

УДК 681.3

ТРЕХУРОВНЕВОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Б. В. Костров, д.т.н., заведующий кафедрой ЭВМ РГРТУ; kostrov.b.v@evm.rsreu.ru

В. Н. Ручкин, д.т.н., профессор кафедры ЭВМ РГРТУ; v.ruchkin@rsu.edu.ru

А. И. Таганов, д.т.н., заведующий кафедрой КТ РГРТУ; alxtag@yandex.ru

А. Н. Колесенков, к.т.н., доцент кафедры КТ РГРТУ; sk62@mail.ru

Рассматриваются вопросы применения кибер-физических систем (КФС) для организации трехуровневого мониторинга объектов и территорий на предмет прогнозирования, предупреждения и раннего выявления чрезвычайных ситуаций.

Целью работы является разработка программного обеспечения базовой КФС управления комплексом информационной, операционной и алгоритмической поддержки наземного, воздушного и дистанционного зондирования Земли. В основе таких КФС лежат вычислительные системы и сенсоры, обеспечивающие мониторинг различных индикаторов и автоматическую передачу собранных данных на следующий уровень. На основе полученных данных специальные устройства КФС вносят изменения во внешнюю среду, снижая риски возникновения чрезвычайных ситуаций. Реализацию поставленных задач обеспечивает операционная составляющая, включающая в себя суперкомпьютеры, облачную вычислительную среду SaaS, PaaS или IaaS. В результате использования искусственных нейронных сетей комплекс является интеллектуальным, способным к обучению и самообучению. Предложены структура и прототип интерфейса КФС, описаны принципы и алгоритмы работы основных процедур. Исследуются иерархические интеллектуальные телекоммуникационные структуры компонентов КФС на базе нейропроцессора MV 7707 и современного NM 6407 для снижения риска принятия решений за счет специализированной обработки данных в условиях неопределенности.

Ключевые слова: наземное, воздушное и дистанционное зондирования Земли, киберфизическая система, облачные вычисления, суперкомпьютер, мониторинг пожара, датчики, риски принятия решений, кластеры, микропроцессорный модуль, интеллектуальная телекоммуникационная структура.

DOI: 10.21667/1995-4565-2017-60-2-75-82

Введение

Многоуровневая организация наземного, авиационного и космического мониторинга обеспечивает низкое энергопотребление в телекоммуникационной технике и сенсорах для переносных кибер-физических систем (КФС) [1]. При этом в современных мобильных комплексах целесообразно использовать данные дистанционного наблюдения от различных источников: видеокамер, лидаров, радаров, ультразвуковых датчиков. Мощные и энергоэффективные параллельные процессоры и «системы на кристалле» могут применяться для реализации процессов сложного взаимодействия сенсоров и других сложных систем. Современные подходы к проектированию КФС позволяют совместить аппаратные и программные средства различных уровней, а также обеспечить взаимодействие физического и кибернетического пространств, включая реальные физические элементы, кон-

троль и управление удаленными распределенными элементами окружающей среды [2, 3]. В основе таких КФС лежат электронные вычислительные системы, датчики и сенсоры, обеспечивающие мониторинг различных индикаторов и автоматическую передачу собранных данных между уровнями. На основе полученных данных специальные устройства КФС вносят изменения в среду, снижая риски наступления чрезвычайных ситуаций (ЧС) [4]. Целью работы является разработка программного обеспечения управления комплексом информационной, функциональной и алгоритмической поддержки наземного, авиационного и дистанционного мониторинга объектов и территорий.

Иерархическая структура КФС дистанционного мониторинга

Структуру комплекса обеспечения КФС предлагается разделить на информационную, функциональную и программную составляющие,

соединив их высокоскоростными радио-каналами Wi-Fi и облачными вычислениями по протоколу User Datagram Protocol (UDP) на платформах SaaS, PaaS, IaaS [5, 6].

Информационная составляющая включает в себя следующие устройства [7]:

- интеллектуальные программируемые датчики на нейро кристалле;
- беспилотные средства обнаружения и сопровождения объектов;
- дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) средствами космических аппаратов.

Функциональная составляющая включает в себя следующие элементы [8]:

- суперкомпьютеры;
- облачную вычислительную среду SaaS, PaaS, IaaS;
- модули MB 7707, NM 6407

Программная составляющая включает в себя следующие процедуры:

- процедуру обнаружения и идентификации источников ЧС;
- процедуру кластеризации и классификации ЧС;
- процедуру моделирования ЧС;
- процедуру прогнозирования ЧС;

– процедуру сопровождения ЧС и оценки рисков.

Для управления указанным комплексом разработана программное обеспечение со следующим интерфейсом (Рисунок 1).

Система программного обеспечения мониторинга (ПОМ)

Пользовательский интерфейс условно включает состоит из пяти частей. В первой части располагается стандартное меню, включающее основные функции работы с приложением: File, Manage, Algorithms, Neuro. Во второй части находится главное меню работы с приложениями в виде следующих процедур и режимов работы: открытие аэрокосмических изображений (Open ASI), облачные вычисления (Cloud Computing), идентификация изображений (Identify Emergency), анализ динамики изображений (Emergency Dynamic), кластеризация изображений (Clusterig Emergency), включение нечеткой логики (Fuzzy Logic), анализ нейро-структур (Neuro Structure), включение нейро опций (Neuro Options). Все вышеперечисленные процедуры тщательно разработаны и описаны в виде алгоритмов в работах [9, 10].

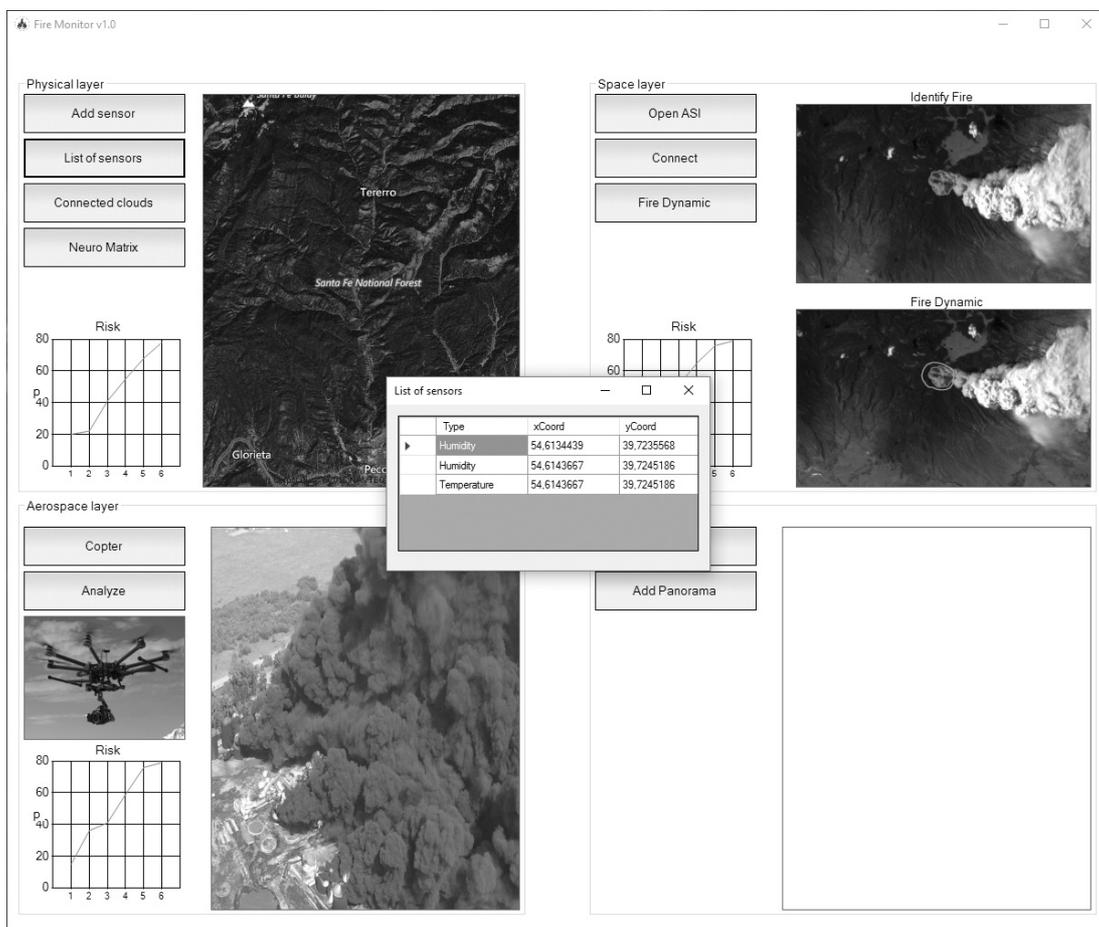


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс КФС

Процедура Open ASI позволяет работать с аэрокосмическим изображением посредством одной из выбранных поисковых систем из стандартного меню. Это изображение вызывается в третью часть интерфейса с командными кнопками: Адрес или место уровня (Address or Place Layers), где возможно изменить масштаб, выделить нужный уровень или скорректировать исследуемое изображение [11, 12].

Процедура Cloud Computing подключает одну из трех платформ: SaaS, PaaS, IaaS. При этом загружаются необходимое программное обеспечение и параметры. В этом случае осуществляется подключение соответствующей функциональной составляющей всего предлагаемого комплекса [13].

Процедура Identify Emergency включает в себя методы детектирования ЧС, и основана на яркостных перепадах в каждом спектральном канале и базируется на следующих процедурах: сегментация, контрастирование, привязка координат очагов ЧС, определение характеристик текстуры. Каждая процедура привязывается к вектору характеристик $Xk_i^{(k)}$. Наличие очага ЧС на аэрокосмическом снимке определяется по соответствующим признакам.

Сегментация снимков необходима для определения элементов изображения, соответствующих местам потенциальных ЧС. Для решения задачи сегментации применяется методика релаксационной разметки, которая заключается в разбиении изображения на кластеры и приведена в [7, 8].

В качестве характеристик текстуры используются следующие параметры: математическое ожидание, дисперсия, СКО, дисперсия, однородность, моменты, энтропия [14].

Привязка координат очагов ЧС связана с выделенными сегментами и уточнением их координат с помощью линейного дифференциального оператора Лапласа.

Процедура Emergency Dynamic подключает алгоритм оценки динамики техногенной обстановки, основанный на методе второй производной площади ЧС по времени. Основная идея разрабатываемого метода состоит в исследовании графика роста площади ЧС. Алгоритм включает следующие этапы.

Этап 1. Определение площади ЧС.

Этап 2. Расчет второй производной по времени.

Этап 3. Отнесение состояния ЧС к одному из типов.

Величины положительны при свободном распространении ЧС, обращаются в нуль при ее локализации и становятся отрицательными при ликвидации ЧС [15].

Процедура Emergency Dynamic подключает предложенный алгоритм слежения или сопровождения за очагами ЧС, основанный на периодической обработке спутниковых снимков наблюдаемой территории, позволяет рассчитать направление движения действующих очагов ЧС и включает следующие этапы.

Этап 1. На спутниковом снимке выявляются очаги ЧС на основе кластерного анализа.

Этап 2. Если очаги ЧС найдены, то происходит сравнение координат новых очагов ЧС с предыдущими. Иначе алгоритм завершается.

Этап 3. В зависимости от распределения очагов ЧС друг относительно друга, состояния внешней среды производится расчет траектории возможного распространения ЧС и вероятность этого события.

Этап 4. Если за определенный промежуток времени не было зафиксировано ни одного нового очага ЧС или координаты невозможно отнести ни к одному из ранее отмеченных очагов, то считается, что появился новый очаг.

Для выполнения прогнозирования характеристик ЧС с применением разработанных математических моделей использовались искусственные нейронные сети (ИНС). На вход ИНС подаются исходные данные, а на выходе пользователю выдаются прогнозные значения площади ЧС.

Процедура Clusterig Emergency первоначально производит обнаружение источников природного и техногенного характера посредством анализа и классификации, т. е. разбиения области изображений на кластеры, обладающие относительно высокой степенью близости на основе определенных характеристик. С этой целью для решения задачи кластеризации вводится понятие равенства кластеров по длине векторов характеристик и совпадение указанных кластеров с точностью до каждой характеристики $Xk_i^{(k)} = Xk_i^{(1)}$.

Разбиение аэрокосмических изображений на кластеры эквивалентности однозначно разделяет все множество на классы подобных элементов, что приводит к однозначному принятию решения по выбору интересующего образа. Результаты операции разбиения формируют продукционную модель экспертной системы распознавания образов. В результате происходит захват очага ЧС. Далее на основании захвата подключается алгоритм слежения и прогнозирования динамики ЧС, который основан на обработке разновременных спутниковых снимков ЧС и позволяет выявить направление распространения действующих ЧС [16, 17].

Этап 1. Нечеткая ИНС на снимке идентифицирует очаги ЧС.

Этап 2. На следующем снимке алгоритм автокорреляции выбирает эталонные фрагменты (ЭФ) с заданными характеристиками.

Этап 3. Вычисление спектров ЭФ.

Этап 4. Нахождение для каждого ЭФ отображения на новом снимке.

Этап 5. Привязка снимков по найденным точкам совмещения.

Этап 6. Применение нечеткой ИНС выявляет новые очаги ЧС.

Этап 7. Если очаги найдены, то проводится сравнение координаты новых очагов ЧС с предыдущими. В противном случае выполнение алгоритма завершается.

В зависимости от расстояния между координатами, места расположения очагов друг относительно друга, рельефа местности, направления ветра и местоположения водных ресурсов рассчитываются траектории распространения действующих ЧС.

Процедура Fuzzy Logic предназначена для прогнозирования и идентификации факта нарушения и является многокритериальной задачей, так как из всего многообразия альтернатив эксперт на основе обобщенной оценки данных должен выбрать наилучшую по совокупности противоречивых показателей: скорость, площадь, направление, количество очагов. Для повышения качества принятия управленческих решений и оптимизации процедуры выбора предлагается ранжировать рассмотренные показатели в порядке значимости [18].

Использование нечеткости Fuzzy Logic позволяет моделировать изменение параметров реализаций с учетом качества структурных связей. При этом решение задачи выбора производится параллельно процедуре принятия решения, а применение максиминных операций способствует оптимизации принимаемых решений [19].

Процедура Neuro Structure осуществляет использование нейро-компьютерной обработки в режиме самообучения в случаях неопределенности входных сигналов и нечеткости в разбиениях на кластеры.

В четвертой части отображаются три варианта решения задачи: обнаружение очагов, захват на сопровождение и предварительный прогноз на протекание процесса.

В пятой части даются оценки риска конкретной ситуации и приводятся графические зависимости принятия решений.

Экспериментальные исследования

Решение сформулированных задач и реализацию обеспечивает функциональная составляющая, включающая в себя суперкомпьютеры,

облачную вычислительную среду SaaS, PaaS или IaaS, модули MB 7707 или NM 6407. В результате использования ИНС комплекс является интеллектуальным, способным к обучению и самообучению.

Естественное состояние внешней среды в момент ЧС является неустойчивым, поэтому использование интеллектуального подхода к обработке информации позволяет существенно увеличить быстродействие и эффективность систем обработки данных.

Для практической реализации предложенных процедур в качестве базового вычислительного модуля был выбран российский микрокомпьютер MB 7707 на базе нейросетевой СБИС К 1879ХБ1Я (рисунок 2), предназначенный для встраиваемых устройств. Он может использоваться в качестве ядра при построении вычислительных систем нового поколения, так как в основе его функционирования лежат модели, методы и принципы функционирования нервной системы и мозга человека.

Предложенные в работе процедуры реализованы в виде ПОМ многопроцессорной параллельной вычислительной структуры на базе микрокомпьютеров MB 7707 (рисунок 3) и ELBRUS, суперкомпьютеров «Ломоносов» и «Лобачевский» [20].

Основные параметры СБИС К1879ХБ1Я: кэш-память команд 16 КБ; кэш-память данных 16 КБ; оперативная память команд – 16 КБ; оперативная память данных – 16 КБ; Векторный контроллер прерываний; IRQ и FIQ генератор; контроллеры DDR2 SDRAM до 256 МБ на каждой шине; частота внешней 16-разрядной шины до 667 МГц; внешняя NAND Flash память до 256 Мб по 16-разрядному интерфейсу; подключение Serial Flash по интерфейсу SPI; внутренняя память SRAM 8 Мбит на 64-битной шине; 8 каналов DMA; 2 универсальных порта UART.

Заключение

Создание ПОМ информационного, функционального и программного обеспечения КФС позволяет снизить риски принятия решений по прогнозированию, предупреждению и раннему обнаружению ЧС на основе оперативных данных наземного, авиационного и дистанционного мониторинга, а также в результате вычисления динамики ЧС и расчета функции прогнозирования. Адаптация разработанных алгоритмов выполнена с применением программного обеспечения «НейроКС» модуля серийного производства MB 7707, что позволило автоматизировать и оптимизировать процедуры сбора и первичной обработки данных ПОМ.

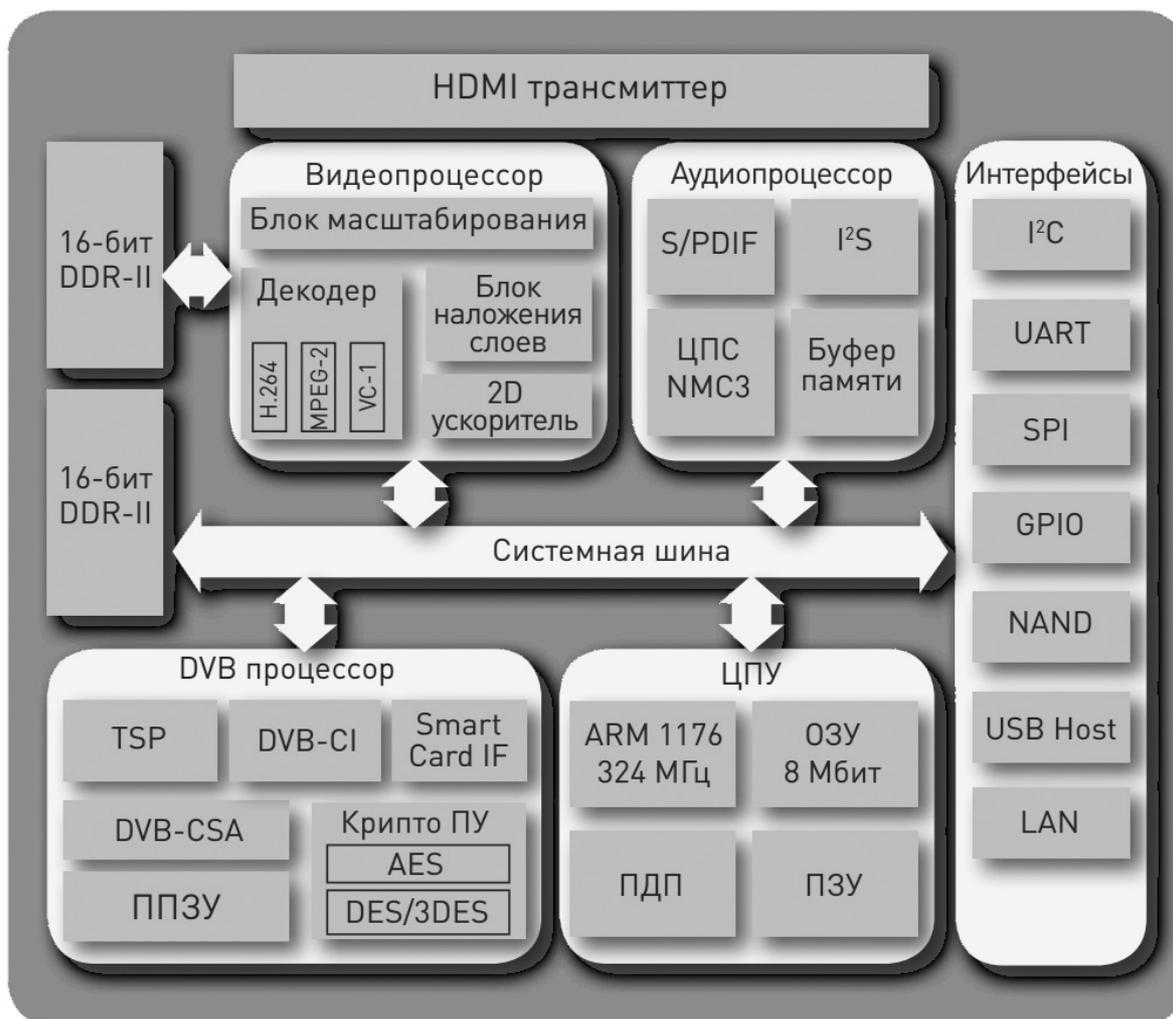


Рисунок 2 – Структурная схема СБИС К1879ХБ1А

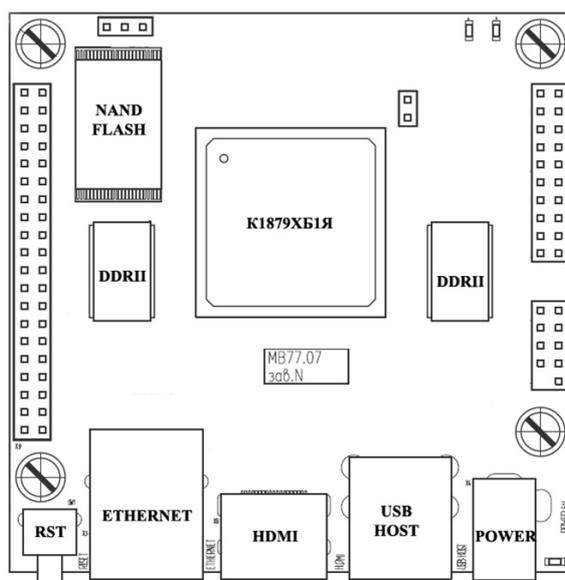


Рисунок 3 – Расположение компонентов на плате микрокомпьютера

Библиографический список

1. **Teodora Sanislav, George Mois, Silviu Folea, Liviu Miclea, Giulio Gambardella, Paolo Prinetto**, A Cloud-based Cyber-Physical System for Environmental Monitoring // Proceedings of the 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO. 2014. Montenegro, Budva, pp.6–9.
2. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы // **Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов**; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева; МЧС России. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
3. **Злобин В. К., Еремеев В. В., Кузнецов А. Е.** Обработка изображений в геоинформационных системах: учеб. пособие. Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2008. 264 с.
4. **Доррер Г. А.** Динамика лесных пожаров. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2008. – 404 с.
5. **Гонсалес Р., Вудс Р.** Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
6. **Злобин В. К., Ручкин В. Н.** Нейросети и нейрокompьютеры. СПб.: БХВ – Петербург, 2011. 256 с.
7. **Ruchkin V. N., Kostrov B. V., Kolesenkov A. N.** Emergencies monitoring and preventing / Proceedings of the 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO. 2013, Montenegro, Budva. pp. 89–93.
8. **Ruchkin V. N., Kostrov B. V., Kolesenkov A. N., Ruchkina E. V.**, Anthropogenic Situation Express Monitoring on the Base of Fuzzy Neural Networks / Proceedings of the 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO. 2014. Montenegro, Budva, pp.166–169.
9. **Колесенков А. Н., Костров Б. В., Ручкин В. Н.** Методика интеллектуального обнаружения, моделирования и сопровождения пожаров // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула: ТулГУ, 2015. Вып. 5, часть 2. С. 266-274.
10. **Колесенков А. Н., Костров Б. В., Ручкин В. Н.** Нейронные сети мониторинга чрезвычайных ситуаций по данным ДЗЗ // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 5. С. 220-225.
11. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / под ред. **В. В. Еремеева** М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. 460 с.
12. **Колесенков А. Н., Костров Б. В.** Метод про-реживания базисных функций в корреляционно–экстремальных алгоритмах совмещения изображений // Вопросы радиоэлектроники. Сер. общетехническая. Выпуск 1. – 2010. С. 176 – 183.
13. **Колесенков А. Н., Николаев Н. А.** Исследование алгоритма нейросетевого прогнозирования нелинейных временных рядов // Современное состояние и перспективы развития технических наук. 2015. С. 59-62.12.
14. **Злобин В. К., Колесенков А. Н., Костров Б. В.** Корреляционно–экстремальные методы совмещения аэрокосмических изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2011. № 37. С. 12-17.
15. **Babaev S. I., Baranchikov A. I., Grinchenko N. N., Kolesenkov A. N., Loginov A. A.** The directions for collaborate usage of flight apparatus technical vision system information and electronic cartography // 2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2016 - Including ECUPS 2016. 2016. С. 153-157.
16. **Колесенков А. Н., Мелкова Д. А.** Методы кластеризации данных в геоинформационных системах // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016 сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет ; под общ. ред. О.В. Миловзорова. 2016. С. 121-123.
17. **Taganov A., Kolesenkov A., Babaev S.** Ecological monitoring of dangerous objects on the basis of vegetation indexing and evolutionary approach // 2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2016 - Including ECUPS 2016. 2016. С. 468-472.
18. **Колесенков А. Н., Цегельник Д. В.** Математические методы распознавания аэрокосмических изображений в геоинформационных системах // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2016. № 5 (87). С. 68-70.
19. **Агафонов А. М., Колесенков А. Н., Сарычев Н. А.** Применение метода нечеткой кластеризации элементов аэрокосмических изображений для мониторинга территорий и опасных объектов // Наука и образование в жизни современного общества: сб. науч. трудов по материалам Международной научно-практической конференции в 14 томах. 2015. С. 16-17.
20. **Романчук В. А., Ручкин В. Н.** Разработка программных средств анализа нейропроцессорных систем // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2010. № 32. С. 61-67

UDC 004.724

THREE-LEVEL EARTH REMOTE SENSING ON THE BASIS OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

B. V. Kostrov, PhD (technical sciences), full professor, Head of the Department, RSREU, Ryazan; kostrov.b.v@evm.rsreu.ru

V. N. Ruchkin, PhD (technical sciences), full professor, RSREU; ruchkin@rsu.edu.ru

A. I. Taganov, PhD (technical sciences), full professor, Head of the Department, RSREU, Ryazan; alxtag@yandex.ru

A. N. Kolesenkov, Ph.D (technical sciences), assistant professor, RSREU, Ryazan; sk62@mail.ru

The issues of cyber-physical systems (CPS) application to organize three-level monitoring of objects and territories for forecasting, warning and early detection of emergencies are considered. The aim of the work is to develop software for basic CPS management of the complex of information, operational and algorithmic support for terrestrial, airborne and remote sensing of the Earth. Computer systems and sensors that provide monitoring of various indicators and automatic transmission of collected data to the next level are the basis for such CPS. On the basis of the received data, special devices of the CPS make changes in the external environment, reducing the risks of emergencies. The operational component, including supercomputers, the cloud computing environment SaaS, PaaS or IaaS provides the implementation of the tasks set. As a result of using artificial neural networks, the complex is intelligent, capable of learning and self-learning. The structure and prototype of the CPS interface is proposed, the principles and algorithms of the main procedures are described. The hierarchical intellectual telecommunication structures of the components of the CPS based on the neuroprocessor MB 7707 and the modern NM 6407 are studied to reduce the risk of decision making due to specialized processing of data in conditions of uncertainty.

Key words: ground, air and remote sensing of the Earth, cyber-physics system, cloud computing, super-computer, fire monitoring, sensors, decision-making risks, clusters, microprocessor module, intelligent telecommunications structure.

DOI: 10.21667/1995-4565-2017-60-2-75-82

References

1. **Teodora Sanislav, George Mois, Silviu Folea, Liviu Miclea, Giulio Gambardella, Paolo Prinetto**, A Cloud-based Cyber-Physical System for Environmental Monitoring, Proceedings of the 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO. 2014. Montenegro, Budva, pp. 6–9.

2. Lesnyye pozhary na territorii Rossii: Sostoyaniye i problemy // **Y. L. Vorob'yev, V. A. Akimov, YU. I. Sokolov**; pod obshch. red. Y. L. Vorob'yeva; MCHS Rossii. M.: DEKS-PRESS, 2004. 312 p.

3. **Zlobin V. K., Yeremeyev V. V., Kuznetsov A. E.** Obrabotka izobrazheniy v geoinformatsionnykh sistemakh: ucheb. posobiye. Ryazan. gos. radiotekhn. un-t. Ryazan', 2008. 264 p.

4. **Dorrer G. A.** Dinamika lesnykh pozharov. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2008. 404 p.

5. **Gonsales R., Vuds R.** Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. M.: Tekhnosfera, 2005. 1072 p.

6. **Zlobin V. K., Ruchkin V. N.** Neyroseti i neyro-komp'yutery. SPb.: BKHV – Peterburg, 2011. 256 p.

7. **Ruchkin V. N., Kostrov B. V., Kolesenkov A. A.** Emergencies monitoring and preventing. Proceedings of the 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO. 2013, Montenegro, Budva. pp. 89–93.

8. **V. N. Ruchkin, B. V. Kostrov, A. N. Kolesenkov, E. V. Ruchkina**, Anthropogenic Situation Express Monitoring on the Base of Fuzzy Neural Networks. Proceedings of the 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO. 2014. Montenegro, Budva, pp.166–169.

9. **Kolesenkov A. N., Kostrov B. V., Ruchkin V. N.** Metodika intellektual'nogo obnaruzheniya, modelirovaniya i soprovozhdeniya pozharov. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki. Tula: TulGU, 2015. Vol. 5, No. 2. pp. 266-274.

10. **Kolesenkov A. N., Kostrov B. V., Ruchkin V. N.** Neyronnyye seti monitoringa chrezvychaynykh situatsiy po dannym DZZ. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2014. No. 5. pp. 220-225.

11. Sovremennyye tekhnologii obrabotki dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli. Pod red. **V. V. Yeremeyeva** M.: FIZMATLIT, 2015, 460 p.

12. **Kolesenkov A. N., Kostrov B. V.** Metod prorezhivaniya bazisnykh funktsiy v korrelyatsionno-ekstremal'nykh algoritmakh sovmeshcheniya izobrazheniy. Voprosy radioelektroniki. Ser. Obshchetekhnicheskaya. Vypusk 1. 2010. pp. 176 – 183.

13. **Kolesenkov A. N., Nikolayev N. A.** Issledovaniye algoritma neyrosetevogo prognozirovaniya

nelineynykh vremennykh ryadov. Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya tekhnicheskikh nauk: Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Otvetstvennyy redaktor Sukiasyan A. A. 2015. pp. 59-62.12.

14. **Zlobin V. K., Kolesenkov A. N., Kostrov B. V.** Korrelyatsionno-ekstremal'nyye metody sovmeshcheniya aerokosmicheskikh izobrazheniy. Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta. 2011. No. 37. pp. 12-17.

15. **Babaev S. I., Baranchikov A. I., Grinchenko N. N., Kolesenkov A. N., Loginov A. A.** The directions for collaborate usage of flight apparatus technical vision system information and electronic cartography. 2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2016 - Including ECyPS. 2016. pp. 153-157.

16. **Kolesenkov A. N., Melkova D. A.** Metody klasterizatsii dannykh v geoinformatsionnykh sistemakh. Sovremennyye tekhnologii v nauke i obrazovanii – STNO-2016 sb. tr. mezhdunar. nauch.-tekhn. i nauch.-metod. konf.: v 4 tomakh. Ryazanskiy gosudarstvennyy radiotekhnicheskoy universitet ; pod obshch. red. O. V. Milovzorova. 2016. pp. 121-123.

17. **Taganov A., Kolesenkov A., Babaev S.** Ecological monitoring of dangerous objects on the basis of vegetation indexing and evolutionary approach. 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2016 – Including ECyPS 2016, BIOENG.MED 2016. 2016. pp. 468-472.

18. **Kolesenkov A. N., Tsegel'nik D. V.** Matematicheskiye metody raspoznavaniya aerokosmicheskikh izobrazheniy v geoinformatsionnykh sistemakh. Matematicheskiye metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT. 2016. No. 5 (87). pp. 68-70.

19. **Agafonov A. M., Kolesenkov A. N., Sarychev N. A.** Primeniye metoda nechetkoy klasterizatsii elementov aerokosmicheskikh izobrazheniy dlya monitoringa territoriy i opasnykh ob'yektov. Nauka i obrazovaniye v zhizni sovremennogo obshchestva sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, v 14 tomakh. 2015. pp. 16-17.

20. **Romanchuk V. A., Ruchkin V. N.** Razrabotka programmnykh sredstv analiza neyroprotsessornykh sistem. Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta. 2010. No. 32. pp. 61-67.