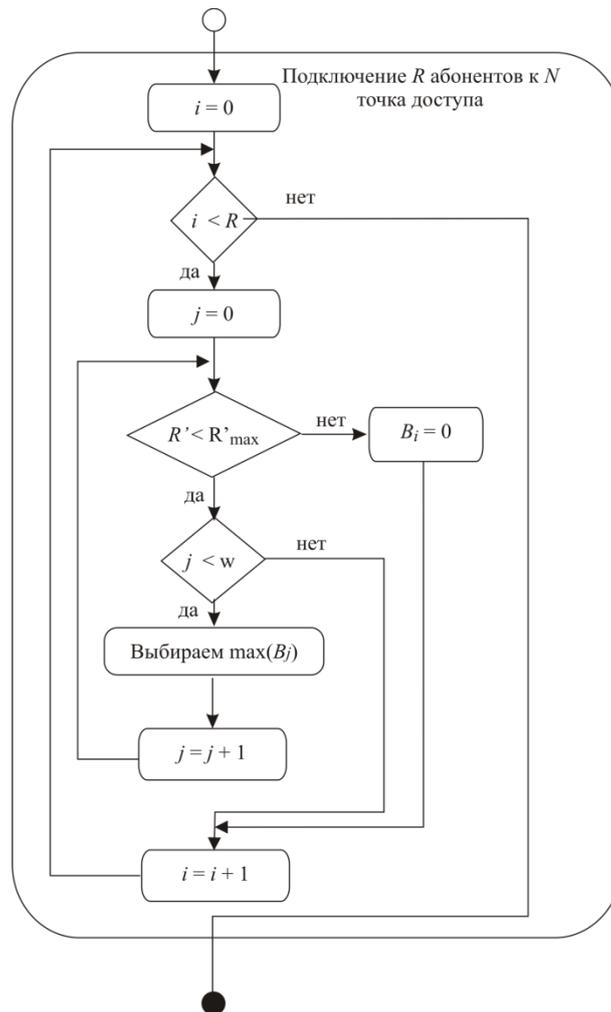


Рис. 2. Схема алгоритма подключения клиентов к точке доступа

Оценивание приспособленности хромосом в популяции состоит в расчете функции приспособленности (фитнес-функции) для каждой хромосомы этой популяции:

$$F = \sum_i^{b_i < B} c_i, \quad (9)$$

где B – пороговая скорость подключения клиентов к сети, определяемая моделью трансляции качества услуг QoS; b_i – скорость подключения i -го клиента к сети; c_i – штрафная функция для точки доступа, для которой $b_i < B$. При этом в соответствии с поставленной задачей вид штраф-

ной функции для точки доступа k , для которой выполняется условие $b_i < B$, должен зависеть от b_i и удовлетворять соотношению

$$\sum_{i \neq k} c_i^{\max} < \sum_i c_i^{\min}. \quad (10)$$

При рассмотрении качества услуг (Quality of Service, или QoS) в зависимости от конкретного типа решаемой задачи начальные метрики критерия формулируются с точки зрения пользователя на пользовательском уровне. В качестве характеристик прикладного уровня используются время задержки при передаче файла и характеристики потока. В качестве характеристик транспортно-сетевого уровня используются пропускная способность, время задержки, джиттер, вероятность потери пакета. В качестве характеристики физического уровня используется мощность сигнала. Так как характеристика физического уровня является непосредственно измеряемой (оцениваемой) в процессе оптимизации, авторы предлагают последовательное использование трех преобразований, каждое из которых выполняется по своим правилам. На первом этапе необходимо осуществить преобразование характеристик пользовательского уровня в характеристики прикладного уровня, на втором этапе – преобразование характеристик прикладного уровня в характеристики транспортно-сетевого уровня, на третьем этапе – преобразование характеристик транспортно-сетевого уровня в характеристики физического уровня.

Таким образом, штрафная функция для точек доступа будет иметь вид

$$c_i = \text{const} + e^{B-b_i}, \quad (11)$$

где const – константа, которая зависит от количества точек доступа, участвующих в оптимизации, и параметра B , который определяется моделью трансляции качества услуг QoS:

$$\text{const} \geq R(e^B - 1), \quad (12)$$

Фитнес-функция будет иметь вид

$$F = \sum_i^{b_i < B} (\text{const} + e^{B-b_i}). \quad (13)$$

В качестве оператора мутации выступает одно из следующих преобразований:

- удаление точки доступа с вероятностью α ;
- включение точки доступа с вероятностью β . Смотрим, какие точки доступа выключены, случайно выбираем одну, включаем ее в точке со случайной координатой (генерация случайных координат должна попадать в разрешенную координату);
- смещение с вероятностью γ точки доступа Wi-Fi в новое положение.

На первом этапе для скрещивания случайным образом выбираются пары хромосом из родительской популяции. Это временная популяция, состоящая из хромосом, отобранных в результате селекции и предназначенных для дальнейших преобразований операторами скрещивания и мутации с целью формирования новой популяции потомков. Само скрещивание происходит по следующим правилам:

1. Для пары хромосом вычисляются вероятности $p_1^c = \frac{F_1}{F_1 + F_2}$, $p_2^c = 1 - p_1^c$, где F_1 и F_2 – значения фитнес-функции для двух хромосом.

2. Далее проверяются следующие утверждения:

- точка доступа присутствует в первой хромосоме, но отсутствует во второй. Тогда с вероятностью p_1^c она присутствует в потомке, с вероятностью p_2^c не присутствует;
- точка доступа присутствует во второй хромосоме, но отсутствует в первой. Тогда с вероятностью p_2^c она присутствует в потомке, с вероятностью p_1^c не присутствует;
- точка доступа присутствует в обеих хромосомах. Тогда координаты точки доступа потомка берутся с вероятностью p_1^c из первой хромосомы, с вероятностью p_2^c из второй хромосомы.

После скрещивания размер популяции является увеличенным по отношению к своему нормальному уровню. Для корректировки этой ситуации на финальном этапе итерации проводится отбор наиболее приспособленных индивидов на основе значений функции приспособленности. Такой выбор производится согласно принципу естественного отбора, по которому наибольшие шансы на участие в создании новых особей имеют хромосомы с наименьшими значениями функции приспособленности. Таким образом, в алгоритме будет использована турнирная селекция, при которой в результате скрещивания пары хромосом будет выбрана особь с наилучшим значением функции приспособленности.

На основе модифицированного генетического алгоритма был создан программный комплекс оптимизации расположения точек доступа Wi-Fi. Для создания программного комплекса использовались язык программирования C++ и библиотека MPI.

Для проведения вычислительного эксперимента предполагалось, что необходимо разместить четыре точки доступа Wi-Fi в помещении с девятью комнатами, одна из которых поточная аудитория, при этом количество пользователей в комнатах известно.

Расчет расположения точек доступа Wi-Fi производился на компьютере со следующими параметрами: операционная система Windows 7, двухъядерный процессор Intel Pentium Dual E2160 1,8 ГГц, оперативная память 2048 Мб.

Для отображения результатов вычисления был создан графический интерфейс. В процессе вычисления проводилась выборка хромосом для оценки сходимости алгоритма. Результат вычисления показан на рис. 3.

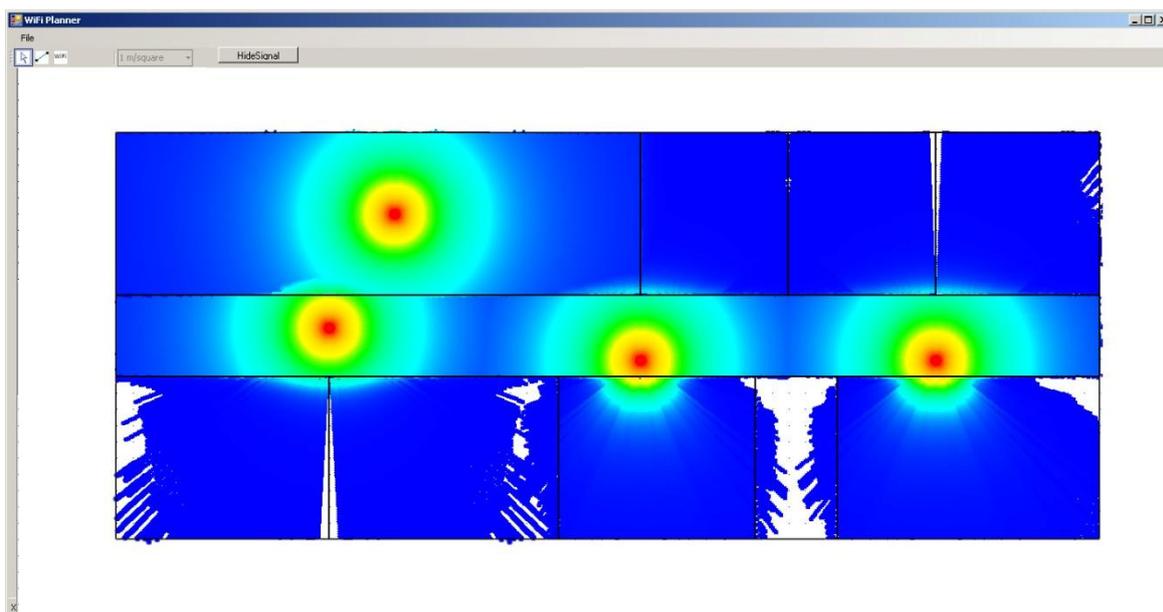


Рис. 3. Размещение точек доступа Wi-Fi с наилучшим значением фитнес-функции

Среднее время работы программного комплекса составило 915 с при размере популяции 60 особей.

В результате проведенного эксперимента удалось установить следующие закономерности:

- при увеличении количества точек доступа W-Fi размер популяции увеличивается по полиномиальному закону;
- при увеличении количества точек доступа W-Fi время работы алгоритма увеличивается по экспоненциальному закону.

Данные зависимости объясняются многократным вычислением целевой функции на каждой итерации. Таким образом, при увеличении количества точек доступа Wi-Fi до 50 время работы алгоритма может составить до года в зависимости от размера популяции и геометрии по-

мещения. В связи с этим в дальнейшем вычисления будут проводиться с использованием вычислительных ресурсов суперкомпьютера СКИФ-БГУ. В настоящее время для расчетов доступны 65 узлов, в каждом из которых два двухъядерных процессора AMD Opteron 2,2 ГГц. Таким образом, скорость работы алгоритма увеличится примерно в 300 раз по сравнению с вычислениями на тестовой рабочей станции.

Использование ресурсов суперкомпьютера СКИФ-БГУ позволит, во-первых, рассчитать оптимальное расположение точек доступа Wi-Fi при их достаточно большом количестве, во-вторых, увеличить точность полученных результатов.

Заключение

Предложенный генетический алгоритм позволяет получить размещение точек доступа Wi-Fi при условии наиболее полного соблюдения требований заданного качества услуг. Данный алгоритм характеризуется высокой степенью распараллеливаемости, что позволяет при расчетах использовать ресурсы суперкомпьютерных кластерных систем.

Список литературы

1. Воротницкий, Ю.И. Мобильные компьютерные устройства в «облачной» информационно-образовательной среде общеобразовательной школы / Ю.И. Воротницкий, М.Г. Зеков, А.Н. Курбацкий. – Минск : Ривш, 2012. – 100 с.
2. Кочин, В.П. Быстрая оценка мощности Wi-Fi-сигнала при прохождении препятствий в пределах здания / В.П. Кочин, Ю.И. Воротницкий, Д.А. Стрикелев // Вестник БГУ. Сер. 1. – 2013. – № 1. – С. 45–50.
3. Воротницкий, Ю.И. Оценка пропускной способности информационного канала беспроводной связи с заданной мощностью сигнала / Ю.И. Воротницкий, В.П. Кочин, Д.А. Стрикелев // Информатизация образования. – 2013. – № 3. – С. 28–32.
4. Jain, A. Data Clustering: A Review / A. Jain, M. Murty, P. Flynn // ACM Computing Surveys. – 1999. – Vol. 31, no. 3. – P. 264–323.
5. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян [и др.]. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
6. Gorban, A.N. Principal Graphs and Manifolds. Ch. 2 / A.N. Gorban, A.Y. Zinovyev // Handbook of Research on Machine Learning Applications and Trends: Algorithms, Methods, and Techniques. – Hershey, PA, USA, 2009. – P. 28–59.

Поступила 12.03.2014

*Белорусский государственный университет,
Минск, пр. Независимости, 4
e-mail: kochyn@bsu.by*

Y.I. Vorotnitsky, V.P. Kochyn, D.A. Strikelev

A GENETIC ALGORITHM FOR WI-FI NETWORK STRUCTURE OPTIMIZATION UNDER THE GIVEN QUALITY OF SERVICE

A mathematical model for optimal placement of Wi-Fi access points under the given quality of service is developed. A modified genetic algorithm for optimal placement of Wi-Fi access points is worked out. Probation of the results is carried out for a test area.