

УДК 630.43

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.26.72.011

ЦИФРОВАЯ МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ БОРЬБЫ С ПРИРОДНЫМИ ПОЖАРАМИ

Доррер Г.А.¹, д. т. н., профессор; Кобыжакова С.В.²; Яровой С.В.¹, к. т. н.

¹ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева

²ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Аннотация. Предложена система моделирования и поддержки принятия решений о применении сил и средств для ликвидации природных пожаров, основанная на цифровой модели, реализованной в программном продукте «Тайга-Аналитик». Система работает на основе агентного имитационного моделирования и позволяет осуществлять выбор сил и средств для борьбы с пожаром, моделировать его распространение и ликвидацию с привязкой к цифровой модели местности с помощью геоинформационной системы. Описаны возможности и сфера применения системы «Тайга-Аналитик». Показана схема принятия решений при борьбе с природными пожарами, а также описано использование системы в процессе обучения специалистов по пожарной безопасности.

Ключевые слова: природные пожары, охрана лесов, поддержка принятия решений, цифровая мультиагентная система моделирования природных пожаров.

DIGITAL MULTY – AGENT SYSTEM FOR SIMULATING NATURAL FIRE FIGHTING PROCESSES

*Dorrer G.A.¹, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Full Professor;
Kobijzhakova S.V.²; Yarovoy S.V.¹, Ph.D. of Engineering Sciences*

¹FSBOU department of the academician M.F. Reshetnev's Siberian state university of science and technologies

²FSBOU VO Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia

Annotation. A system for modeling and supporting decision-making on the use of forces and means to eliminate wildfires, based on a digital model, implemented in the software “Taiga-Analyst”, is proposed. The system works on the basis of agent-based simulation and allows you to select forces and means to fight a fire, simulate its propagation and elimination with reference to a digital terrain map using a geographic information system. The possibilities and scope of the “Taiga-Analyst” system are described. A decision-making scheme for fighting natural fires is shown, and the use of the system in the process of training fire safety specialists is described.

Key words: wildfires, forest protection, decision support, digital multi-agent system for simulating wildfires.

Введение

Происходящая в настоящее время Четвёртая промышленная революция и создаваемая при этом Индустрия 4.0, предполагают массовое внедрение киберфизических систем КФС в производство и обслуживание человеческих потребностей, включая быт, труд, обеспечение безопасности и досуг. Ожидается, что вызванные этой революцией изменения охватят самые разные стороны жизни: рынок труда, жизненную среду, политические системы, технологический уклад, человеческую идентичность и другие. Не останется

в стороне и взаимодействие человека с окружающей средой, которое должно перейти на новый уровень, обеспечивая гармонизацию потребностей человечества и сохранность природной среды.

Киберфизическая система предполагает наличие цифровой модели физического объекта и возможность воздействия на него (обратную связь). В рамках развития Индустрии 4.0 в зависимости от степени автоматизации процесса обмена данными различают следующие системы [1, 2]: цифровая модель, цифровая тень, цифровой двойник. Обзор публикаций с 2015 по 2020 год [2] показывает, что наиболее распространенными областями применения КФС являются следующие: умные дома, умные города, производство, здравоохранение.

Большую роль киберфизические системы могут сыграть в природоохранной сфере. Однако в литературе этому направлению не уделено должного внимания.

В настоящей работе рассмотрена цифровая модель процессов распространения природных пожаров и борьбы с ними, реализованная в виде мультиагентной системы с использованием цифровой модели местности.

Понятие агентов и мультиагентных систем

Рассмотрим основные термины, относящиеся к агентным системам.

Цифровой агент – это программная система, обладающая специфическими свойствами: способностью проявлять собственную активность, самостоятельно и инициативно действовать для достижения установленной цели, взаимодействовать с другими агентами, а также с внешней цифровой средой, реагировать и воздействовать на ее состояние. Динамические агенты обладают свойством имитировать перемещение во внешней среде. Множество взаимодействующих агентов образуют мультиагентную систему. Свойство таких систем рассмотрено в работах [3 – 6].

Разработанная авторами мультиагентная система «Тайга-аналитик», предназначена для цифрового моделирования процессов распространения и локализации природных пожаров [7, 8].

Перечислим основные функции этой системы.

1. Система содержит цифровую модель среды, в которой происходит природный пожар. Модель среды содержит все необходимые данные для расчета процессов распространения и ликвидации пожара, а также отображает динамику этих процессов на карте реальной местности необходимого масштаба.
2. В системе осуществляется моделирование процессов горения и распространения природного пожара в условиях заданной среды, и этот процесс отображается на карте местности.
3. Система осуществляет моделирование процесса взаимодействия пожара с противопожарными силами и средствами при различных способах и тактике борьбы с пожаром.
4. Система реализована в виде самостоятельного программного продукта «Тайга-Аналитик» с возможностью интеграции или совместного использования как с существующими дистанционными системами мониторинга, так и с системами электронного обучения.

В настоящее время система содержит следующие программные компоненты: цифровая модель среды; агенты, моделирующие динамику фронта пожара (А-агенты), агенты, моделирующие действие противопожарных сил и средств (В-агенты), агенты, воздействующие на цифровую модель среды (D агенты); агенты-менеджеры, координирующие действия других агентов (М-агенты). При необходимости уточнения или изменения модели могут вводиться новые типы агентов. Ниже рассмотрены действующие компоненты системы.

Функционированием цифровой системы управляет пользователь – оператор, который определяет цели и задачи моделирования процессов в системе и оценивает их результаты.

Цифровая модель среды

Цифровая модель среды, определяющая условия распространения пожара, создается с помощью геоинформационной системы. Карта местности и связанная с ней база данных содержат информацию о топографии и инфраструктуре местности, о свойствах растительных горючих материалов и погодных условиях, а также о доступных средствах борьбы с пожарами и их характеристиках.

Процессы распространения пожара и борьбы с ним, рассчитанные с помощью указанных выше агентов в дискретные моменты времени (шаги моделирования), отображаются на карте.

Агенты, моделирующие динамику фронта пожара (А-агенты)

Каждый А-агент моделирует поведение фрагмента кромки пожара. Множество А-агентов образует цифровой контур пожара (рис. 1). Пространственные координаты агентов этого типа вычисляются на каждом шаге моделирования на основе решения уравнений Гамильтона-Якоби и с помощью алгоритма подвижных сеток, которые подробно описаны в работах [6-9]. Кроме того, в соответствии с упомянутым алгоритмом, в процессе моделирования при определенных условиях агенты могут «погасать» или, напротив, возникать новые. Свойства А-агентов задаются параметрами горения растительного горючего, скоростью движения фронта пожара и возможными направлениями его распространения.

Агенты типа А генерируют тепловой поток и струю дыма, которые рассчитываются с помощью отдельной модели. Интенсивность теплового потока зависит от условий горения и может снижаться под воздействием агентов типа В до нуля, при этом А-агент «гаснет» и больше не входит в цифровой контур пожара.

Агенты, моделирующие действие противопожарных сил (В – агенты)

Агенты типа В воздействуют на агентов типа А, тем самым моделируя действие противопожарных команд. Их цель – «погасить» все узлы горения. Для этого каждый В-агент движется по цифровой среде моделирования к ближайшему А-агенту и, подойдя к нему, на каждом шаге моделирования уменьшает интенсивность его тепловыделения на определенную величину – до тех пор, пока агент А не «погаснет». Затем агент В перемещается к ближайшему активному агенту А и начинает взаимодействовать с ним аналогичным образом.

Агент В характеризуется следующими параметрами:

- текущими пространственными координатами;
- номером ближайшего по расстоянию агента типа А;
- направлением и скоростью движения по местности;
- направлением обхода контура пожара – по или против часовой стрелки;
- интенсивностью тушения пожара, которая определяется используемыми средствами борьбы с природными пожарами [10,11].;

Начальное расположение, количество и характеристики А- и В-агентов задаются пользователем в начале процесса моделирования.

Агенты, воздействующие на цифровую модель местности (D-агенты)

Агенты типа D моделируют действие сил и средств, используемых при косвенном методе борьбы с пожаром путем изменения цифровой модели местности, что приводит к ограничениям для распространяющегося пожара. Данные агенты могут моделировать действие различных видов противопожарной техники, например тракторов, воздушных танкеров и других, при этом они не вступают в непосредственное взаимодействие с А-агентами, но подчиняются командам агента-менеджера М и пользователя системы.

Например, D-агент при моделировании процесса прокладки противопожарной полосы характеризуется следующими параметрами:

- текущее состояние: движение, прокладка полосы, стоянка.
- текущие пространственные координаты;
- скорость и направление движения по местности;
- скорость прокладки противопожарных полос.

При исполнении данные агенты используют прямые команды пользователя, которые определяют вид и необходимые параметры работ. Например, получив команду на прокладку заградительного барьера, D-агент при движении добавляет на карту специальные полигоны заданной ширины. В результате на карте получается некоторая полоса, которая воспринимается А-агентами как непроходимый участок.

Скорость движения, продолжительность работы и другие характеристики D-агентов задаются согласно спецификациям конкретной техники и справочникам.

Количество и типы доступной техники (D-агентов), а также их характеристики задаются заранее, исходя из целей моделирования и хранятся в базе данных. Пользователь в процессе моделирования имеет возможность воспользоваться доступной техникой, выдавая задания с помощью специального интерфейса.

Агент-менеджер, координирующий действия других агентов (М-агент)

Агент типа М в рассматриваемой системе присутствует в единственном числе. Он предназначен для взаимодействия с пользователем и самостоятельного управления действиями других агентов в процессе моделирования. В частности, он синхронизирует перемещение агентов типа А и В по цифровой модели местности, производит анализ контура пожара и производит добавление и удаление агентов типа А в соответствии с алгоритмом подвижных сеток [9].

Реализация мультиагентной системы

На основе описанной выше мультиагентной модели был разработан программный комплекс «Тайга-аналитик», имеющий клиент-серверную архитектуру и веб-интерфейс [8]. На сервере хранится база данных, в которой содержатся данные о цифровой модели местности. Программный код серверной части реализован на языке PHP. Клиентская часть системы реализована на JavaScript (JS) с использованием библиотеки с открытым исходным кодом OpenLayers. Библиотека предназначена для разработки карт на основе программного интерфейса (API) и позволяет создать web-интерфейс для отображения картографических материалов, работая с данными картографических сервисов таких как OpenStreetMap, Google, Yandex и др.

При осуществлении процесса моделирования составляется протокол всех действий пользователя и системы. Может оцениваться успешность и время локализации пожара, площадь, пройденная огнем, затраты на противопожарные мероприятия и другие показатели.

Ниже описано использование системы и представлен пример одного сеанса моделирования.

Использование разработанной системы

Цифровая мультиагентная система «Тайга-аналитик» в настоящее время используется в ФБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия МЧС России» как учебный тренажер для курсантов при подготовке их по специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» и направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» в курсе «Физико-химические основы развития и тушения пожаров», при изучении темы «Природные пожары» в 6 семестре обучения (3 курс). Работа с системой позволяет повысить компетентность обучаемых в области использования дистанционных технологий обучения и управления. Кроме того, при моделировании процесса распространения пожара его ликвидации у обучаемых вырабатываются навыки принятия решения по применению сил и средств по тушению пожара, с оценкой и пониманием последствий принятых решений. За один курс обучения в системе «Тайга – аналитик» составляется в среднем до 500 протоколов по решению указанных задач. Возможно также использование системы для проведения соревнований на лучшее решение поставленной задачи по борьбе с пожаром.

В то же время опыт практического применения системы «Тайга - аналитик» в качестве недостатка указывает на небольшой выбор средств борьбы с пожаром (агентов типа В), в частности, отсутствие в системе авиационных средств тушения и ограничений на количество пеших огнеборцев, что не соответствует нормативным документам.

Пример моделирования процессов распространения и борьбы с лесным пожаром

Цифровая модель местности основана на использовании ГИС, содержащей карту лесного участка, где происходит пожар. Природные и погодные условия, следующие:

- лесной участок с преобладающим еловым древостоем расположен на склоне, о чем свидетельствуют линии уровня на карте местности;
- тип преобладающего растительного горючего – лишайник;
- класс пожарной опасности - 2;
- скорость ветра под пологом леса – 1 м/с, направление ветра – юго-запад;
- площадь очага пожара при обнаружении составляет 4 га.

Приведенные данные говорят о невысокой ожидаемой интенсивности моделируемого пожара, поэтому допустима тактика воздействия на пожар по всему периметру с помощью ручных средств. Принято решение о привлечении трех противопожарных команд по 6 человек каждая, которые расставлены вокруг кромки пожара и получили задание обходить пожар против часовой стрелки. Производительность выбранных команд по тушению кромки пожара была определена по справочникам [10,11]. На рисунке 1А представлена начальная конфигурация пожара и исходная позиция пожарных команд.

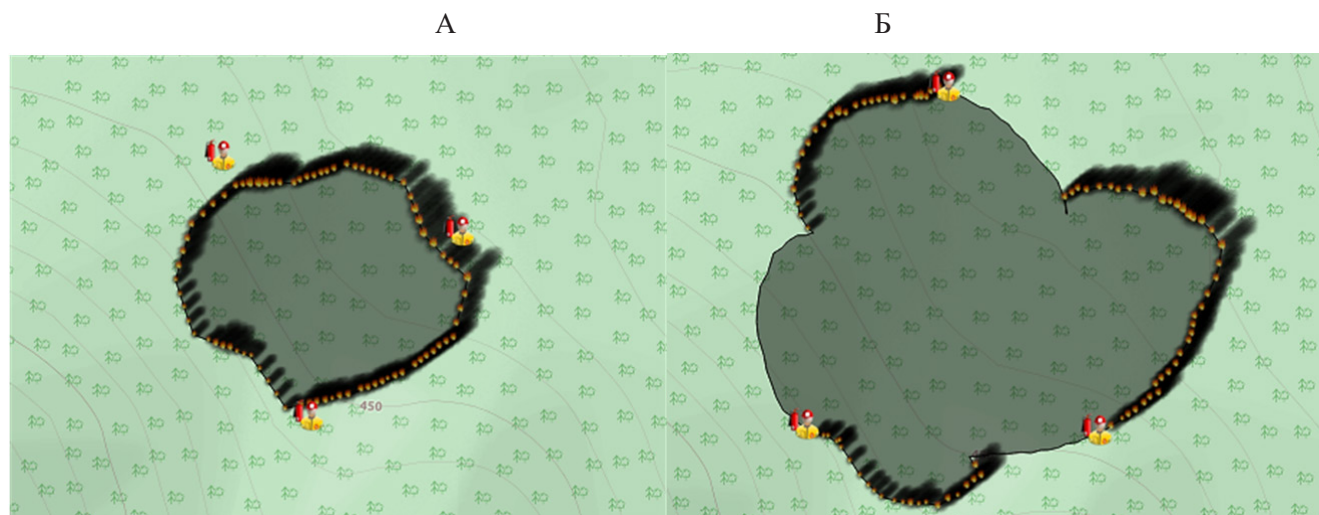


Рис. 1. Пример моделирования процесса локализации пожара.
Светлые точки на контуре пожара – агенты типа А, пиктограммы пожарных – агенты типа В.
А – начальная конфигурация пожара, Б – конфигурация пожара через 4 работы пожарных команд

Моделирование проводилось с временным шагом 5 минут. На рисунке 1Б показано положение команд и контур пожара после 48 шагов процесса моделирования, т.е. спустя 4 часа после начала тушения. Рисунок показывает, что пожар продолжает развиваться, длина горящей кромки не уменьшилась, а площадь, пройденная огнем, увеличилась более чем в два раза. Все это говорит об ошибочном выборе тактики и средств борьбы с пожаром, о том, что три отряда пожарных по 6 человек не способны справиться с данным пожаром.

Приведенный простой пример отрицательного результата при планировании противопожарного мероприятия говорит, на наш взгляд, о реалистичности и пользе процесса цифрового агентного моделирования по сравнению с волевым принятием решений, поскольку справочники дают достаточно грубые оценки, которые не позволяют учесть особенностей сложившейся ситуации и могут привести к принятию ошибочных решений.

Заключение

Представленная в работе цифровая мультиагентная система моделирования процессов борьбы с природными пожарами позволяет решать целый ряд задач: моделирования динамики природных пожаров, принятие решений по тактике и методам борьбы с пожарами, привлечение для этой цели необходимых сил и средств. Дальнейшее развитие системы связано с расширением ее функциональных возможностей путем увеличения числа действующих агентов, в частности пожарных самолетов и вертолетов и других средств, с созданием баз знаний по принятию решений и с постепенным превращением системы в цифрового двойника процесса борьбы с природными пожарами. Планируется поэтапное внедрение системы в работу оперативных штабов МЧС для поддержки принятия решений по борьбе с природными пожарами. Кроме, того, как показал имеющийся опыт, система может служить для подготовки кадров по направлениям пожарной безопасности.

Литература

1. Madni A. Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering, // A.Madni, C. Madni, and S. Lucero, Systems, vol. 7, no. 1, p. 7, Jan. 2019, doi: 10.3390/systems7010007.
2. Fuller A., Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research, // A.Fuller, Z. Fan, C. Day, and C. Barlow, IEEE Access, vol. 8, pp. 108952–108971, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2998358.
3. Тарасов В.Б. Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте // Новости искусственного интеллекта, 1998. № 2. С. 5-63.
4. Fisher K. Intelligent Agents in Virtual Enterprises // Fisher K., Muller J.P., Heimig I., Scheer A.W. Proc. of the First International Conference on the Practical Applications of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (London, UK). P. 205-224.
5. Доррер Г.А. Мультиагентная система моделирования динамических процессов на поверхности Земли // Г.А. Доррер, С.В.Яровой, О.Б. Казаковцева. Системы управления и информационные технологии, 2018, № 2 (72). С. 42-47.
6. Доррер Г.А. Моделирование динамических процессов на поверхности Земли // Г.А. Доррер, С.В. Яровой. ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении, 2018. № 4 (8). С. 53-57.
7. Dorrer G. Use of Agent-Based Modeling for Wildfire Situations Simulation // Georgy Dorrer, Sergey Yarovoy. IEEE Xplore Digital Library 2018. 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) 8-25 Aug. 2018. DOI 10.1109/RPC.2018.8481677.
8. Яровой С.В. Агентный подход при моделировании лесопожарных ситуаций // Программные продукты и системы, 2016. Т. 29. № 3. С. 101-108.
9. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров // Г.А. Доррер, Изд-во СО РАН, Новосибирск, 2008. – 404 с.
10. Иванов В.А. Справочник по тушению природных пожаров. 2-е изд. перераб. и доп // Иванов В.А., Иванова Г.А., Москальченко. Красноярск: ПРООН/МКИ, 2011. – 130 с.
11. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособие для лесных пожарных изд. 3-е, перераб. и доп //Е.А. Щетинский М: ВНИИЛМ, 2002. 104 с.