

Для цитирования: Баранов Л. Д., Лобанов В. Н., Чельдиев М. И. Применение многопроцессорной вычислительной платформы с гетерогенной архитектурой для решения задач гидроакустики и радиолокации // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 5. С. 7–16. DOI 10.21778/2218-5453-2018-5-7-16 УДК 004.272.43

Л. Д. Баранов<sup>1</sup>, В. Н. Лобанов<sup>1</sup>, М. И. Чельдиев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М. А. Карцева»

# ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ С ГЕТЕРОГЕННОЙ АРХИТЕКТУРОЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОАКУСТИКИ И РАДИОЛОКАЦИИ

Одно из направлений повышения производительности вычислительных систем связано с созданием платформ с гетерогенной архитектурой, позволяющих более эффективно задействовать вычислительные ресурсы традиционных процессоров, графических ускорителей и сопроцессоров на базе ПЛИС для выполнения задач, требующих массивно-параллельных вычислений. Создание проблемно-ориентированных решений, позволяющих пользователю конфигурировать вычислительную технику под решение конкретной прикладной задачи и с возможностью быстро и с невысокими затратами перенастроить систему на другой тип задачи, является актуальной проблемой. В статье представлено описание отечественной вычислительной платформы, способной одновременно задействовать модули с разными архитектурами в различных конфигурациях для решения общей задачи. С целью реализации совместного взаимодействия вычислительных ресурсов различной архитектуры и оценки перспектив дальнейшего применения платформы в ресурсоемких прикладных задачах в статье представлено описание и результаты работы имитационного программного обеспечения, направленного на решение задач в области гидроакустики и радиолокации.

**Ключевые слова:** многопроцессорная вычислительная платформа, гетерогенная архитектура, гидроакустика, радиолокация.

## Введение

В настоящее время возрастающие требования к скорости и точности обработки информации диктуют необходимость создания высокопроизводительных вычислительных комплексов. Стремительный рост потоков данных и сокращение времени на их обработку наблюдается практически во всех сферах деятельности человека, связанных с информационными технологиями: научные исследования, промышленность, транспорт, оборона и разведка, образование, финансовый и административный сектор, сфера развлечений. Одной из тенденций настоящего времени стало широкое распространение вычислительных комплексов с гетерогенной архитектурой, где наряду с традиционными процессорами стали использоваться графические ускорители и специализированные сопроцессоры, построенные на основе ПЛИС. Появление и развитие вычислительной техники с гетерогенными архитектурами во многом связано с увеличением производительности и энергоэффективности при выполнении различных типов приложений, требующих массивно-параллельных вычислений: обнаружение

и отслеживание объектов в гидроакустике и радиолокации, моделирование быстропротекающих физических процессов, обработка цифровых изображений и машинное зрение [1, 2], сейсмическая разведка, прогнозирование погодных и климатических явлений, дистанционное зондирование Земли [3], численный анализ, задачи квантовой химии, медицины [4], биологические науки, нанотехнологии, финансы и ряд других исследовательских и прикладных задач.

Среди гетерогенных вычислительных систем в настоящее время все больший интерес представляют проблемно-ориентированные решения, позволяющие пользователю конфигурировать и масштабировать вычислительную технику под решение конкретной прикладной задачи. Практика показывает, что проблемно-ориентированные вычислительные комплексы более эффективны с экономической и эксплуатационной сторон. В то же время смена прикладной задачи не должна обернуться для пользователя существенными финансовыми затратами, связанными с приобретением нового вычислительного комплекса. Развитие и внедрение на рынок

реконфигурируемых вычислительных платформ, способных быть настроенными под решение конкретной пользовательской задачи и, в случае необходимости, иметь возможность легкой настройки на другой тип задачи, является актуальной проблемой. В связи с этим в АО «НИИВК им. М. А. Карцева» в рамках ОКР «Поток», выполненной по федеральной целевой программе, была создана многопроцессорная вычислительная платформа (МВП).

Ключевой особенностью МВП является возможность объединять на одной шине вычислительные модули на основе процессоров Intel x86, «Эльбрус», «Байкал», графических ускорителей NVIDIA, модулей на основе ПЛИС Xilinx. Способность платформы одновременно задействовать модули с разными архитектурами в различных конфигурациях для решения общей задачи позволяет создавать проблемно-ориентированные конфигурации за счет выбора и установки в вычислительную платформу необходимого набора модулей исходя из максимальной эффективности выполнения алгоритмов пользовательской программы. Такая концепция позволяет обеспечивать реконфигурирование и масштабируемость на уровне модулей и блоков, а пользователю предоставляется возможность организовать параллельно-конвейерный вычислительный процесс на своих приложениях.

МВП представляет собой конструкцию, состоящую из механических и электронных компонентов (это корпус с установленной внутрь объединительной платой), модулей питания и функциональных модулей.

На данный момент в зависимости от требований прикладной задачи в состав МВП могут входить следующие функциональные модули:

- Модуль коммутации.
- Модуль центрального процессора (на базе процессора Intel i7, 4 ядра).

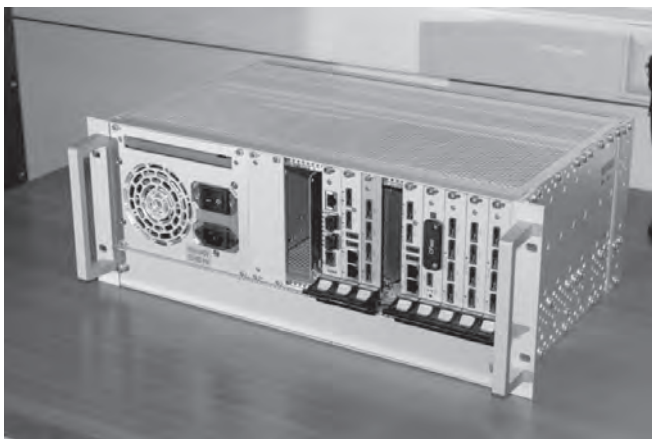


Рисунок 1. МВП с вентиляторным охлаждением для установки в 19" стандартную стойку

- Модуль реконфигурируемого процессора (на базе ПЛИС Xilinx Virtex 6).
- Модуль графического процессора (на базе NVIDIA Quadro K2100M).
- Модуль процессора «Эльбрус» (на базе процессора «Эльбрус-4С»).
- Модуль процессора «Байкал» (на базе процессора Байкал-Т1).
- Модуль интерфейсный оптический PCIe.
- Модуль носителя SSD-диска (интерфейс SATA3).

В зависимости от требований к вычислительной производительности и условиям эксплуатации МВП доступна в трех исполнениях:

1. С вентиляторным охлаждением для установки в 19" стандартную стойку (рис. 1). Такое исполнение позволяет строить на базе МВП масштабируемые по производительности вычислительные комплексы в шкафном исполнении, предназначенные для эксплуатации в отапливаемых помещениях. Установка шести МВП в один шкаф (каждая платформа занимает 4U) позволит достичь максимальной пиковой производительности 15–18 Тфлопс на 1 шкаф (без резервирования) или до 9 Тфлопс в комплексах с резервированием. Такие комплексы могут быть задействованы для задач обработки больших массивов информации в условиях реального времени или в надежных резервируемых системах. Одним из примеров может стать применение МВП в режиме совместимости в отечественных вычислительных комплексах, построенных на процессорах «Эльбрус», где роль связующего звена будут играть вычислительные модули на базе процессора «Эльбрус», установленные в МВП. Это позволит в целом повысить эффективность обработки информации в уже эксплуатируемых вычислительных комплексах за счет перенаправления части информационных потоков на обработку графическими процессорами, процессорами x86-архитектуры и ПЛИС, тем самым расширив горизонты модернизации и совершенствования вычислительных комплексов в оборонной сфере.
2. С кондуктивным отводом тепла (тепло, выделяемое при работе модулей, отводится на корпус, с которого происходит рассеивание тепла в окружающую среду). Такая конструкция ориентирована на применение МВП в бортовых вычислительных системах. Внешний вид платформы представлен на рис. 2.
3. С гибридным отводом тепла (тепло, выделяемое при работе модулей, отводится на корпус, который принудительно охлаждается двумя вентиляторами). МВП в данном исполнении способна

отводить до 600 Вт тепловыделяемой мощности при габаритных размерах 215x435x480 мм. Внешний вид платформы с гибридным отводом тепла представлен на рис. 3.

Наличие нескольких вариантов конструктивных исполнений позволяет применять МВП как на стационарных объектах, так и в качестве аппаратуры сухопутного, морского или воздушного базирования.

#### **Тестовое и прикладное программное обеспечение**

При создании МВП коллективом разработчиков АО «НИИВК им. М. А. Карцева» было создано программное обеспечение (ПО) для проведения программно-аппаратного контроля и обнаружения ошибок в процессе функционирования платформы и прикладное специальное ПО для демонстрации возможностей МВП в части оценки эффективности обработки данных, полученных от нескольких источников информации. Тестовое ПО является частью общесистемного программного обеспечения и призвано продемонстрировать возможности ввода-вывода, обработки данных, обмена информацией, упростить проверку системы при ее сдаче по техническим условиям и организовать нормальную работу прикладных программ в будущем. Прежде всего это касалось совместной обработки информации на процессорных модулях и графических ускорителях, а также операций передачи информации между различными парами модулей с оценкой скорости передачи данных между ними. Тестовое ПО по проверке взаимодействия между собой различных пар модулей было описано в [5]. Для тестирования совместной работы процессорных модулей и графических ускорителей была разработана программа, имитирующая процесс формирования диаграммы направленности гидроакустических антенн. Для демонстрации возможностей МВП с целью ее дальнейшего применения в составе радиолокационных вычислительных комплексов был разработан программный комплекс имитации процесса многоуровневого анализа радиолокационной обстановки. Об этих двух программах и пойдет речь ниже.

#### **Имитационная программа формирования диаграммы направленности гидроакустических антенн**

Необходимость создания программы формирования диаграммы направленности гидроакустических антенн, имитирующей функции вторичной обработки гидроакустической информации после ее первичной обработки, было обусловлено следующими причинами:



Рисунок 2. МВП с кондуктивным отводом тепла



Рисунок 3. МВП с гибридным отводом тепла

- оценкой возможностей одновременного использования процессорных модулей x86-архитектуры и модулей графического процессора через механизмы массивного распараллеливания процесса вычислений с целью увеличения вычислительной производительности платформы;
- оценкой перспектив дальнейшего применения МВП в ресурсоемких прикладных задачах реального времени, в том числе в решении задач гидроакустики.

Для реализации совместного взаимодействия процессорных модулей x86-архитектуры и модулей графического процессора при написании программы были задействованы инструментальные средства открытого стандарта OpenMP (Open Multi-Processing) и программно-аппаратной архитектуры параллельных вычислений CUDA (Compute Unified Device Architecture).

Основное окно программы представлено на рис. 4.

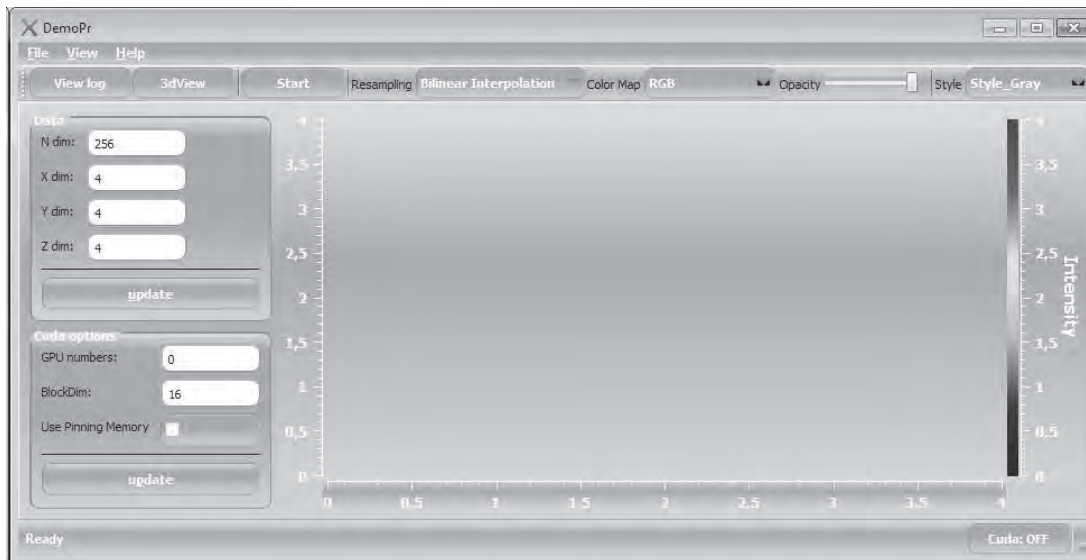


Рисунок 4. Основное окно программы

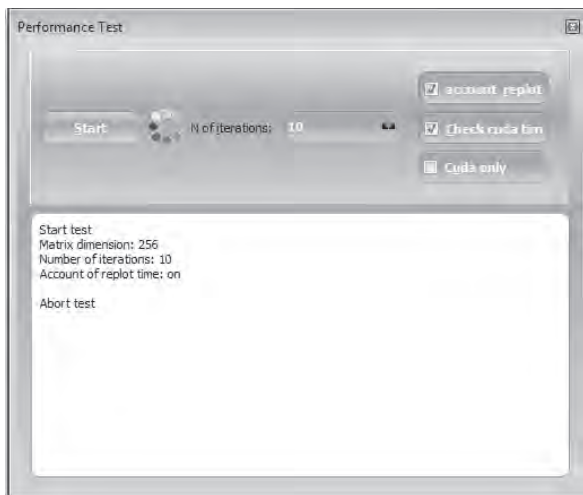


Рисунок 5. Вид окна теста производительности

Программа позволяет сравнивать вычислительную производительность вторичной обработки гидроакустической информации, достигаемую при использовании параллельных вычислений на нескольких процессорах (используется технология OpenMP), с производительностью, достигаемой при использовании технологии CUDA для одного или нескольких графических ускорителей (до 8 ускорителей). При этом тестирование производительности может быть выполнено двумя способами:

1. В первом случае выполняется однократное вычисление, по окончании которого на панель статуса выводится информация о затраченном времени (в том числе на вывод графической информации).
2. Во втором случае пользователем запускается тест производительности, результатом которого

будут изменения производительности при использовании GPU и достигнутые при этом значения производительности, выраженные в GFLOPS (рис. 5).

Входными данными для программы являются результаты первичной обработки гидроакустической информации. Эти результаты представляются в виде файлов комплексных чисел, описывающих матрицы  $X$  и  $Y$  размером  $N \times N$ . Файл для матрицы  $X$  является переменным, файл для матрицы  $Y$  является постоянным. В основном окне программы (рис. 4) пользователю предоставляется возможность установить размеры для переменной и постоянной матриц. Затем при нажатии на кнопку Start запускается процесс вычисления: считывание очередной матрицы с данными, ее обработка и построение графика спектрограммы (рис. 6).

Программа также предоставляет возможность представления спектрограммы в трехмерном виде (рис. 7).

В результате выполнения программы пользователь может наблюдать за изменением спектрограммы как в двумерном, так и в трехмерном виде, а также оценить среднее время, затрачиваемое на обработку одного фрейма данных (включающее время перерисовки).

#### **Программный комплекс имитации процесса многоуровневого анализа радиолокационной обстановки**

Создание прикладного ПО, определяющего специфику дальнейшего применения вычислительного комплекса, является одной из основных задач, встающих перед коллективом разработчиков. В процессе разработки и создания МВП была



Рисунок 6. Вид окна спектрограммы

заложена концепция, нацеленная на дальнейшее использование платформы в составе радиолокационных комплексов в качестве спецвычислителя, отвечающего за третичную обработку радиолокационной информации, в основе которой лежит сопоставление информации, полученной от разных источников.

В качестве источников информации использовался имитационный комплекс, включающий три одноплатных компьютера, с которых информация поступала на МВП.

В результате был создан программный комплекс имитации процесса многоуровневого анализа радиолокационной обстановки, предназначенный для демонстрации вычислительных возможностей МВП при решении задач третичной обработки тактической ситуации на уровне регионального командного пункта контроля воздушно-космической обстановки.

Программный комплекс включает три вида исполняемых модулей:

1. Программа irRLS (имитатор работы радиолокационной станции (РЛС)).
2. Программа общего обзора irRKP1 (имитатор работы регионального командного пункта № 1).
3. Программа «детального» обзора irRKP2 (имитатор работы регионального командного пункта № 2).

Программа irRLS в соответствии с входными данными формирует набор воздушно-космических объектов (ВКО) заданных классов, имитирует

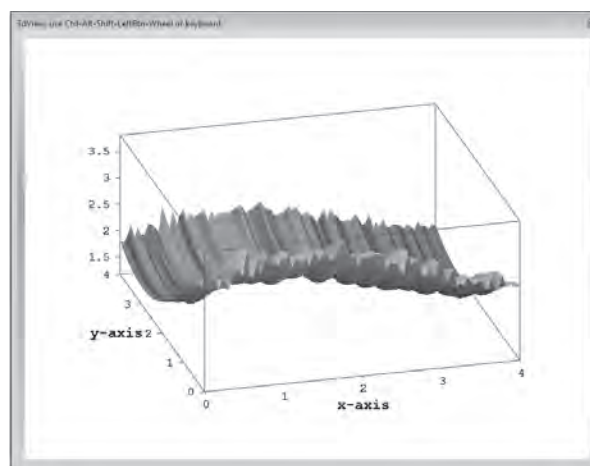


Рисунок 7. Трехмерное отображение спектрограммы

движение ВКО, а также работу радиолокатора по обнаружению и сопровождению ВКО в зоне обзора радиолокатора. Результаты работы всех экземпляров данной программы передаются по локальной сети в программу irRKP1.

Программа irRKP1 обобщает полученные данные по ВКО со всех имитаторов РЛС в зоне контроля регионального командного пункта, проводит селекцию, исключающую дублирование информации, а также по командам оператора изменяет характеристики отображаемой информации.

Программа irRKP2 позволяет детализировать обзорную информацию по части ВКО в зоне контроля регионального командного пункта – в частности, визуализировать параметры движения ВКО.

Структура связей программ комплекса имитации процесса многоуровневого анализа радиолокационной обстановки представлена на рис. 8.

Все три типа программ, входящих в программный комплекс, имеют схожую логическую структуру, отвечающую функциональным требованиям. Указанный факт позволил использовать в ряде случаев унифицированные решения, что повысило надежность работы комплекса в целом.

Можно выделить следующие элементы логической структуры программ:

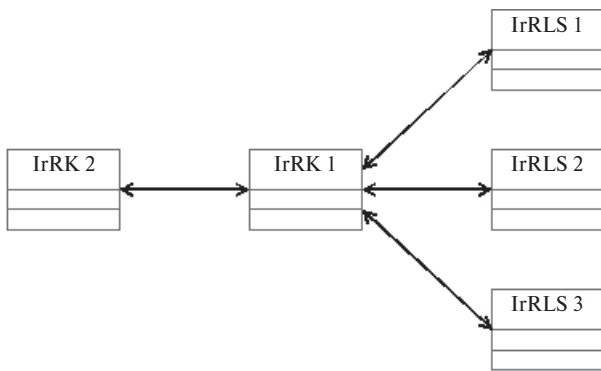


Рисунок 8. Структура связей программ комплекса

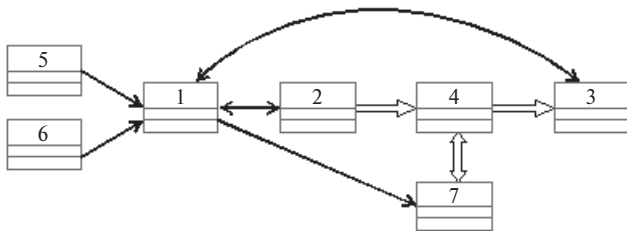


Рисунок 9. Логическая структура управляющих и информационных связей программы irRKP1

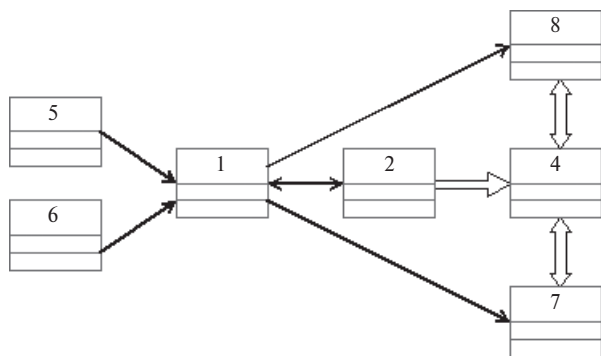


Рисунок 10. Логическая структура управляющих и информационных связей программы irRKP2

- Подсистема диспетчеризации (1), обеспечивающая работу всех остальных подсистем в многопоточном режиме псевдореального времени.
- Подсистемы приема (2) и передачи (3) информации между компьютерами.
- Подсистема обработки, накопления и обновления данных о ВКО (4).
- Подсистемы изменения режима работы программы по командам оператора (системные прерывания обработки нажатия клавиш клавиатуры (5), системные прерывания обработки нажатия клавиш мыши (6)).
- Подсистемы отображения результатов (отображение графической информации (7), изменение данных таблицы (8)).

Программа имитатора работы РЛС также содержит подсистему интерпретации входных данных (9) и подсистему имитации движения ВКО (10).

На рис. 9, 10 и 11 представлены структурные схемы программ комплекса на уровне подсистем. Тонкими линиями представлены управляющие связи, а широкие стрелки отражают потоки данных.

Приведенные рисунки позволяют рассматривать программный комплекс как структуру, управляемую потоком данных.

Программный комплекс имитации процесса многоуровневого анализа радиолокационной обстановки включает следующие технические средства:

- Коммутатор экранов одноплатных ЭВМ имитационного комплекса.
- Три одноплатных ЭВМ имитационного комплекса.
- Коммутатор сети 1 Гбит/с.
- Платформу с двумя ЭВМ.
- Кабель связи коммутатора сети имитационного комплекса и платформы.

На компьютерах имитационного комплекса работают одинаковые экземпляры программы irRLS

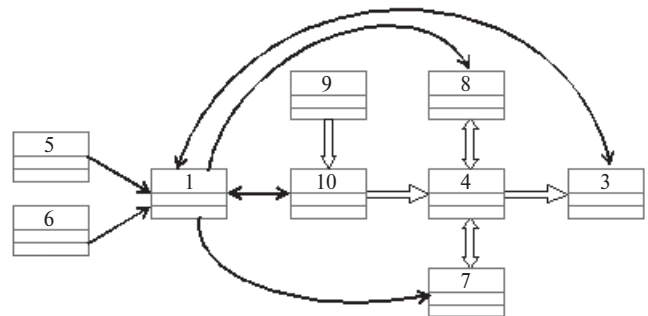


Рисунок 11. Логическая структура управляющих и информационных связей программы irRLS

(имитатор работы РЛС). Аргументы запуска программы указываются в текстовом файле vko.txt. При запуске программ – имитаторов работы РЛС каждая из них читает свой файл данных vko.txt. Указанные файлы содержат данные о параметрах движения одинаковых наборов воздушно-космических объектов (ВКО) и РЛС. Каждый из файлов содержит уникальную информацию о задействованной РЛС или носителе БРЛС, а также радиус обзора задействованной РЛС или БРЛС (предполагается, что зона обзора – круг). Также указывается начальное число нумерации объектов, которые сопровождает данная РЛС. Для БРЛС указывается тип носителя и имеется возможность указать траекторию носителя. Указанный файл также может содержать одинаковую для всех РЛС информацию о количестве объектов различных классов, маршрутах движения и параметрах движения объектов на маршруте. В качестве ВКО могут быть заданы: баллистическая ракета (БР); крылатая ракета (КР); самолет; вертолет; беспилотный летательный аппарат (БпЛА); ложная цель (ЛЦ); неопознанный летающий объект (НЛО). В том же файле задаются положение ВКО и параметры его движения в момент начала этапа моделирования: широта, долгота, высота, скорость ВКО, радиус (дальность обзора действующей РЛС в километрах), а также дополнительные параметры движения: курс, ускорение, подъем (ускорение объекта по вертикали) и время (продолжительность этапа в секундах, в течение которого объект должен сохранять заданные параметры движения).

Программа общего обзора – irRKP1 (имитатор работы регионального командного пункта № 1) объединяет и отображает данные, поступившие от программ имитации работы РЛС. Программа позволяет оператору переключаться между объектами, при

этом выделенный объект отображается в виде пиктограммы с кратковременным отображением трассы движения. Также оператор имеет возможность управлять отображением и передачей в программу irRKP2 (имитатор работы регионального командного пункта № 2) данных об объектах различных классов: БР, КР, самолетов, вертолетов, БпЛА, ЛЦ, НЛО.

Программа детализации обзора имитатора работы регионального командного пункта – irRKP2 – получает и отображает данные, поступившие от имитатора работы регионального командного пункта № 1. В данной программе оператор имеет возможность переключения масштаба с большой карты на подробную и наблюдения движения объектов на карте меньшего масштаба.

Выходные результаты работы программ отображаются на экранах мониторов в графической и табличной формах.

На рис. 12 демонстрируется экран программы имитации работы РЛС (irRLS1), отображающий топоцентрические координаты ВКО, попадающих в зону видимости:

- номер ВКО, присвоенный имитатором РЛС;
- азимут (Аз) ВКО в градусах;
- дальность (Д) до ВКО в км;
- высота (В) ВКО в км;
- курс (К) ВКО в градусах от направления на север;
- скорость (Ск) ВКО в км/час;
- класс ВКО;
- угол места (Ум) ВКО в градусах.

ВКО, попавшие в зону обзора в момент запуска программы, выделяются цветом.

Программа общего обзора имитатора работы регионального командного пункта (irRKP1)

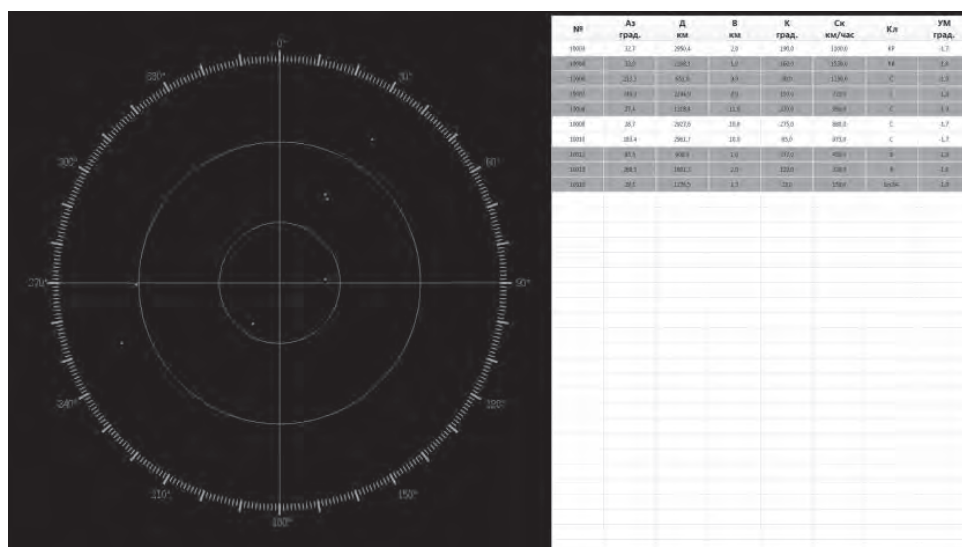


Рисунок 12. Экран программы имитации работы РЛС (irRLS1)



Рисунок 13. Экран программы общего обзора имитатора работы регионального командного пункта (irRKP1)

отображает положение ВКО на карте в проекции Меркатора (рис. 13). Невыделенные объекты отображаются в виде круга с цветом, соответствующим классу объекта. РЛС, при необходимости, отображается в виде звездочки.

Программа детализации обзора имитатора работы регионального командного пункта (irRKP2) получает и отображает данные, поступившие от программы общего обзора имитатора работы регионального командного пункта (irRKP1). В таблице расшифровываются использованные обозначения и пиктограммы.

На рис. 14 можно видеть, что выделенный ВКО отображается на карте в виде пиктограммы с трассой движения, соответствующая ему строка в табличной форме (на рис. 14 показана справа) выделяется и становится верхней строкой таблицы. В табличной форме также содержится информация

о номере и классе ВКО, широте и долготе, высоте, курсе и скорости ВКО.

#### Заключение

Разработанная в рамках ОКР «Поток» МВП позволяет пользователю создавать проблемно-ориентированные конфигурации вычислительного комплекса с возможностью масштабирования вычислительных ресурсов и, в случае необходимости, с минимальными затратами перенастраивать платформу на решение других задач.

Применение МВП не ограничивается только решением представленных в статье задач. Созданная МВП может применяться в вычислительных системах, где происходит прием и обработка больших потоков информации в реальном масштабе времени, на основании анализа которых принимаются системные решения, – например, в системах

Таблица. Условные обозначения отображаемых объектов

| Объект                       | Пиктограмма | Цвет                         | Обозначение в таблице |
|------------------------------|-------------|------------------------------|-----------------------|
| Баллистическая ракета        |             | Красный                      | БР                    |
| Крылатая ракета              |             | Розовый                      | КР                    |
| Самолет                      |             | Синий                        | С                     |
| Вертолет                     |             | Зеленый                      | В                     |
| Беспилотный ЛА               |             | Белый                        | БПЛА                  |
| Ложная цель                  |             | Серый                        | ЛЦ                    |
| Неопознанный летающий объект |             | Темно-серый                  | НЛО                   |
| РЛС                          |             | Бордовый                     | –                     |
| БРЛС                         |             | Определяется цветом носителя | –                     |





For citation: Baranov L.D., Lobanov V.N., Cheldiev M.I. Use of multiprocessor computing platform with heterogeneous architecture for solving the problems of hydroacoustics and radiolocation. *Voprosy radioelektroniki*, 2018, no. 5, pp. 7–16. DOI 10.21778/2218-5453-2018-5-7-16

L.D. Baranov, V.N. Lobanov, M.I. Cheldiev

## USE OF MULTIPROCESSOR COMPUTING PLATFORM WITH HETEROGENEOUS ARCHITECTURE FOR SOLVING THE PROBLEMS OF HYDROACOUSTICS AND RADIOLOCATION

One of the main directions to increasing efficiency of computing systems related with making of heterogeneous platform which allow more effectively to use computing resources of conventional processors, graphics processing units and coprocessors based on FPGA for performance of massively-parallel computing oriented tasks. The creation of task-oriented solutions, allowing the user to configure computing technique for solving specific application tasks and giving a chance to quickly and with a low cost to reconfigure the system to another type of task is an actual problem. The domestic computing platform that can simultaneously use modules with different architectures in different configurations to solve a common problem is described in the article. The description and results of the simulation software aimed at solving problems in the field of hydroacoustics and radiolocation in order to implement the joint interaction of computing resources of different architecture and to assess the prospects of further application of the platform in resource-intensive applications are presented in the article.

**Keywords:** multiprocessor computing platform, heterogeneous architecture, hydroacoustics, radiolocation.

### REFERENCES

1. Sorokin A.P. Methods of digital image processing for implementation in parallel-conveyor data processing systems in the heterogeneous computing environment. *Radiopromyshlennost*, 2017, no. 4, pp. 89–94 (In Russian).
2. Ivanov M.I., Sorokin S.A. Image processing in the vision system using high-performance computer platform. *Nauchnye vedomosti BelGU*, 2017, iss. 2, pp. 153–160 (In Russian).
3. Khachumov V.M., Fralenko V.P., Chen Guo Xiang, Zhang Guo Liang. [Construction perspectives of the remote sensing data high-performance processing system]. *Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya: elektronny nauchny zhurnal*, 2015, vol. 6, no. 1 (23), pp. 121–133 (In Russian). Available at: [http://psta.psisras.ru/read/psta2015\\_1\\_121-133.pdf](http://psta.psisras.ru/read/psta2015_1_121-133.pdf) (accessed 12.03.2018)
4. Chudinov S.M., Malikov S.N. [Unified electronic modules – universal tool for high-level resources integration for the purposes of scientific and engineering missions]. *Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya: elektronny nauchny zhurnal*, 2014, vol. 5, no. 1 (19), pp. 75–90 (In Russian). Available at: [http://psta.psisras.ru/read/psta2014\\_1\\_75-90.pdf](http://psta.psisras.ru/read/psta2014_1_75-90.pdf) (accessed 12.03.2018)
5. Baranov L.D., Belonogov A.D., Lobanov V.N., Cheldiev M.I. Testing software for multiprocessor computing platform with heterogeneous architecture. *Voprosy radioelektroniki*, 2017, no 2, pp. 86–92 (In Russian).

### AUTHORS

**Baranov Lev**, PhD, general director, M. A. Kartsev Scientific and Research Institute of Computing Systems, 108, Profsoyuznaya ulitsa, Moscow, 117437, Russian Federation, tel.: +7 (495) 330-09-56, e-mail: baranov@niivk.ru.

**Lobanov Vasiliy**, PhD, head specialist, M. A. Kartsev Scientific and Research Institute of Computing Systems, 108, Profsoyuznaya ulitsa, Moscow, 117437, Russian Federation, tel.: +7 (495) 330-07-65, e-mail: lobanov\_vn@niivk.ru.

**Cheldiev Mark**, PhD, deputy technical director, M. A. Kartsev Scientific and Research Institute of Computing Systems, 108, Profsoyuznaya ulitsa, Moscow, 117437, Russian Federation, tel.: +7 (495) 330-09-92, e-mail: mich@niivk.ru.