

УДК 681.142.2

## АНАЛИЗ ТЕХНОГЕННОЙ ОБСТАНОВКИ СРЕДСТВАМИ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**В. Н. Ручкин**, д.т.н., профессор кафедры ИВТ РГУ им. С. А. Есенина, v.ruchkin@rsu.edu.ru

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

**В. А. Фулин**, начальник ЦДОиМКО РГУ им. С. А. Есенина, v.fulin@365.rsu.edu.ru

**В. В. Дроздова**, магистрант РГРТУ, v.ruchkin@rsu.edu.ru

*Рассматривается технология применения киберфизических систем в задачах мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Предлагается информационное, операционное и алгоритмическое обеспечение киберфизической системы лесопожарного мониторинга. Исследуются иерархические интеллектуальные телекоммуникационные структуры компонентов киберфизической системы лесопожарного мониторинга на основе нейропроцессора. Целью работы является создание комплекса информационного, операционного и алгоритмического обеспечения киберфизических систем для снижения риска принятия решений по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за счет специализированной обработки данных наземного, воздушного и дистанционного зондирования Земли в условиях неопределенности с использованием нечетких множеств посредством нейронных сетей.*

**Ключевые слова:** киберфизическая система, лесопожарный мониторинг, дистанционное зондирование Земли, ДЗЗ, датчики, пожар, принятие решений, кластеры, микропроцессорный модуль MB 7707, интеллектуальная телекоммуникационная структура.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2016-57-3-122-128

### Введение

Мобильные киберфизические системы (КФС) или Cyber-Physical Systems как современный класс вычислительных систем находят очень широкое применение [1] в мобильных переносимых людьми и животными устройствах в виде имплантационных систем, мобильных роботах, «интеллектуальных» автомобилях [22, 23] и т. д. В данной работе предлагается использовать КФС для современного экспресс-мониторинга техногенной обстановки [2, 5, 6, 11, 14], осуществляемого комплексом средств, – от непосредственных измерений физических параметров до различных дистанционных методов выявления надвигающейся опасности по косвенным признакам. Для повышения достоверности и правильности принятия управленческих решений целесообразно поступающую информацию обработать соответствующими аппаратными и программными средствами по специальным алгоритмам. **Целью работы** является создание комплекса информационного, операционного и алгоритмического обеспечения КФС [7-10,12] для снижения риска принятия решений по предупреждению чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера (ПТХ) за счет специализированной обра-

ботки данных наземного, воздушного и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в условиях неопределенности с использованием нечетких множеств посредством нейронных сетей [13].

Актуальность объясняется потребностью во внедренных обработках с малым энергопотреблением в коммуникационной технике и датчиках для мобильных КФС [17]. При этом современные переносные системы требуют использования дистанционных данных от множества сложных систем [3, 4, 15, 16]: камер, радаров, лидаров, ультразвуковых устройств и т.д. Высокопроизводительные энергоэффективные, массово-параллельные процессоры на кристалле MPSoC необходимы для реализации сложного взаимодействия датчиков, обработки видео- и иных сигналов.

Для достижения вышеуказанной цели в работе решаются следующие основные задачи:

- разработка методики и алгоритма распознавания образов нарушения и динамики развития ПТХ;

- разработка технологии и алгоритма слежения и прогнозирования обнаруженных нарушений ПТХ;

- разработка методики и алгоритма привязки и идентификации наземной, воздушной инфор-

мации с аэрокосмическими снимками.

Работа имеет следующую структуру. Предложены методика и алгоритм обнаружения источников ПТХ. Затем производится описание технологии и алгоритма слежения и прогнозирования динамики пожара, описан нечеткий логический вывод. В следующем разделе демонстрируются алгоритмы моделирования и оценки динамики лесного пожара. Далее описывается киберфизический подход с использованием многокритериального нечеткого выбора. Приводится описание экспериментальных исследований.

#### Алгоритмическое обеспечение.

##### Алгоритм обнаружения источников ПТХ

Постановка задачи заключается в классификации, т. е. разбиении  $j$ -й области изображений  $\mathbf{Im}^j$  на кластеры образов, обладающих относительно высокой степенью близости на основе определенных характеристик  $Xk_i^{(k)}$  [8-9]. При этом изображения, относящиеся к одному классу образов, образуют кластер и обладают относительно высокой степенью близости по рассматриваемым характеристикам.

С целью выделения образов и их кластерного представления используется теоретико-множественная модель на основе анализа понятия отношения эквивалентности и выявления основных свойств:

- рефлексивность определяет эквивалентность образа самому себе;
- симметричность устанавливает соответствие между отдельными произвольными образами и их однозначным соответствием;
- транзитивность выявляет образы, подобные первоначальному и произвольно взятому.

Разбиение изображений на кластеры эквивалентности однозначно разделяет все множество изображений  $\mathbf{Im}^j$  на классы подобных элементов, что приводит к однозначному принятию решения по выбору образа. Результаты операции разбиения изображений на кластеры эквивалентности формируют продукционную модель экспертной системы распознавания образов.

##### Алгоритм слежения и прогнозирования динамики пожара

Алгоритм слежения и прогнозирования динамики пожара основан на обработке спутниковых снимков лесных пожаров в последовательные моменты времени, позволяет выявить направление распространения действующих пожаров и включает следующие этапы:

1) с применением нечеткой искусственной нейронной сети на спутниковом снимке иденти-

фицируются очаги возгорания;

2) на следующем снимке с помощью алгоритма автоматической корреляции выбираются  $N$  эталонных фрагментов заданного размера с максимальным содержанием легко распознаваемых объектов земной поверхности [9];

3) для найденных эталонных фрагментов вычисляется спектр в базисе Виленкина - Кристенсона [10];

4) для каждого эталонного фрагмента находится отображение на новом спутниковом снимке и соответственно точки совмещения текущего и нового изображений;

5) выполняется привязка нового и текущего спутниковых снимков по найденным точкам совмещения;

6) с применением нечеткой искусственной нейронной сети выявляются новые очаги возгорания [11];

7) если очаги возгорания найдены, то проводится сравнение координат новых очагов пожаров 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 рассчитывается траектория распространения действующих пожаров [9].

С целью решения задачи кластеризации вводится понятие равенства кластеров  $CL_1$  и  $CL_k$  очагов пожаров  $CL_1 = CL_k$  [8,9] по длине векторов характеристик и схожести указанных кластеров с точностью до каждой характеристики

$$Xk_i^{(k)} = Xk_i^{(1)}. \quad (1)$$

Любой произвольный кластер очага пожаров  $CL_1$ , удовлетворяющий (1), эквивалентен самому себе, т.е.  $CL_1 \xrightarrow{KS_w} CL_1$ . Таким образом, справедливо условие рефлексивности любого кластера  $CL_1$   $\mathbf{Im}^j$  очага пожара.

Если кластер очага пожара  $CL_1$  равен кластеру  $CL_k$  и, следовательно, параллельно ему существует, то кластер очага пожаров  $CL_k$  равен кластеру очага пожаров  $CL_1$  и, следовательно, одновременно с ним может рассматриваться, т.е.

$$\mathbf{Im}^{(j)} : CL_1 \xrightarrow{KS_w} CL_k ; CL_k \xrightarrow{KS_w} CL_1. \quad (2)$$

Другими словами, выполняется условие симметричности любых двух кластеров  $CL_1, CL_k$   $\mathbf{Im}^{(j)}$  выявленных очагов пожара.

Если кластер очага пожаров  $CL_1$  равен кла-

стеру очага пожаров  $CL_k$ , а кластер  $CL_k$ , в свою очередь, равен  $CL_q$ , тогда кластер  $CL_1$  равен и, следовательно, параллелен кластеру  $CL_q$ , т.е.

$$\begin{aligned} CL_1, CL_k, CL_q \in \text{Im}^{(i)}; EKS_w : CL_1 \xrightarrow{KS_w} CL_k, \\ CL_k \xrightarrow{KS_w} CL_q, CL_1 \xrightarrow{KS_w} CL_q. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, справедливо условие транзитивности двух произвольных кластеров  $CL_1, CL_q \in \text{Im}^{(i)}$  очагов пожара. Другими словами, выделенные кластеры существуют независимо друг от друга и поэтому могут независимо исследоваться, т.е. существуют параллельно.

Поэтому справедливо утверждение о том, что отношение кластерной структуры  $KS_w \in S$  очагов пожара есть отношение эквивалентности:

$$CL_1, CL_k \in \text{Im}^{(i)} : CL_1 \xrightarrow{KS_w} CL_k. \quad (4)$$

Таким образом, введенное отношение кластерной структуры  $KS_w$  выявления очагов пожара согласно (1)-(4) ставит в соответствие некоторой  $j$ -й области исследуемого пространства изображений  $\text{Im}^{(i)}$  совокупность независимых и неравных кластеров очага пожаров  $CL_1$ , число которых равно числу классов эквивалентности  $L$ , а кратность  $q$  кластера  $CL_q$  определяется порядком класса эквивалентности  $|a_1|$ :

$$CL_1 = CL_k = \begin{cases} |CL_1| = |CL_k| \quad \forall 1, k = 1, N \\ Xk_i^{(k)} = Xk_i^{(i)}, \quad \forall i = 1, |CL_1| \end{cases} \quad (5)$$

Каждый класс эквивалентности имеет своего представителя кластера  $CL_1$  с размерностью вектора характеристик, равной порядку кластера  $|CL_1|$ . Выражение (5) является решением задачи кластерного анализа, которое задает искомое разбиение исследуемой области  $\text{Im}^{(i)}$  пожаров на кластеры очагов пожара.

### Нечеткий логический вывод

На практике прогнозирование и идентификация факта нарушения ПТХ являются сложной многокритериальной задачей, т. к. из всего многообразия полученных изменений ПТХ эксперт на основании обобщенной оценки альтернатив должен выбрать наилучшую по совокупности противоречивых показателей: скорость распространения, площадь нарушения  $S$ , направление движения, количество и пр. Для конкретизации выбора рассмотренные показатели предлагается ранжировать в порядке значимости.

Использование нечеткости позволяет моде-

лировать плавное изменение параметров реализаций с учетом качества структурных связей. При этом решение задачи выбора производится параллельно процедуре принятия решения, а применение max/min операций способствует оптимизации принимаемых решений.

### Алгоритм оценки динамики лесного пожара

Определение динамики лесного пожара производится на основе анализа второй производной площади пожара по времени. Основная идея разрабатываемого метода состоит в исследовании графика роста площади пожара [18-21]. По перегибам на этом графике можно судить о состоянии пожара. Алгоритм состоит из следующих этапов:

- 1). *Определение площади пожара.*
- 2). *Вычисление второй производной площади пожара по времени.*
- 3). *Отнесение состояния пожара к одному из следующих типов: пожар развивается свободно, пожар тушат, пожар локализован.*

Состояние пожара выбирается по второй производной площади пожара по времени. Величины положительны при свободном распространении пожара, становятся отрицательными при тушении пожара и обращаются в нуль при его локализации.

### Алгоритм слежения за очагами пожара

Предложенный алгоритм слежения за очагами пожаров, основанный на периодической обработке спутниковых снимков лесных пожаров, позволяет рассчитать направление движения действующих очагов пожаров и включает следующие этапы:

- 1). На спутниковом снимке выявляются очаги пожара на основе кластерного анализа.
- 2). Если очаги пожара найдены, то происходит сравнение координат новых очагов пожаров с предыдущими. Иначе алгоритм завершается.
- 3). В зависимости от распределения очагов пожаров друг относительно друга, направления ветра, расстояния между координатами, местоположения водных ресурсов и рельефа местности рассчитываются траектории возможного распространения действующих очагов пожаров и вероятность этих процессов.

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

Для непосредственного прогнозирования интегральных характеристик пожара с использованием полученных математических моделей

предлагается использование искусственных нейронных сетей. На вход нейронной сети подаются данные, а на выходе получается прогноз прироста площади, пройденной огнём.

### Методы детектирования пожаров

Методы детектирования пожаров основываются на анализе яркости в отдельных спектральных каналах и базируются на следующих основных процедурах: линейное контрастирование, сегментация, определение характеристик текстуры, привязка координат очагов возгорания. Каждая процедура определяется вектором характеристик  $Xk_i^{(k)}$ . Присутствие очага горения в видимом спектре определяется по наличию основного – дымового признака лесных пожаров в виде конуса светло-серого цвета.

Линейное контрастирование осуществляется в результате яркостного преобразования изображения, полученного от систем ДЗЗ. В результате изменения условий освещенности наблюдаемой сцены такие изображения часто характеризуются малым яркостным диапазоном и являются слабоконтрастными. Операция контрастирования позволяет получить изображения с расширенным яркостным диапазоном, вплоть до максимально возможного [2].

Выделение сегментов (сегментация) необходимо для определения участков изображения, соответствующих дымовым шлейфам мест потенциальных пожаров. Для решения этой задачи применяется метод релаксационной разметки для выделения сегмента на изображении, соответствующего дымовому шлейфу [2]. Стоит задача разделения изображения на несколько классов или кластеров по методике, приведенной в [14]:  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2\}$ , где  $\lambda_1$  – соответственно метки дымового шлейфа и  $i$ -х зон изображения.

Определение характеристик текстуры основано на том, что перистая и слоистая облачности по своей структуре и яркости могут тоже напоминать дымовые шлейфы лесных пожаров. Поэтому те части снимков видимого спектра, где предварительно обнаружен лесной пожар, просматриваются на соответствие с текстурой дыма. В качестве основных характеристик текстуры используются следующие параметры изображения дымового шлейфа: математическое ожидание, дисперсия, среднее статистическое отклонение, нормированное значение дисперсии, третий момент, однородность, энтропия и др. [3].

Привязка координат очагов возгорания связана с выделенными сегментами и уточнением этих координат с помощью линейного диффе-

ренциального оператора Лапласа [2]:

$$d(m, n) = \frac{\partial^k b(m, n)}{\partial \xi^k m \partial n^{k-\xi}},$$

где  $b(m, n)$  и  $d(m, n)$  – яркости элементов исходного изображения размерностью  $m = \overline{1, M}, n = \overline{1, N}$  с шириной изображения  $M$  и высотой изображения  $N$ , преобразованного изображения, а  $k$  и  $\xi$  – порядок частных производных.

### Киберфизический подход

Синергия информационных, вычислительных и физических компонентов приводит к разработке КФС, обеспечивающих взаимодействие элементов кибернетического и физического пространств, совмещая программные и аппаратные ресурсы различного уровня. КФС включают реальные физические устройства и процессы, а также обеспечивают операционный контроль и управление территориально распределенными объектами внешней среды.

Основу таких систем составляют вычислительные элементы и сенсоры, обеспечивающие мониторинг заданных киберфизических индикаторов и передачу данных на следующий уровень системы. Входящие в состав исполнительные элементы на основе полученной информации вносят изменения во внешнюю среду, снижая риск возникновения ЧС.

Преимущества применения КФС в задачах лесопожарного мониторинга (ЛПМ):

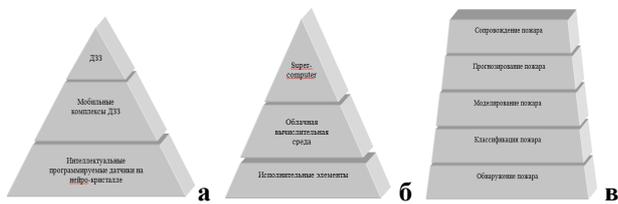
- повышение уровня эффективности процессов контроля, мониторинга и управления за счет передачи данных между уровнями системы в реальном времени;
- масштабирование и перемещение любого из уровней системы в пространстве в оперативном режиме;
- повышение надежности данных о состоянии внешней среды и опасных объектов;
- повышение эффективности управления ресурсами за счет оптимизации работы приложений с учетом текущей ситуации.

По своему составу и структуре КФС превосходят современные распределенные системы по производительности, безопасности, надежности и удобству использования. Поэтому они имеют огромный потенциал для решения критически важных техногенных проблем.

### Иерархическая структура блоков КФС мониторинга

Структуру КФС ЛПМ предлагается разде-

литель на информационную (рисунок 1, а), операционную (рисунок 1, б) и алгоритмическую составляющие (рисунок 1, в), соединив их высокоскоростными радиоканалами Wi-Fi и облачными вычислениями с User Datagram Protocol (UDP).



**Рисунок 1 - Иерархическая структура информационного (а), операционного (б) и алгоритмического (в) блоков КФС**

### Экспериментальные исследования

Для решения сформулированных выше задач и реализации предложенных алгоритмов необходимо выбрать оптимальную аппаратную базу [6]. Заданным требованиям максимально удовлетворяют системы на основе искусственных нейронных сетей, которые также являются интеллектуальными, т. е. способными к обучению и самообучению.

Естественные условия окружающей среды являются нестабильными, применение интеллектуальности при обработке данных позволяет значительно улучшить эффективность телекоммуникационных систем, функционирующих в реальном времени. Поэтому для практической реализации предложенных алгоритмов в качестве центрального вычислительного модуля был выбран микрокомпьютерный модуль российского производства МВ 7707, работающий в широком диапазоне встраиваемых электронных устройств на базе нейросетевой СБИС К 1879ХБ1Я [6]. Он может использоваться в качестве базового при построении вычислительных систем нового поколения, т.к. основой функционирования является моделирование методов обработки информации, аналогичных работе головного мозга и нервной системы человека. Предложенные в работе алгоритмы смоделированы и реализованы в виде программных продуктов многопроцессорной вычислительной телекоммуникационной структуры на базе микрокомпьютерного модуля МВ 7707 [4,5], ELBRUS, суперкомпьютеров «Ломоносов» (МГУ им. М. В. Ломоносова) и «Лобачевский» (Нижегородский университет).

### Заключение

Авторами создается комплекс информационного, операционного и алгоритмического обеспечения киберфизических систем, позволяющий снизить риски принятия решений по предупреждению чрезвычайных ситуаций при-

родного и техногенного характера по данным аэрокосмического, наземного и физического мониторинга, расчета их динамики и построения прогнозируемых контуров. Адаптация разработанных авторами алгоритмов на базе программного комплекса «НейроКС» к программному обеспечению серийно выпускаемого модуля МВ 7707 позволит усовершенствовать и автоматизировать процесс сбора и обработки первичных данных, в том числе для лесопожарного мониторинга.

### 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. Воробьев Ю. Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы // Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов; под 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. Гонсалес Р., Вуд Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2005. - 1072 с.
5. Доррер Г. А. Динамика лесных пожаров. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. - 404 с.
6. А. А. Khanin, R. Chebotarev "Principles of optical approach in detection of forest fires", In Algorithm of Safety, no. 1, 2011. pp. 103-110.
7. Злобин В. К., Ручкин В. Н. Нейросети и нейрокомпьютеры. - СПб.: БХВ - Петербург, 2011. - 256 с.
8. V. N. Ruchkin, B. V. Kostrov, A. A. Kolesenkov "Emergencies monitoring and preventing", Proceedings of the 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO-2013, Montenegro, Budva. pp. 89-93.
9. 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.
10. Романчук В. А., Ручкин В. Н. Разработка программных средств анализа нейропроцессорных систем // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2010. № 32. С. 61-67.
11. L. Merino, F. Caballero, J. R. Martinez-de-Dios, J. Ferruz, A. Ollero "A cooperative perception system for multiple UAVs: Application to automatic detection of forest fires", In Journal of Field Robotics 2006, no. 23 (3-4). pp. 165-184.
12. K. A. Kalpoma, J. I. Kudoh "A new algorithm for forest fire detection method with statistical analysis using NOAA AVHRR images", In International Journal of Remote Sensing 2006, no. 27 (18), pp. 3867-3880.

13. **R. J. Hall, J. T. Freeburn, W. J. de Groot, J. M. Pritchard, T. J. Lynham, R. Landry** "Remote sensing of burn severity: experience from western Canada boreal fires", In International Journal of Wildland Fire 2008, no. 17 (4), pp. 476–489.

14. **V. N. Ruchkin, B. V. Kostrov, A. N. Kolesenkov, E. V. Ruchkina** "Algorithms of Fire seat Detection, Modeling Their Dynamics and Observation of Forest Fires via Communication Technologies", In Proceedings of the 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO. 2015. Montenegro, Budva, pp. 254–257.

15. **Колесенков А. Н., Костров Б. В.** Метод про-реживания базисных функций в корреляционно-экстремальных алгоритмах совмещения изображений // Вопросы радиоэлектроники. Сер. общетехни-ческая. Выпуск 1. – 2010. С. 176 – 183.

16. **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.

17. **Колесенков А. Н., Таганов А. И.** Разработка геоинформационной системы аэрокосмического мониторинга чрезвычайных ситуаций на опасных объектах // «Космодром «Восточный» и перспективы развития российской космонавтики»: тезисы докла-

дов Всероссийской молодежной научно-практической конференции. – Самара: СГАУ, 2015. – С. 189-190.

18. **Ahmed S. H., Gwanghyeon Kim, Dongkyun Kim** Cyber Physical System: Architecture, applications and research challenges. Wireless Days, 2013 IFIP Conference: 1315 Nov. 2013. pp. 1 - 5.

19. **Hoang, Dat Duc, Hye-Young Paik, and Chae-Kyu Kim** Serviceoriented middleware architectures for cyber-physical systems // International Journal of Computer Science and Network Security. 2012. pp. 79-87.

20. **Wu, Fang-Jing, Yu-Fen Kao, and Yu-Chee Tseng** From wireless sensor networks towards cyber physical systems // Pervasive and Mobile Computing. 2011. pp. 397-413.

21. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли под ред. **В. В. Еремеева** М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. 460 с.

22. **Романчук В. А., Ручкин В. Н., Фулин В. А.** Проектирование нейропроцессорных систем на основе нечеткой кластеризации // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 50-1. С. 87-93.

23. **Костров Б. В., Ручкин В. Н., Фулин В. А.** Искусственный интеллект и робототехника: учеб. пособие. М.: Диалог-МИФИ, 2008. - 224 с.

UDC 681.142.2

## ANALYSIS OF TECHNOGENIC ENVIRONMENT BY MEANS OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

**V. N. Ruchkin**, PhD (technical sciences), full professor of the Department Information and Computer Science, RSU named for S.A. Esenina; ruchkin@rsu.edu.ru

**A. N. Kolesenkov**, Ph.D, assistant professor, RSREU, Ryazan, sk62@mail.ru

**V. A. Fulin**, Head of center, Ryazan State University named for S. Yesenin, the centre of distance education and education quality monitoring, Ryazan, v.fulin@rsu.edu.ru

**V. V. Drozdova**, student, RSREU, Ryazan, v.ruchkin@rsu.edu.ru

*The work analyzes technical and experimental research in the field of fire monitoring. It proposes a technique of using cyber-physical systems for monitoring natural and technogenic emergencies, providing information and algorithmic support for a cyber-physical system of forest-fire monitoring. We also provide hierarchical structures of components for a cyber-physical system of forest-fire monitoring. The methodology is implemented as development of intelligent telecommunications structures on the base of the neuroprocessor systems that can undergo training in conditions of uncertainty. **The aim** is the creation of complex information, operational and algorithmic support of cyber-physical systems to reduce the risk of making decisions on pre-Prevention of emergency situations of natural and man-made by specialized processing of land, air and remote sensing of the Earth in under uncertainty using fuzzy sets by means of neural networks*

**Key words:** cyber-physical system, CPS, forest-fire monitoring, RSE, sensors, fire, decision-making, clusters, microcomputer module MB 7707, intellectual telecommunications structure.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2016-57-3-122-128

## 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. Yu. L. Vorobyov, *Lesnye pozhary na territorii Rossii: Sostoyanie i problemy*, Moscow, DEKS-PRESS. 2004, 312 p. (in Russian).
3. V. K. Zlobin, V. V. Eremeyev, A. E. Kuznetsov, *Obrabotka izobrazhenij v geoinformacionnyh sistemah*, Ryazan, RSREU, 2008, 264 p. (in Russian).
4. R. Gonzales, R. Wood, *Cifrovaya obrabotka izobrazhenij*, Moscow, Tekhnosfera. 2005, 1072 p. (in Russian).
5. G. A. Dorrer, *Dinamika lesnyh pozharov*, Novosibirsk, RASP, 2008, 404 p. (in Russian).
6. A. A. Khanin, R. Chebotarev, "Principles of optical approach in detection of forest fires", *In Algorithm of Safety*. 2011, no. 1, pp. 103–110.
7. V. K. Zlobin, V. N. Ruchkin, *Nejroseti i nejrokompyutery*, SPb, BHV – Petersburg. 2011, 256 p. (in Russian).
8. V. N. Ruchkin, B. V. Kostrov, A. A. Kolesenkov, "Emergencies monitoring and preventing", *In Proceedings of the 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO*. 2013, Montenegro, Budva, pp. 89–93.
9. V. N. Ruchkin, B. V. Kostrov, A. N. Kolesenkov, E. V. Ruchkina, "Anthropogenic Situation Express Monitoring on the Base of Fuzzy Neural Networks", *In Proceedings of the 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO*, 2014, Montenegro, Budva, pp. 166–169.
10. Romanchuk V. A., Ruchkin V. N. *Razrabotka programnyh sredstv analiza nejroprocessornyh sistem. Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2010, no. 32, pp. 61-67 (in Russian).
11. L. Merino, F. Caballero, J. R. Martinez-de-Dios, J. Ferruz, A. Ollero "A cooperative perception system for multiple UAVs: Application to automatic detection of forest fires", *In Journal of Field Robotics*. 2006, no. 23 (3–4), pp.165–184.
12. K. A. Kalpoma, J. I. Kudoh "A new algorithm for forest fire detection method with statistical analysis using NOAA AVHRR images", *In International Journal of Remote Sensing*. 2006, no. 27 (18), pp. 3867-3880.
13. R. J. Hall, J. T. Freeburn, W. J. de Groot, J. M. Pritchard, T. J. Lynham, R. Landry "Remote sensing of burn severity: experience from western Canada boreal fires", *In International Journal of Wildland Fire*. 2008, no. 17 (4), pp. 476–489.
14. V. N. Ruchkin, B. V. Kostrov, A. N. Kolesenkov, E. V. Ruchkina "Algorithms of Fire seat Detection, Modeling Their Dynamics and Observation of Forest Fires via Communication Technologies", *In Proceedings of the 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO*. 2015, Montenegro, Budva, pp. 254–257.
15. Kolesenkov A. N., Kostrov, B. V., *Metod prorezhivaniya bazisnyh funkcij v korrelyacionno-ehkstremaal'nyh algoritmah sovmeshcheniya izobrazhenij. Voprosy radioehlektroniki Ser. obshchetekhnicheskaya*. 2010, no. 1, pp. 176–183 (in Russian).
16. Kolesenkov A. N., Kostrov, B. V., Ruchkin V. N. *Metodika intellektual'nogo obnaruzheniya, modeli-rovaniya i soprovozhdeniya pozharov. Izvestiya Tul-GU Tekhnicheskie nauki*, 2015, no. 5, part 2, pp. 266-274 (in Russian).
17. Kolesenkov A. N., Taganov A. I. *Razrabotka geoinformacionnoj sistemy aehrokosmicheskogo monitoringa chrezvychajnyh situacij na opasnyh ob'ektah. «Kosmodrom «Vostochnyj» i perspektivy razvitiya rossijskoj kosmonavtiki»: tezisy dokladov Vserossijskoj molodyozhnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. 2015, pp. 189-190.
18. Ahmed S. H., Gwanghyeon Kim, Dongkyun Kim *Cyber Physical System: Architecture, applications and research challenges. Wireless Days, 2013 IFIP Conference: 1315 Nov. 2013*, pp. 1 - 5 (in Russian).
19. Hoang, Dat Dac, Hye-Young Paik, and Chae-Kyu Kim *Serviceoriented middleware architectures for cyber-physical systems. International Journal of Computer Science and Network Security*. 2012, pp. 79-87.
20. Wu, Fang-Jing, Yu-Fen Kao, and Yu-Chee Tseng *From wireless sensor networks towards cyber physical systems. Pervasive and Mobile Computing*. 2011, pp. 397-413.
21. *Sovremennye tekhnologii obrabotki dannyh distancionnogo zondirovaniya Zemli // Under the editorship of V. V. Eremeyev*, Moscow, FIZMATLIT, 2015, 460 p. (in Russian).
22. Romanchuk V. A. Ruchkin V. N., Fulin V. A. *Proektirovanie nejroprocessornyh sistem na osno-ve nechetkoj klasterizacii. Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2014, no. 50, pp. 87-93 (in Russian).
23. Kostrov B. V. Ruchkin V. N., Fulin V. A. *Iskusstvennyj intellekt i robototekhnika. Moscow, Dialog-MIFI*, 2008, 224 p. (in Russian).