

Графовая модель и алгоритм определения оптимального маршрута проведения поисково-спасательных работ

К.С. Шалимов

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия.

Аннотация: Целью данной статьи является анализ алгоритмов и моделей проведения поисково-спасательных работ в местах массового скопления людей в условиях пожаров, а также других чрезвычайных ситуаций техногенного либо природного характера. От эффективности поисково-спасательных напрямую зависит шанс сохранения жизни людей.

Ключевые слова: поисково-спасательные работы, объекты с массовым пребыванием людей, чрезвычайные ситуации, спасение людей, пожары поиск потерпевших.

Введение

Вопросы проведения поисково-спасательных работ в местах с массовым пребыванием людей неразрывно связаны с системой поддержки управления эвакуацией и систем поддержки принятия решений по управлению эвакуацией людей. Поиск пострадавших начинается в случае, если люди не успели эвакуироваться, не успели покинуть опасную зону до наступления действия на них опасных факторов пожара, ЧС.

При эвакуации у человека возникает ряд проблемных вопросов, от которых зависит безопасность человека. Основными факторами, которые способствуют увеличению времени эвакуации, являются:

- неспособность эвакуируемых объективно оценить сложившуюся обстановку;
- люди не ознакомлены с планом эвакуации и не знают планировки объекта, на котором находятся;
- присутствие большого скопления людей в замкнутых пространствах;
- блокирование опасными факторами пожара выбранного пути эвакуации

Оперативность принятия управленческих решений напрямую влияет на эффективность проведения поисково-спасательных работ в местах массового пребывания людей. В случае выхода из строя системы оповещения и

управления эвакуации принять оптимальное решение становится проблематично, руководитель поисково-спасательных работ для принятия решения необходимо понимать сколько людей осталось в опасной зоне, где именно они находятся и как определить самых короткий и безопасный путь к ним

Различные условия, в которых осуществляется поиск пострадавших в местах массового пребывания людей, обуславливают необходимость совершенствования процесса поиска и обнаружения пострадавших. В существующих методах проведения поисково-спасательных работ оценка местонахождения пострадавших осуществляется на основе субъективного мнения руководителя операции.

Определение оптимального маршрута проведения поисково-спасательных работ.

Одной из управленческих задач является планирование и организация последовательности действий спасателей при перемещении от одного объекта к другому в процессе выполнения спасательных работ. Для решения этой задачи разработаны графовая модель и алгоритм определения оптимального маршрута обследования объекта спасателями [1].

Графовая модель — это математическая структура, которая используется для представления и анализа отношений между различными объектами или элементами. Она состоит из вершин (узлов) и рёбер (дуг), которые соединяют эти вершины. Рассмотрим подробнее основные компоненты графовой модели:

Вершины (узлы) — это основные элементы модели, которые могут представлять объекты, события или другие сущности. Например, в социальной сети вершинами могут быть пользователи, а в транспортной сети — города или станции.

Рёбра (дуги) — это связи между вершинами, которые могут обозначать

отношения, взаимодействия или потоки информации между объектами. Рёбра могут быть направленными (когда связь имеет определённое направление) или ненаправленными (когда связь двусторонняя).

Вес рёбер — числовые значения, которые могут быть присвоены рёбрам для обозначения силы или важности связи между вершинами. Например, в транспортной сети вес ребра может представлять расстояние между двумя городами или время в пути [2-4].

Графовые модели бывают различных типов, среди которых следует отметить:

1. Ненаправленные графы — рёбра не имеют направления, и связи между вершинами являются двусторонними;
2. Направленные графы (орграфы) — рёбра имеют направление, указывающее на одностороннюю связь между вершинами. Примером можно считать модель веб-сайтов, где рёбра представляют ссылки с одного сайта на другой.

Графовые модели находят применение в различных областях благодаря своей универсальности и наглядности [3,4]. Примерами использования являются:

1. Анализ социальных сетей и отношений между людьми. Графы помогают изучать структуру социальных связей, выявлять влиятельных пользователей и анализировать распространение информации;
2. Моделирование транспортных сетей и оптимизация маршрутов. Графы используются для представления дорожной инфраструктуры, планирования маршрутов общественного транспорта и оптимизации логистики;
3. Анализ потоков данных в компьютерных сетях. Графы позволяют моделировать передачу данных между устройствами, выявлять узкие места и оптимизировать сетевые настройки;

4. Представление и анализ сложных систем. Графы применяются для моделирования электрических цепей, химических реакций, биологических сетей и других сложных систем, где важно учитывать взаимосвязи между элементами;

5. Решение задач оптимизации. Графы используются для решения задач, таких как задача коммивояжёра (поиск кратчайшего пути, проходящего через заданные точки ровно по одному разу) или задача о назначении (оптимальное распределение ресурсов) [2,3].

Преимуществами графовых моделей являются наглядность и простота визуализации. Графы предоставляют наглядное представление сложных систем и отношений между их элементами, что облегчает анализ и интерпретацию данных. Кроме того, данная модель дает возможность анализа и оптимизации структур и процессов. Графовые модели позволяют применять различные алгоритмы для анализа связности, поиска путей, выявления циклов и других характеристик, что полезно для оптимизации систем. Эти модели находят применение в широком спектре областей, от компьютерных наук и математики до социальных исследований и инженерии. Эффективное представление взаимосвязей между элементами системы. Графы позволяют чётко представить, как элементы системы связаны друг с другом, что важно для понимания их взаимодействия и поведения системы в целом. Поэтому данная модель была выбрана для формирования оптимального маршрута обследования. В графовой модели n завалов (участков завала) необходимо выбрать один лучший из $(n - 1)$ вариантов по критерию времени или длины маршрута [4, 5].

Эта модель связана с определением гамильтонова цикла минимальной длины. В таких случаях множество всех возможных решений следует представить в виде дерева - связного графа, не содержащего циклов и петель. Корень дерева объединяет все множество вариантов, а вершины дерева —

это подмножества частично упорядоченных вариантов решений [5].

В работе [6] в качестве примера, рассмотрена последовательность обследования завалов микрорайона города. Линейная модель определения оптимального пути обследования спасателями завалов микрорайона города включает в себя два метода: а) метод ветвей и границ; б) венгерский метод. В данной работе оговорено, что каждый допустимый маршрут представляет собой цикл, по которому спасатели обследуют завал только один раз и возвращается в исходный пункт.

Сделан вывод, что применение метода ветвей и границ, позволяет определить оптимальный маршрут обследования спасателями завалов микрорайона города, используя одну группу спасателей.

Применение венгерского метода, позволяет определить оптимальный маршрут обследования спасателями завалов микрорайона города, используя две группы спасателей [7, 8].

Данный способ применим и для мест с массовым пребыванием людей. Особенностью является то, что использование BIM-моделирования и 3Dмодели здания позволяет точно определить местонахождение людей. Если люди находятся в одном месте, то наиболее эффективно применим метод ветвей и границ. А если пострадавший находится в разных местах, то необходимо использовать венгерский метод с распределением звеньев ГДЗС [8-10].

$$G = (X, Y); X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}; Y = \{y_{ij}\}; i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

где X - множество вершин (местонахождение людей);

Y - множество дуг (отрезков маршрута у спасателей от i местонахождения к j местонахождению);

$p(y)$ - вес дуги y графа G (время или расстояние прохождения участка маршрута y).

Соответственно на рисунке ниже представлен алгоритм определения

оптимального маршрута проведения ПСР [9, 10].

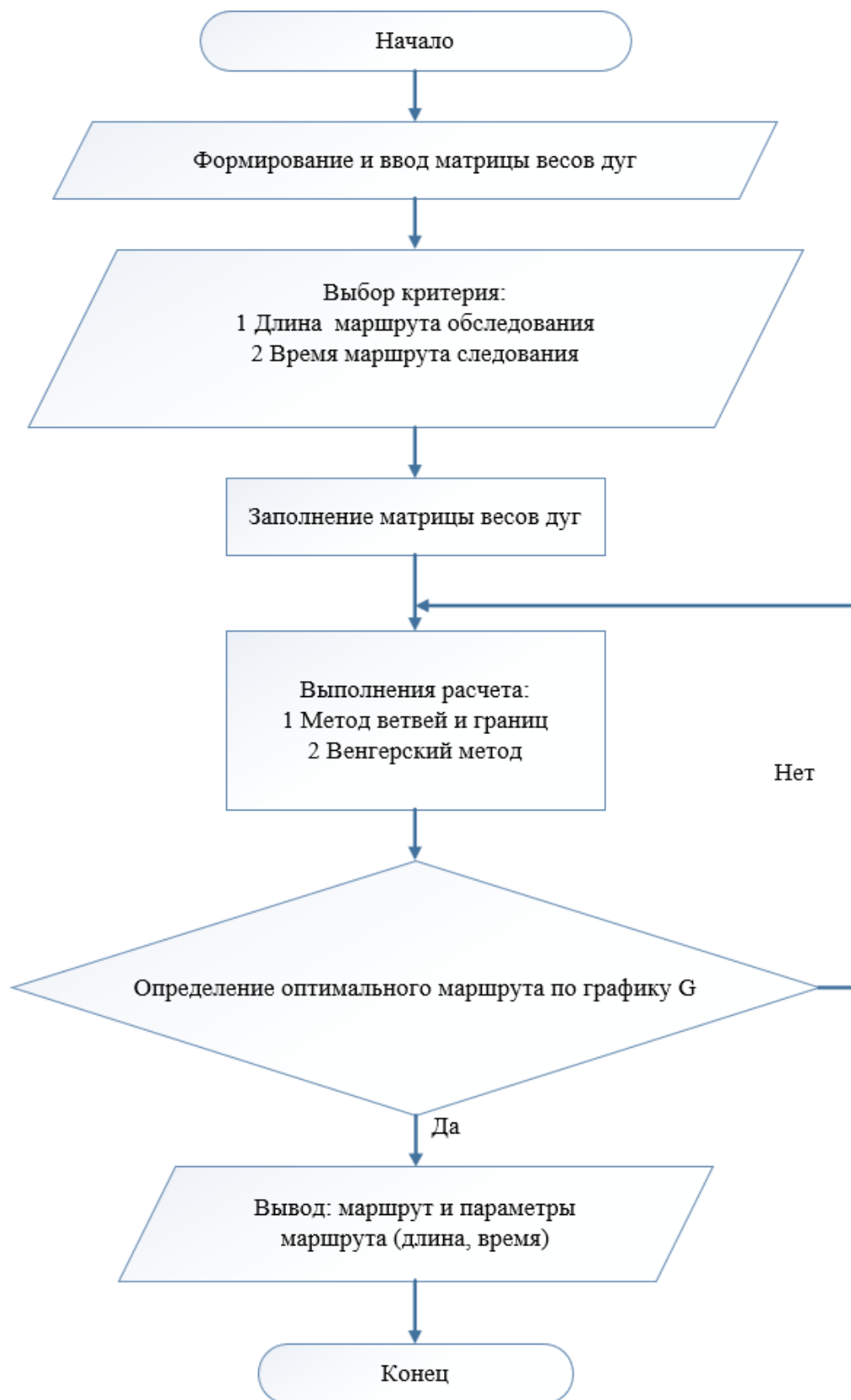


Рис - Блок-схема алгоритма определения оптимального маршрута проведения ПСР

Выводы

Графовая модель в поисково-спасательных работах — это инструмент, который помогает визуализировать и анализировать связи между различными элементами операции, такими как местоположение пострадавших, маршруты поиска, расположение ресурсов и команд. Эта модель позволяет более эффективно планировать и координировать действия спасателей. Она позволяет наглядно представить сложную информацию, оптимизировать маршруты и распределение ресурсов, а также координировать действия между различными командами. Графы предоставляют наглядное представление сложной информации, что облегчает понимание ситуации и принятие решений. Визуализация помогает быстро ориентироваться в данных и выявлять ключевые моменты.

Быстрое реагирование при изменении ситуации (например, перемещение пострадавших или изменение условий местности). Графовая модель может быть быстро обновлена, что позволяет оперативно адаптировать план действий и принимать своевременные решения.

Применение графовой модели в поисково-спасательных работах позволяет более эффективно организовывать и проводить операции, повышая шансы на успешное спасение пострадавших и минимизируя риски для спасательных команд.

Литература

1. Мокшанцев А.В. Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при поиске пострадавших под завалами: автореферат кандидата технических наук: 05.13.10, Место защиты: Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, 2013.-23 с.

2. Шихалев Д.В. Информационно-аналитическая поддержка управления эвакуацией при пожаре в торговых центрах: автореферат кандидата технических наук: 05.13.10, Место защиты: Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, 2015. - 23 с

3. Береснев Д.С. Информационно-аналитические модели и алгоритмы поддержки управления поисково-спасательными операциями в природной среде: автореферат кандидата технических наук: 05.13.10, Место защиты: Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, 2018. - 23 с.

4. Благородова Н.В., Филимонов Е.В., Старостенков А.С. Использование современных огнезащитных составов для ремонта огнезащитных кабельных покрытий с истекшим сроком эксплуатации // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4. URL: www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1290

5. Благородова Н.В., Замятин А.А. Автоматизированная система моделирования и расчета противопожарных расстояний между зданиями // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4. URL: www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1332

6. Топольский Н.Г., Мокшанцев А.В. Модель и алгоритм поиска пострадавших при чрезвычайных ситуациях и пожарах с использованием диаграммы Вороного / Технологии техносферной безопасности, 2019. – № 4(86). – С. 53-61. – DOI 10.25257/TTS.2019.4.86.53-61

7. Nasybullin R.N., Akhmadiev F.G., Bakhareva O.V. The cyber-physical systems: the concept of the digital twin the investment projects in construction industry. Kazan State University of Architecture and Engineering. Kazan. 2020. P. 120–125

8. Akanmu A.A. Towards Cyber-Physical Systems Integration in Construction. A Dissertation in Architectural Engineering. The Pennsylvania State University. The Graduate School College of Engineering. 2012. P. 205.

9. Grieves M. Origins of the Digital Twin Concept. Florida Institute of Technology, 2016, P 162.

10. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. LLC, 2014, P. 72.

References

1. Mokshancev A. V. Modeli i algoritmy podderzhki prinjatija upravlencheskih reshenij pri poiske postradavshih pod zavalami avtoreferat kandidata tehniceskikh nauk [Models and algorithms to support management decision-making in the search for victims under the rubble]: 05.13.10, Mesto zashhity: Akademija gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii, Moskva, 2013, P. 23.

2. Shihalev D. V. Informacionno-analiticheskaja podderzhka upravlenija jevakuiacij pri pozhare v trgovykh centrakh [Information and analytical support for evacuation management in case of fire in shopping malls]: avtoreferat kandidata tehniceskikh nauk: 05.13.10, Mesto zashhity: Akademija gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii, Moskva, 2015, P. 23.

3. Beresnev D S. Informacionno-analiticheskie modeli i algoritmy podderzhki upravlenija poiskovo-spasatel'nyimi operacijami v prirodnoj srede [Information and analytical models and algorithms to support the management of search and rescue operations in the natural environment]: avtoreferat kandidata tehniceskikh nauk: 05.13.10, Mesto zashhity: Akademija gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii, Moskva, 2018, P. 23.

4. Blagorodova N.V., Filimonov E.V., Starostenkov A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, Setevoe izdanie, Nomer 4, Part 2, 2012.

5. Blagorodova N.V., Zamjatin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, Setevoe izdanie, Nomer 4, Part 2, 2012.



6. Topol'skij N. G., Mokshancev A.V. Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti, 2019. – № 4(86), P. 53-61.
7. Nasybullin R.N., Akhmadiev F.G., Bakhareva O.V. The cyber-physical systems: the concept of the digital twin the investment projects in construction industry. Kazan State University of Architecture and Engineering. Kazan. 2020. P. 120–125
8. Akanmu A.A. Towards Cyber-Physical Systems Integration in Construction. A Dissertation in Architectural Engineering. The Pennsylvania State University. The Graduate School College of Engineering. 2012, P. 205.
9. Grieves M. Origins of the Digital Twin Concept. Florida Institute of Technology, 2016, P 162.
10. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. LLC, 2014, P. 72.

Дата поступления: 7.04.2025

Дата публикации: 25.06.2025