

УДК 004.896

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ В КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ СИСТЕМНОГО ИНЖИНИРИНГА

С.С. ВАЛЕЕВ, Н.В. КОНДРАТЬЕВА, А.Ф. АГЛЕТДИНОВА

Одной из задач управления инфраструктурными объектами является обеспечение эффективной эвакуации в критических ситуациях. Проблема эвакуации связана с неоднородностью данных, их большими объемами, потерей части информационной инфраструктуры под воздействием деструктивных факторов. Рассматривается концепция проектирования автоматизированной системы управления эвакуацией на основе системного инжиниринга с применением системного подхода, современных информационных технологий, а также имитационного моделирования. Обосновывается актуальность использования технологий больших данных для решения задачи управления в реальном масштабе времени. В качестве инструмента распределенной обработки данных предлагается прототип кластера вычислителей с низким энергопотреблением.

Ключевые слова: инфраструктурный объект, управление, эвакуация, имитационное моделирование, большие данные.

Введение

Одной из задач проектирования системы управления инфраструктурным объектом, например зданием современного международного аэропорта, является обеспечение эффективной эвакуации людей и материальных ценностей в критических ситуациях. Инфраструктурные объекты относятся к классу распределенных объектов управления со сложной структурой жизнеобеспечения, эффективное функционирование которых обеспечивается высококвалифицированным персоналом [1] и распределенной автоматизированной системой управления.

В рамках системной инженерии предполагается использование идеи поддержки жизненного цикла сложной системы на различных этапах ее существования на базе системного подхода, активного использования современных информационных технологий для обеспечения эффективности системы в процессе эксплуатации. Инжиниринг, основанный на принципе устойчивого развития (sustainable engineering), предполагает, что в рамках парадигмы жизненного цикла сложного инфраструктурного объекта поддерживается его устойчивое функционирование в условиях воздействия различных деструктивных факторов [2].

Одним из базовых инструментов при проектировании системы является имитационное моделирование различных аспектов ее функционирования. Если в процессе моделирования выясняется, что обеспечить требуемое качество процессов управления невозможно, например, время эвакуации из любой точки инфраструктурного объекта в случае пожара не укладывается в ограничения по риску неэвакуации, то необходимо использование идеи отрицательной обратной связи для обеспечения требуемого качества управления. Под обратной связью понимается процесс адаптации структуры системы управления в реальном времени, например, в виде перепланировки структуры помещений, управление конвекцией воздушных потоков, динамического планирования маршрутов эвакуации и т.п.

На различных этапах решения задачи проектирования в рамках системной инженерии возникает проблема, связанная с обработкой больших данных. Под большими данными понимают большие потоки данных, которые необходимо обработать в реальном масштабе времени.

В настоящее время наблюдается активный интерес со стороны исследователей и практиков в области систем управления сложными объектами к технологиям больших данных. Это обу-

словлено успешной разработкой новых технологий передачи данных, внедрением концепции NoSQL, распределенной обработкой данных с применением облачных вычислений (Cloud Computing). Тем самым можно предположить, что развитием идеи поддержки жизненного цикла сложного объекта на основе CALS-технологий является активное использование концепции больших данных.

Принципы построения автоматизированной системы управления эвакуацией

Автоматизированная система управления эвакуацией из инфраструктурного объекта включает в себя различные технические средства для обнаружения опасных факторов, наборы первичных источников информации (пожарные датчики, видеокамеры и т.п.), средства обработки и хранения информации, телекоммуникационные каналы, а также организационные ресурсы в лице сотрудников инженерных служб и служб безопасности инфраструктурного объекта. В рассматриваемой системе циркулируют большие потоки данных, необходимые для оценки текущего состояния объекта управления и принятия решений в реальном масштабе времени в случае возникновения критической ситуации. Проблема разработки эффективной системы управления эвакуацией связана с неоднородностью данных, их большими объемами, потерей части информационной инфраструктуры в случае воздействия деструктивных факторов (пожар, землетрясение и др.) [3]. К особенностям рассматриваемых информационных систем управления следует отнести их реализацию на основе сетевых информационных технологий. Это обуславливает вероятность потери цифровых пакетов при передаче данных, временные задержки из-за ограниченной пропускной способности каналов связи и т.п.

Критическая ситуация обычно сопровождается множеством различных факторов неопределенности, которые необходимо принимать во внимание в процессе принятия решений, что усложняет решение задач управления в классе систем с эталонной моделью. Одной из распространенных причин возникновения критической ситуации в инфраструктурном объекте является возникновение пожара. При этом в качестве эталонной модели рассматривается утвержденный план эвакуации из здания. Этот план обычно содержит обобщенные траектории эвакуации людей и материальных ценностей без учета различных факторов неопределенности, в значительной мере влияющих на выбор конкретного пути эвакуации [4].

С учетом высокой сложности задачи эвакуации система управления строится в классе иерархических систем управления [5]. Выбор иерархической структуры системы управления оправдан для специальных организационно-технических систем высокой сложности. Одной из основных проблем эффективного использования подобных систем является решение задач, связанных с большим потоком данных на различных уровнях управления, построения динамических эталонных моделей в реальном масштабе времени [6].

В связи с этим основными функциями автоматизированной системы управления эвакуацией являются анализ текущей информации о состоянии параметров, характеризующих критическую ситуацию, результатов моделирования различных вариантов распространения пожара, а также принятие соответствующих управленческих решений с применением нечеткой логики и новых информационных технологий на основе облачных сервисов [7].

На рис. 1 упрощенно показан процесс принятия решения при выборе пути эвакуации от точек *Start* до точки *Exit*. Процесс принятия решений включает время, необходимое для анализа текущей ситуации в данной точке пространства инфраструктурного объекта (выделено жирной линией на временной оси T), а также время для реализации принятого решения. В нашем случае рассматриваются два пути со временем реализации t_k и t_m . Система управления эвакуацией позволяет в случае необходимости перейти из точки P_n на другую ветвь дерева в точку P_l принятия решений, что позволяет сократить время эвакуации или минимизировать риск неэвакуации.

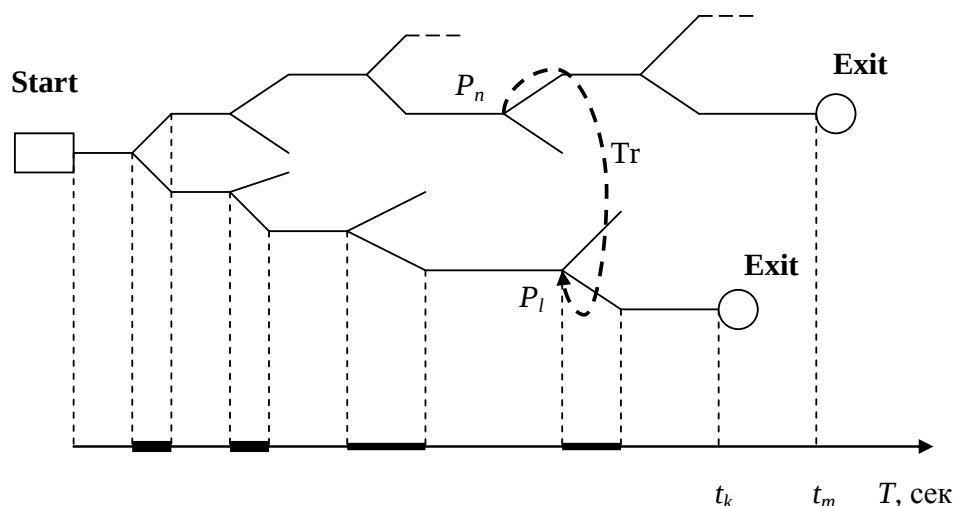


Рис. 1. Упрощенная схема процессов принятия решений при выборе траектории движения

Архитектура автоматизированной системы управления эвакуацией

На рис. 2 представлена архитектура трехуровневой системы управления эвакуацией людей в случае возникновения критической ситуации.

Особенностью организации вычислительных процессов в рассматриваемой системе является использование облачных сервисов для хранения ансамбля моделей, массивов данных, а также, выполнение алгоритмов моделирования и реализации процессов принятия решений на основе вычислений в облаке. Рассмотрим подробнее движение потоков данных в рассматриваемой системе.

Восходящий информационный поток данных I_1 , поступающий от ансамбля первичных источников информации, переходит на уровень координации системы управления. Мощность данного потока P_1 зависит от количества разнородных первичных источников информации и частоты опроса датчиков. В обратном направлении передаются управляющие воздействия I_2 на исполнительные механизмы и технические устройства (системы противопожарной безопасности, автоматизированные запасные выходы, световые дорожки и т.п.), используемые при эвакуации. Мощность потока, передающего управляющие воздействия (обозначим ее P_2) зависит от количества и разнообразия исполнительных механизмов, а также частоты обновления передаваемых команд. При этом в базу данных функционирования датчиков и механизмов поступает информация Q_3 о результатах их функционирования. В обратном направлении передается информация R_3 об алгоритмах расположения датчиков и исполнительных механизмов [8]. Принятие решений уровнем координации в реальном масштабе времени осуществляется на основе нечетких логических правил R_2 . Одновременно в базу данных нечетких логических правил поступает информация о принятых решениях Q_2 . Уровень координации передает консолидированную информацию о возникшей критической ситуации I_3 на уровень планирования. Мощность этого потока P_3 зависит от используемых технологий предварительной обработки информации. Уровень планирования в свою очередь вырабатывает стратегические решения для уровня координации I_4 на основе непрерывного имитационного моделирования возможных критических ситуаций на основе облачных сервисов. Мощность данного информационного потока P_3 зависит от качества принятых стратегических решений и количества модельных ситуаций. Результаты моделирования Q_1 передаются в базу данных моделирования. В случае необходимости они могут служить исходными данными R_1 для следующего этапа моделирования.



Рис. 2. Архитектура системы управления эвакуацией

Информационные потоки в системе управления обладают большой мощностью, их необходимо передавать в реальном времени, при этом передаваемая информация имеет весьма разнородную и сложную структуру. С учетом этого практическая реализация информационной системы управления эвакуацией также является сложной задачей.

Для сокращения времени обработки информации и принятия решений предлагается использовать технологии обработки больших данных (MapReduce) с применением облачных вычислений. На рис. 2 предварительно обработанные результаты моделирования F_M , реализованные уровнем координации решения F_{rule} , информация датчиков и механизмов F_{data} как потоки больших данных посредством высокоскоростных каналов связи передаются в «облако» в виде массива больших данных D . С помощью облачных сервисов для уровня планирования готовятся дополнительные возможные решения C для повышения эффективности управления.

Особенности практической реализации автоматизированной системы управления эвакуацией

Для реализации рассматриваемой системы необходима информационная интеграция разнородных технических и программных систем. Например, подсистема сбора информации о состоянии распределенного объекта управления включает в себя наборы разнородных датчиков: состояния физических характеристик внешней и внутренней среды в помещениях, локализации людей на основе RFID-меток и информации с систем глобальной навигации на базе GLONAS/GPS, данные систем видеонаблюдения. Среди множества задач, связанных с первичным сбором и обработкой информации, можно выделить автоматическую идентификацию (распознавание и классификацию) динамических объектов. Реализация этой задачи предполагает выполнение ряда следующих шагов: присвоение каждому динамическому объекту уникаль-

ного идентификатора (номера или кода); нанесение специализированной метки, содержащей идентификатор объекта; считывание данных с метки цифровым устройством; перевод данных метки в электронный вид.

В качестве идентификатора могут быть использованы графические, магнитные, радиочастотные и электронные метки.

За последние годы организация видеонаблюдения стала неотъемлемой частью обеспечения комплексной безопасности зданий, поскольку современные системы видеонаблюдения позволяют не только вести наблюдение и записывать видеoinформацию, но и программировать реакцию всей системы безопасности при возникновении тревожных событий или ситуаций.

Оцифрованная информация от этих устройств поступает в подсистему моделирования пожара, в которой на основе исходных данных, плана здания и уравнений динамики пожара моделируется распространение огня и дыма. Для решения этой задачи в реальном масштабе времени необходимо использовать высокопроизводительные вычислительные системы. Для реализации вычислений можно воспользоваться облачным сервисом, а в случае необходимости оркестром облаков.

Для облачной обработки больших наборов данных, генерируемых системой, предлагается использовать модель распределенных вычислений MapReduce (например, ее бесплатную реализацию GridGain с открытым исходным кодом на языке Java или проект Apache Hadoop). В качестве аппаратных средств распределенной обработки данных предлагается использовать вычислители с низким энергопотреблением (рис. 3).

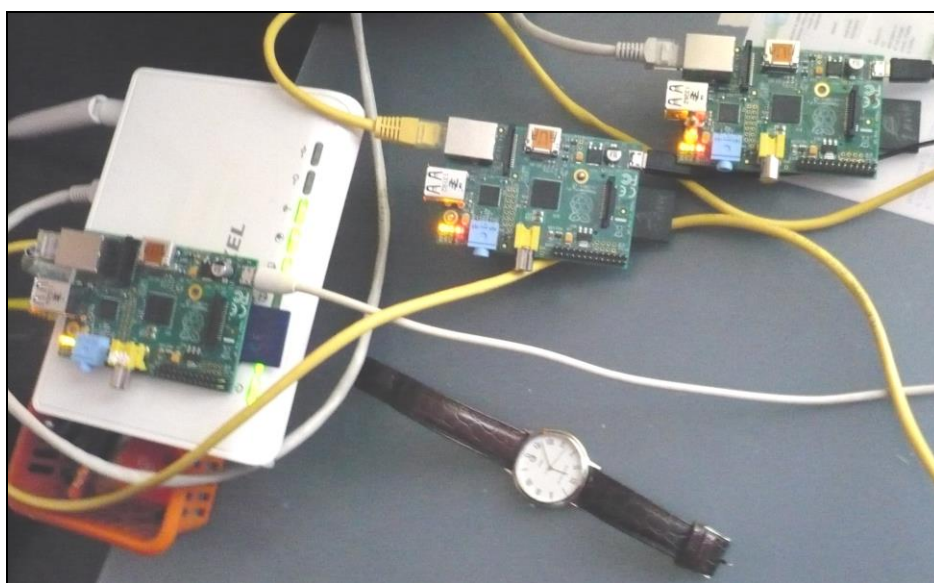


Рис. 3. Прототип кластера вычислителей с низким энергопотреблением

Подсистема моделирования пожара позволяет учитывать многие параметры, например, испарение жидкого топлива, пиролиз твердого топлива и т. д. При наличии достаточных исходных данных можно непосредственно моделировать возгорание предметов обстановки, прогрев материалов, распространение пламени с объекта на объект, различные реакции горения твердой фазы и т.д.

В ходе моделирования можно получить следующие критические данные: время наступления опасных факторов пожара; температурный режим пожара; время срабатывания извещателей (дымовой и тепловой датчики); время вскрытия оросителей; влияние интенсивности подачи воды на эффективность тушения пожара и т.д.

Различные варианты решений для поиска наиболее эффективного могут быть опробованы на модели, подробно проанализированы и проработаны. В условиях влияния различных факторов неопределенности особенно актуальным является использование интеллектуальных алгоритмов управления.

Объединение вычислительной техники, датчиков позиционирования людей и систем видеонаблюдения в единую коммуникационную сеть с датчиками противопожарной системы позволит, в рамках предлагаемого подхода, прогнозировать развитие и управлять критической ситуацией на основе использования результатов моделирования в режиме реального времени.

Выводы

Актуальной задачей при проектировании системы управления инфраструктурными объектами является обеспечение эффективной эвакуации людей и материальных ценностей в критических ситуациях. Одна из основных проблем управления эвакуацией обусловлена неоднородностью большого объема данных, деградацией информационной инфраструктуры в случае воздействия различных деструктивных факторов. Предлагаемая концепция проектирования автоматизированной системы управления эвакуацией на основе системного инжиниринга подразумевает применение системного подхода, современных информационных технологий, а также имитационного моделирования. Обоснована целесообразность использования технологий обработки больших данных в реальном масштабе времени для решения задачи управления эвакуацией. В качестве инструмента распределенной обработки данных предлагается прототип кластера вычислителей с низким энергопотреблением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев Б.П., Елисов Л.Н., Марьенкин Е.В. О концепции системотехнического управления авиационным персоналом гражданской авиации // *Научный Вестник МГТУ ГА*. 2011. № 174. С. 43-46.
2. Blanchard B.S., Fabrycky W.J. *Systems Engineering and Analysis*, 5th Ed., Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2010.
3. Велькович М.А., Козлов А.И., Король В.М., Шатраков А.Ю. Целевая функция предприятий, обеспечивающих безопасность движения транспорта // *Научный Вестник МГТУ ГА*. 2010. № 162. С. 131-135.
4. Кондратьева Н.В., Янгирова А.Ф., Валеев С.С. Информационная система управления эвакуацией людей в больших инфраструктурных объектах // *Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2014: сб. науч. тр.* / под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. М.: ИПУ РАН, 2014. С. 387-393.
5. Валеев С.С., Кондратьева Н.В., Янгирова А.Ф. Иерархическая система поддержки принятия решений при эвакуации людей из здания в критических ситуациях // *Вестник УГАТУ*. 2014. Т. 18. №1 (62). С. 161-166.
6. Кондратьева Н.В., Янгирова А.Ф., Валеев С.С. Информационная система управления эвакуацией людей в критических ситуациях // *XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014*. М.: ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 8173-8179.
7. Valeev S.S., Kondratyeva N.V. *Technical safety system with self-organizing sensor system and fuzzy decision support system*. Proc. of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Istanbul, 2015.
8. Valeev S.S., Taimurzin M.I., Kondratyeva N.V. An adaptive data acquisition system in technical safety systems // *Automation and Remote Control*. December 2013. Vol. 74, Issue 12, pp. 2137-2142.

DESIGN OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM EVACUATION IN AN EMERGENCY ON THE PRINCIPLE OF SYSTEMS ENGINEERING

Valeev S.S., Kondratyeva N.V., Agletdinova A.F.

One of the objectives of the management of infrastructure facilities is to ensure efficient evacuation in an emergency. The problem of the evacuation is related to the heterogeneity of data, its' large volume, the loss of part of the information infrastructure under the influence of destructive factors. The concept design of the automated evacuation control system based on system engineering is considered. It involves the use of a systematic approach, modern information technologies,

as well as simulation. The actuality of the use of technology solutions for big data management tasks in real time is proved. As a tool for distributed processing, cluster prototype with low power consumption computers is proposed.

Keywords: infrastructure facility, management, evacuation, simulation, big data.

REFERENCES

1. **Eliseev B.P., Elisov L.N., Marenkin E.V.** O conceptsiyah sistemotekhnicheskogo upravleniyah aviatsionnim personalom grazhdanskoy aviatsiih. *Nauchny Vestnik MGTU GA*. 2011. № 174. Pp. 43-46. (In Russian).
2. **Blanchard B.S., Fabrycky W.J.** *Systems Engineering and Analysis*, 5th Ed., Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2010.
3. **Velkovich M.A., Kozlov A.I., Korol' V.M., Shatrakov A.Yu.** Tselevayah funktsiyah predpriyatiy, obespechivayuschi bezopasnost' dvizgeniyah transportah. *Nauchny Vestnik MGTU GA*. 2010. № 162. Pp. 131-135. (In Russian).
4. **Kondratyeva N.V., Yangirova A.F., Valeev S.S.** Informatsionnayah sistema upravleniyah evacuatsiyey ludey v bolshih infrastruktturnih ob'ektah. *Upravleniyeh razvitiyem krupnomashtabnih sistem MLSD'2014: sb. nauch. tr.* Pod obsch. red. S.N. Vasil'eva, A.D. Tsvirkuna. M.: IPU RAN. 2014. Pp. 387-393. (In Russian).
5. **Valeev S.S., Kondratyeva N.V., Yangirova A.F.** Hierarchicheskayah sistema podderzskih prin'atiyah resheniy pri evacuatsii ludey iz zdaniyah v kriticheskikh situatsiyah. *Vestnik UGATU*. 2014. T. 18. №1 (62). Pp. 161-166. (In Russian).
6. **Kondratyeva N.V., Yangirova A.F., Valeev S.S.** Informatsionnayah sistema upravleniyah evacuatsiyey ludey v kriticheskikh situatsiyah. *XII Vserossiysko'eh soveschaniye po problemam upravleniyah VSPU-2014*. M.: IPU RAN. 2014. Pp. 8173-8179. (In Russian).
7. **Valeev S.S., Kondratyeva N.V.** *Technical safety system with self-organizing sensor system and fuzzy decision support system*. Proc. of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Istanbul, 2015.
8. **Valeev S.S., Taimurzin M.I., Kondratyeva N.V.** An adaptive data acquisition system in technical safety systems. *Automation and Remote Control*. December 2013. Volume 74, Issue 12, pp 2137-2142.

Сведения об авторах

Валеев Сагит Сабитович, 1957 г.р., окончил УАИ (1980), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой информатики УГАТУ, автор более 200 научных работ, область научных интересов – интеллектуальное управление сложными объектами и организационно-техническими системами.

Кондратьева Наталья Владимировна, окончила УГАТУ (1998), доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики УГАТУ, автор 85 научных работ, область научных интересов – имитационное моделирование и эффективность сложных систем.

Аглетдинова Алия Фаритовна, окончила УГАТУ (2009), соискатель УГАТУ, автор 10 научных работ, область научных интересов – автоматизация и управление организационно-техническими системами.