

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ТОРГОВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

О. К. Головнин¹, А. А. Игонина²

^{1,2} Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королева, Самара, Россия
¹ golovnin@bk.ru, ² igonina1999@inbox.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Одним из ключевых вопросов, определяющих эффективность деятельности малых торговых предприятий шаговой доступности, является выбор пространственного расположения, поскольку наличие потенциальных клиентов во многом определяется проходимость рассматриваемой территории. Цель работы – оптимизация схемы размещения торговых объектов шаговой доступности с учетом особенностей местности и способов подхода пешеходов к торговым объектам. *Материалы и методы.* Предложен подход для оптимизации схемы расположения торговых объектов, позволяющий учесть особенности местности при подсчете числа потенциальных клиентов торгового объекта. Предложена математико-картографическая модель, учитывающая пространственные характеристики торговых объектов и характеристики спроса и предложения на товары. На основе математико-картографической модели решается задача оптимизации расположения торговых объектов, при этом в качестве основы оптимизационного алгоритма могут выступать как методы градиентного спуска, так и эволюционные генетические алгоритмы; для их эффективного применения осуществляется отражение управляемых параметров в булево пространство. *Результаты.* Разработана компьютерная программа, реализующая предложенную математико-картографическую модель и алгоритмы. Проведена экспериментальная апробация предлагаемых решений на синтетических данных. *Выводы.* Результаты исследования показали возможность применения предлагаемого подхода для эффективного решения оптимизационной задачи при количестве управляемых переменных (возможных мест размещения) до 100.

Ключевые слова: торговый объект, торговая сеть, электронная карта, геоинформационная система (ГИС)

Для цитирования: Головнин О. К., Игонина А. А. Оптимизация схемы размещения торговых объектов на основе математико-картографической модели // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 2. С. 115–129. doi:10.21685/2227-8486-2021-2-8

LOCATION OPTIMIZATION FOR CONVENIENCE SHOPS BASED ON MATHEMATICAL CARTOGRAPHIC MODEL

O.K. Golovnin, A.A. Igonina

^{1,2} Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev, Samara, Russia
¹ golovnin@bk.ru, ² igonina1999@inbox.ru

Abstract. *Background.* One of the key issues that determine the effectiveness of the activities of convenience shops is the choice of location since the presence of potential customers is largely determined by the passability of the territory under consideration. The purpose of the work is to optimize the layout of convenience shops, taking into account the characteristics of the terrain and the ways of pedestrians to convenience shops. *Materials and methods.* The paper proposes an approach to optimize the layout of shops, which takes into account the features of the area when calculating the number of potential customers of a shop. A mathematical cartographic model is proposed that takes into account the spatial characteristics of shops and the characteristics of supply and demand for goods. On the basis of a mathematical cartographic model, the optimization of the location of shops is solved, while both gradient descent methods and evolutionary genetic algorithms can act as the basis of the optimization algorithm, for which the controlled parameters are reflected into the Boolean space. *Results.* A computer program has been developed that implements the proposed mathematical cartographic model and algorithms. Experimental testing of the proposed solutions on synthetic data has been carried out. *Conclusions.* The results of experimental testing showed the possibility of using the proposed approach when solving optimization problem with the number of controlled variables (possible locations for convenience shops) up to 100.

Keywords: retail facility, retail network, electronic map, geographic information system (GIS)

For citation: Golovnin O.K., Igonina A.A. Location optimization for convenience shops based on mathematical cartographic model. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;2:115–129. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-2-8

Введение

В экономике развитых стран немаловажную роль играют малые предприятия розничной торговли шаговой доступности, формирующие предложение товаров и услуг для удовлетворения сезонного или нерегулярного спроса. Одним из ключевых вопросов, определяющих эффективность деятельности малых предприятий шаговой доступности, является выбор пространственного расположения, поскольку наличие потенциальных клиентов во многом определяется проходимость рассматриваемой территории и привлекательностью для потребителей [1, 2].

Проблема выбора пространственного расположения торговых объектов традиционно решается с использованием экономико-математических моделей, для поддержки которых вводится пространственная информация [3, 4]. В последнее время обозначился переход к применению геоинформационных систем (ГИС) в качестве основы для решения задач такого класса [5, 6], однако оптимизация получаемой сложной системы не может быть выполнена детерминированными методами, поскольку они не обеспечивают нахождение решения необходимой степени точности в заданных временных ограничениях. Таким образом, для оптимизации пространственного расположения торговых объектов требуется применять такие методы, которые обеспечат приемлемую точность в заданных ограничениях, например, эволюционные методы глобальной оптимизации, методы искусственных нейронных сетей, усовершенствованные градиентные методы [7–9].

В настоящей работе решается задача оптимизации схемы размещения торговых объектов шаговой доступности на основе математико-картографической модели, учитывающей пространственные особенности местности

и способы подхода пешеходов к торговым объектам. При решении задачи осуществляется отображение управляемых параметров задачи в булево пространство, что обеспечивает возможность эффективного применения методов глобальной оптимизации.

Решение оптимизационной задачи основано на построении модели исследуемого объекта согласно триаде А. А. Самарского: «модель – алгоритм – программа». Постановку задачи оптимизации, и в частности построение модели, проведем в соответствии с указанной парадигмой.

Математико-картографическая модель

Определим границы объекта оптимизации. Для этого отделим объект оптимизации от внешней среды. В качестве объектов размещения рассматриваются стационарные и нестационарные торговые объекты шаговой доступности, размещаемые на электронной карте в выбранном районе Z . Основные виды рассматриваемых торговых объектов в соответствии с категориями продаваемых товаров перечислены на рис. 1.

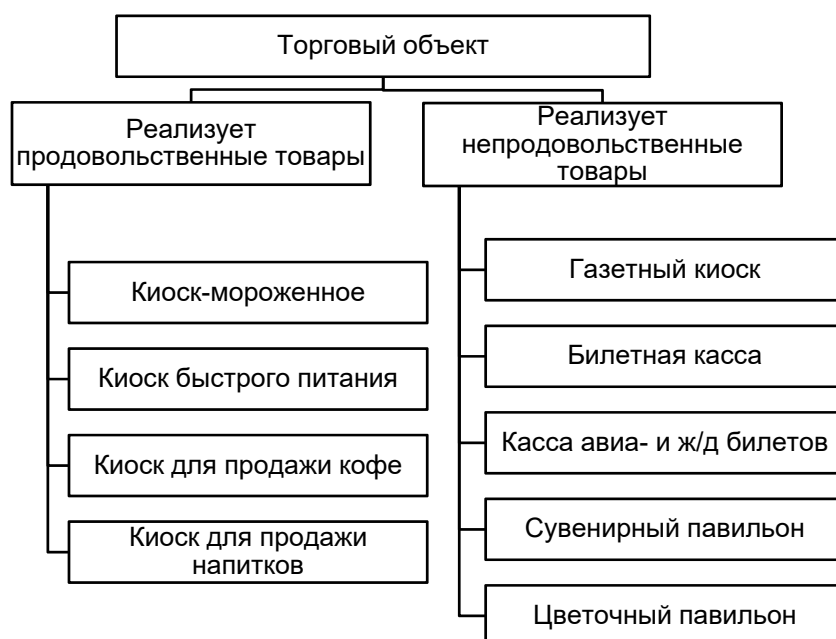


Рис. 1. Рассматриваемые торговые объекты

Построим модель системы. Под *источником спроса* s' в формализме ГИС будем понимать точечные картографические объекты, порождающие пешеходный поток (как входящий, так и исходящий). Множество всех источников спроса обозначим S' .

Источник спроса s'_i характеризуется следующим набором параметров:

– координаты (широта, долгота) на электронной карте:
 $\text{coord}_{s'_i} = (lt, lg)$;

- класс источника спроса в рамках топологической векторной модели данных ГИС: $\text{class}_{s'_i} \in \{1 - \text{здание}, 2 - \text{ООТ}, \dots\}$, где ООТ – остановка общественного транспорта;
- вид (соответствует видам торговых объектов): $\text{kind}_{s'_i} \in \{1 - \text{киоск}, 2 - \text{павильон}, \dots\}$;
- пешеходный поток $q_{s'_i}$, определяющий количество пешеходов, находящихся в непосредственной близости от источника спроса s'_i в определенный момент времени t_i . Пешеходный поток представляется в виде множества оценок значений потока $q \in Q$ или функции $Q_{s'_i}(t_i)$;
- пешеходная доступность в виде полигонального картографического объекта (зоны): $r_{s'_i}$;
- спрос $d_{s'_i}$ на конкретный товар p_i , предполагаемый для продажи в торговом предприятии: $p_i \in P_{s'_i}$, где $P_{s'_i} \subset P$ – множество всех товаров для источника s'_i . Спрос на конкретный товар в определенный момент времени определяется функцией $D_{s'_i}(p_i, t_i)$ или множеством оценок спроса $d \in D$.

Выделим следующие классы источников спроса $\text{class}_{s'_i}$:

- здания, в том числе жилые дома, учебные организации и детские сады, офисные и торговые центры с учетом количества жителей, обучающихся и сотрудников соответственно;
- остановки общественного транспорта с учетом пассажирооборота и расписания движения общественного транспорта;
- парковки личного транспорта (как выделенные, так и вдоль улиц и автодорог) с оценкой количества мест;
- вокзалы (железнодорожные, автовокзалы, аэропорты) с учетом сведений о пассажиропотоке и расписании рейсов;
- достопримечательности, культурно-просветительные и развлекательные учреждения, зоны отдыха с учетом расположения входов/выходов.

Класс источника спроса влияет на выбор способа идентификации параметров модели спроса, а именно пешеходного потока $q_{s'_i}$ и пешеходной доступности $r_{s'_i}$.

Помимо источников спроса необходимо учитывать **источники предложения** – существующие торговые объекты и размещаемые торговые объекты. Введем обозначение источника предложения $s'' \in S''$. Также источником предложения будут являться размещаемые торговые объекты $x \in X \subset S''$.

У источника предложения s'' имеется ряд свойств, определяющих его:

- координаты (широта, долгота) на электронной карте: $\text{coord}_{s''} = (lt, lg)$, т.е. источники предложения являются точечными пространственными объектами в рамках представления ГИС;
- отрасль народного хозяйства: $\text{field}_{s''} \in \{1 - \text{общественное питание}, 2 - \text{билетная касса}, \dots\}$;

- вид (соответствует видам торговых объектов): $\text{kind}_{s_i} \in \{1 - \text{киоск}, 2 - \text{павильон}, \dots\}$;
- пешеходная доступность: r_{s_i} ;
- время работы: $T_{s_i} = \{t_i \mid t_i \in T\}$;
- перечень товаров: $P_{s_i} \subset P$.

Введем **модель электронной карты**, на которой дислоцируются источники спроса $s' \in S'$, источники предложения $s'' \in S''$ и размещаемые торговые объекты $x \in X$. Перейдем от глобальной системы координат WGS-84 к локальной плоской декартовой системе. Каждой точке, определяемой широтой lt и долготой lg , поставим в соответствие ее координаты в заданной области исследования Z , при этом вводя равномерную координатную сетку с шагом Δl (рис. 2):

$$(lt, lg) \rightarrow z(lt j, lg i), \quad (1)$$

где $z(lt j, lg i)$ – точка в местной системе координат, соответствующая точке в глобальной системе координат с широтой lt и долготой lg .

Такой переход позволяет представить координаты в дискретном виде, регулируя шаг дискретизации Δl , а следовательно, дает возможность изменять количество потенциальных точек дислокации торгового объекта.

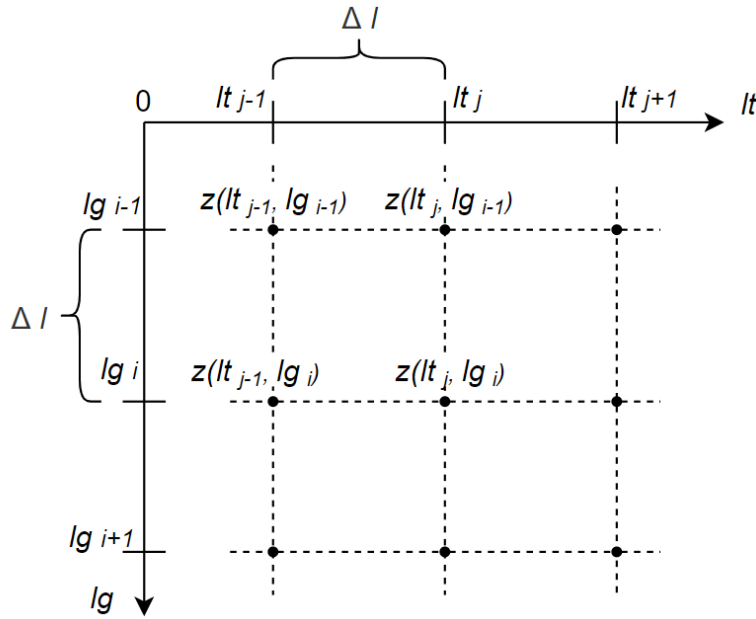


Рис. 2. Схема расположения узлов равномерной сетки координат

Кроме этого, обозначим $z(lt j, lg i)$ как x_k :

$$z(lt j, lg i) \rightarrow x_k, x_k \in B = \{0, 1\}, \quad (2)$$

где x_k – булевский B индикатор расположения объекта в указанной точке, который принимает значение 0 в случае, если в этой точке x_k не будет размещаться объект, и 1 в том случае, когда планируется размещение объекта в данной точке x_k .

Множество всех точек x в исследуемой области Z обозначим X .

Введем ограничения для переменной x :

$$\sum_{x_i \in X} x_i \leq x_{\max}, \sum_{x_i \in X} x_i \geq x_{\min}, \quad (3)$$

где $x_{\max}$ – заданное максимальное количество располагаемых объектов; $x_{\min}$ – заданное минимальное количество располагаемых объектов.

Далее определим **пространственные функции** $\text{Intersections}(a, B)$ и $\text{Area}(a, b)$.

Функция $\text{Intersections}(a, B)$ возвращает множество таких объектов $\{b_1, \dots, b_n\} \subset B$, с зоной пешеходной доступности которых r_b пересекается зона пешеходной доступности r_a объекта a . Например, рассмотрим множество объектов $\{x_1, s_1'', s_2'', s_1'\}$, изображенных на рис. 3, тогда $\text{Intersections}(x_1, \{s_1'', s_2'', s_1'\}) = \{s_2'', s_1'\}$.

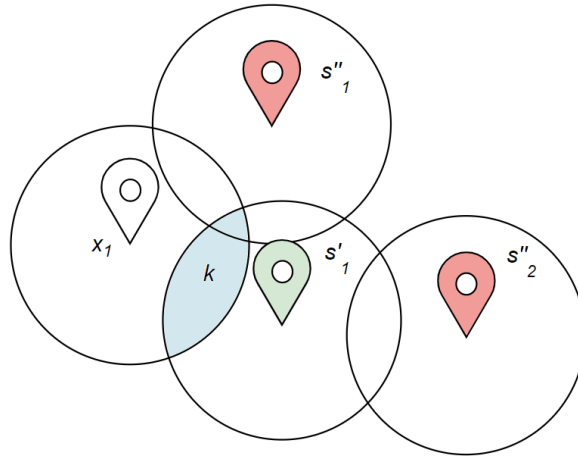


Рис. 3. Пересечение пешеходных зон доступности торговых объектов

Функция $\text{Area}(a, b)$ возвращает площадь пересечения зоны пешеходной доступности r_a объекта a с зоной пешеходной доступности r_b объекта b , и 0 – в случае, когда зоны не пересекаются. Для указанного примера (см. рис. 3): $\text{Area}(x_1, s_1') = k$, а $\text{Area}(x_1, s_2'') = 0$.

Выбор критерия оптимизации. Поскольку задача оптимизации схемы расположения торговых объектов на электронной карте является только частью процесса их дислокации и последующего функционирования, то целесообразно выделять прямой экономический показатель. Поэтому критери-

ем оптимальности выступит показатель «количество потенциальных клиентов» C , позволяющий косвенно оценить экономическую эффективность выбранной точки дислокации.

Формирование целевой функции. Целевую функцию, т.е. математическую зависимость критерия оптимальности «количество потенциальных клиентов» Z от параметров размещения торговых объектов $x \in X$, представим в следующем виде.

Введем вспомогательную функцию $W(s'_i, x_i)$, которая характеризует возможный спрос (количество потенциальных клиентов), порождаемый источником спроса s'_i , при размещении в его зоне пешеходной доступности торгового объекта x_i :

$$W(s'_i, x_i) = \sum_{t_i \in \{T \cap T_{x_i}\}} \sum_{p_i \in \{P_{s'_i} \cap P_{x_i}\}} [Q_{s'_i}(t_i) D_{s'_i}(p_i, t_i)]. \quad (4)$$

Введем вспомогательную булевскую функцию $H(s''_i, x_i)$, которая позволяет оценить, является ли объект предложения s''_i конкурентным относительно размещаемого объекта x_i (по времени работы и перечню предлагаемых товаров/услуг):

$$H(s''_i, x_i) = (T_{s''_i} \cap T_{x_i} \neq \emptyset) (P_{s''_i} \cap P_{x_i} \neq \emptyset) \in \{0, 1\}. \quad (5)$$

Обозначим множество пересечений располагаемой точки x_i с зонами спроса S' как

$$S'_{x_i} = \text{Intersections}(x_i, S'). \quad (6)$$

Тогда пересечение зон объектов спроса с зонами объектов предложения и другими потенциальными зонами расположения:

$$S''_{x_i} = \bigcup_{s'_j \in S'_{x_i}} \text{Intersections}(s'_j, \{S'' \cup X\}). \quad (7)$$

Вычислим долю потока $V(s'_j, x_i)$ потенциальных клиентов в точку x_i из точки спроса s'_j на основе пересечения площадей зон пешеходных доступностей:

$$V(s'_j, x_i) = \frac{\text{Area}(s'_j, x_i)}{\text{Area}(s'_j, x_i) + \sum_{s''_k \in S''_{x_i}} H(s''_k, x_i) \text{Area}(s'_j, s''_k)}. \quad (8)$$

Тогда целевая функция примет следующий вид:

$$C(X) = \sum_{x_i \in X} \sum_{s'_j \in S'_{x_i}} [W(s'_j, x_i) \cdot V(s'_j, x_i)]. \quad (9)$$

Таким образом, задача оптимизации сводится к нахождению экстремума целевой функции (9):

$$C \rightarrow \max. \quad (10)$$

Оптимизационный алгоритм

Представим оптимизационный алгоритм последовательностью действий (шагов).

Шаг 1. Ввод исходных данных. Решение задачи поиска оптимального решения потребует указания следующих параметров, выступающих входными данными для оптимизационного алгоритма:

- зона Z на карте, в которой будет проводиться поиск местоположений торговых объектов $x \in X$;
- вид размещаемого торгового объекта kind_x , отрасль field_x и типы товаров $P_x \subset P$;
- минимальное $x_{\min}$ и максимальное $x_{\max}$ количество объектов, которые требуется разместить;
- предположительное время работы размещаемых объектов торговли T_x ;
- горизонт планирования T (в днях, неделях, месяцах, годах).

Шаг 2. Предобработка. В предлагаемом алгоритме после определения параметров поиска территорий исключаются из рассмотрения источники спроса и предложения и потенциальные места размещения торговых объектов, не нуждающиеся в рассмотрении:

- источники спроса $s' \in S'$ и предложения $s'' \in S''$, находящиеся за границей выбранной зоны Z ;
- источники предложения $s'' \in S''$, относящиеся к отраслям, отличным от заданной kind_x ;
- потенциальные места размещения $x_k \in X$, попавшие на такие территории внутри зоны Z , где невозможно разместить торговый объект, – проезжая часть, постройки, частная территория и т.д., для них принимается $x_k \equiv 0$.

Шаг 3. Поиск опорного решения.

Генерируется решение методом грубого случайного поиска:

$$\forall x_i \in X : x_i = \text{random}(\{0,1\}), \quad C(X) \neq 0. \quad (11)$$

Опорное решение используется как начальная точка поиска оптимального решения. От выбора опорного решения зависит выполнение четвертого шага алгоритма, поскольку применяемый модифицированный метод градиентного спуска позволяет найти только локальный экстремум.

Шаг 4. Поиск оптимального решения.

Поиск экстремума целевой функции (9) нескольких переменных достигается применением модифицированного метода градиентного спуска [10]. На этом шаге ищется такая последовательность точек размещения объектов $x_0, x_1, \dots, x_k, \dots$, которая удовлетворяет условию $f(x_0) \geq f(x_1) \geq \dots \geq f(x_k) \geq \dots$.

Построение последовательности $(x^{(k)})$ производится в соответствии со следующей формулой с учетом выражения (2):

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \alpha^{(k)} \cdot \nabla C(x^{(k)}). \quad (12)$$

Остановка спуска осуществляется при выполнении условия

$$\left| C(x^{(k+1)}) - C(x^{(k)}) \right| \leq \varepsilon, \quad (13)$$

где ε – достаточно малая величина.

Отметим, что в качестве альтернативы шагам 3 и 4 может выступать генетический алгоритм глобальной оптимизации [11].

Программа для проведения вычислительных экспериментов

Программа, реализующая предложенные модель и алгоритм, разработана на языке программирования C# для исполнительской платформы Microsoft .NET 4.7. Выбор территории осуществляется с учетом целевой аудитории объекта розничной торговли. Программа выполняет анализ данных о спросе с целью выявления мест, наиболее пригодных для размещения объектов розничной торговли. Результаты проведенного анализа наносятся на электронную карту местности для визуализации (рис. 4). Реализация функционала ГИС в программе выполнена средствами программной библиотеки GMap.NET [12], обеспечивающей возможность многослойного представления электронной карты. Реализация оптимизационного метода градиентного спуска выполнена на основе [13], оптимизационного генетического алгоритма – в соответствии с [14].

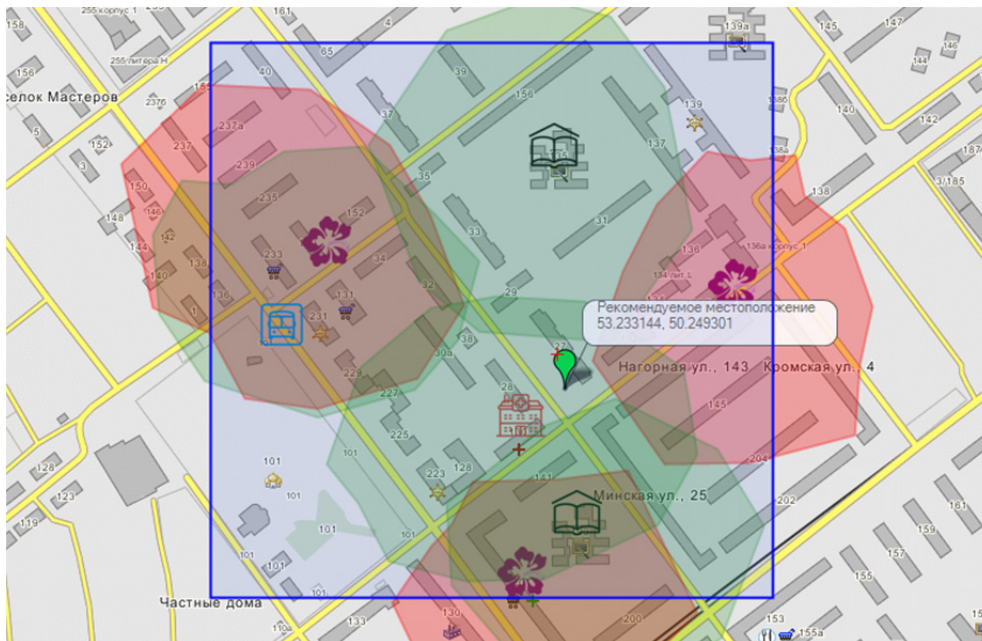


Рис. 4. Визуализация результатов работы программы

В качестве системы управления базами данных использована PostgreSQL/PostGIS. Разработанная модель данных приведена на рис. 5. Исход-

ные данные по источникам спроса и предложения получены из Open-StreetMap [15].

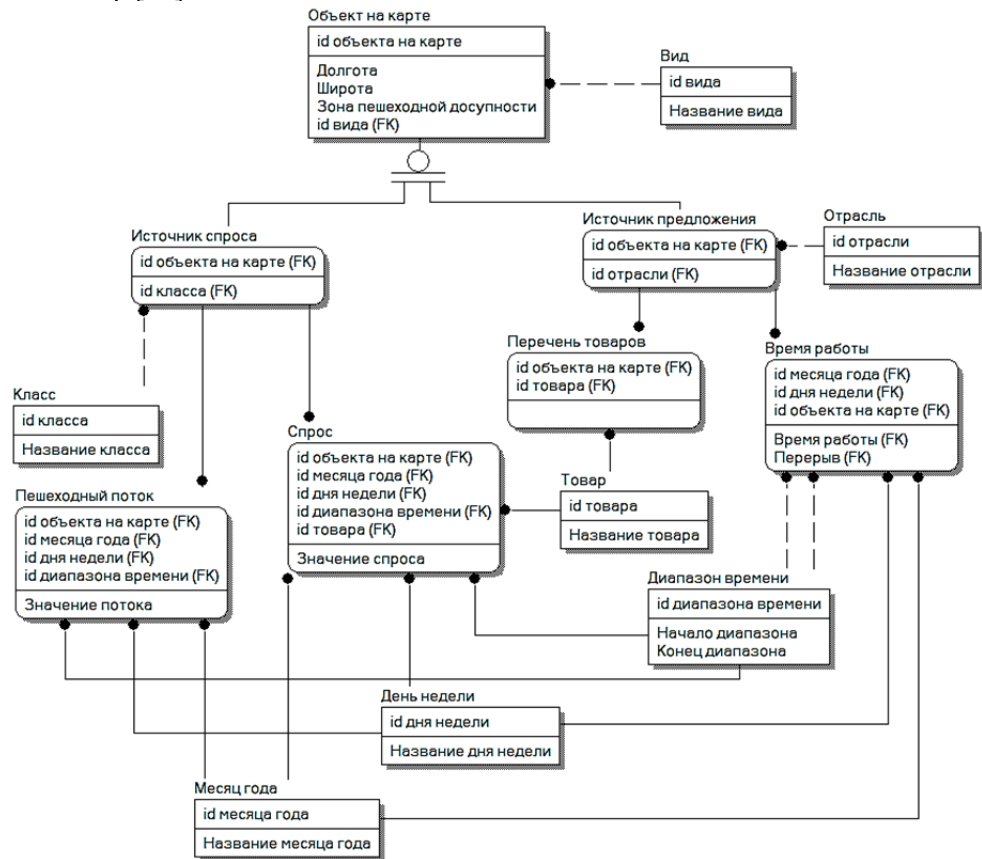


Рис. 5. Используемая модель данных

В программе задаются исходные значения, необходимые для решения задачи поиска решения, в соответствии с первым шагом алгоритма. Кроме этого, указывается шаг дискретизации электронной карты Δl , в соответствии с которым определяются возможные места расположения торговых объектов X согласно формулам (1) и (2). При поиске решения активируется сторожевой таймер, реализованный на основе класса `System.Diagnostics.Stopwatch`, и контролируется количество итераций поиска решения.

Результаты и обсуждение

Апробация предложенных решений осуществляется следующим образом. Пешеходная доступность r_{s_i} и $r_{s_i'}$ определяется с учетом особенностей местности, получаемых средствами ГИС, в виде полигонального объекта (зоны) согласно методике, апробированной в [16, 17]. Спрос d_{s_i} устанавливается путем анализа потребностей и интересов по доступным геомаркетинговым большим данным (в числе которых данные по перемещениям, транзакциям платежных и проездных карт, а также данные из социальных сетей и др.) согласно методике, предложенной в [18, 19]. Так, согласно полученным в ходе исследования результатам для источника спроса класса «жилой дом» харак-

терна следующая общая зависимость пешеходного потока от времени (рис. 6), а для остановки общественного транспорта – другая (рис. 7).

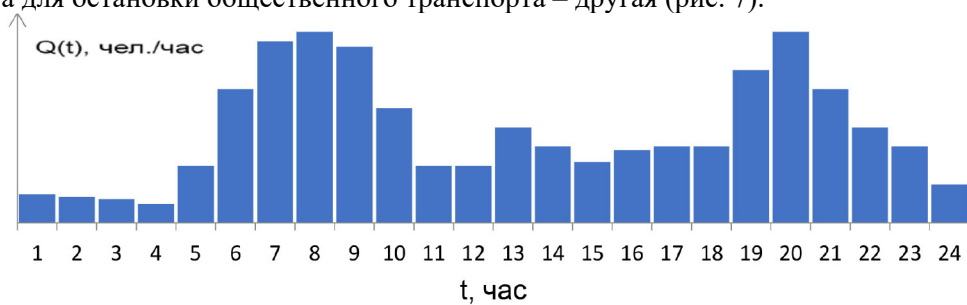


Рис. 6. График зависимости пешеходного потока от времени (жилой дом)

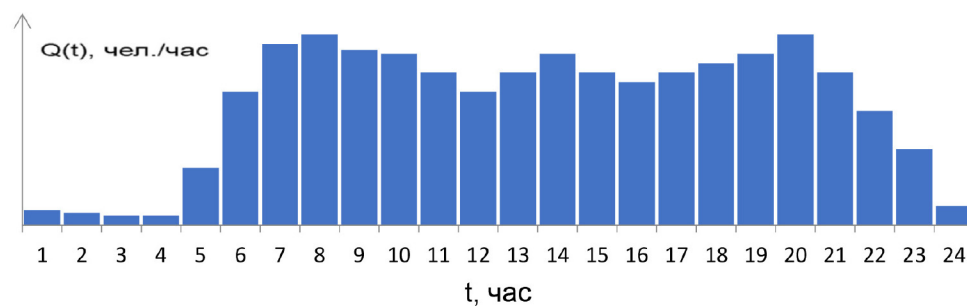


Рис. 7. График зависимости пешеходного потока от времени (остановка общественного транспорта)

Спрос на различные товары также различается. На рис. 8 представлены выявленный спрос на товар типа «кофе», а на рис. 9 – выявленный спрос на товары, относящиеся к типу «быстрое питание».

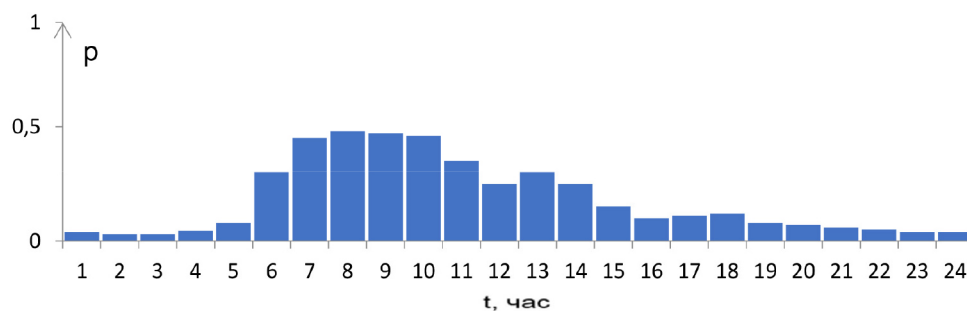


Рис. 8. График зависимости спроса на кофе от времени

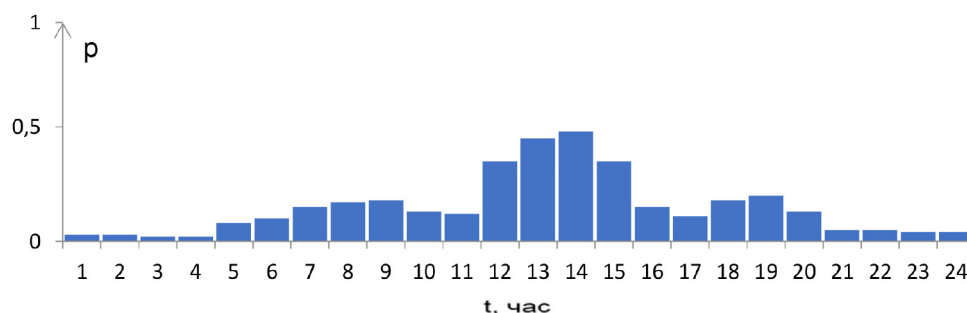


Рис. 9. График зависимости спроса на товары быстрого питания от времени

Исследования проведены на рабочей станции Dell Precision M6500, оснащенной процессором Intel Core i7-820QM (4 ядра, 8 потоков, 3,06 ГГц), оперативной памятью 16 Гб DDR3, твердотельным накопителем 240 GB SSD, видеокартой NVIDIA Quadro FX 3800M, операционной системой Windows 10 Pro (сборка 19042).

Предлагаемая модель апробирована на сгенерированных синтетических данных, моделирующих городскую застройку: на территории размером 3000×3000 м размещены 20 источников предложения и 500 источников спроса. Число размещаемых торговых объектов установлено от 1 до 10. Шаг дискретизации в процессе исследования менялся от 500 до 200 м. Используемый генетический алгоритм настроен следующим образом: кроссовер 0,80; мутация 0,05; размер популяции 20. Оценивались время нахождения решения и количество итераций, необходимых для нахождения решения. Под итерацией для унификации понимается операция вычисления целевой функции. Максимальное количество итераций ограничено 2000, максимальное время поиска решения (сторожевой таймер) – 3600 с, условие остановки (ϵ) принято равным 1 потенциальному клиенту. Результаты исследования сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты оценки эффективности

Шаг, м	Количество управляемых переменных	Градиентный спуск		Генетический алгоритм	
		Количество итераций	Время поиска решения, с	Количество итераций	Время поиска решения, с
500	36	297	103	180	47
300	100	809	3238	420	2326
200	225	475	3600	37	3600

Таким образом, результаты показывают, что метод градиентного спуска требует больше итераций для нахождения оптимального решения, однако оба класса методов (генетический и градиентный) эффективно находят решение только при количестве управляемых переменных до 100. При дальнейшем росте числа переменных значительно увеличивается количество необходимых вычислений, что приводит к срабатыванию сторожевого таймера.

Заключение

В статье предложен подход для оптимизации схемы расположения торговых объектов шаговой доступности, позволяющий учесть особенности местности при подсчете числа потенциальных клиентов торгового объекта. Предложена математико-картографическая модель, учитывающая пространственные характеристики торговых объектов и временные характеристики спроса и предложения на товары. На основе математико-картографической модели решается задача оптимизации расположения торговых объектов, при этом в качестве основы оптимизационного алгоритма могут выступать как методы градиентного спуска, так и эволюционные генетические алгоритмы. Разработана компьютерная программа, реализующая предложенную модель и алгоритмы. Проведена экспериментальная апробация предлагаемых решений на синтетических данных. Результаты исследования показали возможность применения предлагаемого подхода при решении оптимизационных задач такого класса при количестве управляемых переменных (возможных мест размещения торговых объектов) до 100.

Список литературы

1. Кудрявцева Л. Б., Сорокина А. Ю. Методология маркетинга торговой организации // Государство и бизнес в современной экономике. 2020. С. 71–74.
2. Нюренбергер Л. Б., Леушина О. В., Лучина Н. А. Проблемы оптимизации размещения предприятий розничной торговли в мегаполисе // Вестник Института экономических исследований. 2018. № 4. С. 27–33.
3. Садыков А. М., Кайзер Д. Д. Разработка интернет-ресурса для анализа мест размещения объектов торговли в городе Иваново // Энергия-2015 : труды Международ. науч.-техн. конф. Иваново : ИГЭУ, 2015. С. 141–144.
4. Пустовалова Е. А., Чернов В. П. Сравнительный анализ методов размещения точки розничной торговли // Современная экономика: проблемы и решения. 2015. № 2. С. 29–44.
5. Widaningrum D. L. GIS and SVM approach for convenience store location analysis // Int. Conf. on Machine Learning and Computing. 2017. P. 112–116. <https://doi.org/10.1145/3055635/3056585>
6. Xiao D., Ye W. Combining GIS and the analytic hierarchy process to analyze location of hypermarket // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. Vol. 237, № 3. P. 032012.
7. Hakim Pour F., Talat Ahary S., Ranjbar A. The assessment and comparison of a genetic algorithm, simulated annealing and cuckoo optimization algorithm for optimization of the facility location under competitive conditions (Case Study: Banks) // J. of Modeling in Engineering. 2017. Vol. 15. P. 231–246.
8. Siqueira H., Figueiredo E., Macedo M. [et al.]. Boolean binary cat swarm optimization algorithm // IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence. 2018. P. 1–6. doi 10.1109/LA-CCI.2018.8625226
9. Wanchoo K. Retail demand forecasting: a comparison between deep neural network and gradient boosting method for univariate time series // IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology. 2019. P. 1–5. doi 10.1109/I2CT45611.2019.9033651
10. Кочегурова Е. А. Теория и методы оптимизации. М. : Юрайт, 2019. 133 с.
11. Газизов Т. Т. Методы глобальной оптимизации. Томск : В-Спектр, 2017. 24 с.
12. GMap.NET. URL: <https://github.com/judero01col/GMap.NET>
13. Ru.Lsreg.Math. URL: <https://github.com/lsreg/ru.lsreg.math>
14. Passos W. Numerical methods, algorithms and tools in C#. Boca Raton : CRC Press, 2009. 598 с.
15. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org>

16. Головнин О. К., Кондратьева Е. О. Исследование методов оценки пешеходной доступности остановок общественного транспорта // *Intelligent Technologies for Intelligent Decision Making Support*. 2016. Vol. 1. P. 182–185.
17. Kondrateva E., Sidorov A., Saprykin O. An isochrones based public transport stops optimization technique // *5th IEEE Int. Conf. on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. Naples, Italy: IEEE, 2017. P. 182–187.
18. Ivaschenko A., Stolbova A., Golovnin O. Data market implementation to match retail customer buying versus social media activity // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 1228. P. 363–372.
19. Ivaschenko A., Stolbova A., Golovnin O. Spatial clustering based on analysis of big data in digital marketing // *Communications in Computer and Information Science*. 2019. Vol. 1093. P. 335–347.

References

1. Kudryavtseva L.B., Sorokina A.Yu. Marketing methodology of a trade organization. *Gosudarstvo i biznes v sovremennoy ekonomike = State and business in the modern economy*. 2020:71–74. (In Russ.)
2. Nyurenberger L.B., Leushina O.V., Luchina N.A. Problems of optimization of the placement of retail trade enterprises in a megapolis. *Vestnik Instituta ekonomicheskikh issledovaniy = Bulletin of the Institute of Economic Research*. 2018;(4):27–33. (In Russ.)
3. Sadykov A.M., Kayzer D.D. Development of an Internet resource for the analysis of places of distribution of trade objects in the city of Ivanovo. *Energiya-2015: trudy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. = Energiya-2015: Proceedings of the Mezhdunar. scientific and technical conf.* Ivanovo: IGEU, 2015:141–144. (In Russ.)
4. Pustovalova E.A., Chernov V.P. Comparative analysis of methods for placing a retail outlet. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya = Modern economy: problems and solutions*. 2015;(2):29–44. (In Russ.)
5. Widaningrum D.L. GIS and SVM approach for convenience store location analysis. *Int. Conf. on Machine Learning and Computing*. 2017:112–116. <https://doi.org/10.1145/3055635/3056585>
6. Xiao D., Ye W. Combining GIS and the analytic hierarchy process to analyze location of hypermarket. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2019;237(3):032012.
7. Hakim Pour F., Talat Ahary S., Ranjbar A. The assessment and comparison of a genetic algorithm, simulated annealing and cuckoo optimization algorithm for optimization of the facility location under competitive conditions (Case Study: Banks). *J. of Modeling in Engineering*. 2017;15:231–246.
8. Siqueira H., Figueiredo E., Macedo M. [et al.]. Boolean binary cat swarm optimization algorithm. *IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence*. 2018:1–6. doi 10.1109/LA-CCI.2018.8625226
9. Wanchoo K. Retail demand forecasting: a comparison between deep neural network and gradient boosting method for univariate time series. *IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology*. 2019:1–5. doi 10.1109/I2CT45611.2019.9033651
10. Kochegurova E.A. *Teoriya i metody optimizatsii = Theory and methods of optimization*. Moscow: Yurayt, 2019:133. (In Russ.)
11. Gazizov T.T. *Metody global'noy optimizatsii = Methods of global optimization*. Tomsk: V-Spektr, 2017:24. (In Russ.)
12. *GMap.NET*. Available at: <https://github.com/judero01col/GMap.NET>
13. *Ru.Lsreg.Math*. Available at: <https://github.com/lsreg/ru.lsreg.math>
14. Passos W. *Numerical methods, algorithms and tools in C#*. Boca Raton: CRC Press, 2009:598.

15. *OpenStreetMap*. Available at: <https://www.openstreetmap.org>
16. Golovnin O.K., Kondrat'eva E.O. Research of methods for assessing the pedestrian accessibility of public transport stops. *Intelligent Technologies for Intelligent Decision Making Support*. 2016;1:182–185. (In Russ.)
17. Kondrateva E., Sidorov A., Saprykin O. An isochrones based public transport stops optimization technique. *5th IEEE Int. Conf. on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. Naples, Italy: IEEE, 2017:182–187.
18. Ivaschenko A., Stolbova A., Golovnin O. Data market implementation to match retail customer buying versus social media activity. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020;1228:363–372.
19. Ivaschenko A., Stolbova A., Golovnin O. Spatial clustering based on analysis of big data in digital marketing. *Communications in Computer and Information Science*. 2019;1093:335–347.

Информация об авторах / Information about the authors

Олег Константинович Головнин
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных
систем и технологий,
Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С. П. Королева
(Россия, г. Самара,
ул. Московское шоссе, 34)
E-mail: golovnin@bk.ru

Oleg K. Golovnin
Candidate of technical sciences,
associate professor,
associate professor of the sub-department
of information systems and technologies,
Samara National Research University
named after Academician S. P. Korolev
(34 Moskovskoe highway, Samara, Russia)

Анастасия Алексеевна Игонина
студентка,
Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С. П. Королева
(Россия, г. Самара,
ул. Московское шоссе, 34)
E-mail: igonina1999@inbox.ru

Anastasia A. Igonina
Student,
Samara National Research University
named after Academician S. P. Korolev
(34 Moskovskoe highway, Samara, Russia)