

15. Gartner, K.-P., Holzhausen, K.-P., Kruger, W., Pitrella, F.D., Wolf H. Identification of field objects in reduced quality TV pictures transmitted from telerobots to a remote control station, *Intelligent Robots and Systems '93, IROS '93. Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference*, 1993, Vol. 3, pp. 1479-1486.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.А. Башков.

Клевцов Сергей Иванович – Южный федеральный университет; e-mail: sergkmps@mail.ru; 347900, Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328025; к.т.н.; доцент.

Клевцова Алла Борисовна – e-mail: kafmps@tpark.ru; старший преподаватель.

Klevtsov Sergey Ivanovich – Southern Federal University; e-mail: sergkmps@mail.ru; 81, Petrovsky, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328025; cand. of eng. sc.; associate professor.

Klevtsova Alla Borisovna – e-mail: kafmps@tpark.ru; senior lecturer.

УДК 681.05

О.Н. Пьявченко

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ПОТОКОВЫЕ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ

Рассматриваются конфигурации высокопроизводительных распределенных систем сбора и обработки информации датчиков, построенных на основе информационных микропроцессорных модулей, коммутаторов и коммутаторов пакетов данных, в которых реализуется потоковая организация решения задач предварительной обработки. В основу высокопроизводительных схем положен принцип группового сбора и предварительной обработки данных. Приведены версии распараллеливания обработки на первом, первом и втором, первом, втором и третьем ярусах. Выполнены оценки производительности распределенных систем, реализующих такие конфигурации модульных соединений. Показано, что производительность возрастает по мере увеличения параллелизма при решении задач предварительной обработки. Выделена перспективная схема, обеспечивающая максимальную производительность, в которой реализуется параллельная обработка сигналов при решении триад задач предварительной обработки. Для реализации конфигурации, параллельно решающей триады задач, предлагается строить интеллектуальные датчики физических переменных с расширенными функциональными возможностями, в которых кроме типовых задач измерений реализуются функции определения и оценки состояния переменных. Объединение таких модулей в конфигурации производится быстродействующими коммутаторами, преобразующими триады данных в необходимые пакеты, удобные для использования на верхнем ярусе распределенной системы сбора и обработки информации датчиков.

Распределенная система; сбор и обработка информации датчиков; конфигурации; информационные модули; коммутаторы.

O.N. Pyavchenko

HIGH-PERFORMANCE DISTRIBUTED STREAM SYSTEMS OF DATA COLLECTION AND PROCESSING OF THE SENSORS

Configurations of the high-performance distributed systems of data collection and processing of the sensors constructed on the basis of information microprocessor modules, commutators and switchboards of data packages in which the stream organization of the solution the problems of preliminary processing is realized are considered. The principle of group collecting and preliminary data processing is the basis for high-performance schemes. Versions of parallelization the processing are given in the first, first and second, first, second and third circles.

Productivity estimates of the distributed systems realizing such configurations of modular connections are executed. It is shown that productivity increases in process of increase in overlapping at the solution the problems of preliminary processing. It is allocated the perspective scheme providing the maximum productivity in which parallel processing of signals at the solution of triads of problems of preliminary processing is realized. For realization of a configuration, in parallel a decisive triad of tasks, it is offered to build intelligent sensors of physical variables with expanded functionality in which except standard problems of measurements functions of definition and an assessment of a condition of variables are realized. Combinations of such modules in a configuration is made by the high-speed communicators transforming triads of data to the necessary packages convenient for use on the top circle of distributed systems of data collection and processing of the sensors.

The distributed system; data collection and processing of sensors; configurations; information modules; communicators.

Одним из перспективных направлений построения высокопроизводительных средств автоматизации является создание потоковых распределенных систем сбора и обработки информации датчиков (СОИД) [1, 2]. Принцип потоковой организации заключается в независимом формировании в начале шага дискретизации цифровых значений сигналов аналоговых датчиков, их сохранении и дальнейшей обработке в установленном порядке без участия программы диспетчера.

Настоящая работа посвящена обсуждению вопросов построения конфигураций высокопроизводительных потоковых распределенных систем сбора и обработки информации датчиков (РС СОИД) [3], относящихся к классу распределенных систем, проблемно-ориентированных на решение задач наблюдения (мониторинга).

Потоковая распределенная информационная система наблюдения (мониторинга) является разнесенной в пространстве локального объекта совокупностью сопряженных с датчиками микропроцессорных модулей ввода, информационных микропроцессорных модулей обработки сигналов датчиков, коммутаторов и коммутаторов пакетов данных и др., объединенных с системными микрокомпьютерами в сетевую конфигурацию, в которой в реальном масштабе времени реализуется потоковый процесс сбора и предварительной обработки информации датчиков.

Особенности такой системы:

1. Потоковая организация процессов решения задач СОИД.
2. Аппаратно-программная поддержка процессов решения задач СОИД на уровне модулей и сетевых конфигураций их соединений.
3. Наличие модулей, решающих задачи сбора информации в той или иной совокупности с задачами обработки.
4. Использование сетевых каналов для передачи информации между модулями.
5. Зависимость длительности интервала дискретизации (шага решения) от максимальной частоты сигналов.
6. Привязка оцифровки значений сигналов датчиков к началу интервала дискретизации.
7. Синхронизация параллельных процессов СОИД.
8. При этом решающую роль в достижении высокой производительности играют как успехи в разработках методов и алгоритмов задач наблюдения (мониторинга), так и архитектурных решений РС СОИД.

В названии «системы сбора и обработки информации датчиков» сделан акцент на содержание реализуемых процессов. Процессы рассматриваются как некоторые последовательности действий, устанавливающие порядок решения задач сбора и обработки с принятой степенью детализации. Состав и объем задач определяются целевой функцией системы и использованным методом ее реализации. Схема процесса решения задач СОИД представляется в 4-ярусной форме [4].

На ярусе 1 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 ярусу 2 отнесены задачи $Z_2 = \{Z_{2d} \ (d = \overline{1, D})\}$ первичной цифровой обработки (ПЦО) сформированных на первом ярусе числовых значений сигналов D датчиков, в том числе цифровая фильтрация, проверка на достоверность, сглаживание и др. На ярусе 3 расположены задачи первого уровня вторичной цифровой обработки (1ВЦО) 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 посылки его на более высокий уровень информационной микрокомпьютерной системы.

Объем и вычислительная сложность задач Z_4 определяются целевой функцией, реализуемой РС СОИД. В простейшем случае на четвертом ярусе решаются задачи сортировки и концентрации результатов обработки на третьем ярусе, формирования информационного объекта и организации его посылки внешним абонентам.

Принятая за основу ярусная схема является упорядоченной декомпозицией решения задач по уровням очередности их реализации, от задач Z_1 на нижнем (младшем) уровне до задач Z_4 на верхнем (старшем) уровне. Задачи Z_1 – Z_4 характеризуют различные целевые функции, математические методы, возрастающая снизу вверх вычислительная сложность, завершенность, заключающаяся в полной реализации соответствующей целевой функции.

Основным направлением повышения производительности РС является распараллеливание на ярусах $j = \overline{1, 3}$ решения задач $Z_{jd} \ (d = \overline{1, D})$ при разбиении их на группы [5]

$$G = \frac{D}{n}, \quad (1)$$

где n – количество обрабатываемых в группе переменных.

Высокопроизводительные РС СОИД строятся по параллельно-последовательным схемам, в которых осуществляется различная степень распараллеливания решения задач ярусов 1–3.

При этом благодаря сокращению количества каналов между ярусами наиболее производительной является звездообразная конфигурация (рис. 1).

Особенностью схемы является наличие в ней на нижнем уровне информационных микропроцессорных модулей, в каждом из которых последовательно решаются группы по n задач трех уровней.

Применение многофункциональных модулей [6] позволяет исключить соединения между ярусами K_1, K_2 , но требует введения коммуникационного модуля $K3G$. Такие модули в отличие от коммутаторов [7] не только соединяют входы с выходами, но и позволяют перекомпоновать передаваемые пакеты данных, изменяя их содержание [8].

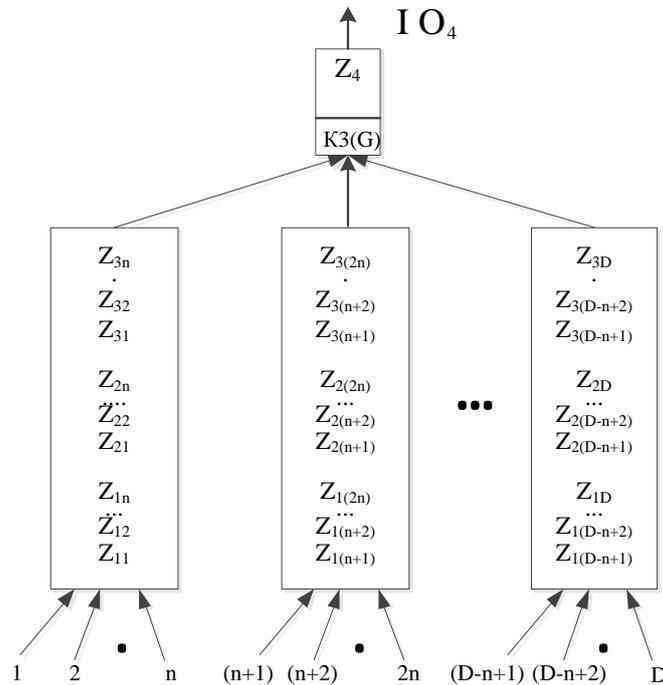


Рис. 1. Сгруппированная параллельно-последовательная схема $S_2^{(e)}$

Время решения задач в РС СОИД, в которой реализуется схема $S_2^{(e)}$, можно оценить выражением

$$T_{S_2}^{(e)} = \frac{1}{G} \sum_{j=1}^3 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + T_{Z_4} + \sum_{j=3}^4 T_{K_j} + T_{K_3}(G), \quad (2)$$

в котором $T_{Z_{jd}}$ – время решения $d \in \overline{\{1, D\}}$ задачи j -го яруса; T_{Z_4} – время решения задач Z_4 ; T_{K_j} – время, затрачиваемое на передачу данных между ярусами; $T_{K_3}(G)$ – время работы коммутатора $K_3(G)$.

Дальнейшее увеличение производительности РС СОИД $S_2^{(e)}$ достигается при распараллеливании решений задач, входящих в группы G .

При распараллеливании на ярусах решения задач Z_{jd} ($j = \overline{1,3}$) строятся более производительные модификации схемы $S_2^{(e)}$. Когда распараллеливаются решения задач яруса 1, формируется схема $S_{2.M1}^{(e)}$ (рис. 2).

На рис. 2 кроме информационных микроконтроллерных модулей показаны коммутаторы $K1(n)$ результатов решений n задач Z_{1d} ($d = \overline{1, n}$) и коммутатор $K3(G)$ результатов решений G групп задач.

Схема $S_{2.M1}^{(e)}$ обеспечивает решение задач СОИД на шаге

$$T_{S_{2.M1}}^{(e)} = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D T_{Z_{1d}} + \frac{1}{G} \sum_{j=2}^3 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + T_{Z_4} + T_{K_1} + T_{K_1}(n) + T_{K_3}(G), \quad (3)$$

которое меньше $T_{S_2}^{(e)}$, когда время коммутации n значений переменных физических величин меньше времени сбора группы сигналов

$$T_{K1d} < (n - 1)T_{Z1d}. \quad (4)$$

Когда наряду с решением задач яруса 1 распараллеливается решение задач яруса 2, формируется параллельно-последовательная схема $S_{2.M_2}^{(e)}$ (рис. 3).

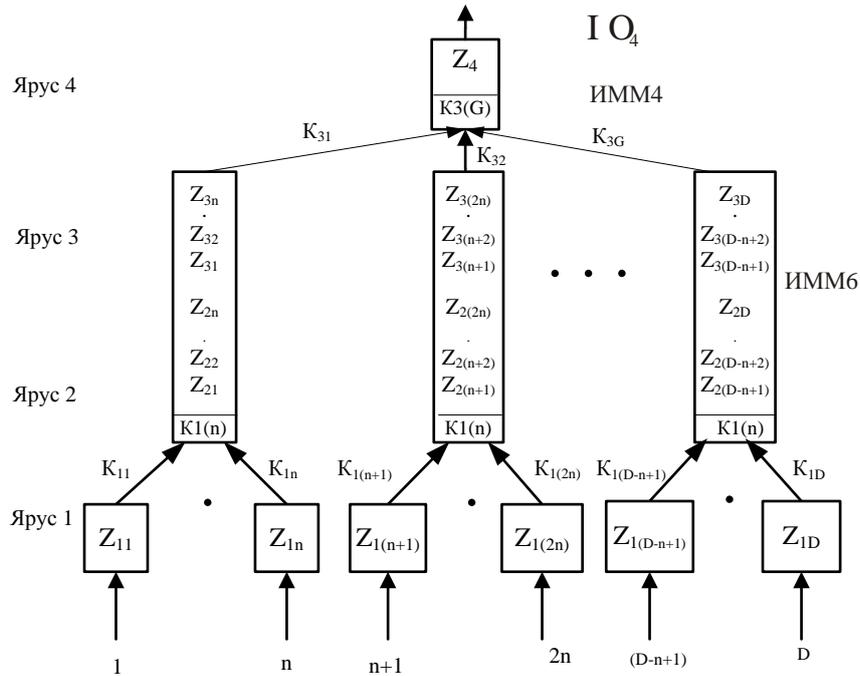


Рис. 2. Частично сгруппированная параллельно-последовательная схема $S_{2.M_1}^{(e)}$

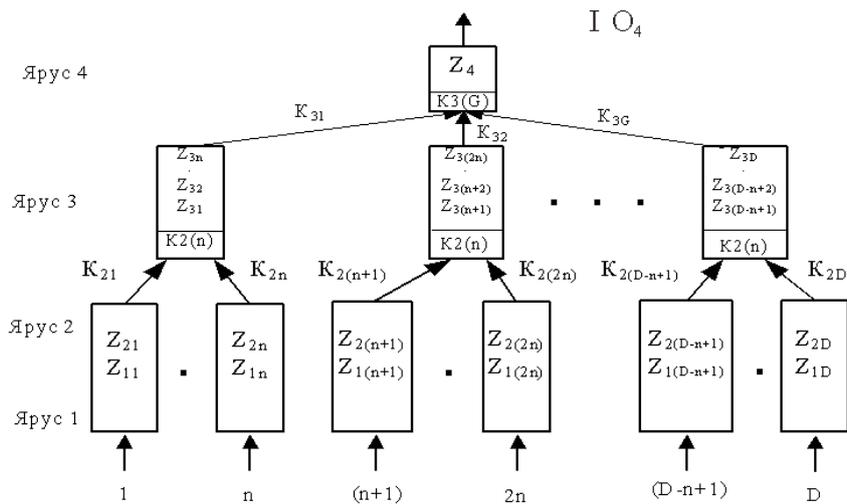


Рис. 3. Частично сгруппированная параллельно-последовательная схема $S_{2.M_2}^{(e)}$

Схема $S_{2.M2}^{(e)}$ решает задачи СОИД на шаге за время

$$T_{S_{2.M2}^{(e)}} = \frac{1}{D} \sum_{j=1}^2 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + \frac{1}{G} \sum_{d=1}^D T_{Z_{3d}} + T_{Z_4} + T_{K_2} + T_{K_3} + T_{K_4} + T_{K_2}(n) + T_{K_3}(G), \quad (5)$$

которое может быть меньше времени $T_{S_2}^{(e)}$. Действительно разность

$$T_{S_2}^{(e)} - T_{S_{2.M2}^{(e)}} = \left(\frac{1}{G} - \frac{1}{D} \right) \sum_{j=1}^2 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + \frac{1}{G} \sum_{d=1}^D T_{Z_{3d}} - T_{K_2} - T_{K_2}(n) > 0, \quad (6)$$

когда

$$T_{K_2} + T_{K_2}(n) < \left(\frac{1}{G} - \frac{1}{D} \right) \sum_{j=1}^2 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + \frac{1}{G} \sum_{d=1}^D T_{Z_{3d}}.$$

РС СОИД, обладающие максимальной производительностью, строятся при реализации схемы вычислительного процесса $S_2^{(e)}$ с параллельной обработкой сигналов на уровне триад $\langle Z_{1d}, Z_{2d}, Z_{3d} \rangle$ ($d = \overline{1, D}$) (рис. 4).

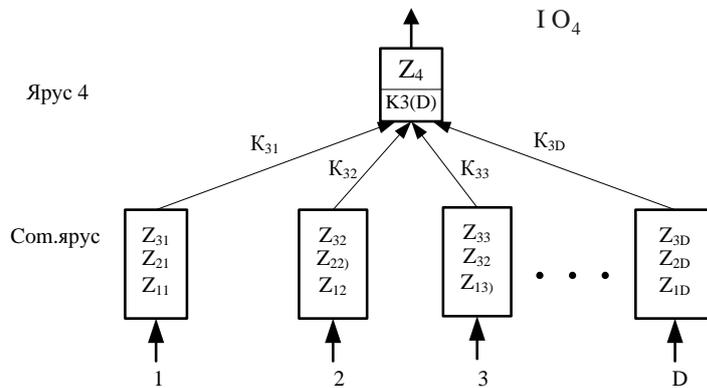


Рис. 4. Несгруппированная параллельно-последовательная схема $S_{2.M3}^{(e)}$

В схеме сигнал каждого датчика преобразуется и обрабатывается в собственном канале. Результаты обработок посылаются через линию связи канала K_{3d} ($d \in \overline{1, D}$) на коммуникатор $K3(D)$, расположенный на входе яруса 4. После поступления всех данных завершается решение задач Z_4 .

На решение задач СОИД в РС, построенной по схеме $S_{2.M}^{(e)}$, затрачивается время

$$T_{S_{2.M3}^{(e)}} = \sum_{j=1}^3 T_{Z_{j1}} + T_{Z_4} + T_{K_3} + T_K(D), \quad (7)$$

где $\sum_{j=1}^3 T_{Z_{j1}}$ – время решения задач триады $\langle Z_{11}, Z_{12}, Z_{13} \rangle$, принятое одинаковым для всех D триад; T_{K_3} – время пересылки результатов обработки сигнала при решении задач триады $\langle Z_{1d}, Z_{2d}, Z_{3d} \rangle$ ($d = \overline{1, D}$) с яруса 3 на ярус 4; $T_{K_3}(D)$ – время формирования в коммуникаторе $K3(D)$ пакета данных для решения задач Z_4 .

Определим условие, при котором

$$T_{S2.M3}^{(e)} < T_{S2}^{(e)}.$$

После подстановки (1) и (7) в неравенство и несложных преобразований получим, что схема $S_{2.M3}^{(e)}$ (см. рис. 4) производительнее $S_2^{(e)}$ (см. рис. 1), когда

$$\frac{T_{K3}(D) - T_{K3}(G)}{\sum_{j=1}^3 \sum_{d=1}^n T_{Zjd} - \sum_{j=1}^3 T_{Zj1} + \sum_{j=1}^2 T_{Kj}} < 1. \quad (8)$$

Условие (8) выполняется, если в коммутаторах $K3(D)$, $K3(G)$ выходные пакеты данных компоуются по простым алгоритмам. Действительно, в таких случаях разность малых значений $T_{K3}(D)$ и $T_{K3}(G)$ составляет малую величину, которая делится на число больше единицы. Условие (8) также выполняется, когда в компоновщиках коммутаторов $K3(D)$, $K3(G)$ используются мало различимые сложные алгоритмы, величина разности $[T_{K3}(D) - T_{K3}(G)]$ которых находится в пределах допустимой погрешности.

В заключение заметим, что в настоящее время для решения задач автоматизации широко используются распределенные системы управления и наблюдения, в основе которых лежат принципы сетевых иерархических шинных конфигураций, организации функционирования по принципу master-slave и др. Для автоматизации более динамичных объектов могут применяться параллельные потоковые РС СОИД, обеспечивающие высокую производительность и точность решения задач. Высокопроизводительные потоковые РС СОИД строятся на основе параллельно-последовательных схем процессов с групповыми сбором и обработкой сигналов датчиков при введении сетевых коммутаторов, обеспечивающих компоновку данных для решения задач верхнего яруса.

Максимальная производительность достигается в конфигурации, в которой распараллеливается обработка сигналов на уровне триад задач первичной обработки. Для практической реализации таких схем необходимо создание информационных микропроцессорных модулей, решающих триады задач первичной обработки сигналов датчиков, а также модулей коммутаторов пакетов выходных данных в итоговые пакеты. Такие модули могут быть созданы на основе микропроцессоров интеллектуальных датчиков физических переменных [9,10], при реализации в них, кроме задач измерений, определения состояний переменных и их оценок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Парк Дж., Маккей С.* Сбор данных в системах контроля и управления. Практическое руководство. – М.: ООО “Группа ИДТ”, 2006. – 504 с.
2. *Денисенко В.В.* Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – ТЕЛЕКОМ, 2009. – 608 с.
3. *Пьявченко О.Н.* Распределенные системы сбора и обработки информации датчиков динамических объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5 (118). – С. 8-14.
4. *Пьявченко О.Н.* Модули и конфигурации последовательных распределенных систем сбора и обработки информации датчиков // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям “IS&IT”. В 4 т. Т. 1. – М.: Физматлит, 2011. – С. 541-549.
5. *Пьявченко О.Н.* Параллельно-последовательные схемы распределенных систем сбора и обработки информации датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 4 (153). – С. 8-14.

6. Пьявченко О.Н. Модели интеллектуальных микропроцессорных модулей систем сбора и обработки информации датчиков // Электронное моделирование. – 2010. – № 3 (33). – С. 61-71.
7. Смирнова Е.В., Козик П.В. Технология современных сетей Ethernet. Методы коммуникации и управления потоками данных: Учеб. пособие / Под ред. П.В. Кострова. – СПб.: БХВ. Петербург, 2012. – 272 с.
8. Пьявченко О.Н. Коммуникационные модули высокопроизводительных распределенных информационных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 9-14.
9. Клевцов С. И., Пьявченко О.Н. Интеллектуальные микропроцессорные модули сбора и обработки информации. Структуры, методы, модели и алгоритмы. Издатель LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011. – 102 с.
10. Пьявченко О.Н., Клевцов С.И., Мокров Е.А., Панич А.Е., Пьявченко А.О., Удод Е.В., Федоров А.Г. Прецизионные интеллектуальные тензометрические датчики давления. Методы, модели, алгоритмы и архитектуры / Под ред. О.Н. Пьявченко. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2009. – 152 с.

REFERENCES

1. Park Dzh., Makkey S. Sbor dannykh v sistemakh kontrolya i upravleniya. Prakticheskoe rukovodstvo [Data collection systems for monitoring and control. A practical guide]. Moscow: ООО “Gruppa IDT”, 2006, 504 p.
2. Denisenko V.V. Komp'yuternoe upravlenie tekhnologicheskim protsessom, eksperimentom, oborudovaniem [Computer process control, experiment equipment]. Moscow: Goryachaya liniya – TELEKOM, 2009, 608 p.
3. P'yavchenko O.N. Raspredelemnnye sistemy sbora i obrabotki informatsii datchikov dinamicheskikh ob"ektov [The distributed systems of collection and information processing of sensors of dynamic objects], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, № 5 (118), pp. 8-14.
4. P'yavchenko O.N. Moduli i konfiguratsii posledovatel'nykh raspredelemnnykh sistem sbora i obrabotki informatsii datchikov [Modules and configuration consistent distributed systems collect and process sensor information], *Trudy Kongressa po intellektual'nykh sistemam i informatsionnykh tekhnologiyam. "IS&IT"* [Proceedings of Congress on intelligent systems and information technologies “IS&IT”]. V 4 t. Vol. 1. M.: Fizmatlit, 2011, pp. 541-549.
5. P'yavchenko O.N. Paralleln'o-posledovatel'nye skhemy raspredelemnnykh 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.
6. P'yavchenko O.N. Modeli intellektual'nykh mikroprotsessornykh moduley sistem sbora i obrabotki informatsii datchikov [Model intelligent microprocessor-based module systems of collecting and processing sensor information], *Elektronnoe modelirovanie* [Electronic simulation], 2010, No. 3 (33), pp. 61-71.
7. Smirnova E.V., Kozik P.V. Tekhnologiya sovremennykh setey Ethernet. Metody kommunikatsii i upravleniya potokami dannykh [The technology of modern Ethernet networks. Communication methods and flow control]: Ucheb. posobie. St. Petersburg: BKhV. Peterburg, 2012, 272 p.
8. P'yavchenko O.N. Kommunikatsionnye moduli vysokoproizvoditel'nykh raspredelemnnykh informatsionnykh 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.
9. Klevtsov S. I., P'yavchenko O.N. Intellektual'nye mikroprotsessornye moduli sbora i obrabotki informatsii. Struktury, metody, modeli i algoritmy [Intelligent microprocessor-based modules of collecting and processing information. Patterns, methods, models and algorithms]. Izdatel' LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011, 102 p.

Раздел IV. Информационные технологии, прикладные информационные системы и сети

10. *P'yavchenko O.N., Klevtsov S.I., Mokrov E.A., Panich A.E., P'yavchenko A.O., Udod E.V., Fedorov A.G.* *Pretsiionnye intellektual'nye tenzometricheskie datchiki davleniya. Metody, modeli, algoritmy i arkhitektury* [Precision intelligent strain gauge pressure sensors. Methods, models, algorithms and architecture]. Taganrog: Izd-vo YuFU, 2009, 152 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.А. Зори.

Пьявченко Олег Николаевич – Южный федеральный университет; e-mail: kafmps@tppark.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328052; кафедра встраиваемых систем; д.т.н.; профессор.

P'yavchenko Oleg Nikolaevich – Southern Federal University; e-mail: kafmps@tppark.ru; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328052; the department of built systems; dr. of eng. sc.; professor.