

Следует отметить, что регулирование скорости рольгангов с помощью интеллектуального модуля не повлияет на производительность стана, так как работа УКО происходит изолированно от других этапов производства проката.

Результаты работы модуля управления могут быть использованы оператором установки в режиме поддержки принятия решения при управлении процессом охлаждения. При этом применение метода "box-counting", инвариантного к виду зависимости параметров, автоматизирует процесс выбора значимых факторов модели.

Литература

1. Айвазян, С.А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / [С.А. Айвазян и др.]. – М., 1989.
2. Богачев, Д.В. Оптимизация нейро-нечеткой модели управления технологическими процессами в металлургии / Д.В. Богачев, Е.В. Ершов, И.А. Варфоломеев // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2013. – № 1. – Т. 2. – С. 10 – 14.
3. Дубров, А.М. Многомерные статистические методы и основы эконометрики / А.М. Дубров, В.С. Мхитарян, Л.И. Трошин. – М., 2003.
4. Ежов, А.А. Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе / А.А. Ежов, С.А. Шумский. – М., 1998.

5. Липунов, Ю.И. Разработка систем регулируемого охлаждения и технологий термоупрочнения / Ю.И. Липунов, Г.Г. Траянов, К.Ю. Эйсмонт // Сталь. – 2010. – № 3. – С. 96 – 99.

6. Морозов, Ю.Д. Стали для труб магистральных трубопроводов: состояние и тенденции развития / Ю.Д. Морозов, Л.И. Эфрон // Металлург. – 2006. – № 5. – С. 53 – 57.

7. Минаев, А.А. Совмещенные металлургические процессы / А.А. Минаев. – Донецк, 2008.

8. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. – М., 2013.

9. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М., 2006.

10. Снитюк, В.Е. Прогнозирование. Модели, методы, алгоритмы / В.Е. Снитюк. – К., 2008.

11. Brown, M. High dimensional neurofuzzy systems: overcoming the curse of dimensionality / M. Brown, K.M. Bossley, D.J. Mills, C.J. Harris // Proceedings of the International Conference. FUZZ-IEEE/IFES'95. – Yokohama, Japan, 1995. – P. 2139 – 2146.

12. Chiu, S. An Efficient Method for Extracting Fuzzy Classification Rules from High Dimensional Data / S. Chiu // Advanced Computational Intelligence. – 1997. – V. 1. – № 1.

13. Lin, C.-T. Neural-network-based fuzzy logic control and decision system / C.-T. Lin, G.C.S. Lee // IEEE Transactions on Computers. – 1991. – December. – V. 40. – № 12. – P. 1320 – 1336.

УДК 629.73.02; 535.643

М.О. Костишин, И.О. Жаринов, О.О. Жаринов, А.В. Богданов

ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ ОБНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ВИДЕОПОТОКЕ ИНДИКАЦИИ БОРТОВЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ АВИОНИКИ

Рассматривается задача оценивания частоты обновления информации в видеопотоке индикации геоинформационных данных в авиационном приборостроении. Приводятся функциональные схемы и описание принципов организации информационного обмена на борту летательного аппарата между многофункциональным цветным индикатором и бортовой системой картографической информации. Приводятся результаты экспериментов по оценке частоты обновления информации при индикации цифровой карты местности в режимах: двумерный, двумерный (картинка в картинке), трехмерный.

Геоинформационные данные, индикация, авионики, оценка частоты.

The paper considers the problem of estimating the refresh rate in the video display of geospatial data in the aviation instrument. The authors present the function chart and the description of the principles of organization of information exchange on the aircraft board between multifunction color display and on-board system of cartographic information. The results of experiments to evaluate the refresh rate when displaying a digital terrain map modes: two-dimensional, two-dimensional (picture in picture), three-dimensional are given.

Geoinformation system, indication, avionics, frequency estimate.

Введение. Одним из основных направлений развития современного авиационного приборостроения является внедрение на борт пилотируемых летательных аппаратов (ЛА) технических средств формирования и отображения геоинформационных данных. Геоинформационные данные представляют собой цифровой массив картографической информации, представленный в векторном или растровом виде [1].

Средством формирования видеопотока изображения геоинформационных данных является бортовая система картографической информации (БСКИ), а средством индикации цифровой карты является многофункциональный цветной индикатор (МФЦИ), выполненный на базе плоской жидкокристаллической (ЖК) панели [2], [5], [6]. Информационное взаимодействие между МФЦИ и БСКИ осуществля-

ется по аналоговому телевизионному RGB-интерфейсу или по цифровому оптическому каналу Fiber Channel (стандарт ARINC-818). Основной проблемой сопряжения БСКИ и МФЦИ являются различия в технических принципах построения графических модулей [3], [4], отвечающих за синтез и прием видеопотока, в связи с чем необходимо использовать унифицированные проектные решения в обеих системах. Основной проблемой эксплуатации таких систем является низкая частота обновления информации в видеопотоке индикации геоинформационных данных [11], в связи с чем исследования способов повышения динамических характеристик индикации карты местности являются актуальной задачей современного авиационного приборостроения.

1. Организация информационного взаимодействия между МФЦИ и БСКИ. Схема информационного взаимодействия БСКИ и МФЦИ приведена на рис. 1. В состав БСКИ входят [5]: модуль массовой памяти (ММП), модуль ввода – вывода (МВВ), модуль напряжений (МН), модуль вычислительный (МВ) и модуль графический (МГ). Информационный обмен в изделии осуществляется по межмодульному интерфейсу SpaceWire [4], [6]. В состав МФЦИ входят [2]: ММП, МВВ, МГ, МН, МВ и ЖК-экран с кнопочным наборным полем для управления режимами работы изделия на борту ЛА. Информационный обмен в изделии также осуществляется по межмодульному интерфейсу SpaceWire.

Взаимодействие между БСКИ и МФЦИ осуществляется модулями МГ по RGB-интерфейсу (пунктирная линия на рис. 1) или по Fiber Channel (сплошная линия на рис. 1). В результате информационного обмена на экране МФЦИ формируется индикационный кадр, содержащий геоинформационные данные и пилотажно-навигационную информацию. На рис. 1 представлены функциональные схемы бортовой аппаратуры, выполненной в классе структур интегрированной модульной авионики [1], [7].

2. Внутренняя структура графических модулей в БСКИ и МФЦИ. Внутренняя структура МГ из состава МФЦИ приведена на рис. 2а. В состав МГ входят:

- два вычислителя $CPU_{1(2)}$, выполненных на базе центрального процессора (CPU – Central Processor Unit), со своими постоянным (ПЗУ₁₍₂₎) и оперативным (ОЗУ₁₍₂₎) запоминающими устройствами;
- программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС);
- цифроаналоговый преобразователь (видео-ЦАП), формирующий аналоговый телевизионный сигнал в формате RGB на систему регистрации;
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП) сигнала RGB;
- набор преобразователей «RGB в FC» – преобразователи цифрового кода RGB, формируемого ПЛИС, в оптический сигнал Fiber Channel;
- передатчик (ППД), упаковывающий цифровой код RGB, формируемый ПЛИС, в ЖК-интерфейс LVDS (Low Voltage Digital Signal);
- преобразователь «FC в RGB» — преобразователь оптического интерфейса в параллельный цифровой интерфейс RGB.

Внутренняя структура МГ из состава БСКИ приведена на рис. 2б. В состав МГ входят:

- два вычислителя $CPU_{1(2)}$, выполненных на базе центрального процессора, со своими постоянным (ПЗУ₁₍₂₎) и оперативным (ОЗУ₁₍₂₎) запоминающими устройствами;
- программируемые логические интегральные схемы;
- цифроаналоговый преобразователь (видео-ЦАП), формирующий аналоговый телевизионный сигнал в формате RGB (изображение карты местности, передаваемое по аналоговому сигналу);
- преобразователь «RGB в FC» — преобразователь цифрового кода RGB, формируемого ПЛИС, в оптический сигнал Fiber Channel (изображение карты местности, передаваемое по цифровому оптическому сигналу);
- три банка элементов ОЗУ, в которых в БСКИ формируется индикационный кадр геоинформационных данных.

МГ в составе МФЦИ решает следующие задачи:

- прием, преобразование и выдачу на ЖК-экран графической информации по LVDS-интерфейсу;

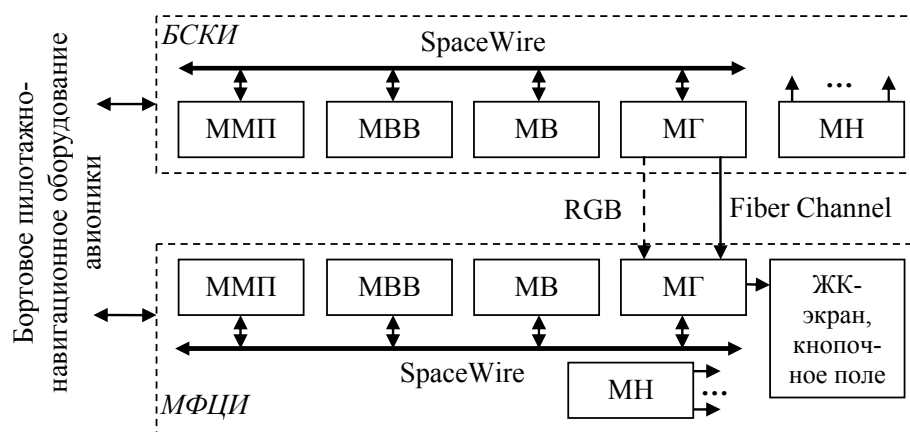


Рис. 1. Схема информационного взаимодействия МФЦИ и БСКИ

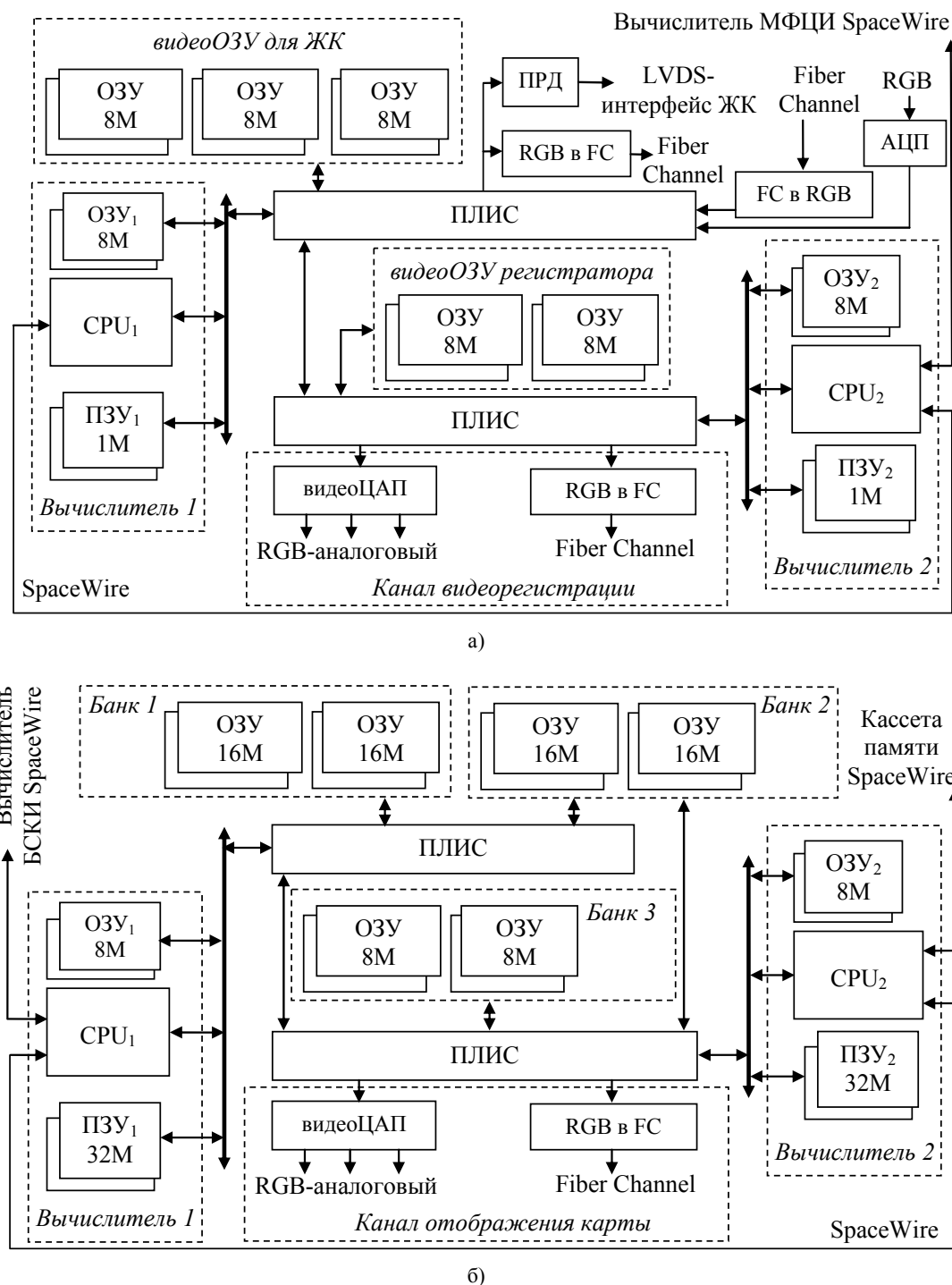


Рис. 2. Функциональные схемы МГ из состава МФЦИ (а) и из состава БСКИ (б)

- прием, преобразование и выдачу на ЖК-экран телевизионного сигнала, поступающего на МГ от БСКИ в формате RGB или Fiber Channel;
- формирования и выдачи на внешнюю систему видеорегистрации телевизионного сигнала в формате RGB или Fiber Channel;
- приема и выдачи от внутренних модулей изделия информации по межмодульному интерфейсу SpaceWire;
- приема и выдачи в вычислитель МФЦИ по межмодульному интерфейсу SpaceWire электрических сигналов обработки кнопочного поля.

МГ в составе БСКИ решает следующие задачи:

- формирования изображения карты или рельефа местности из информации, получаемой по интерфейсу SpaceWire от внешнего устройства (кассеты) памяти, выполненного на базе модуля ММП;
- формирования графического изображения из информации, приходящей в МГ от других модулей изделия по межмодульному интерфейсу SpaceWire (пилотажно-навигационная информация) для реализации режима совмещения индикационных кадров.

3. Принцип работы МГ в БСКИ и МФЦИ.
Принцип работы МГ из состава БСКИ следующий.

МГ получает от МВ поступающие через MBV пилотажно-навигационные данные, содержащие текущие координаты местоположения ЛА в пространстве [6]. Эти данные преобразовываются в вычислителе 1 и передаются по интерфейсу SpaceWire в вычислитель 2 для формирования управляющих сигналов в адресном пространстве модуля ММП, содержащем массив геоинформационных данных в зоне полетов ЛА. В ММП используется режим косвенной адресации ячеек памяти, т.е. координаты местоположения ЛА определяют адрес сектора в таблице секторов ПЗУ, содержащего требуемый к индикации цифровой массив карты.

После передачи в вычислитель 2 искомого массива из ММП средствами вычислителя и графоускорителя, выполненного на базе ПЛИС и поддерживающего формирование графических примитивов на аппаратном уровне, в банках ОЗУ формируются индикационные кадры изображения карты местности. Через видеоЦАП либо через преобразователь «RGB в FC» индикационные кадры выдаются на МФЦИ по аналоговому телевизионному или цифровому оптическому интерфейсу соответственно.

Принцип работы МГ из состава МФЦИ следующий. МГ принимает видеопоток (аналоговый или цифровой оптический), преобразовывает его в электрический сигнал на аналого-цифровом преобразователе или средствами преобразователя «FC в RGB» для индикации на ЖК-экран. Индикация осуществляется через элементы видеоОЗУ для ЖК-экрана, используемом в режиме «запись/чтение/стирание» для каждой ячейки памяти.

Средствами вычислителя 1 и вычислителя 2 обеспечиваются необходимые расчеты в МФЦИ с пилотажно-навигационными данными, поступающими в изделие через MBV. Аппаратная поддержка построения в видеоОЗУ графических примитивов реализована на элементах ПЛИС. Следует отметить, что VESA-подобная система команд поддерживается как в МГ из состава МФЦИ, так и в МГ из состава БСКИ.

4. Описание экспериментальной установки для оценки частоты обновления информации в видеопотоке. За основу реализации графического контроллера был взят двухпроцессорный модуль, функциональная схема которого представлена на рис. 3.

В состав модуля мультипроцессора входят:

- цифровой процессор CPU₁ (Central Processor Unit);
- цифровой процессор CPU₂;
- контроллер памяти общего доступа (КПОД), реализованный на базе элементов программируемой логики и выполняющий функции графического контроллера;
- системный контроллер (СК), реализованный на базе элементов программируемой логики;
- постоянное запоминающее устройство ПЗУ₁₍₂₎ и оперативное запоминающее устройство ОЗУ₁₍₂₎ — собственное ПЗУ и ОЗУ для CPU₁, CPU₂;
- ОЗУ общего доступа (ОЗУОД).

Мультипроцессор представляет собой двухпроцессорную плату, реализованную на основе CPU типа 1892BM2T. В качестве видеоинтерфейса использовался цифровой оптический интерфейс.

5. Исследуемые задачи формирования и отображения геоинформационных данных авионики. Исследовались 4 задачи формирования и отображения геоинформационных данных в авионике:

1) формирование видеопотока двумерной (см. рис. 4а) динамически изменяющейся цифровой карты местности (ЦКМ) с выводом изображения на МФЦИ с разрешением ЖК-экрана 1024x768 пикселей на основе цифрового массива команд и данных, хранящегося в ПЗУ₁₍₂₎;

2) формирование единого видеопотока, состоящего из двух двумерных (см. рис. 4б) динамически изменяющихся изображений ЦКМ (суммарным разрешением ЖК-экрана 1024x1024 пикселей: 1024x650 и 374x374) в крупном и мелком масштабе (1:1 км и 1:4 км) на основе цифрового массива команд и данных, хранящегося в ПЗУ₁₍₂₎;

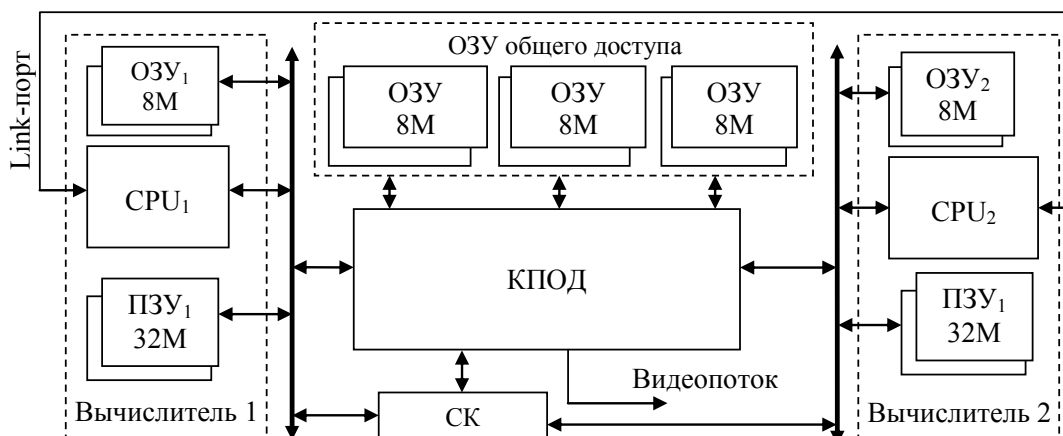


Рис. 3. Функциональная схема мультипроцессора

3) формирование видеопотока динамически изменяющейся трехмерной поверхности — имитация ЦКМ — с расчетом самой поверхности на основе математической формулы (не ЦКМ из ПЗУ), расчетом координат цветности пикселей для полученной поверхности и ее отображением;

4) формирование видеопотока отображения трехмерного рельефа цифровой карты местности (см. рис. 4в) на основе цифрового массива команд и данных (матрицы высот), хранящегося в ПЗУ₁₍₂₎.

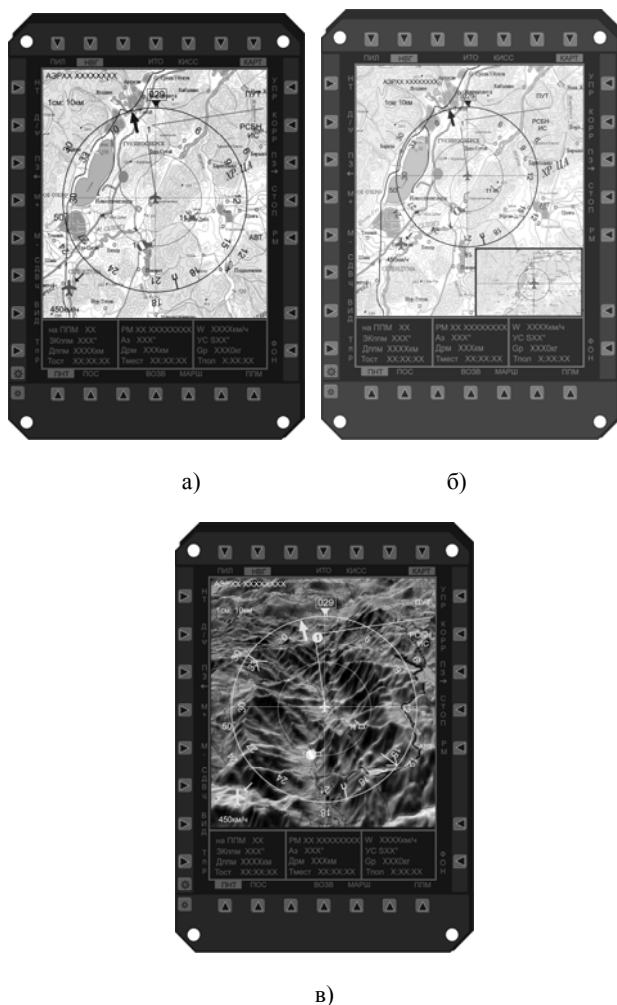


Рис. 4. Пример индикации ЦКМ на МФЦИ:
а) двумерное отображение ЦКМ, б) двумерное отображение ЦКМ «картинка в картинке» в разных масштабах, в) трехмерное отображение ЦКМ

6. Программная реализация режимов. В задаче 1 CPU₂ выполняет выборку данных из ПЗУ₂, имитирующего функцию кассеты памяти, содержащей ЦКМ, с установкой точки позиционирования объекта на основе данных о текущем местоположении летательного аппарата, получаемом либо от спутниковой навигационной системы, либо путем интегрирования данных инерциальной навигационной системы в режиме чистого счисления пути.

CPU₂ обеспечивает также преобразование данных и команд ЦКМ в данные, представляемые в абсолютных координатах ЖК-экрана с поддержкой функции поворота карты (в полярной системе коор-

динат). CPU₁ выполняет функцию формирования результирующего видеопотока изображения, цвет пикселей которого определяется результатами работы CPU₂.

Порядок работы мультипроцессора при этом следующий (выполняется параллельно):

- CPU₂ выполняет указанную функцию и передает результаты своей работы по последовательному Link-порту в CPU₁, который заносит их в собственное ОЗУ (в циклах прямого доступа к памяти);

- CPU₁ выполняет указанную функцию (совместно с функциями графического контроллера в КПОД), помещая результат своей работы в один из банков ОЗУ общего доступа;

- КПОД производит обнуление одного из банков ОЗУ и копирование содержимого ячеек памяти другого банка ОЗУ (с результатами работы на предыдущем цикле) в выходной буфер видеоОЗУ третьего банка ОЗУОД.

В задаче 2 происходит аналогичная обработка данных для двух отображаемых масштабов ЦКМ.

В задаче 3 CPU₂ не используется. Весь процесс формирования потока видеоизображения осуществляется вычислительными средствами CPU₁.

Порядок работы мультипроцессора при этом следующий (выполняется параллельно):

- CPU₁ выполняет указанную функцию (совместно с функциями графического контроллера в КПОД), помещая результат своей работы в один из банков ОЗУОД;

- КПОД производит обнуление одного из банков ОЗУ и копирование содержимого ячеек памяти другого банка ОЗУ (с результатами работы на предыдущем цикле) в выходной буфер видеоОЗУ третьего банка ОЗУОД.

В задаче 4 CPU₂ не используется. Весь процесс формирования потока видеоизображения осуществляется вычислительными средствами CPU₁, который производит выборку матрицы высот из ПЗУ₁, преобразование данных в векторный формат (к базовым графическим примитивам в виде треугольника и тетраэдра), рассчитывает цвет и оттенок отображаемых элементов ЦКМ и производит преобразование векторного изображения в пиксельный формат ЖК-экрана МФЦИ.

Порядок работы мультипроцессора при этом следующий (выполняется параллельно):

- CPU₁ выполняет указанную функцию (совместно с функциями графического контроллера в КПОД), помещая результат своей работы в один из банков ОЗУОД;

- КПОД производит обнуление одного из банков ОЗУ и копирование содержимого ячеек памяти другого ОЗУ (с результатами работы на предыдущем цикле) в выходной буфер видеоОЗУ третьего банка ОЗУОД.

7. Аппаратная поддержка режимов. Аппаратный режим 1: реализованы режимы поддержки графических функций: обнуление, копирование данных в видео буфер, пиксельного процессора с поддержкой графического примитива «Линия». CPU₁ при

этом рассчитывает координаты границ элементарных объектов и помещает их в ячейки памяти ОЗУ (в случае примитива «Линия») или в CPU₂ для программно реализуемых других примитивов (например, «Полигон» [8], [10]). CPU₁ так же производит отображение символьно-буквенной информации.

Аппаратный режим 2: реализованы режимы поддержки графических функций: обнуление, копирование в видео буфер; пиксельного процессора, с функцией построения горизонтальной линии между двумя точками, с реализованной функцией формирования оттенков цветов; процессора линий, поддерживающего процессы формирования примитива «Ломаная линия».

CPU₁ при этом производит минимальную предобработку элементарных объектов и помещает их в память процессора линий, из которого данные поступают на контроллер аппаратного формирования линий, и в зависимости от типа объекта, в банк ОЗУ (в случае исполнения примитива «Линия») или в пиксельный процессор для программно реализуемых других примитивов (например, «Полигон» [8], [10]). CPU₁ так же производит отображение символьно-буквенной информации.

8. Оценка производительности системы отображения геоинформационных данных на основе мультипроцессора. Оценка производительности системы отображения геоинформационных данных осуществлялась путем измерения частоты (в Гц) обновления информации в видеопотоке изображения ЦКМ (двумерной и трехмерной).

Для каждого CPU с одним ядром, внутренним ПЗУ 96кБ, с отсутствующим сопроцессором операций с плавающей точкой и с тактовой частотой 80МГц в задаче 1: при реализации аппаратного режима 1 – от 4 до 9 Гц в зависимости от наполнения ЦКМ и числа отображаемых слоев; при реализации аппаратного режима 2 – от 7,5 до 10 Гц в зависимости от наполнения ЦКМ и числа отображаемых слоев.

В задаче 2: при реализации аппаратного режима 1 – от 5 до 12 Гц в зависимости от наполнения ЦКМ и числа отображаемых слоев; при реализации аппаратного режима 2 – от 5 до 12 Гц в зависимости от наполнения ЦКМ и числа отображаемых слоев.

Отсутствие значительного увеличения быстродействия при увеличении доли аппаратной реализации объясняется введением функции расчета оттенков цветов, в результате чего при выводе каждой точки происходит операция «чтение – модификация» (расчет координат цветности оттенка прозрачности), т.е. количество процедур обмена с ОЗУ увеличивается примерно в 2 раза и выполняются дополнительные расчеты.

В задаче 3: при реализации аппаратного режима 1 – около 3,5 Гц; при реализации аппаратного режима 1 – около 5,9 Гц.

В задаче 4: при реализации аппаратного режима 1 – около 0,29 Гц; при реализации аппаратного режима 1 – около 0,36 Гц.

Заключение. Представленные на рис. 2 проектные решения и используемые в обеих схемах МГ элементы и узлы обладают показателями унификации и стандартизации на уровне не ниже 70 %, что значительно облегчает организацию информационного взаимодействия между изделиями в едином навигационном комплексе ЛА.

Электрическая совместимость интерфейсов, сопряженность форматов хранения и передачи данных, общность системы команд, используемых при программировании, несомненно, способствуют ускорению процесса проектирования и отладки навигационных систем, позволяют с единых методических позиций разрабатывать семейства изделий, обладающих высокой степенью заимствования готовых результатов, полученных на предыдущих этапах проектирования или при проектировании изделий-аналогов.

В представленной в эксперименте программно-аппаратной реализации имеются следующие потоки информации: ОЗУ (ПЗУ) ↔ CPU₁₍₂₎; ОЗУ ↔ Внутренняя память CPU; КПОД ↔ Внутренняя память CPU; КПОД ↔ банк памяти ОЗУОД; КПОД ↔ Внутренняя память CPU; CPU₁ ↔ CPU₂. Так как обмены в таком устройстве происходят параллельно, имеют место конфликты на шине данных (как внутренней, так и внешней), и, как следствие, происходит замедление одного процесса передачи информации до освобождения шины другим процессом.

В перспективном процессоре MC428 (тактовая частота 333МГц) имеется уже две среды передачи данных внутри процессора: (CPU Data Bus) и коммутатор SWITCH. Коммутатор обеспечивает передачу данных между любым исполнительным устройством (режим Slave) и любым задатчиком (режим Master). При этом процесс передачи данных между любыми парами Slave ↔ Master выполняется параллельно и без конфликтов. Наличие коммутатора позволит сократить потери времени на пересылку данных примерно на 80 % (при одинаковой тактовой частоте). При этом надо учитывать, что увеличивается также тактовая частота работы CPU (примерно в 4 раза), что в сумме приведет к значительному увеличению быстродействия работы мультипроцессора. Также целесообразно рассмотреть возможность применения в мультипроцессоре более быстродействующей памяти типа SDRAM вместо синхронной SRAM.

Литература

1. Гатчин, Ю.А. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики / Ю.А. Гатчин, И.О. Жаринов. – М., 2010.
2. Жаринов, И.О. Бортовые средства отображения информации на плоских жидкокристаллических панелях: Учеб. пособие / И.О. Жаринов, О.О. Жаринов // Информационно-управляющие системы. – СПб., 2005.
3. Книга, Е.В. Принципы организации перспективных бортовых цифровых вычислительных систем в авионике / [Е.В. Книга и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 2. – С. 163 – 165.

4. Книга, Е.В. Принципы построения комбинированной топологии сети для перспективных бортовых вычислительных систем / Е.В. Книга, И.О. Жаринов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 6. – С. 92 – 98.
5. Копорский, Н.С. Система бортовой картографической информации пилотируемых летательных аппаратов. Основные принципы построения / Н.С. Копорский, Б.В. Видин, И.О. Жаринов // Сборник трудов X Международной конференции «Теория и технология программирования и защиты информации». – СПб., 2006. – С. 18 – 23.
6. Костишин, М.О. Оценка точности визуализации местоположения объекта в геоинформационных системах и системах индикации навигационных комплексов пилотируемых летательных аппаратов / [М.О. Костишин и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 1. – С. 130 – 137.
7. Парамонов, П.П. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении / П.П. Парамонов, И.О. Жаринов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 2 (84). – С. 1 – 17.

8. Парамонов, П.П. Принцип формирования и отображения массива геоинформационных данных на экран средств бортовой индикации / [П.П. Парамонов и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 6. – С. 136 – 142.
9. Парамонов, П.П. Реализация структуры данных, используемых при формировании индикационного кадра в бортовых системах картографической информации / [П.П. Парамонов и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 2 (84). – С. 165 – 167.
10. Парамонов, П.П. Структурный анализ и синтез графических изображений на экранах современных средств бортовой индикации на плоских жидкокристаллических панелях / [П.П. Парамонов и др.] // Авиакосмическое приборостроение. – 2004. – № 5. – С. 50 – 57.
11. Парамонов, П.П. Теория и практика статистического анализа картографических изображений в системах навигации пилотируемых летательных аппаратов / П.П. Парамонов, Ю.А. Ильченко, И.О. Жаринов // Датчики и системы. – 2001. – № 8. – С. 15 – 19.

УДК 681.5.015:66.021.4:678.074

С.Ю. Осипов, Ю.Р. Осипов, О.А. Панфилова, И.А. Новожилов

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕПЛООБМЕННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕНОСА

В статье представлено решение краевой задачи теплопереноса при термообработке в объекте произвольной формы методом конечных элементов. Исследована возможность оптимизации тепловых режимов работы вулканизационного оборудования путем создания системы управления регулятора температуры. Разработана математическая модель объекта с распределенными параметрами для прогнозирования тепловых процессов при вулканизации гуммированных изделий.

Метод конечных элементов, температура, тепловой режим, математическая модель, термообработка, функционал, объект с распределенными параметрами, потери производства, автоматизированная система управления.

The article presents the solution of boundary value problem of heat transfer in heat in the object of arbitrary form by the finite element method. The possibility of optimization of thermal modes vulcanizing equipment by creating a control system of temperature control is investigated. The mathematical model of the object with distributed parameters for predicting thermal processes at vulcanization of rubber products is developed.

Finite element method, temperature, thermal regime, mathematical model, heat treatment, functional, object with distributed parameters, loss of production, automated control system.

Для разработки и последующей оптимизации тепловых режимов вулканизации необходимо изучить процесс теплопереноса, распределения температуры по толщине изделия при горячем креплении эластомера к металлу. С этой целью рассмотрим гуммированных объект произвольной формы в двумерной системе координат с площадью S и поверхностью L [3] – [5]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + q_v = 0 \quad (1)$$

с нулевыми начальными условиями:

$$T(x, y, 0) = 0, \quad (2)$$

при граничных условиях третьего рода:

$$\left[\lambda \frac{\partial T}{\partial n} + \alpha T \right]_L = q_s, \quad (3)$$

где λ – теплопроводность; T – температура; α – коэффициент теплоотдачи на границе; q_v , q_s – объ-