

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КЛАСТЕР КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
НА ОСНОВЕ COTS КОМПОНЕНТОВ**

Желябов П. А., аспирант¹; Файзуллин Д., PhD²;
Кулабухов А.М., д.т.н., заведующий кафедры САУ³

^{1,3}*Днепропетровский национальный университет им. Олесь Гончара*

²*Технологический университет Кюсю, Китаюсю, Япония*

Аннотация. С каждым годом требования к спутникам становятся все более изощренными и жесткими, что вынуждает вычислительные узлы обработки информации иметь необходимую производительность и объем встроенной памяти, в первую очередь связанные со сложностью алгоритмов управления в реальном времени и обработкой больших объемов данных, генерируемых полезной нагрузкой (оптической, радары и системы связи) и датчики.

В статье рассматривается задача создания структуры вычислительного кластера с высокой производительностью и относительно низкой стоимостью на основе широкодоступных одноплатных миникомпьютеров для совмещения задач бортового вычислителя, вычислителя системы управления ориентацией и стабилизацией (СУОС), а также вычислителя для системы полезной нагрузки в одной системе.

Предложена кластерная система бортового компьютера (БК), основанная на одноплатных компьютерах, которая позволяет распределить вычислительную нагрузку между несколькими узлами и обеспечить тройное резервирование.

Кластерную систему на основе COTS (компонентов готовых к использованию) компонентов предлагается использовать в качестве БК университетского наноспутника дистанционного зондирования Земли для повышения производительности вычислений и снижения стоимости компонентов.

Ключевые слова: КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, ДЗЗ, БЦВК, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КЛАСТЕР, RASPBERRY PI, COTS.

Введение. К космическим аппаратам в последнее время предъявляются жесткие требования по производительности и объему обрабатываемой

информации на борту, связанные в первую очередь с усложнением алгоритмов управления в реальном времени и обработкой больших массивов данных с целевой аппаратуры (оптические, радарные и связные системы) и измерительных датчиков.

Решать такого рода задачи сейчас возложено на специально спроектированных для космических условий бортовых центральных комплексов (БЦВК), стоимость которых может превышать 20 000 \$ при его относительно невысокой производительности 50 MIPS (Millions instructions per second) [1].

Проектом DM7 (Dependable Multiprocessor) [2], который спонсировали NASA (National aeronautics and space administration), Honeywell и CASIS (Center for the advancement of science in space), предусматривалось отработка мультипроцессорного кластера из COTS компонентов. [3]. Такой кластер в 2016 году был установлен на МКС и располагался на внешнем стенде станции NREP (NanoRacks External Platform). На основе процессоров производства Variscite был собран БЦВК. Стоимость одного модуля Variscite начинается от 24 \$ [4], он доступен в свободной продаже, его производительность от 900 MIPS..

Результаты эксперимента показали, что кластерные системы, построенные на COTS компонентах, позволяют достичь высокой производительности за гораздо меньшую цену, обеспечить высокую степень резервирования вычислительных ресурсов и устойчивы к факторам космического пространства.

Постановка задачи. Рассматривается задача создания структуры вычислительного кластера с высокой производительностью и относительно невысокой стоимостью на базе широкодоступных одноплатных миникомпьютеров, а также оценка его вычислительных возможностей и надежности.

Решение задачи. Для решения поставленной задачи предлагается кластерная система из четырех миникомпьютеров Raspberry Pi 3 Model B, производительность которых 2458 MIPS каждая [5], трёх – в качестве вычислительных узлов и одного – для арбитража выполняемых операций (рис. 1). Каждый миникомпьютер (Rpi00, ... ,Rpi03) имеет свой накопитель

(SD_card_00, ... ,SD_card_03) с операционной системой Linux, а также накопитель (Shared_mem_00, ... ,Shared_mem_03) для настройки общего ресурса между вычислительными модулями. Миникомпьютеры подключены по сети Ethernet при помощи коммутатора со скоростью передачи данных до 100 Мбит/с. Такая конфигурация позволит повысить производительность вычислительных процессов, а также добиться трехкратного резервирования вычислительных мощностей.

В набор задач для оценки быстродействия будут входить такие ресурсоёмкие операции как использование фильтра Калмана для повышения точности измерений датчиков КА и сжатие информации (с оптических и радарных систем спутника) различными методами.

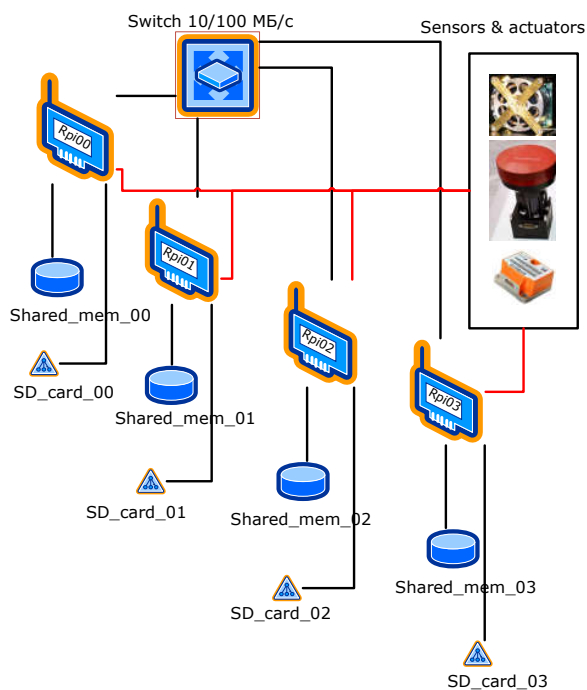


Рисунок 1 – Структура кластера БЦВК на базе Raspberry Pi Model B

Принцип работы кластера основан на распределении задач по вычислительным узлам (Rpi00, ... ,Rpi03). В каждый момент времени один узел выступает в качестве арбитра, три остальных – как вычислительные устройства. Существует иерархия включения узлов, которая позволяет достичь резервирования вычислительных мощностей. Во время первого запуска системы, арбитром становится вычислительный узел Rpi00. Данный узел будет выполнять административную роль и предоставлять доступ к памяти

Shared_mem_00 остальным трём (Rpi01- Rpi03) до тех пор, пока его функции выполняются корректно. При возникновении события, которое покажет отказ арбитра, функции администрирования перейдут следующему узлу в иерархии, то есть Rpi01, а общей памятью для выполнения вычислений станет Shared_mem_01.

Сбор данных с датчиков, а также обработку алгоритмов ориентации и стабилизации производят вычислительные узлы. Каждый узел имеет доступ к шине данных датчиков.

Выводы. Предложен кластер вычислительной системы БЦВК на основе одноплатных компьютеров Raspberry Pi 3 Model B, который позволяет распределять вычислительную нагрузку на несколько узлов суммарной производительностью 3.463 GFlops, сократить расходы на компоненты практически в 160 раз по сравнению со специализированными космическими системами, что является привлекательным для университетских спутников.

Оценка производительности показала, что в данной конфигурации кластера (с использованием Raspberry Pi 3 Model B) достичь преимущества можно только за счет распределения задач между вычислительными узлами. Распараллеливание процессов будет эффективнее с использованием Raspberry Pi 4, которая оснащена Ethernet картой в 1 Gigabit и соответственно имеет меньшие задержки при обмене данными между узлами.

Троекратное резервирование позволяет достичь средней наработки на отказ порядка 3 лет.

Кластер на основе одноплатных компьютеров включен в состав университетского наноспутника, по результатам испытаний которого предполагается подтвердить приведенные результаты расчетов.

Литература

1. Техническая документация Sirius OBC LEON3FT [Электронный ресурс]: техническая документация. – Режим доступа: URL: <http://bit.ly/2DXclj0> (9.12.2019).
2. John R. Samson, Benjamin K. Malphrus; Update on the dependable multiprocessor (DM7) ISS flight experiment, 2018 IEEE Aerospace Conference, IEEE, 2018. <https://doi.org/10.1109/AERO.2018.8396602>
3. Commercial-off-the-shelf components [Электронный ресурс]: значение. – Режим доступа: URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Commercial_off-the-shelf. (10.12.2019).

4. Техническая документация на модуль одноплатного компьютера Variscite VAR-SOM-6UL NXP iMX6UL / 6ULL / 6ULZ [Электронный ресурс]: техническая документация. – Режим доступа: URL: <http://bit.ly/3575VtF>. (10.12.2019).
5. Исследование производительности Rarspberry Pi 3 model B [Электронный ресурс]: статья. – Режим доступа: URL: <http://bit.ly/347abrw>. (9.12.2019).

SPACECRAFT COMPUTING CLUSTER BASED ON COTS COMPONENTS FOR SOLVING EARTH REMOTE SENSING PROBLEMS

Petro Zheliabov, Dmytro Faizullin, Anatoliy Kulabukhov

Abstract. Every year requirements for satellites become more sophisticated and tight that force processing units to have necessary performance and on-board information volume, primarily related to the complexity of real-time control algorithms and the handling of large amounts of data generated by the payload (optical, radar and communication systems) and sensors. The article considers the task of creating a computing cluster structure with high performance and relatively low cost based on widely available single-board minicomputers. An on-board computer (OBC) cluster system based on single-board computers is proposed, which allows us to distribute the computing load between several nodes and triple redundancy. COTS-based cluster system (Commercial off-the-shelf) is proposed to be used as the OBC of the Earth Remote Sensing University Nano-satellite (ERSUN) to improve the performance of computation and to reduce the cost of components.

Keywords: COMMERCIAL OFF-THE-SHELF, COMPUTING CLUSTER, EARTH OBSERVING SYSTEM, ON-BOARD COMPUTER, RASPBERRY PI 3 MODEL B.

References

1. Technical documentation Sirius OBC LEON3FT, [Electronic resource]: technical documentation, Access mode: URL: <http://bit.ly/2DXclj0>, (12/9/2019).
2. John R. Samson, Benjamin K. Malphrus; Update on the dependable multiprocessor (DM7) ISS flight experiment, 2018 IEEE Aerospace Conference, IEEE, 2018. <https://doi.org/10.1109/AERO.2018.8396602>
3. Commercial-off-the-shelf components, [Electronic resource]: value, Access mode: URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Commercial_off-the-shelf, (12/10/2019).
4. Technical documentation for the Variscite VAR-SOM-6UL NXP iMX6U/6ULL/6ULZ single-board computer module, [Electronic resource]: technical documentation, Access mode: URL: <http://bit.ly/3575VtF>, (12/10/2019).
5. Technical documentation Raspberry Pi 3 Model, [Electronic resource]: technical documentation, Access mode: URL: <http://bit.ly/2ugcrRh>, (21/01/2020).