

## Раздел III. Автоматика и управление

УДК 621.05.1

Н.С. Петров

### ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КЛАСТЕРА РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ

*Описаны некоторые проблемы широко распространённых современных иерархических систем мониторинга и управления динамическими промышленными объектами и процессами. Приведён пример одной из перспективных технологий (межмашинное взаимодействие – M2M), для практической реализации которой требуется комплексное применение множества передовых достижений в области микро- и нанoeлектроники, беспроводных коммуникации, сенсорных устройств, мехатроники, энергоэффективности, а так же интеллектуального алгоритмического и программного обеспечения. Так как многие современные стандарты построения систем мониторинга и управления уже не отвечают современным требованиям и не имеют возможности модернизироваться с помощью применения новых технологий, то необходимы новые архитектурные решения. Предлагается строить высокопроизводительные потоковые распределённые системы сбора и обработки информации датчиков на основе интеллектуальных микропроцессорных коммуникационных и обрабатывающих модулей, соединённых высокоскоростными беспроводными каналами связи по гибридным топологиям (соединение звёздной, ячеистой и древовидной). Для повышения производительности и живучести сами системы разделяются на локальные или функциональные кластеры, где определяющим признаком является местоположение и типология источников информации об объекте – датчиков, в том числе и интеллектуальных. Приведены задачи, которые необходимо решить для эффективной кластеризации системы мониторинга. Так как каждая система имеет свои особенности, то необходимо находить оптимальное соотношение основных параметров, определяющих индивидуальное эффективное функционирование. Помимо структурных и топологических проблем построения системы, так же подлежат рассмотрению вопросы синтеза аппаратно-программных компонентов, поддерживающих высокую производительность, надёжность и возможность ситуационного управления топологией системы как в случае реакции на нештатные ситуации, так и для гибкости в модернизации и модификации решаемых задач.*

*Распределённая система; кластер; модель; топология; беспроводная связь.*

N.S. Petrov

### FEATURES OF CREATION OF THE CLUSTER OF THE DISTRIBUTED SYSTEM OF DATA COLLECTION AND PROCESSING OF SENSORS

*In article some problems of widespread modern hierarchical systems of monitoring and control of dynamic industrial objects and processes are described. The example of one of perspective technologies (intermachine interaction, machine-to-machine – M2M) which practical realization requires complex application of a set of the advanced achievements in the field of micro and a nanoelectronics, wireless to communication, sensors, mechatronics, energy efficiency, and also intellectual algorithmic and the software is given. As many modern standards of creation of systems of monitoring and control don't meet the modern requirements any more and have no opportunity to be modernized by means of application of new technologies, new architectural concepts are necessary. It is offered to build the high-performance stream distributed systems of data collection and processing of sensors on the basis of the intelligent microprocessor communication*

*and processing modules connected by high-speed wireless communication channels on hybrid topology (connection star, meshes and treelike). For increase of productivity and survivability systems are divided into local or functional clusters where the defining sign is location and typology of sources of information on object – sensors including intellectual. Tasks which need to be solved for an effective clustering of system of monitoring are given. As each system has the features, it is necessary to find an optimum ratio of the key parameters defining individual effective functioning. Besides structural and topological problems of creation of system, questions of synthesis of the hardware-software components maintaining high efficiency, reliability and possibility of situational management of topology of system both in case of reaction to emergency situations, and for flexibility in modernization and modification of the solved tasks are also subject to consideration.*

*Distributed system; cluster; model; topology; wireless communication.*

**Введение.** Для вычислительных систем реального времени всегда остро стоял вопрос поиска рациональных вариантов построения системы информационного взаимодействия и управления работой удалённых источников информации [1]. В настоящее время для решения указанной задачи в системах реального времени (РВ) общего назначения широкое распространение получила проводная шинная организация на основе таких сетей как CAN, Industrial Ethernet, DeviceNet, LanDrive и др., характеризующихся детерминированным временем передачи команд управления и приёма данных. Многоканальные распределённые системы синхронного сбора данных «жёсткого» РВ (например, гидролокационные, радиолокационные, навигационные системы, системы связи, распределённые средства контроля и управления и т.п.) имеют ряд принципиальных отличий от систем РВ общего назначения: наличие большого числа источников информации (от сотен до десятка тысяч) и их значительное удаление от центра обработки информации (до сотни метров), необходимость обработки больших объёмов информации в режиме «жёсткого» РВ, обеспечение высокой достоверности и надёжности передачи данных, необходимость синхронной оцифровки данных во всех источниках информации (или в отдельных группах источников). Для одновременной реализации этих особенностей необходимо строить систему на основе более сложных, в том числе гибридных топологий (типа «кластерное дерево» и пр.).

Кроме того, в настоящее время набирает обороты такая технология как «межмашинное взаимодействие» – M2M (Machine-to-Machine), которая уже получила развитие в транспортной и банковской сфере [2–5]. Для внедрения в промышленности ей необходима современная коммуникационная среда. Эта технология определяет так называемую «умную фабрику», в которой все машины соединены друг с другом и «общаются» в рамках производственного процесса с помощью датчиков и исполнительных механизмов, операторы пользуются планшетами, связываясь с производственными системами для диагностики и управления. Данные о загруженности и работоспособности оборудования, а так же диагностика накапливаются в корпоративных системах планирования ресурсов и оптимизации производства. Взамен оборудование получает команды подстройки производственного цикла, оптимизирующие соотношение затрат и качества. Для умных фабрик и цепочек поставок нужна связь между всевозможным производственным оборудованием, сервисами, диагностическими средствами, портативными устройствами и корпоративными приложениями в рамках процессов проектирования, производства и обслуживания товаров. Эта потребность очевидна инженерам, но в реальности происходит иное – активно растущее количество произвольно соединённых датчиков, контроллеров и исполнительных механизмов приводит к образованию спонтанных скоплений, которые сложно организовать в промышленную сеть [6, 7].

Современные промышленные иерархические системы мониторинга и управления, в том числе построенные на основе стандарта IEC 61499, уже не могут отвечать высоким требованиям по производительности, а так же в них отсутствуют

элементы самоорганизации и адаптивности, ограничена наращиваемость и масштабируемость [8,9]. Таким образом, является актуальной задача построения высокопроизводительных потоковых систем, совмещающих в себе принципы распределённой обработки информации, высокую надёжность и живучесть [16–21].

**Варианты и задачи построения распределённой кластерной системы.**

Одним из возможных решений может быть разделение распределённой системы сбора и обработки сигналов датчиков (РС СОИД) на кластеры [11]. Кластер представляется как набор программно-аппаратных средств, осуществляющий сбор и многоуровневую обработку информации с различных датчиков (в случае системы мониторинга) и выдающий её на верхний уровень в виде информационного объекта  $IO$ , отдельно либо в различных сочетаниях содержащего [10]:

- 1) текущие цифровые значения электрических сигналов  $\langle \bar{u}_{1i}, \bar{u}_{2i}, \dots, \bar{u}_{Di} \rangle$ ;
- 2) текущие значения физических переменных, измеренные в единицах физических величин  $\langle \bar{X}_{1i}, \bar{X}_{2i}, \dots, \bar{X}_{Di} \rangle$ ;
- 3) текущие состояния физических переменных  $\langle S_{x1i}, S_{x2i}, \dots, S_{xDi} \rangle$ ;
- 4) экстраполированные на  $k$  шагов значения физических переменных, преобразованные в единицы физических величин  $\langle \bar{X}_{1(i+k)}, \bar{X}_{2(i+k)}, \dots, \bar{X}_{D(i+k)} \rangle$ ;
- 5) прогнозируемые на  $k$  шагов состояния физических переменных  $\langle S_{x1(i+k)}, S_{x2(i+k)}, \dots, S_{xD(i+k)} \rangle$ ;
- 6) текущее значение функции наблюдения  $Y_i$ , описывающей поведение объекта наблюдения;
- 7) текущее состояние объекта наблюдения  $S_{Yi}$ ;
- 8) прогнозируемое на  $k$  шагов значение функции наблюдения  $Y_{(i+k)}$ ;
- 9) прогнозируемое на  $k$  шагов состояние  $S_{Y(i+k)}$  объекта наблюдения.

Приведенное содержание информационного объекта системы мониторинга, во-первых, является не полным, т.к., например, в нем отсутствуют рекомендации оператору об управляющих воздействиях на объект, во-вторых, информация носит обобщающий характер и слабо отражает особенности объекта наблюдения проектируемого изделия.

Состав и объем задач определяются целевой функцией системы и использованным методом ее реализации. В обобщенном виде схема процесса решения задач сбора и обработки сигналов датчиков (СОИД) представляется в ярусной форме (рис. 1).

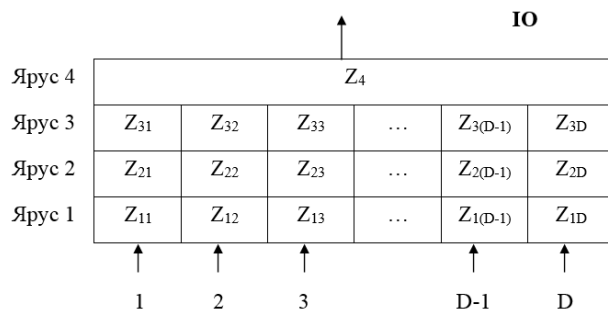


Рис. 1. Ярусная форма представления процесса СОИД

На нижнем первом ярусе решаются задачи  $Z_1 = \{Z_{1d} (d = \overline{1, D})\}$  аналоговой обработки (АО) сигналов датчиков физических величин и аналого-цифровых преобразований (АЦП). К более высокому второму ярусу отнесены задачи  $Z_2 = \{Z_{2d}$

$(d = \overline{1, D})$  } первичной цифровой обработки (ПЦО) сформированных на первом ярусе числовых значений сигналов  $D$  датчиков. На третьем ярусе расположены задачи первого уровня вторичной цифровой обработки (2ВЦО) группы  $Z_3 = \{Z_{3d} \ (d = \overline{1, D})\}$ , которую составляют задачи измерений значений сигналов в физических единицах, определений состояний физических величин и их оценок и т.д. На верхнем, четвертом ярусе решаются задачи второго уровня вторичной цифровой обработки (2ВЦО) –  $Z_4$ . К ним относятся задачи:

- ◆ концентрации входных данных, в том числе сортировки и сохранения результатов первого уровня вторичной цифровой обработки и др.;
- ◆ вычисления траекторий изменения состояния, оценок текущего и прогнозируемого состояний локального объекта, сигналы переменных которого обрабатываются в РС СОИД;
- ◆ формирования информационного объекта и отправки его на более высокий уровень.

Объем и вычислительная сложность задач  $Z_4$  определяются целевой функцией, реализуемой РС СОИД [14].

Структура нижнего уровня системы мониторинга с разделением на кластеры представлена на рис. 2.

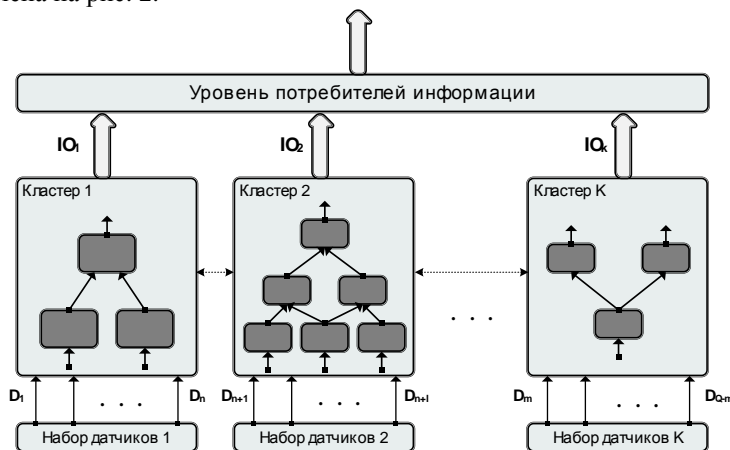


Рис. 2. Обобщённая структура кластерной системы мониторинга

Несмотря на то, что кластеры имеют общую целевую функцию, они могут отличаться внутренней структурой (показано на рис. 2), в зависимости от специфики и количества «привязанных» датчиков, сложностью обработки информации и т.п. Аппаратно кластер состоит из набора вычислительных и коммуникационных модулей, решающих задачи обработки сигналов датчиков и осуществляющих внутри- и межкластерный обмен информацией по беспроводным каналам связи [22].

Недостатком структуры, приведённой выше является привязанность каждого кластера к определённой группе датчиков. Для того, чтобы сделать кластер универсальным (хотя бы в рамках системы), что повысит живучесть, мобильность и масштабируемость системы в целом, необходимо решить следующие задачи:

- 1) сместить уровень аналоговой обработки и оцифровки сигналов к локализованному набору датчиков – требует разработки специализированных устройств, обладающих аналоговыми и цифровыми входами и беспроводным интерфейсом связи – модулей первичной обработки сигналов (ПОС), решающих задачи уровня  $Z_1$  (возможно и  $Z_2$ );

- 2) разработать интеллектуальный многоканальный беспроводной модуль (ИМ), совмещающий решение задач по обработке информации и коммуникации;
- 3) разработать алгоритмическое и программное обеспечения для ИМ, позволяющее в реальном времени адаптироваться к изменению алгоритмов обработки информации из-за перенаправления потоков данных, возникающих, например, в случае внештатных ситуаций [4] – выхода из строя внутрикластерного модуля или же «подмена» соседнего кластера.

При реализации первой задачи структура системы примет вид, изображённый на рис. 3. Набор датчиков [1..D] разделяется на G групп по n датчиков в каждой:  $G=D/n$ .

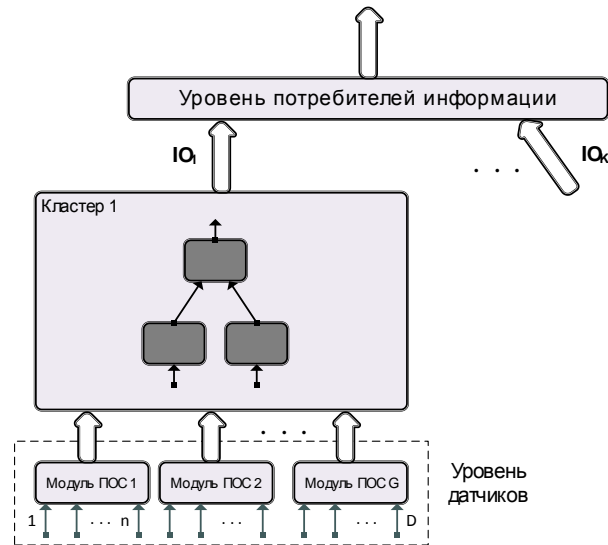


Рис. 3. Обобщённая структура кластерной системы мониторинга с выделением нижнего уровня обработки сигналов

Но при таком разделении возникает задача оптимальной группировки датчиков, при которой время сбора данных будет минимальным. Так время сбора  $T_c$  данных для одного кластера в соответствии с вышеописанной ярусной моделью представления задач для параллельной схемы [14] составляет

$$T_c = \max_{g \in G} T_{mg} + \sum_{g=1}^G T_{kg} = n(T_{Z1} + T_{Z2} + T_{Z3}) + GT_k = nT_Z + \frac{D}{n}T_k, \quad (1)$$

где  $T_Z$  – время решения задач (совокупности всех задач),  $T_k$  – время передачи одного пакета данных на четвёртый уровень.

Введя коэффициент  $a = T_Z / T_k$ , выражающий отношение между временными затратами на решение задач и на передачу данных получим зависимость

$$T_c = anT_k + \frac{D}{n}T_k = \frac{an^2 + D}{n}T_k. \quad (2)$$

Для примера, на рис. 4 представлена серия графиков отражающая эту зависимость при количестве датчиков  $D=256$  и времени передачи пакетов, пропорциональной скорости  $V_k=100$  Мбит/с ( $T_k=N/V_k$ ,  $N=32$ ).

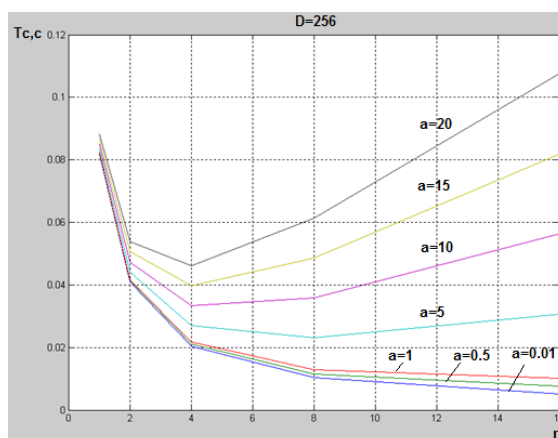


Рис. 4. Зависимость времени сбора данных  $T_c$  для параллельной схемы от степени группирования датчиков  $n$

Из зависимости (2) и графика (рис. 4) видно, что при большом соотношении  $a$  ( $a > 10$ ) имеется определённый минимум соответствующий степени группирования  $n=4$ . Это значит, что при группировании датчиков по четыре потребуется  $G=64$  модуля ПОС, что является довольно значительным. Если не требуется обеспечивать максимальную производительность при заданных параметрах, то возможно уменьшение количества модулей ПОС до оптимального баланса в паре  $(T_c, G)$ . Если же необходимо обеспечить минимум аппаратных затрат и достичь максимальной производительности ( $\sim 1/T_c$ ) для данной схемы необходимо уменьшать коэффициент  $a$ . Для других схем сбора данных – последовательных и параллельно-последовательных, конкретные результаты будут отличаться, но в целом сохраняется задача определения баланса между парами  $(T_c, G)$  и  $(T_z, T_k)$ .

Некоторые подходы для решения второй задачи – построения коммуникационного модуля, описаны в [12, 13].

Так же важной задачей является разработка методов, моделей и алгоритмов для ситуационного управления топологией распределённых систем мониторинга [23–26]. Обобщённая модель такого управления и некоторые частные алгоритмы рассмотрены в [15].

**Заключение.** Таким образом, показана актуальность создания распределённых микрокомпьютерных систем мониторинга на основе кластеров. Рассмотрен один из вариантов построения кластерной системы на основе ярусной модели решения декомпозированных задач. Приводятся некоторые задачи, которые необходимо решить для построения надёжной и живучей высокопроизводительной системы мониторинга. На частном примере показано, что выбор того или иного архитектурного решения зависит от баланса требований к производительности, надёжности и аппаратным затратам системы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Севбо В., Орлов А., Лошаков А. Многоканальная распределённая система синхронного сбора данных «жёсткого» реального времени, построенная на основе Ethernet-технологий // Современные технологии автоматизации. – 2007. – № 3. – С. 40–45.
2. Вейрих М., Шмидт Я.-Ф., Эберт К. Взаимодействие машин // Открытые системы. – 2014. – № 6. – С. 17–19.
3. Дубова Н. Программный дуализм // Открытые системы. – 2014. – № 6. – С. 14–16.
4. Сан Мигель Х. Умная сеть интеллектуальных камер // Открытые системы. – 2014. – № 6. – С. 32–35.

5. *Смелянский Р.* Программно-конфигурируемые сети // Открытые системы. – 2012. – № 9. – С. 18-24.
6. *Гамазов Н., Коровкин В.* Система управления мобильного робототехнического комплекса МРК-47БТ военного назначения // Современные технологии автоматизации. – 2014. – № 1. – С. 44-58.
7. *Прокуряков В.* Когнитивные радиосистемы в сетях тактического назначения // Электронные компоненты. – 2014. – № 3. – С. 36-38.
8. Автоматизированная система контроля сейсмичности массива. URL: [http://www.syst.ru/vnedren/tel\\_syst.htm](http://www.syst.ru/vnedren/tel_syst.htm) (дата обращения 1.04.2015).
9. *Dang D.-K., Mifdaoui A., Gayraud T.* Fly-By-Wireless for Next Generation Aircraft: Challenges and Potential solutions. (In Press: 2012) In: Wireless days Conference, 21-23 Nov 2012, Dublin, Ireland.
10. *Пьявченко О.Н.* Структурные особенности организации сбора и обработки информации датчиков в распределенных информационных микрокомпьютерных системах реального времени // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5 (130). – С. 12-20.
11. *Петров Н.С.* Архитектура кластерной системы сбора и обработки информации датчиков динамических объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 11 (148). – С. 225-231.
12. *Пьявченко О.Н.* Коммуникационные модули высокопроизводительных распределенных информационных микрокомпьютерных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 9-14.
13. *Петров Н.С.* Особенности организации беспроводной связи в коммуникационном модуле распределенной информационной микрокомпьютерной системы // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 14-19.
14. *Пьявченко О.Н.* Параллельно-последовательные схемы распределенных систем сбора и обработки информации датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 4 (153). – С. 8-14.
15. *Клевцов С.И., Петров Н.С.* Моделирование ситуационного управления топологией подсистемы сбора и обработки информации датчиков с использованием сетей Петри // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 4 (153). – С. 55-63.
16. *Chandrika, J., Ananda Kumar, K.R.* Dynamic Clustering Of High Speed Data Streams // International Journal of Computer Science Issues. – 2012. – Vol. 9, Issue 2, № 1. – P. 224-228.
17. *Qian Quan, Chao-Jie Xiao, Rui Zhang.* Grid-based Data Stream Clustering for Intrusion Detection // International Journal of Network Security. – 2013. – Vol. 15, № 1. Jan. – P. 1-8.
18. *Jensen K.* Colored Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems // Modeling and Validation of Concurrent Systems. – Springer, 2009. – P. 398.
19. *Missal D., Hanisch H.M.* Synthesis of distributed controllers by means of a monolithic approach // Proceedings of the 11th IEEE Int. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'2006), Prague, September. – 2006. – P. 356-363.
20. *Simmon E. et al.* A Vision of Cyber-Physical Cloud Computing for Smart Networked Systems. NIST, Aug. 2013. URL: [http://nist.gov/customcf/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=914023](http://nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=914023) (дата обращения: 1.04.2015).
21. *Tron R., Vidal R.* Distributed Computer Vision Algorithms // IEEE Trans. Signal Processing. – 2011. – Vol. 28, no. 3. – P. 32-45.
22. *Dieber B., Micheloni C., Rinner B.* Resource-Aware Coverage and Task Assignment in Visual Sensor Networks // IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology. – 2011. – Vol. 21, no. 10. – P. 1424-1437.
23. *Yick J., Mukherjee B., Ghosal D.* Wireless sensor network survey // Computer networks. – August 2008. – Vol. 52, Issue 12, 22. – P. 2292–2330 (URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128608001254> (дата обращения 1.04.2015)).
24. Wireless sensor networks with Waspote&Meshlium. URL: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/wireless-sensor-networks-with-waspote-meshlium/> (дата обращения 1.04.2015).
25. *Roshan P., Leary J.* 802.11 wireless LAN fundamentals, 1 st ed. Cisco Press, Indianapolis, IN. ISBN: 1-58705-077-3, December 2003.
26. The Evolution of Wireless Sensor Networks. URL: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/evolution-of-wireless-sensor-networks.pdf> (дата обращения 1.04.2015).

## REFERENCES

1. *Sevbo V., Orlov A., Loshakov A.* Mnogokanal'naya raspredelennaya sistema sinkhronnogo sbora dannykh «zhestkogo» real'nogo vremeni, postroennaya na osnove Ethernet-tekhnologiy [Multichannel synchronous distributed system of data collection "hard real-time, based on Ethernet technology], *Sovremennyye tekhnologii avtomatizatsii* [Modern automation technology], 2007, No. 3, pp. 40-45.
2. *Veyrikh M., Shmidt Ya.-F., Ebert K.* Vzaimodeystvie mashin [Interaction machines], *Otkrytye sistemy* [Open Systems], 2014, No. 6, pp. 17-19.
3. *Dubova N.* Programmnyy dualizm [Software dualism], *Otkrytye sistemy* [Open Systems], 2014, No. 6, pp. 14-16.
4. *San Migel' Kh.* Umnaya set' intellektual'nykh kamer [Smart grid smart camera], *Otkrytye sistemy* [Open Systems], 2014, No. 6, pp. 32-35.
5. *Smelyanskiy R.* Programmno-konfiguriruyemye seti [Software-defined networks], *Otkrytye sistemy* [Open Systems], 2012, No. 9, pp. 18-24.
6. *Gamazov N., Korovkin V.* Sistema upravleniya mobil'nogo robototekhnicheskogo kompleksa MRK-47BT voennogo naznacheniya [Control system of mobile robotic complex MRK-BT military purposes], *Sovremennyye tekhnologii avtomatizatsii* [Modern automation technology], 2014, No. 1, pp. 44-58.
7. *Proskuryakov V.* Kognitivnyye radiosistemy v setyakh takticheskogo naznacheniya [Cognitive radio systems in tactical networks], *Elektronnyye komponenty* [Electronic Components], 2014, No. 3, pp. 36-38.
8. Avtomatizirovannaya sistema kontrolya seysmichnosti massiva [Automated system for monitoring seismicity of the array]. Available at: [http://www.syst.ru/vnedren/tel\\_syst.htm](http://www.syst.ru/vnedren/tel_syst.htm) (accessed 1 April 2015).
9. *Dang D-K., Mifdaoui A., Gayraud T.* Fly-By-Wireless for Next Generation Aircraft: Challenges and Potential solutions. (In Press: 2012) In: Wireless days Conference, 21-23 Nov 2012, Dublin, Ireland.
10. *P'yavchenko O.N.* Strukturnye osobennosti organizatsii sbora i obrabotki informatsii datchikov v raspredelennykh informatsionnykh mikrokompyuternykh sistemakh real'nogo vremeni [Structural features of the organization of gathering and processing of the information of sensors in the distributed information microcomputer systems of real time], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 5 (130), pp. 12-20.
11. *Petrov N.S.* Arkhitektura klasternoy sistemy sbora i obrabotki informatsii datchikov dinamicheskikh ob"ektov [The architecture of the cluster system of information collection and processing of sensors dynamic objects] *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 11 (148), pp. 225-231.
12. *P'yavchenko O.N.* Kommunikatsionnye moduli vysokoproizvoditel'nykh raspredelennykh informatsionnykh mikrokompyuternykh sistem [Communication modules of the high-performance distributed information microcomputer systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 5 (142), pp. 9-14.
13. *Petrov N.S.* Osobennosti organizatsii besprovodnoy svyazi v kommunikatsionnom module raspredelennoy informatsionnoy mikrokompyuternoy sistemy [Features of the organization of the wireless communication in the communication module of the distributed information microcomputer system], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 5 (142), pp. 14-19.
14. *P'yavchenko O.N.* Parallelno-posledovatel'nye skhemy raspredelennykh sistem sbora i obrabotki informatsii datchikov [Parallel-serial schemes of the distributed systems of collection and processing information of sensors], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 4 (153), pp. 8-14.
15. *Klevtsov S.I., Petrov N.S.* Modelirovanie situatsionnogo upravleniya topologiyey pod-sistemy sbora i obrabotki informatsii datchikov s ispol'zovaniem setey Petri [Modelling of situational management by topology of the subsystem for gathering and processing of the information arriving from gauges with use of Petri net], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 4 (153), pp. 55-63.
16. *Chandrika, J., Ananda Kumar, K.R.* Dynamic Clustering Of High Speed Data Streams, *International Journal of Computer Science Issues*, 2012, Vol. 9, Issue 2, No. 1, pp. 224-228.



17. Qian Quan, Chao-Jie Xiao, Rui Zhang. Grid-based Data Stream Clustering for Intrusion Detection, *International Journal of Network Security*, 2013, Vol. 15, No. 1. Jan, pp. 1-8.
18. Jensen K. Colored Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems, *Modeling and Validation of Concurrent Systems*. Springer, 2009, pp. 398.
19. Missal D., Hanisch H.M. Synthesis of distributed controllers by means of a monolithic approach, *Proceedings of the 11th IEEE Int. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'2006), Prague, September, 2006*, pp. 356-363.
20. Simmon E. et al. A Vision of Cyber-Physical Cloud Computing for Smart Networked Systems. NIST, Aug. 2013. Available at: [http://nist.gov/customcf/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=914023](http://nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=914023) (accessed 1 April 2015).
21. Tron R., Vidal R. Distributed Computer Vision Algorithms, *IEEE Trans. Signal Processing*, 2011, Vol. 28, no. 3, pp. 32-45.
22. Dieber B., Micheloni C., Rinner B. Recourse-Aware Coverage and Task Assignment in Visual Sensor Networks, *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, 2011, Vol. 21, No. 10, pp. 1424-1437.
23. Yick J., Mukherjee B., Ghosal D. Wireless sensor network survey, *Computer networks*, August 2008, Vol. 52, Issue 12, 22, pp. 2292–2330 Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128608001254> (accessed 1 April 2015).
24. Wireless sensor networks with Waspnote&Meshlium. Available at: <http://www.libelium.com/development/waspnote/documentation/wireless-sensor-networks-with-waspnote-meshlium/> (accessed 1 April 2015).
25. Roshan P., Leary J. 802.11 wireless LAN fundamentals, 1 st ed. Cisco Press, Indianapolis, IN. ISBN: 1-58705-077-3, December 2003.
26. The Evolution of Wireless Sensor Networks. URL: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/evolution-of-wireless-sensor-networks.pdf> (accessed 1 April 2015).

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор П.Г. Михайлов.

**Петров Назар Сергеевич** – Южный федеральный университет; e-mail: kafmps@tgn.sfedu.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; кафедра встраиваемых систем; старший преподаватель.

**Petrov Nazar Sergeevich** – Southern Federal University; e-mail: kafmps@tgn.sfedu.ru; 81, Petrovskayastreet, Taganrog, 347900, Russia; the department of embedded systems; senior lecturer.

УДК 004.942

**А.В. Ярцев**

### **ОБ УПРАВЛЕНИИ УГЛОВЫМ ОТКЛОНЕНИЕМ РАМОК ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОСРЕДСТВОМ ПД-РЕГУЛЯТОРА**

*Рассматривается синтез математической модели устройства управления элементами электромеханической системы (гиростабилизированной платформы) по двум осям углового отклонения при помощи современного ПО. Предлагается использовать регулятор ПД-типа, который даёт необходимое качество управления как на модели, так и на реальном устройстве. Учтено влияние нелинейностей в наблюдаемой системе, которые были описаны по итогам идентификации посредством модели Гаммерштейна-Винера и относятся к блоку усиления управляющего сигнала. Поскольку система рассматривается отдельно от внешних устройств, все расчеты происходят в системе координат, связанной с самой платформой. Ввиду того, что в старых моделях исследуемой системы использовалось чисто аналоговое управление, данная разработка является перспективным и новым решением. Результаты синтеза регулятора проверены на адекватность в ходе полунатурного моделирования замкнутой системы управления. Математическая модель, рассматриваемая в работе, была создана с применением Matlab 2014 в среде Simulink, полунатурное моделирование осуществлялось при помощи системы NI LabVIEW и управляющего блока NI*