

В. И. СЫРЯМКИН, В. С. ШИДЛОВСКИЙ, Г. С. ГЛУШКОВ,
С. О. ЛУНЕВ, С. И. БУРМАНТОВ

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНО-ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Рассматриваются вопросы проектирования и применения интегрированных структурно-перестраиваемых корреляционно-экстремальных навигационных систем, синтезированных на основе структурно-перестраиваемых вычислительных сред.

Ключевые слова: изображение, навигационные системы, перестраиваемые структуры, корреляционно-экстремальные алгоритмы.

Интегрированные структурно-перестраиваемые корреляционно-экстремальные навигационные системы (ИСПКЭНС), принцип действия которых основан на анализе взаимно корреляционной функции (ВКФ) между текущим и эталонным изображениями (соответственно ТИ и ЭИ), широко используются для управления транспортными роботами, автоматизации судовождения и управления летательными аппаратами [см. лит.].

Задачей ИСПКЭНС является определение положения объекта на основе вычисления оценки

$$\left. \begin{aligned} \hat{v} &= \arg \operatorname{extr} R_i(F_1, F_2(v)), \quad i = \overline{1, 3}; \\ R_1 &= \int (F_1 - F_2(v)) dx dy; \\ R_2 &= \int F_1 \times F_2(v) dx dy; \\ R_3 &= \int (F_1 \times F_2(v))^3 dx dy, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где R_i — мера близости ТИ и ЭИ: R_1 — разностный корреляционный алгоритм (КА), R_2 — классический КА, R_3 — квадратический КА; F_1 — ТИ, $F_2(v)$ — ЭИ [см. лит.].

После получения необходимой информации происходит сопоставление текущих и эталонных изображений следующим образом:

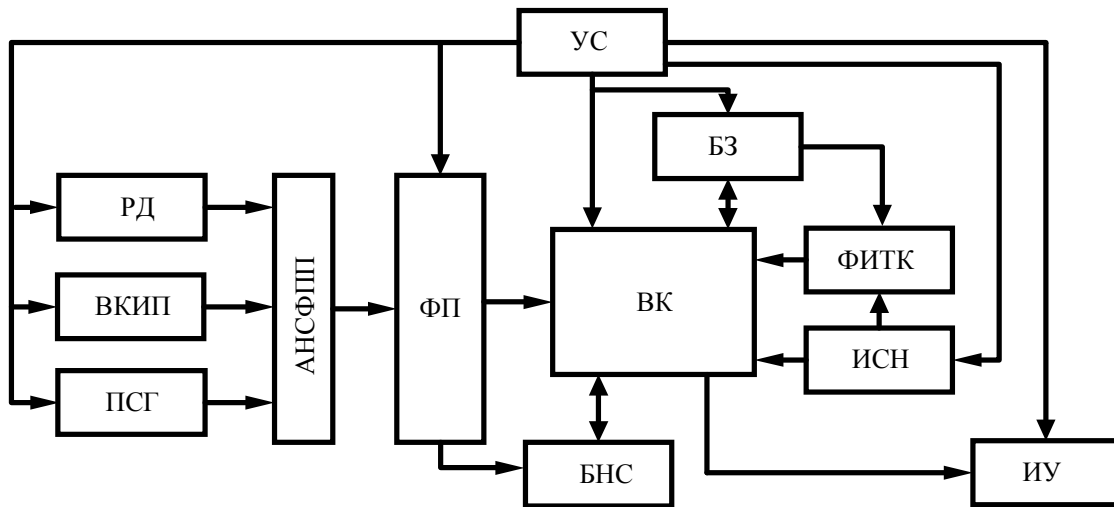
$$\left\{ \begin{array}{ll} M_{\text{ТИ}}^{\text{PЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{PЗ}}, & M_{\text{ТИ}}^{\text{ИЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{ИЗ}} \\ M_{\text{ТИ}}^{\text{TЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{TЗ}}, & M_{\text{ТИ}}^{\text{АЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{АЗ}} \\ M_{\text{ТИ}}^{\text{СЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{СЗ}}, & M_{\text{ТИ}}^{\text{ТПЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{ТПЗ}} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где $M^{\text{PЗ}}$, $M^{\text{ИЗ}}$, $M^{\text{TЗ}}$, $M^{\text{АЗ}}$, $M^{\text{СЗ}}$, $M^{\text{ТПЗ}}$ — соответственно матрицы информативных признаков (параметров) текущих изображений, формируемых в данный момент времени радиолокационным, инфракрасным, телевизионным, астрономическим, спутниковым и топографическим картографическим указателями истинного (ТИ) и заданного (ЭИ) курса. Эталонные матрицы могут формироваться в виде снимков (фотографий) и математических моделей территорий.

Обобщенный корреляционный алгоритм сравнения изображений в ИСПКЭНС содержит пять следующих этапов: формирование ТИ, предварительная обработка ТИ, сегментация и кодирование ТИ, формирование корреляционных функций и их анализ.

Достичь высокой производительности возможно благодаря параллельной обработке информации, осуществляемой с помощью многопроцессорных систем. Одним из типов многопроцессорных систем являются однородные вычислительные среды, представляющие собой матрицы, состоящие из одинаковых ячеек, т.е. процессорных элементов (перестраиваемых автоматов), соединенных регулярными связями. Наиболее важными преимуществами таких сред являются: возможность использования вычислительной мощности большого числа процессорных элементов, работающих параллельно; высокая регулярность межпроцессорных связей, которая облегчает разработку топологии многопроцессорных СБИС; слабая зависимость времени проектирования такой системы от числа процессорных элементов в ней; простота практически неограниченного модульного расширения системы; высокая надежность, обеспечиваемая за счет однотипности используемых в среде элементов, которые могут перестраиваться на решение требуемых задач в случае выхода из строя соседних элементов.

Вариант ИСПКЭНС, основанный на параллельных вычислениях и реализованный согласно выражениям (1) и (2), приведен на рисунке. Здесь даны следующие обозначения: РД — радиолокационный датчик, ВКИП — видеокамера с инфракрасной подсветкой, ПСГ — приемник сигналов ГЛОНАСС, АНСФПП — адаптивный нейросетевой фильтр подавления помех, ФП — функциональный преобразователь, УС — устройство синхронизации, БЗ — база знаний, содержащая эталонные изображения, ВК — вычислительный комплекс, БНС — блок настройки структуры вычислительного комплекса, ИУ — исполнительное устройство, ИСН — инерциальная система навигации, ФИТК — формирователь изображений по топологической карте.



Принципиальной особенностью предлагаемых вычислительных сред является повышенная технико-экономическая эффективность цифровой обработки сигналов, достигаемая с переходом на автоматный принцип обработки, включающий в себя достоинства программного и аппаратного подходов; при этом программная составляющая (алгоритмы обработки) реализуется в архитектуре вычислительных сред, а аппаратная — в параметрах и архитектуре перестраиваемых автоматов [см. лит.].

Функциональная схема ИСПКЭНС содержит блок моделей, генерирующих эталонную информацию, блок вычисления (формирования) функционала сравнения (в частности, взаимно корреляционной функции) эталонной и текущей информации от датчиков, блок определения экстремума этого функционала. Общие принципы построения ИСПКЭНС могут быть применены для обработки текущей информации любой физической природы. В настоящее время на основе таких принципов создаются системы обработки данных от измерителей ха-

рактических поверхностных и пространственных физических полей Земли, излучений небесных тел, которые могут быть представлены в виде карты звездного неба или искусственных радиополей.

Скорость обработки предварительной информации с помощью структурно-перестраиваемых адаптивных алгоритмов на основе булевой алгебры в ИСПКЭНС является одной из важнейших ее характеристик, которая влияет на работу всей системы управления. Наибольшую производительность системы можно получить при аппаратной реализации алгоритма функционирования ИСПКЭНС в качестве специализированного логического устройства. Большинство таких устройств построено непосредственно по словесному описанию их работы без использования формализованных методов (автоматных таблиц, графов переходов и т.п.) и применяется лишь в некоторых наиболее сложных случаях, как правило, для построения отдельных подсистем и их минимизации.

Сложность описания при использовании упомянутых формализованных подходов определяется числом входов и состояний синтезируемого автомата и почти не зависит от сложности алгоритма и соответственно от сложности схемной реализации. Так, размер таблицы состояний автомата, имеющего n переменных и содержащего s триггеров, будет $2n \times 2s$, причем он одинаков как для самого простого, так и для самого сложного устройства.

Идеальным представляется случай, когда сложность описания алгоритма пропорциональна сложности его предстоящей реализации.

Высокая себестоимость разработки топологии интегральных схем диктует необходимость применения повторяющихся модульных структур, т.е. небольшого числа простых элементов разного типа. Задача состоит в определении набора элементарных ячеек многофункционального логического модуля, реализуемых наиболее эффективно и позволяющих наилучшим образом использовать потенциальные возможности технологии изготовления новых устройств.

На основании проведенных исследований было установлено, что настраиваемые логические модули для построения логических устройств исходя из специфики булевых формул, описывающих алгоритмы их функционирования, должны быть способны реализовать путем настройки произвольные функции n переменных, и лишь те из них, для которых булевы формулы неповторные или обладают малой повторностью переменных, что обеспечит построение модулей с малой элементной сложностью и малым числом внешних выходов.

При конструировании матричных реконфигурируемых вычислительных сред (РВС) необходимо преодолеть проблемы соединений и модульной организации РВС. Из многофункциональных логических модулей можно организовывать РВС таким образом, чтобы обеспечить выполнение различных видов обработки информации. Возможности и ограничения при организации соединений в РВС определяют быстродействие и оперативную гибкость данного устройства.

Представленные варианты технической реализации использованы в разработанной ИСПКЭНС. Для оценки общей работоспособности и определения точностных характеристик системы проводились испытания по двум методикам.

1. Объект двигался равномерно по прямолинейному, заранее размеченному участку местности. При этом фиксировались координаты, выдаваемые ИСПКЭНС, время выдачи и моменты прохождения контрольных точек.

2. Объект останавливался у каждой контрольной точки и с помощью ИСПКЭНС определялись смещения от точки ЭИ. Отметим, что при оценке точностных характеристик ИСПКЭНС по этой методике не учитываются ошибки, определяемые скоростью движения объекта.

Из таблицы следует, что среднее квадратическое отклонение (СКО) ошибок определения координат составляет 0,23—0,66 % от диапазона радиолокационной станции (РЛС).

Методика	Диапазон РЛС, миля	Среднее значение ошибки, м		СКО, м		Длина пути по кадру, м
		экспериментальное	теоретическое	нижняя граница	верхняя граница	
1	1	33	35	5,2	12,4	350
	3	56	57	14,3	33	750
	6	80	77	30	49,4	2500
	12	91	99	51,6	88	2600
2	1	2	0	6,2	14,8	350
	3	10	0	15,5	28,4	1500

Таким образом, в статье предложен оригинальный вариант ИСПКЭНС и приведены результаты ее экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

Сырямкин В. И., Выскуб В. Г., Шидловский В. С. Устройства и системы автоматического управления высокой точности. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2009. 308 с.

Сведения об авторах

- Владимир Иванович Сырямкин** — д-р техн. наук, профессор; Томский государственный университет, Межвузовский учебно-научно-производственный центр „Технологический менеджмент“ ТГУ; директор
- Виктор Станиславович Шидловский** — канд. техн. наук; Томский университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра электронных систем автоматизации и управления; доцент
- Глеб Сергеевич Глушков** — ОАО „Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов“, Томск; инженер-программист; E-mail: gvl@sibmail.com
- Сергей Олегович Лунев** — ОАО „Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов“, Томск; техник-программист; E-mail: camel89@mail.ru
- Сергей Игоревич Бурмантов** — ОАО „Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов“, Томск; техник-программист; E-mail: fregat007@sibmail.com

Рекомендована Юго-Западным государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.