

УДК 004.2

В.П. Дашевский, М.М. Бизин

## Обзор возможностей бортовых вычислителей на основе SMARC-модулей для робототехнических комплексов

Представлен анализ перспектив применения систем на модуле в стандарте SMARC для построения бортовых вычислительных систем робототехнических комплексов (РТК). Применение систем на модуле SMARC обладает преимуществами перед монолитными системами на основе процессоров семейства ARM. Унификация аппаратных и программных платформ дает возможность ускорить разработку РТК, сократив при этом ее стоимость и сложность, одновременно с замещением импортных комплектующих отечественными аналогами.

**Ключевые слова:** встроенные системы управления, бортовые вычислители, ARM-процессоры, система на модуле, стандарт SMARC, робототехнические комплексы.

Основные компоненты современной вычислительной стали настолько миниатюрны, что для производства вычислительного модуля на их основе требуется оборудование высокого класса точности. Использование такого оборудования ведет к значительному удорожанию стадии подготовки производства, поэтому для повышения экономической эффективности применения высокотехнологичной электроники требуется производство большими тиражами. Однако реальные вычислительные системы состоят не только из микросхем высокой степени интеграции, но включают также простые и крупногабаритные детали, такие как разъемы, силовые источники питания, преобразователи интерфейсов, схемы защиты от электростатики и т.п. Для таких деталей проектные нормы ниже, именно эти детали определяют габариты, компоновку и, главное, сферу применения конечного изделия. А сфера применения в итоге определяет объемы выпуска.

Сочетание на одной печатной плате миниатюрных процессоров и крупных простых компонентов приводит к тому, что площадь многослойных печатных плат расходуется неэффективно. Кроме того, все простые изменения в компоновке печатной платы будут приводить к повторной дорогостоящей подготовке производства, что также неэффективно.

Естественным выходом из такой ситуации является применение систем на модуле (SOM) и разделение устройства на несколько печатных плат: универсальную высокотехнологическую системную часть и плату-носитель. В таком подходе высокотехнологичные компоненты размещаются на системном модуле, который может выпускаться большим тиражом и иметь широкий спектр применений. Плата-носитель, наоборот, оптимизирована и скомпонована для конкретного применения.

Концепция систем на модуле успешно применяется уже около 15 лет, в том числе и в России [1, 2]. Основную часть этого периода, около 13 лет, основой для системных модулей служили процессоры семейства x86, для которых энергетическая эффективность всегда приносилась в жертву производительности. Проблемы отведения тепла от процессоров x86 существенно влияли на компоновку, вес и габариты вычислительной системы, что затрудняло применение концепции для применения в робототехнике.

Бурное развитие рынка смартфонов и планшетных ПК обеспечило рост предложения процессоров архитектуры ARM, обладающих более низким энергопотреблением при достаточно высокой производительности. Высокие характеристики вычислителей с ARM-процессорами определяют возможность их применения в автономных РТК [3–5]. Наиболее интересны приложения таких вычислителей для управления активационными компонентами РТК [6, 7], видеообработки для обеспечения навигации и мониторинга окружающей обстановки [8–10]. Имеются примеры использования ARM-процессоров для управления движением гуманоидных РТК [11, 12]. Гуманоидные роботы являются одним из сложнейших видов автономных РТК вследствие особенностей кинематики движения, связанных с человекоподобной формой, а также группового поведения при выполнении командных задач [13–18]. Данный тип роботов сейчас является не самым распространенным по причине высокого энергопотребления. Однако перспективы применения гуманоидных роботов и их отдельных частей крайне высоки в гражданской и оборонной технике [19–28].

Для эффективного применения процессоров ARM при построении БВ РТК необходимо использовать концепцию систем на модуле. Актуальным вопросом является выбор стандарта на конструктивное исполнение модулей и его поддержка основными производителями. В последние годы стали появляться стандарты, в основе которых предполагается использование ARM-процессоров: SMARC, Qseven [29, 30].

В настоящей работе проводится анализ характеристик системных модулей стандарта SMARC с точки зрения их применения в качестве основы бортовых вычислителей РТК.

**Сравнительный анализ системных модулей для БВ РТК.** Исторически концепция системы на модуле возникла в связи с применением процессоров x86 в нестандартных ситуациях. Появление модулей ETX в начале 2000-х гг. перевернуло концепцию системной интеграции для встраиваемых систем [31]. Если ранее считалось, что базовым компонентом является материнская плата с процессором и памятью и в нее устанавливаются платы расширения посредством разъемных соединений, то при применении модулей ETX все стало наоборот. Все модули расширения интегрировались в одну плату-носитель, в которую затем устанавливался системный модуль. В течение жизненного цикла такого изделия следует проводить модернизацию только стандартизированной системы на модуле, а не несущей платы.

За последние 15 лет семейство процессоров x86 породило целую серию стандартов системных модулей: ETX, XTX, COM Express.

Для систем на модуле выбор семейства x86 в качестве основы имеет ряд недостатков.

1. Процессоры x86 имеют низкую эффективность по энергопотреблению ввиду большого числа транзисторов, применяемых для поддержания совместимости со всеми предыдущими поколениями. Рост энергопотребления требует отведения тепла, и чаще всего используется воздушное принудительное охлаждение с помощью вентиляторов, которые снижают надежность и долговечность, поскольку приносят в систему механический износ, пыль и дополнительную вибрацию.

2. Фирма Intel не обеспечивает длительный жизненный цикл для своих процессоров. Ввиду этого ассортимент систем на модуле постоянно изменяется, заставляя разработчика конечной системы постоянно отвлекаться на тестирование и обновление своих серийных изделий.

3. Отечественные производители не выпускают аналогов процессоров семейства x86 и чипсетов для них. Причем отставание отечественных производителей по технологическим нормам таково, что создание аналога с приемлемым энергопотреблением практически невозможно.

Модули стандарта SMARC (Smart Mobility ARChitecture) [29, 30] ориентированы в первую очередь на процессоры ARM и обладают рядом достоинств.

1. Процессоры с ARM ядром выпускаются множеством фирм по всему миру, включая отечественных производителей. При этом жизненный цикл у изделий этих фирм составляет 15 лет и более.

2. Процессоры предназначены для рынка мобильных устройств, ввиду чего их развитие идет быстрыми темпами, позволяя выбрать процессор под любое конечное применение.

3. Процессоры включают в себя множество стандартных периферийных устройств, необходимых для построения РТК: интерфейсы LAN, USB, CAN, UART (RS-485), интерфейсы для подключения дисплеев и видеокамер и т.п.

4. Процессоры с ARM – ядром имеют низкое энергопотребление и могут обходиться пассивным радиаторным охлаждением.

5. Стоимость одного модуля может быть существенно ниже \$100. К примеру, стоимость модулей SMARC-T3352-600 фирмы Embedian с одноядерным процессором ARM Cortex-A8 и тактовой частотой 600 МГц составляет \$59 (при партиях в 1000 шт.) [32]. Стоимость модуля SMARC-FiMX6-Q-1G с четырехядерным процессором Freescale i.MX6 Cortex-A9 с тактовой частотой 1ГГц составляет \$101 [33].

6. Модули SMARC имеют наименьшие размеры, в компактном исполнении всего 82×50 мм. В сочетании с малым тепловыделением это позволяет делать плотную компоновку БВ.

**Особенности проектирования бортовых вычислителей на модулях SMARC.** Современные ARM-процессоры представляют собой системы на кристалле и включают большое количество периферийных устройств и интерфейсов для организации встраиваемых систем: UART, LAN, SPI/SSI, I2C, I2S, CSI, USB, SATA, видеопорты, GPIO. Это существенно упрощает создание программного обеспечения для конечных систем. Важным преимуществом стандарта SMARC является то, что большинство этих прикладных интерфейсов доступно на системном разъеме в отличие от модулей,

ориентированных на процессоры x86, где на разъеме присутствуют, в основном, только универсальные скоростные шинные интерфейсы типа PCI, PCIe, USB, SATA.

Рассмотрим более подробно особенности модулей SMARC и их возможности для построения БВ РТК.

1. Размеры. Имеется два типоразмера: 82×50 и 82×80 мм.
2. Соединение с платой-носителем 314-контактный MXM3-разъем. Шаг 0,5 мм. Разъем допускает прохождение сигналов с частотой до 2,5/5 ГГц. Модули могут размещаться на расстоянии от 1,5 до 5 мм над платой носителем, в зависимости от разъема. Разъем требуется только для платы-носителя, ответная часть на модуле выполняется в виде ряда краевых ламелей.
3. Питание модуля в диапазоне от 3,25 до 5 В. Типовое потребление энергии от 2 до 6 Вт. Выводы питания рассчитаны на 15 Вт. Низкое энергопотребление позволяет обходиться без вентилятора с пассивным радиаторным охлаждением или вовсе без него.
4. Модули рассчитаны на автономную работу: не требуют внешнего вентилятора, имеют низкое потребление в режиме ожидания, могут работать от одного элемента Li-ion аккумулятора, имеют сигналы управления режимами зарядки аккумулятора.
5. Интерфейсы сопряжения, выведенные на системный разъем:
  - **Интерфейсы отображения.** Включают 24-битный параллельный RGB LCD, один канал LVDS LCD, порт HDMI, а также сигналы поддержки яркости дисплея. Этот набор сигналов может быть востребован в БВ РТК как вспомогательный для проведения отладки на стенде, при серийном изготовлении БВ он не потребуется.
  - **Интерфейсы для подключения видеокамер.** Включают два последовательных интерфейса (CSI), один из которых может поддерживать камеры высокого разрешения. Поддерживается один параллельный интерфейс для 10-, 12- или 16-битного видеозахвата. Таким образом, один модуль может использовать две камеры для реализации возможности бинокулярного зрения в РТК.
  - **Интерфейсы локальной сети.** Модуль предоставляет один MDI-интерфейс для реализации Gigabit Ethernet и сигналы управления светодиодами. Также имеется возможность реализации второго интерфейса на вспомогательной части системного разъема. Это может быть востребовано в РТК для создания независимых дублированных каналов связи по левому и правому борту.
  - **Интерфейсы энергонезависимой памяти.** Имеется два интерфейса: 4-битный SDIO-интерфейс может применяться для подключения внешних SD-карт; 8-битный eMMC-интерфейс позволяет подключать внешние карты с пропускной способностью до 100 Мб/с. Интерфейсы представляют интерес для обеспечения загрузки системы из памяти, размещенной на плате-носителе. Это удобно для отладки РТК, перепрограммирования его специализации.
  - **Интерфейсы SPI.** Модуль располагает двумя интерфейсами SPI, что позволяет подключать к нему широкий набор SPI-компонентов: расширители GPIO, микросхемы RTC, последовательные ЦАП и АЦП, MEMS-датчики, быструю энергонезависимую память FRAM. Благодаря высокой скорости шины SPI (до 50 Мбит/с) можно достичь высокой частоты обновления информации от множества простых сенсоров, что может быть успешно использовано при создании РТК.
  - **Интерфейсы I2S.** Модуль располагает тремя интерфейсами I2S, позволяющими организовать ввод нескольких потоков аудио и синхронно. БВ РТК может использовать несколько входных потоков для реализации сложных акустических сенсорных сетей, позволяющих ориентироваться в окружающем пространстве на слух.
  - **Интерфейсы I2C.** Модуль располагает четырьмя интерфейсами I2C. Шина I2C/SMBus удобна для управления большим количеством медленных устройств. Общая скорость шины от 100 до 400 Кбит/с, для скоростного обмена данными она не подходит. Однако многие устройства используют ее для конфигурирования своих функций. ОС Linux поддерживает большое количество стандартных I2C-устройств, что упрощает создание РТК. В модуле SMARC интерфейсы I2C имеют специализацию, хотя в процессоре могут быть равноправны. Три из них закреплены за функциями управления питанием, дисплеем и камерой, и лишь один отведен на прочие применения. Это удобно для унификации программного обеспечения между разными системными модулями.
  - **Интерфейсы UART.** Модуль располагает четырьмя интерфейсами UART. Два интерфейса, помимо стандартных сигналов TXD, RXD поддерживают аппаратное управление потоком через RTS#, CTS#. UART позволяют создать скоростные шины передачи на основе интерфейсов RS-485, что особенно актуально для РТК, в которых сервоприводы также имеют интерфейс RS-485. Скорость передачи может быть доведена до 1–10 Мбит/с. Большое количество UART на модуле позволяет подключить независимо несколько подсистем, использующих разные протоколы управления.

- **Интерфейсы CAN.** Модуль располагает двумя интерфейсами CAN. Назначение интерфейсов аналогично UART – управление сетью приводов РТК.
- **Интерфейсы USB, PCIe, SATA.** Модуль поддерживает до трех интерфейсов USB, до трех интерфейсов PCIe x1 и один интерфейс SATA. Интерфейсы могут применяться в РТК для подключения сложной специализированной периферии, требующей быстрого обмена и большого потока информации, например ПЛИС.
- **GPIO.** Модуль позволяет использовать до 12 цифровых линий ввода-вывода. Часть из этих линий имеет закрепленные за ними функции ШИМ и счетчиков импульсов, реализованных аппаратно в таймерах процессора. В РТК подобные сигналы могут использоваться для непосредственного управления силовыми ключами, проведения калибровок.

6. Режимы загрузки модуля весьма разнообразны и могут конфигурироваться пользователем. Модули могут загружаться как с внешних носителей, так и из энергонезависимой памяти, расположенной прямо на системном модуле. Последний вариант особенно удобен для РТК, поскольку паяные соединения более надежны, чем разъёмные. Ввиду того, что робот подвергается ударным и вибрационным нагрузкам, предпочтительно выбрать более надежное соединение для основной памяти системного ПО.

Таким образом, набор интерфейсов вполне соответствует потребностям бортовых вычислителей РТК. Интерфейсы CSI, I2S, SPDIF могут быть использованы для решения задач машинного зрения и распознавания речи, в то время как интерфейсы типа I2C, SPI, UART/RS-485 и CAN могут быть использованы для приведения в действия приводов и снятия показаний с MEMS-датчиков ускорения. Сигналы GPIO могут применяться для управления дискретными действиями. Сигналы ШИМ могут использоваться для управления питанием, зарядкой бортовых аккумуляторов.

**Этапы разработки БВ РТК на модулях SMARC.** Разработка бортовых вычислителей на основе SMARC-модулей, как правило, состоит из следующих этапов:

1. Подготовка технического задания на бортовой вычислитель разрабатываемого РТК. Декомпозиция задачи на подзадачи, каждой из которых соответствует совокупность плат-носителей и соответствующих им SMARC-модулей. Например, подзадача управления движением может быть возложена на один SMARC-модуль с одноядерным процессором типа AM3352 и тактовой частотой от 500 до 1000 МГц. Подзадача машинного зрения и распознавания речи может быть возложена на второй модуль с четырехядерным процессором Freescale i.MX6 с тактовой частотой 1 ГГц.
2. Создание прототипов плат носителей для решения подзадач. Сборка плат-носителей.
3. Интеграция всех подсистем, подчиненных одной управляющей системе, в рабочий стенд.
4. Разработка и отладка предварительной версии программного обеспечения с минимумом обратных связей.
5. Уточнение требований к БВ и переход к финальной компоновке.
6. Разработка плат-носителей под конкретную конструкцию РТК.
7. Сборка опытных образцов в финальной компоновке.
8. Отладка программного обеспечения.

По мере развития и накопления опыта проектирования БВ на базе SMARC-модулей зарубежного производства возникает перспектива разработки собственных SMARC-модулей на основе процессоров отечественного производства также с ARM-ядром и характеристиками внешних интерфейсов, близкими к стандарту SMARC.

**Заключение.** Текущие результаты по разработке бортовых вычислителей подтверждают возможность реализации задач машинного зрения, обработки речи, управления исполнительными устройствами робототехнических комплексов на основе платы-носителя с необходимой компоновкой и систем на модуле типа SMARC.

Таким образом, проведенный обзор позволяет сделать следующие выводы:

- применение системных модулей SMARC существенно сокращает время разработки аппаратного и программного обеспечения БВ РТК;
- важными достоинствами модулей SMARC являются низкое энергопотребление, низкая стоимость, малые габариты и вес.

Дальнейшее развитие вычислительных бортовых вычислителей на основе SMARC-модулей для робототехнических комплексов будет идти в направлении унификации аппаратных и программных платформ, что даст возможность ускорить разработку РТК, сократив при этом ее стоимость и сложность.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке по проекту программы Президиума РАН I.40П «Актуальные проблемы робототехники».

*Литература*

1. Ковалев А.Н. Новые перспективы «компьютеров на модуле»: инновационные системы со сверхнизким потреблением на основе ARM и CHK // Компоненты и технологии. – 2013. – № 5 (142). – С. 141–146.
2. Шкляев Е. Модульные компьютеры - новая эра в сфере встраиваемых решений // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2014. – №5. – С. 41–46.
3. Salehi M., Ejlali A. A hardware platform for evaluating low-energy multiprocessor embedded systems based on COTS devices / M. Salehi, A. Ejlali. – IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2015. – Vol. 62, Issue 2. – P. 1262–1269.
4. Lima F.A. Energy characterization of a security module in ARM processor / F.A. Lima, E.D. Moreno, D.O.D. dos Santos, W.R.A. Dias // International Journal of Network Security. – 2015. – Vol. 17, issue 1. – P. 72–78.
5. Chang Y.F. An intelligent context-aware communication system for one single autonomic region to realize smart living / Y.F. Chang, C.C. Chen, S.C. Lin. - Information Fusion. – 2015. – Vol. 21, issue 1. – P. 57–67.
6. Peng J. The robot intelligent controller design and implementation base on ARM / J. Peng, Q. He, Q. Wei, Z. Huang, Y. Huang, M. Pan, B. Lin, D. Yang, S. Luo, C. Liang // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. – 2013. – Vol. 5, issue 12. – P. 690–696.
7. Peng G. Design of mobile robot controller based on dual ARM Cortex architecture / G. Peng, B. Yuan // Journal of Huazhong University of Science and Technology. – 2013. – Vol. 41, Issue SUPPL.I. – P. 284–288.
8. Lee S. Embedded visual SLAM: Applications for low-cost consumer robots / S. Lee, S. Lee // IEEE Robotics and Automation Magazine. – 2013. – Vol. 20, issue 4. – P. 83–95.
9. Vincke B. Real time simultaneous localization and mapping: Towards low-cost multiprocessor embedded systems / B. Vincke, A. Elouardi, A. Lambert // EURASIP Journal on Embedded Systems. – 2012. – P. 2–14.
10. An embedded real-time red peach detection system based on an OV7670 camera, arm Cortex-M4 processor and 3D look-up tables / M. Teixido, D. Font, T. Palleja, M. Tresanchez, M. Nogues, J. Palacin // Sensors. – 2012. – Vol. 12, issue 10. – P. 14129–14143.
11. Liu S. Humanoid robot controller based on ARM embedded system / S. Liu, C. Mu, M. Zhao. – Journal of Tsinghua University. – 2008. – Vol. 48, issue 4. – P. 482–485.
12. Design of a biped walking robot system based on ARM / Q. Xu, Z. Shen, J. Zhao, L. Zhang // Chinese Journal of Scientific Instrument. – 2007. – Vol. 28, issue 5. – P. 499–501.
13. Stankevich L. Data mining techniques for RoboCup soccer agents / L. Stankevich, S. Serebryakov, A. Ivanov // Proceedings of the International Workshop on Autonomous Intelligent Systems: Agents and Data Mining (AIS-ADM). – 2005. – LNCS 3505. – P. 289–301.
14. Шандаров Е.С. Анализ поведения робота-ассистента в рамках разработки сценариев взаимодействия робот – ребенок / Е.С. Шандаров, А.Н. Зимица, П.С. Ермакова // Гуманитарная информатика. – 2014. – № 8. – С. 52–64.
15. Serebryakov S.V. Visual navigation with a time-of-flight camera / S.V. Serebryakov, L.A. Stankevich // Journal of Optical Technology. – 2010. – Vol. 77, № 11. – P. 697–700.
16. Chen M. Human robot soccer system based on embedded vision system / M. Chen, B.-R. Hong. - Journal of Harbin Institute of Technology. – 2011. – Vol. 18, issue 1. – P. 189–194.
17. Stankevich L. On-line agent teamwork training using immunological network model / L. Stankevich, D. Trotsky // Proceedings of the International Workshop on Autonomous Intelligent Systems: Agents and Data Mining (AIS-ADM). – 2007. – LNCS 4476. – P. 242–255.
18. Budkov V. Dialog Model Development of a Mobile Information and Reference Robot / V. Budkov, M. Prischepa, A. Ronzhin // Pattern Recognition and Image Analysis, Pleiades Publishing. – 2011. – Vol. 21(3). – P. 458–461.
19. Артамонов И.О. Методические основы структурно-параметрического синтеза системы противотанкового вооружения сухопутных войск / И.О. Артамонов, Р.А. Рябцев // Вооружение и экономика. – 2013. – № 4(25). – С. 12–19.
20. Лыпарь Ю.И. Когнитивные структуры в системе управления гуманоидного робота / Ю.И. Лыпарь, Л.А. Станкевич // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2002. – № 7. – С. 7–10.
21. Прищепа М.В. Система интеллектуального управления мобильным информационно-справочным роботом / М.В. Прищепа, В.Ю. Будков, А.Л. Ронжин // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 6. – С. 2–6.

22. Briggs G. How Robots Can Affect Human Behavior: Investigating the Effects of Robotic Displays of Protest and Distress / G. Briggs, M. Scheutz // *International Journal of Social Robotics*. – 2014. – Vol. 6, issue 3. – P. 343–355.
23. Building man and beast at Boston Dynamics / R. Playter, K. Blankespoor, J. Bondaryk, A. Rizzi, A. Saunders, M. Raibert // *Proceedings of the North America Conference on AUVSI Unmanned Systems*. – 2012. – Vol. 2. – P. 1041–1046.
24. Бондаренко В.П. Диалог как основа построения речевых систем / В.П. Бондаренко, Р.В. Мещеряков // *Кибернетика и системный анализ*. – 2008. – №2. – С. 30–41.
25. Создание «интеллектуального окружения» на пилотируемом космическом комплексе для позиционирования мобильного робота – помощника экипажа / Р.М. Юсупов, А.А. Карпов, Б.И. Крючков, А.Л. Ронжин, Л.Д. Сыркин, В.М. Усов // *Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики*. – М.: Институт психологии РАН, 2013. – С. 397–422.
26. Ануфриева Н.Ю. Оценивание результативности работы центра информационного обслуживания / Н.Ю. Ануфриева, Р.В. Мещеряков, Г.А. Шевцова // *Известия вузов. Приборостроение*. – 2012. – Т. 55, № 11. – С. 63–66.
27. Ронжин Ал.Л. Международные соревнования роботов по футболу RoboCup и перспективы участия в них российских команд / Ал.Л. Ронжин, Л.А. Станкевич, Е.С. Шандаров // *Робототехника и техническая кибернетика*. – 2015. – № 2 (7). – С. 24–29.
28. Ходашинский И.А. Построение нечетких аппроксиматоров на основе метода перемещения бактерий / И.А. Ходашинский, Н.Н. Земцов, Р.В. Мещеряков // *Известия вузов. Физика*. – 2012. – Т. 55, № 3. – С. 57–61.
29. Smart Mobility ARChitecture Hardware Specification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.sget.org/uploads/media/SMARC\\_Hardware\\_Specification\\_V1p1.pdf](http://www.sget.org/uploads/media/SMARC_Hardware_Specification_V1p1.pdf), свободный (дата обращения: 23.01.2015).
30. SMARC & Qseven Product Overview 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.sget.org/uploads/media/SGET\\_20140804.pdf](http://www.sget.org/uploads/media/SGET_20140804.pdf), свободный (дата обращения: 23.01.2015).
31. Улитенко К.Я. Виртуализация промышленных приборов. Современные тенденции // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2006. – № 10. – С. 27–33.
32. SMARC-T335X [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.embedian.com/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=1&products\\_id=1](http://www.embedian.com/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=1), свободный (дата обращения: 23.01.2015).
33. SMARC-FiMX6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.embedian.com/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=1&products\\_id=20](http://www.embedian.com/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=20), свободный (дата обращения: 23.01.2015).

---

**Дашевский Владимир Павлович**

Канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник. лаб. автономных робототехнических систем  
Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации (СПИИ РАН) Российской академии наук  
Тел.: 8 (812) 328-70-81  
Эл. почта: hoodwin@mail.ru

**Бизин Максим Михайлович**

Мл. науч. сотрудник лаб. автономных робототехнических систем СПИИ РАН  
Тел.: 8 (812) 328-70-81  
Эл. почта: maximchik90@mail.ru

Dashevsky V.P., Bizin M.M.

**Peculiarities of Development of Computation Unit Based on SMARC Modules for Robotics Systems**

This paper presents analysis of using SMARC system-on-modules as a key element for robot computation units (RCU). Such approach gives several advances comparing to monolithic ARM-based systems. Unification of hardware and software platforms leads to development speed-up, decrease of development cost and complexity. Also, we get a good base for step-by-step localization of semiconductor chips.

**Keywords:** embedded system, system-on-module, ARM processor, SMARC module, computational unit, robotics system.