

Анализ эффективности расположения пожарных станций с использованием ГИС- МОДЕЛИ

Чжо Най Зо Линн, С.А. Лупин, Хтун Хтун Линн

Аннотация — Задача обеспечения безопасности населения в крупных мегаполисах является сегодня чрезвычайно актуальной. Традиционные методы расчета необходимых ресурсов служб общественной безопасности опираются на пространственные характеристики обслуживаемых территорий. Сегодня на первый план выходит задача оценки временной доступности всех объектов на обслуживаемой территории с учетом высокой динамики дорожного трафика. Переход от критериев, определяемых расстояниями, к временным оценкам требует создания новых подходов. В качестве инструмента, позволяющего учитывать реальную загрузку дорожной сети, предлагается использовать географические информационные системы (ГИС). В работе представлена имитационная модель, предназначенная для оценки оптимальности расположения пожарных станций в центральной части Янгона. Модель создана в среде AnyLogic. Она реализует агентные и дискретно-событийные технологии, использует карты в формате ГИС. Разработанная модель предназначена для нахождения оптимального расположения пожарных станций и распределения машин между ними. Оптимальность решения оценивается с помощью двух критериальных функций - времени между поступлением сигнала в пожарную часть и прибытием пожарной машины на место пожара, а также коэффициентом использования пожарных машин. Представлены результаты моделирования, подтверждающие преимущества децентрализации.

Ключевые слова — агентное моделирование; оптимизация расположения пожарных станций; географическая информационная система.

I. ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всей истории человеческого общества пожары наносили огромный материальный ущерб, сопровождалась гибелью людей. Защита от пожаров является одной из важнейших задач государственных служб безопасности, которая координируется в рамках страны. Техника тушения пожаров непрерывно совершенствуется, и сегодня пожарные используют не только мощные автомобили и вездеходы, но и авиацию. Самолеты применяются для тушения больших очагов возгорания в лесистой местности.

Статья получена 12 января 2020.

Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ № 19-01-00666 "Современные высокопроизводительные методы оптимизационного моделирования".

Чжо Най Зо Линн, аспирант, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»;

Хтун Хтун Линн, аспирант, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»;

С. А. Лупин, профессор, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», (e-mail: lupin@micee.ru).

Вертолеты используются для локализации крупных пожаров в городах и населенных пунктах.

Помимо вопросов, связанных с совершенствованием технических средств, оборудования и средств связи, важную роль играет и противопожарная безопасность, а также планирование работы пожарных служб. Одним из важных факторов, влияющих на эффективность работы пожарных служб, является размещение пожарных станций. В средневековых городах пожарные депо нередко располагались в центре и служили их украшением. Такой подход обеспечивал равнодоступность защищаемых от огня зданий.

С ростом городов потребовалось изменить существующий порядок. Проблема оптимального распределения пожарных машин в городских или сельских районах является многокритериальной и до сих пор не имеет точных методов решения.

Противопожарная безопасность является одним из важнейших элементов систем защиты людей в чрезвычайных ситуациях. В развитых странах, где большая доля населения проживает в городах, вопросы, связанные с защитой людей от пожаров являются самыми важными. В развивающихся странах большинство населения проживает в старых, пожароопасных зданиях и высока частота возникновения пожаров. Более важными для них являются вопросы эффективного управления ограниченными ресурсами.

II. ОПТИМИЗАЦИЯ СЛУЖБ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Со временем появились новые требования и средства обеспечения пожарной безопасности, поэтому ответ на вопрос о том, сколько пожарных станций необходимо для данного поселения и где они должны быть расположены, требует решения задачи многокритериальной оптимизации [1]. Количество и расположение пожарных станций существенно влияют на эффективность реагирования при пожарах. С одной стороны, пожарные станции должны быть расположены таким образом, чтобы можно было обслуживать максимальную площадь, а с другой, чтобы минимизировать время реакции на пожары [2].

Одной из задач реагирования на чрезвычайные ситуации является обеспечение доступа к месту аварии в кратчайшие сроки, что позволит эффективно снизить ущерб. Размещение объектов при этом является одним из ключевых элементов в процессе принятия

стратегических решений и планирования взаимодействия организаций государственного и частного секторов. В связи с этим, вопросы определения оптимального местоположения станций привлекают внимание многих исследователей [3].

Оптимизация расположения пожарных станций преследует следующие цели:

- уменьшить расстояние между пожарными станциями и местами пожаров, чтобы улучшить время реагирования;
- минимизировать перекрытие зон ответственности пожарных станций для повышения эффективности использования ресурсов;
- минимизировать количество пожарных станций в одном районе с учетом экономических условий, общей стоимостью их подготовки и эксплуатации [4].

В работе [5] также отмечается, что выбор местоположения пожарных станций является ответственным решением для властей в городах из-за потенциального риска возникновения пожаров и потенциальной опасности для общества, поскольку пожары могут привести к гибели людей и уничтожению имущества. Лица, принимающие решения, могут минимизировать эти риски за счет повышения точности определения местоположения пожарных станций.

Поскольку качество размещения пожарных станций оценивается с помощью различных критериев, для поиска оптимального решения используют различные методы многокритериальной оптимизации. Пример использования целочисленного программирования для поиска наилучшего размещения 11 станций представлен в [6]. Находят применение и другие популярные подходы – метод анализа иерархических процессов [7] и сетевое планирование [8].

Пожарный департамент Амстердама в Нидерландах представил в [1] вычислительную программную модель для определения оптимального расположения основных станций и оптимального распределения пожарных машин на этих станциях. Обширный анализ данных от пожарной службы Амстердама показывает, что:

- добавление новых станций для повышения производительности не требуется;
- текущее местоположение пожарных станций оптимально, за исключением нескольких;
- перемещение трех станций из текущих местоположений в оптимальные позиции позволит сократить транспортные задержки пожарных машин более чем на 50%.

Результаты показывают, что при небольших инвестициях в перемещение нескольких станций, существует огромный потенциал для значительного снижения задержек пожарных.

Большое число работ посвящено исследованию методов размещения подстанций скорой помощи. Эта задача очень близка к рассматриваемой нами. Некоторые авторы акцентируют внимание на критерии максимизации покрытия [9,10], другие на минимизации времени отклика [11] или вероятности выживания

пациента [12 и 13].

В работе [14] представлен обзор моделей расположения медицинских учреждений, а в статьях [15] и [16] рассмотрены проблемы планирования, которые возникают в системах экстренной медицинской помощи. Модель, представленная в [17], позволяет сочетать несколько типов ресурсов и несколько типов событий для детальной оценки функционирования службы. Отметим, что основное влияние на точность моделей оказывают их компоненты, которые представляют обслуживаемую территорию и потоки событий. Повышение точности моделирования событий связано с накоплением и обработкой статистических данных, например, как это описано в [1]. А наиболее точное представление территории дать применение ГИС-карт.

В настоящее время элементы ГИС могут быть интегрированы во многие системы моделирования. Это позволяет значительно снизить затраты на разработку имитационной модели и сделать ее максимально адекватной предмету исследования. ГИС определяется как “Быстро развивающаяся технологическая дисциплину, которая объединяет географические атрибуты с табличными данными с целью анализа и решения проблем реального мира”[20]. Путем интеграции пространственных данных с атрибутивными данными, ГИС может использоваться для анализа и решения широкого круга проблем в любой дисциплине. В [21] отмечено, что географические информационные системы обладают способностью описывать то, что происходит в окружающей среде вокруг нас в привязке к местоположению на карте. Сегодня ГИС является важным инструментом для определения местоположения объектов [22-24]. Интеграция ГИС и методов позиционирования на основе GPS или Глонасс используются во всех навигационных приложениях [25, 26]. ГИС может поддерживать широкий спектр пространственных запросов, которые помогают решать задачи определения местоположения подвижных объектов, таких как машины скорой помощи и пожарные машины [27]. Примеры использования ГИС в нескольких приложениях, включая планирование землепользования, здравоохранения и транспорта представлены в [18]. Розничные торговцы, банки, медицинские учреждения и поставщики услуг всех типов сталкиваются с проблемой размещения баннеров и указателей в непосредственной близости от своих объектов [19].

Интеграция карты ГИС в модель AnyLogic городской системы пожарной безопасности обеспечивает реальное представление дорожной сети и значительно повышает точность результатов моделирования за счет использования реальных скоростей движения транспортных средств для оценки времени прибытия машины на место пожара [33].

В настоящей работе представлена агентная модель пожарных станций с использованием карты ГИС центральной части Янгона. Разработанная модель предназначена для проведения сравнительного анализа эффективности различных вариантов расположения

пожарных станций и выбора из них оптимального.

III. СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC

Имитационное моделирование сегодня активно применяется во многих областях человеческой деятельности. Моделирование является одним из основных инструментов изучения взаимосвязей окружающего мира как сложной адаптивной системы. Системы имитационного моделирования общего назначения содержат только основные элементы, из которых строятся модели.

При построении имитационных моделей разработчики сталкиваются с целым рядом трудностей, которые являются результатом попыток адекватного представления процессов и явлений в реальном мире. Ответом на это стало появление технологии на основе агентов. Агентная технология используется практически во всех областях промышленности и экономики. Агенты представлены как объекты, которые используют интерфейсы, предлагаемые компонентами системы. Агенты также представляют свои собственные интерфейсы для мониторинга и сбора статистических данных. При агентном подходе система представлена множеством различных классов, которые отражают различные объекты в реальном мире и взаимодействие между ними - запросы, ресурсы, правила обслуживания. Каждый агент системы может иметь собственную программную реализацию [28]. Процессы, определяющие поведение объекта, описываются в виде диаграммы состояния (statechart) или блок-схемы (flowchart).

Модель построена в среде моделирования AnyLogic. Это современная среда для разработки и исследования имитационных моделей, разработанных на основе современных концепций в области информационных технологий и результатов исследований в теории гибридных систем и объектно-ориентированного моделирования. AnyLogic разработан на языке Java и поддерживает три основные технологии моделирования: дискретно-событийное, агентное и системную динамику [29-32].

В последних версиях AnyLogic есть инструменты для работы с ГИС-картами, новая библиотека моделирования процессов. Предлагаемый подход к анализу эффективности расположения пожарных станций опирается на эти возможности AnyLogic.

IV. СТРУКТУРА МОДЕЛИ

Одним из преимуществ AnyLogic является возможность комбинировать различные стили моделирования для учета сложности и неоднородности реальных систем. Блок-схемы AnyLogic являются иерархическими, масштабируемыми, расширяемыми и объектно-ориентированными. Это дает возможность анализировать большие сложные системы при любом уровне детализации. Библиотека моделирования процессов (БМП) тесно связана с платформой презентаций AnyLogic и позволяет разрабатывать самые сложные анимации процессов.

Обработка сигнала пожарной тревоги.

Еще одной важной особенностью БМП является возможность создания самых сложных анимаций моделей процессов. На рисунке 1 представлена блок-схема процесса обработки сигналов пожарной тревоги, созданная с помощью БМП.

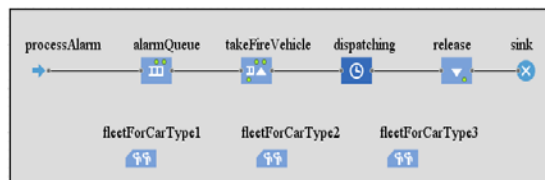


Рис. 1. Обработка сигнала тревоги на пожарной станции.

Сигнал тревоги (*processAlarm*) поступает во входную очередь (*alarmQueue*) где он будет находиться в режиме ожидания, порядок обработки очереди – правило FIFO. Затем сигнал тревоги поступает на ближайшую к нему пожарную станцию, и она направляет пожарную машину на место происшествия (*takeFireVehicle*). Дальнейшее управление перемещением машин происходит в блоке *dispatching*.

Пожарные машины изначально ждут сигнала тревоги в местах расположения своих пожарных станций. Когда поступает сигнал тревоги, выбранная пожарная машина направляется на место пожара. После тушения пожара, пожарная машина возвращается обратно на свою пожарную станцию, чтобы ждать следующего сигнала тревоги.

Движение автомобиля на карте ГИС

В разработанной имитационной модели для перемещения транспортных средств на карте ГИС применяется функция *moveTo()*. Эта функция обеспечивает движение агента. С её помощью пожарные машины будут передвигаться по дорогам на карте ГИС центральной части Янгона с учетом реальных скоростей движения и задержек машин.

В работе проведен анализ влияние расположения пожарных станций на время ожидания. В процессе исследования используются 15 пожарных машин трех типов (Таблица 1). Максимальная скорость всех пожарных машин одинакова и равна 60 километрам в час.

Таблица 1. Характеристики пожарных машин

Тип машины	Скорость (км/час)	Ёмкость (м ³)	Длина лестницы (м)
1	60	1.0	30
2		2.0	50
3		3.0	80

В модели реализует наиболее распространенный алгоритм управления пожарными машинами – к месту пожара направляется машина от ближайшей пожарной станции.

Для реализации этой стратегии в модели используется функция *getNearestAgentByRoute()* и следующий Java код:

```
Car = getNearestAgentByRoute (filter (main.cars, v -> v.inState (Car.AtStation)))
```

Функция *getNearestAgentByRoute()* находит ближайшую к месту пожара станцию. После этого с помощью функции *filter()* выделяются ближайшие транспортные средства, которые в данный момент не заняты обслуживанием (свободны). Для этого применяется функция *inState()*, которая проверяет состояние агента (машины), является ли указанный агент активным в данный момент. Таким образом, на тушение пожара направляются только свободные машины от ближайшей пожарной станции.

V. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Эксперименты были проведены для центральной части Янгона, в которой расположены три пожарные станции. Эти станции в модели определены как места нахождения популяции агентов *Car* (пожарные машины). Места возникновения пожаров определяются как популяция агентов *Alarm* (пожарная тревога).

Для расположения пожарных станций на карте использована внешняя база данных (Таблица 2), что позволило AnyLogic разместить пожарные станции на ГИС карте Янгона. Отметим, что это исторически существующие станции.

Таблица 2. Места расположения пожарных станций

Идентификатор станции	Название станции	Широта	Долгота
1	Lanmadaw	16.813	96.15
2	Hlaing	16.847	96.134
3	Yankin	16.848	96.163

Площадь центральной части Янгона, рассматриваемой в модели, составляет 55 квадратных километров. В этом районе пожары возникают со средней периодичностью 1 раз в день.

Таблица 3. Варианты распределения машин

Номер машины	Тип машины	Распределение машин между станциями		
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	3	1	1	3
4	2	1	2	2
5	1	1	2	1
6	2	1	1	3
7	1	1	1	3
8	2	1	2	1
9	1	1	1	2
10	3	1	2	1
11	3	1	1	2
12	2	1	1	3
13	1	1	2	2
14	3	1	2	1
15	2	1	1	3

В таблице 3 показаны три варианта распределения пожарных автомобилей по пожарным станциям. В экспериментах для задания интервала времени между возникновением пожаров используется треугольное распределение со следующими параметрами: *triangular (0.5, 1, 1.5)*.

На рисунке 2 показано расположение станции

Lanmadaw на карте центральной части Янгона и графическое представление результатов моделирования. Это соответствует первому варианту из таблицы 3.



Рис. 2. Размещение станции Lanmadaw.

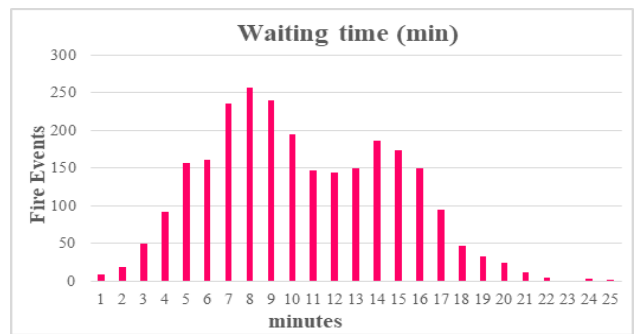


Рис. 3. Результаты моделирования для варианта 1

В первом эксперименте все 15 пожарных машин размещаются на станции Lanmadaw. Гистограмма распределения времени ожидания (времени между возникновением сигнала *Alarm* и прибытием машины на место пожара) представлена на рисунке 3. Максимальное время ожидания пожарных автомобилей составляет 25 минут, а среднеквадратичное отклонение составляет 4,3.

Во втором эксперименте все машины распределены между двумя пожарными станциями - 8 автомобилей на станции Lanmadaw и 7 автомобилей на станции Hlaing. (Рис. 4). Результат моделирования для этого варианта показан на рисунке 5.

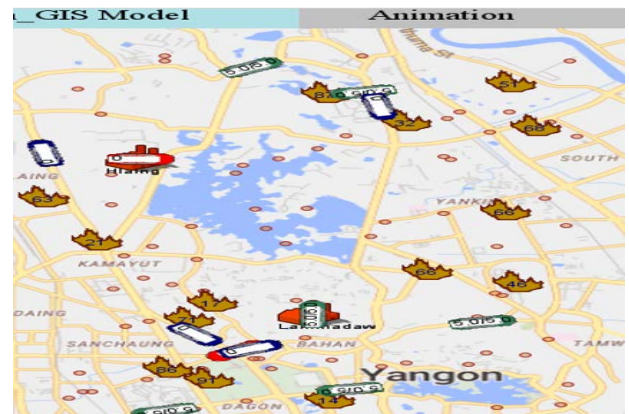


Рис. 4. Размещение станций Lanmadaw и Hlaing



Рис. 5. Результаты моделирования для варианта 2

Максимальное время ожидания пожарных автомобилей составляет 20 минут, а среднеквадратичное отклонение составляет 3,4.

В третьем эксперименте машины распределены между тремя пожарными станциями - 5 автомобилей на станции Lanmadaw, 5 автомобилей на станции Hlaing и 5 автомобилей на станции Yankin (Рис. 6).

Результат моделирования для этого варианта показан на рисунке 7.

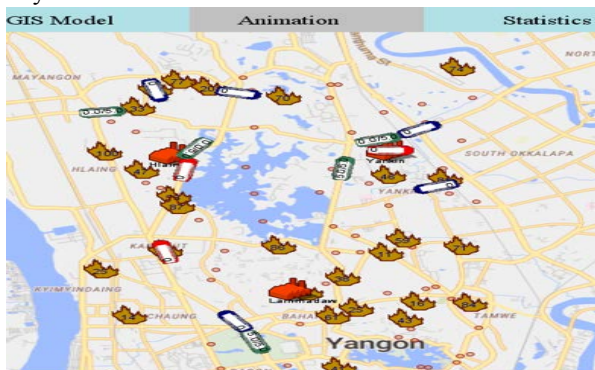


Рис. 6. Размещение станций Lanmadaw, Hlaing, Yankin



Рис. 7. Результаты моделирования для варианта 3

В этом случае максимальное время ожидания пожарных автомобилей составляет уже 15 минут, а среднеквадратичное отклонение составляет 2,6.

Таблица 4 Сравнение вариантов распределения машин

Вариант	Время ожидания обслуживания, минут		
	Среднее	Максимальное	σ^2
1	9,95	24,52	4,3
2	8,9	20,34	3,4
3	7,16	15,44	2,6

Результаты проведенного моделирования (Табл. 4) позволяют сравнивать время ожидания приезда

пожарной машины на место пожара при различных вариантах их распределения по пожарным станциям. Полученные результаты, в полном соответствии с теорией, показывают, что при равномерном распределении станций по городу (вариант 3) время прибытия пожарных машин на вызов уменьшается.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше было отмечено, что при планировании территориального размещения станций служб экстренной помощи используют несколько критериев. Равномерность распределения станций при этом конкурирует с экономическими характеристиками, которые отдают предпочтение укрупнению станций. Разработанная в среде AnyLogic имитационная модель пожарных служб опирается на использование ГИС карт, что позволяет оценивать альтернативные варианты распределения пожарных машин, т.е. проводить многокритериальную оптимизацию. При этом одним из важнейших преимуществ ГИС моделей является то, что они позволяют учитывать реальный дорожный трафик. Для крупных городов это дает возможность оценить реакцию системы пожарной безопасности в моменты наибольшей нагрузки на транспортную сеть, а в сельской местности – учитывать сезонное изменение состояния дорожной сети.

Проведенные эксперименты подтвердили функциональность созданной модели. В модели для диспетчеризации используется децентрализованный алгоритм управления, соответствующий жесткому зонированию территории ответственности станций. Дальнейшие исследования будут направлены на поиск оптимальной стратегии диспетчеризации пожарных машин с возможностью централизованного управления машинами, расположенными на разных станциях.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ 19-01-00666 "Современные высокопроизводительные методы оптимизационного моделирования"

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] P. L. Van Den Berg, G. A. G. Legemaate, R. D. Van Der Mei, "Increasing the Responsiveness of Firefighter Services by Relocating Base Stations in Amsterdam," *Interfaces*, May-2017, vol.47, no.4, p.352–361.
- [2] Nan Liu, Bo Huang, Magesh Chandramouli, "Optimal siting of fire stations using GIS and ANT Algorithm", *Journal of Computing in Civil Engineering*, Sep-2006, p.361-369.
- [3] Davoodi M., Mesgari M.S., "A GIS based Fire Station Site Selection using Network Analysis and Set Covering Location Problem", *International journal of human geography and environmental studies*, Dec-2018, p.433-436.
- [4] G. H. Tzeng, Y. W. Chen, "The optimal location of airport fire stations: A fuzzy multi-objective programming and revised genetic algorithm approach," *Transp. Plan. Technol.*, May-1999, vol.23, no.1, p.37–55.
- [5] A. Şen, İ. Önden, T. Gökçöz, C. Şen, "A GIS approach to fire station location selection", *GeoInformation for disaster management*, Aug-2011.
- [6] Badri M.A., Mortagy A.K., Alsayed C.A., "A Multi-objective Model for Locating Fire Stations", *European Journal of Operational Research*, 1999, vol.110, pp.243-260.

- [7] Wu C., Lin C., Chen H., "Optimal selection of location for Taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis", *Building and Environment*, Mar-2007, vol.42, pp.1431-1444.
- [8] Tuzkaya G., Önüt S., Tuzkaya U.R., Gülsün B., "An analytic network process approach for locating undesirable facilities" Turkey, *Journal of Environmental Management*, Sep-2008, vol.88, pp.970 – 983.
- [9] Ingolfsson A., Budge S., Erkut E., "Optimal ambulance location with random delays and travel times", *Health Care Management Science*, Sep-2008, vol.11, no.3, p.262–274.
- [10] Chong K. C., Henderson S. G., Lewis M. E., "The vehicle mix decision in emergency medical service systems", *Manufacturing and Service Operation Management*, Oct-2015, vol.18, no.3, p.347–360.
- [11] Dzator M., Dzator J., "An effective heuristic for the p-median problem with application to ambulance location", *OPSEARCH*, Mar-2013, vol.50, no.1, p.60–74.
- [12] Erkut E., Ingolfsson A., Erdođan G., "Ambulance location for maximum survival", *Naval Res. Logist.*, 2008, vol.55, no.1, p.42–58.
- [13] McLay L. A., Mayorga M. E., "Evaluating emergency medical service performance measures", *Health Care Management Science*, June-2010, vol.13, no.2, p.124–136.
- [14] Ahmadi-Javid A., Seyedi P., Syam S. S., "A survey of healthcare facility location", *Comp and Operation Research*, Mar-2017, vol.79, p.223–263.
- [15] Aringhieri R., Bruni M. E., Khodaparasti S., Van Essen T., "Emergency medical services and beyond: Addressing new challenges through a wide literature review", *Computer and Operations Research*, Feb-2017, vol.78, p.349–368.
- [16] Reuter-Oppermann M., van den Berg P. L., Vile J. L., "Logistics for emergency medical service systems", *Health Systems*, Dec-2017, vol.6, no.3, p.187-208.
- [17] Andersson T., Sardqvist S., "Planning for effective use of fire and rescue service resources", Jan-2007. <http://liu.divaportal.org/smash/get/diva2:260234/FULLTEXT01.pdf>. (дата обращения 23.12.2019)
- [18] Mohamad M. Y., Katheeri F. A., Salam A., "A GIS Application for Location Selection and Customers' Preferences for Shopping Malls in Al Ain City", *American Journal of Geographic Information System*, Apr-2015, vol4, no.2, p.76-86.
- [19] "GIS for Retail Business", Feb-2007, Retrieved Sep-2013, vol: 35. <http://www.esri.com/library/bestpractices/retail-business.pdf> (дата обращения 23.12.2019)
- [20] Dempsey C., "What is GIS and GIS lounge", 2004, Available at:<http://gislounge.com/libaray/introgis.shtml> (дата обращения 23.12.2019).
- [21] Potestio D. S., "An introduction to geographic information technology and their application", Washington D.C., National conference of state legislature, 2002.
- [22] Woodhouse S., Lovett A., Dolman P., Fuller R., "Using a GIS to select priority areas for conservation", *Computers, Environment and Urban Systems*, Mar-2000, vol.24, p.79-93.
- [23] Noorollahi Y., Itoi R., Fujii H., Tanaka T., "GIS integration model for geothermal exploration and well siting", *Geothermic*, Apr-2008, vol.37, pp.107–131.
- [24] Alexandris G., Giannikos I., "A new model for maximal coverage exploiting GIS capabilities", *European Journal of Operational Research*, Apr-2010, vol.202, pp.328–338.
- [25] Kuo R.J., Chi S.C., Kao S.S., "A decision support system for selecting convenience store location through integration of fuzzy AHP and artificial neural network", *Computers in Industry*, Feb-2002, vol. 47, pp. 199-214.
- [26] Şener Ş., Şener E., Nas B., Karagüzel R., "Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey)", *Waste Management*, Nov-2010, vol.30, pp. 2037-2046.
- [27] Church, R. L. "Geographical information systems and location science", *Computer and Operations Research*, June-29, 2002, p. 541–562.
- [28] Parker D.C., "Integration of Geographic Information Systems and Agent-Based Models of Land Use: Challenges and Prospects", In Maguire, D.J., Datty, M., Goodchild, M. (eds.) *GIS, Spatial Analysis and Modelling*, 2005, p.403-422.
- [29] A. G. Kudryashkin, "Basics Modeling of Systems' studies", Norilsk industry, Norilsk: Research Institute, 2015, p.135.
- [30] Karpov Yu, "Simulation modeling of systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5", SPb., 2005, p.400.
- [31] Yakimov I. M., Kirpichnikov A. P., Mokshin V. V., "Modeling of complex systems in AnyLogic simulation environment", *Herald Of the Kazan, technol.UN-TA*, 2014, Vol. 17, №13, p.352-357.
- [32] I. V. Grigoriev, "AnyLogic-8 in three days", Fifth Edition, 2018, Vol. 251.
- [33] Kyaw Naw Zaw Linn, Sergey Lupin, Hein Tun, Htun Htun Linn, Aye Min Thike, "Data structure for GIS-based Firefighting Stations Simulations", *IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, 2018, Vol. 2069, p. 1545-1548.

Analysis of fire station locations efficiency using GIS model

Kyaw Nay Zaw Linn, Sergey Lupin, Htun Htun Linn

Abstract—The task of ensuring the safety of the population in large cities is extremely urgent today. Traditional methods for calculating the necessary resources of public security services are based on the spatial characteristics of the served territories. Today, the forefront is the task of assessing the time availability of all objects in the served territory, taking into account the high dynamics of road traffic. The transition from criteria determined by distances to time estimates requires the creation of new approaches. It is proposed to use geographical information systems (GIS) as a tool to take into account the real load of the road network. The paper presents a simulation model designed to assess the optimal location of fire stations in the central part of Yangon. The model was created in the AnyLogic environment. It implements agent and discrete event technologies, uses maps in Geographic Information System (GIS) format. The developed model is designed to find the optimal location of fire stations and the distribution of vehicles between them. The optimality of the solution is evaluated using two criteria functions - the time between the signal arriving at the fire station and the arrival of the fire engine at the fire site, as well as the utilization rate of the fire engines. Simulation results confirming the benefits of decentralization are presented.

Keywords— *agent-based modeling; optimization of the location of fire stations; geographic information system (GIS).*

References

- [1] P. L. Van Den Berg, G. A. G. Legemaate, R. D. Van Der Mei, "Increasing the Responsiveness of Firefighter Services by Relocating Base Stations in Amsterdam," *Interfaces*, May-2017, vol.47, no.4, p.352–361.
- [2] Nan Liu, Bo Huang, Magesh Chandramouli, "Optimal siting of fire stations using GIS and ANT Algorithm", *Journal of Computing in Civil Engineering*, Sep-2006, p.361-369.
- [3] Davoodi M., Mesgari M.S., "A GIS based Fire Station Site Selection using Network Analysis and Set Covering Location Problem", *International journal of human geography and environmental studies*, Dec-2018, p.433-436.
- [4] G. H. Tzeng, Y. W. Chen, "The optimal location of airport fire stations: A fuzzy multi-objective programming and revised genetic algorithm approach," *Transp. Plan. Technol.*, May-1999, vol.23, no.1, p.37–55.
- [5] A. Şen, İ. Önden , T. Gökğöz, C. Şen, "A GIS approach to fire station location selection", *GeoInformation for disaster management*, Aug-2011.
- [6] Badri M.A., Mortagy A.K., Alsayed C.A., "A Multi-objective Model for Locating Fire Stations", *European Journal of Operational Research*, 1999, vol.110, pp.243-260.
- [7] Wu C., Lin C., Chen H., "Optimal selection of location for Taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis", *Building and Environment*, Mar-2007, vol.42, pp.1431-1444.
- [8] Tuzkaya G., Önüt S., Tuzkaya U.R., Gülsün B., "An analytic network process approach for locating undesirable facilities" Turkey, *Journal of Environmental Management*, Sep-2008, vol.88, pp.970 – 983.
- [9] Ingolfsson A., Budge S., Erkut E., "Optimal ambulance location with random delays and travel times", *Health Care Management Science*, Sep-2008, vol.11, no.3, p.262–274.
- [10] Chong K. C., Henderson S. G., Lewis M. E., "The vehicle mix decision in emergency medical service systems", *Manufacturing and Service Operation Management*, Oct-2015, vol.18, no.3, p.347–360.
- [11] Dzor M., Dzor J., "An effective heuristic for the p-median problem with application to ambulance location", *OPSEARCH*, Mar-2013, vol.50, no.1, p.60–74.
- [12] Erkut E., Ingolfsson A., Erdoğlan G., "Ambulance location for maximum survival", *Naval Res. Logist.*, 2008, vol.55, no.1, p.42–58.
- [13] McLay L. A., Mayorga M. E., "Evaluating emergency medical service performance measures", *Health Care Management Science*, June-2010, vol.13, no.2, p.124–136.
- [14] Ahmadi-Javid A., Seyedi P., Syam S. S., "A survey of healthcare facility location", *Comp and Operation Research*, Mar-2017, vol.79, p.223–263.
- [15] Aringhieri R., Bruni M. E., Khodaparasti S., Van Essen T., "Emergency medical services and beyond: Addressing new challenges through a wide literature review", *Computer and Operations Research*, Feb-2017, vol.78, p.349–368.
- [16] Reuter-Oppermann M., van den Berg P. L., Vile J. L., "Logistics for emergency medical service systems", *Health Systems*, Dec-2017, vol.6, no.3, p.187-208.
- [17] Andersson T., Sardqvist S., "Planning for effective use of fire and rescue service resources", Jan-2007. <http://liu.divaportal.org/smash/get/diva2:260234/FULLTEXT01.pdf>
- [18] Mohamad M. Y., Katheeri F. A., Salam A., "A GIS Application for Location Selection and Customers' Preferences for Shopping Malls in Al Ain City", *American Journal of Geographic Information System*, Apr-2015, vol4, no.2, p.76-86.
- [19] "GIS for Retail Business", Feb-2007, Retrieved Sep-2013, vol: 35. <http://www.esri.com/library/bestpractices/retail-business.pdf>
- [20] Dempsey C., "What is GIS and GIS lounge", 2004, Available at:<http://gislounge.com/libaray/introgis.shtml>.
- [21] Potestio D. S., "An introduction to geographic information technology and their application", Washington D.C., National conference of state legislature, 2002.
- [22] Woodhouse S., Lovett A., Dolman P., Fuller R., "Using a GIS to select priority areas for conservation", *Computers, Environment and Urban Systems*, Mar-2000, vol.24, p.79-93.
- [23] Noorollahi Y., Itoi R., Fujii H., Tanaka T., "GIS integration model for geothermal exploration and well siting", *Geothermic*, Apr-2008, vol.37, pp.107–131.
- [24] Alexandris G., Giannikos I., "A new model for maximal coverage exploiting GIS capabilities", *European Journal of Operational Research*, Apr-2010, vol.202, pp.328–338.
- [25] Kuo R.J., Chi S.C., Kao S.S., "A decision support system for selecting convenience store location through integration of fuzzy

AHP and artificial neural network”, *Computers in Industry*, Feb-2002, vol. 47, pp. 199-214.

[26] Şener Ş., Şener E., Nas B., Karagüzel R., “Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey)”, *Waste Management*, Nov-2010, vol.30, pp. 2037-2046.

[27] Church, R. L. “Geographical information systems and location science”, *Computer and Operations Research*, June-29, 2002, p. 541–562.

[28] Parker D.C., "Integration of Geographic Information Systems and Agent-Based Models of Land Use: Challenges and Prospects", In Maguire, D.J., Datty, M., Goodchild, M. (eds.) *GIS, Spatial Analysis and Modelling*, 2005, p.403-422.

[29] A. G. Kudryashkin, “Basics Modeling of Systems' studies”, *Norilsk industry, Norilsk: Research Institute*, 2015, p.135.