

На начальной стадии разработки МВА рекомендуется использовать его статическую характеристику [3]. Окончательный вариант МВА рекомендуется синтезировать с учетом сил инерции и трения.

Список использованной литературы

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: учебник для вузов. – М.: Наука, главная редакция физико-математической литературы, 1988. – 640с.
2. Попов В.Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого 2000, №2, С. 25 - 29.
3. Попов В.Б. Формирование функциональной математической модели механизма вывешивания адаптера кормоуборочного комбайна «Полесье-3000» // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого 2010, №4, С. 37-44.
4. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов, Л, 1970. – 375с.
5. Попов В.Б. Дополнение формализованного описания механизма вывешивания адаптера кормоуборочного комбайна // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого 2015, №1, С. 3 – 10.

УДК 519.6+681.3.012

А.А. Тиунчик, к.ф.-м.н., доцент

*Белорусский государственный аграрный
технический университет, г. Минск, Республика Беларусь*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Реализация стратегии точного земледелия основана на управлении продуктивностью растений на основе оперативного анализа изменений агротехнических показателей и состояния растений. Информация о пространственных и временных изменениях агротехнических параметров дает возможность эффективно воздействовать на них, что способствует повышению урожайности и качества сельхозпродукции, минимизации затрат, улучшению экологической

обстановки. Таким образом, эффективность точного земледелия существенно зависит от скорости и точности нахождения этих параметров. [1]

В настоящее время наиболее успешным инструментом получения информации, необходимой для точного земледелия, является дистанционное зондирование Земли с использованием космических, пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов. При этом системы дистанционного зондирования должны отвечать следующим условиям [2]:

- оперативность сбора данных и их первичной обработки;
- высокое пространственное разрешение;
- достаточно высокая точность определения биофизических параметров состояния растений;
- возможность проведения не менее 5–6 сеансов получения информации в течение периода вегетации;
- возможность предоставления результатов в доступных пользователю форматах;
- приемлемая стоимость данных.

Космические аппараты позволяют получать снимки с высоты более 80–100 км. Такие снимки используются для изучения природных ресурсов и решения задач метеорологии. Однако снимки, получаемые с космических аппаратов, не всегда приемлемы для решения задач точного земледелия, так как эти снимки имеют недостаточное качество, обусловленное низким пространственным разрешением и негативным влиянием атмосферных явлений, в частности, облачностью. Кроме того, получение снимков с космических аппаратов не отвечает требованию оперативности.

Пилотируемые и беспилотные летательные аппараты позволяют получать снимки с высоты от сотен метров до 20 км. Преимущества съемки с летательных аппаратов перед космической съемкой состоят в том, что:

- съемка может быть выполнена вне зависимости от облачности;
- достигается оперативность получения данных после съемки;
- площадь, покрываемая снимками, задается пользователем индивидуально в зависимости от задач;

- разрешение снимков составляет 10-20 см.

Таким образом, наиболее перспективным направлением получения объективной информации, необходимой для решения задач точного земледелия, можно считать использование беспилотных летательных аппаратов совместно с космическим мониторингом [3].

Применение беспилотных летательных аппаратов, в свою очередь, имеет ряд преимуществ перед применением пилотной авиации. Беспилотники могут летать на малой высоте (до 30 м), на результативность их работы не влияет облачность, для их полетов не нужно получать специальное разрешение (коридор), они легки в эксплуатации.

Для применения беспилотных летательных аппаратов необходима разработка большого количества электронных средств автономной навигации, цифровой обработки сигналов, реализации алгоритмов распознавания образов и т.д. К электронным устройствам должны применяться требования надежности, долговечности, высокой скорости обработки данных, приемлемой стоимости. Всем этим требованиям отвечают устройства, проектируемые на базе FPGA (Field Programmable Gate Arrays).

Эффективное создание FPGA-процессоров может быть достигнуто за счет предварительной разработки формализованных вычислительных моделей, имеющих аналогичную архитектуру. Примерами таких моделей являются систолические процессоры [4-6].

Систолические процессоры – высокоэффективные специализированные многопроцессорные устройства, хорошо приспособленные для СБИС или FPGA реализации и использующие преимущества параллельной и конвейерной обработки информации.

Высокая эффективность систолических процессоров достигается за счет значительной степени соответствия между архитектурой процессора и структурой алгоритма, реализуемого на этом процессоре. Одним из наиболее эффективных способов обеспечить такое соответствие является представление реализуемых алгоритмов в форме графовых моделей [4-7], которые должны удовлетворять ряду ограничений, накладываемых архитектурой. Графовые модели можно рассматривать как специфические геометрические объекты, преобразуемые алгебраическими средствами; они могут быть ис-

пользованы и для представления, и для построения новых алгоритмов.

В настоящее время разработаны формализованные процедуры проектирования систолических процессоров. К основным этапам проектирования относятся: представление реализуемого алгоритма в специальном виде, построение графовой модели, отображение этой модели на вычислительную структуру.

Формализованное проектирование систолического устройства [7] основывается на построении графовой модели реализуемого алгоритма — графа зависимостей. Построение графа зависимостей основано на представлении исходного алгоритма однородными рекуррентными уравнениями

$$x_i(v) = F_i(x_1(v - \varphi_{x_1}), x_2(v - \varphi_{x_2}), \dots, x_p(v - \varphi_{x_p})), \quad (1)$$

$1 \leq i \leq p$, $p \in \mathbf{N}$, $v \in V \subset \mathbf{Z}^m$, где x_1, x_2, \dots, x_p — переменные алгоритма, v — m -мерный вектор (точка m -мерной целочисленной решетки \mathbf{Z}^m); F_i — функция p переменных x_1, x_2, \dots, x_p , а $\varphi_{x_1}, \varphi_{x_2}, \dots, \varphi_{x_p}$ — m -мерные векторы. Область V называется областью вычислений.

Алгоритм (1) может быть представлен графом зависимостей, вершины которого идентифицируются с точками $v \in V$, а дуги идентифицируются с векторами $\varphi_{x_1}, \varphi_{x_2}, \dots, \varphi_{x_p}$. Множество вершин графа совпадает с областью вычислений V . Множество дуг $E \subset V \times V$ характеризуется множеством векторов $\Phi = \{\varphi_{x_1}, \varphi_{x_2}, \dots, \varphi_{x_p}\}$. Вектор φ_{x_i} , соответствующий дуге для пересылки данного x_i из вершины v_1 в вершину v_2 , определяется координатами $\varphi_{x_i} = (v_2 - v_1)$. Если $(v - \varphi_{x_i}) \in V$, то вектор φ_{x_i} называется вектором зависимости. Если $(v - \varphi_{x_i}) \notin V$, то точка v называется точкой ввода; если $(v + \varphi_{x_i}) \notin V$, то точка v называется точкой вывода. Предполагается, что соответствующие векторы ввода или вывода φ_{x_i} не имеют длины и направления.

Предполагается, что ГЗ является строго направленным, т.е. существует такой целочисленный вектор τ , $\tau \in \mathbf{Z}^m$, который образует острые углы со всеми векторами зависимостей φ_{x_i} :

$$\langle \tau, \varphi_{x_i} \rangle > 0, \quad 1 \leq i \leq p,$$

где $\langle \cdot, \cdot \rangle$ обозначает скалярное произведение.

Пространственное отображение m -мерного графа зависимостей на одномерный или двумерный систолический процессор осуществляется линейным оператором $\Pi: \mathbf{Z}^m \rightarrow \mathbf{Z}^r$, $r=1$ или $r=2$. Под действием оператора Π множества вершин, размещенные в вершинах графа зависимостей, отображаются на процессорные элементы. Функционирование каждого процессорного элемента определяется множеством операций, приписанных отображаемым на этот процессорный элемент вершинам графа зависимостей.

Использование линейных операторов специального вида автоматически сохраняет исходную локальность векторов зависимости, что обеспечивает получение массивов с локальными межсоединениями. Таким образом, проектирование систолических процессоров (не имеющих глобальных межсоединений) предпочтительно осуществлять на основе ГЗ, представляющих собой отдельные подалгоритмы и имеющих только локальные дуги как внутри отдельных блоков, так и между этими блоками.

Необходимо отметить, что если ГЗ не ограничен или его размеры в направлениях, задаваемых некоторыми векторами ξ_1, ξ_2, \dots , неизвестны заранее (и могут даже определяться параметрами, генерируемыми в ходе реализации вычислительного процесса), то необходимо, чтобы подпространство, порожаемое векторами ξ_1, ξ_2, \dots , входило в ядро оператора Π . Такое отображение позволяет проектировать конечные систолические процессоры для реализации произвольного числа итерационных шагов алгоритма.

Существует ряд формализованных методик [8-10] построения и отображения графовых моделей для реализации алгоритмов, имеющих такие же особенности, как и алгоритмы цифровой обработки сигналов и распознавания образов.

Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящее время имеется достаточная научная база для разработки миниатюрных, надежных, высокоэффективных и недорогих электронных устройств для оснащения ими беспилотных летательных аппаратов, ориентированных на решение задач точного земледелия. Разработанная сквозная теория проектирования FPGA-процессоров на основе формализованной теории синтеза систолических процессоров позволяет быстро и надежно отображать вычислительные алгоритмы на миниатюрные многопроцессорные вычислительные устройства, применимые на беспилотных летательных аппаратах.

Список использованной литературы

1. Личман Г.И., Марченко Н.М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Геоматика. – 2011 – № 4. С. 89–93.
2. Barnes, E.M., Moran, M.S., Pinter, P.J. Jr and Clark, T.R. 1996. Multispectral remote sensing and sitespecific agriculture: examples of current technology and future possibilities. Published in Proc. Of 3rd Int. Conf. on Precision Agriculture, June 23-26, 1996, Minneapolis, Minnesota, ASA. P.843-854.
3. Cochran, R.D. Detecting Agricultural Trends and Evaluating Remote Sensing for Precision Agriculture. 4th International Conference on Precision Agriculture and Other Resources Management. The Center for Precision Agriculture. University of Minnesota. Abstract. 2000.
4. Воеводин В.В. Математические модели и методы в параллельных процессах. М.: Наука, 1986.
5. Kung S.-Y. VLSI Processor Arrays. Prentice-Hall Int., 1988.
6. Quinton P., Robert Y. Systolic algorithms and architectures. Prentice-Hall and Masson, 1989.
7. Kosianchouk V.V., Likhoded N.A., Sobolevskii P.I. // Synthesis of systolic architecture arrays. Мн., 1992. Препринт/Институт математики АНБ: № 6 (484).
8. Тиунчик А.А. О проектировании многоуровневых систолических процессоров // Доклады АНБ. - 1994. - Т. 38, № 4. С.16-18
9. Tiountchik A.A. Systolic Modular Exponentiation via Montgomery Algorithm // Electronics Letters. 1998. Vol. 34. N 9. P. 874-875.

10. Trichina E., Tiountchik A. Scalable algorithm for Montgomery multiplication and its implementation on the coarse-grain reconfigurable chip // Lecture Notes in Computer Science, N 2020. Springer-Verlag, 2001. P. 235-249.

УДК 631.3(075.8)

Сливинский Е.В., д.т.н., профессор, Радин С.Ю., к.т.н., доцент
*Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина,
г. Елец, РФ*

**РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА
КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ СПЛОШНОЙ ОБРАБОТКИ СТЕРНИ**

В настоящее время в мировой практике сельскохозяйственного производства широко используются различные по конструкции культиваторы, предназначенные для сплошной обработки стерни.

Известны конструкции культиваторов, предназначенных для сплошной обработки стерни [1]. Так, например, в работе [1] описан и показан культиватор КШН-5,6, предназначенный для сплошной обработки паров, предпосевного рыхления и подрезания сорняков. Такой культиватор состоит из рамы, на которой жестко закреплены стойки с рабочими органами. Несмотря на свою эффективность использования, такой культиватор обладает существенным недостатком, заключающимся в том, что стойки рабочих органов имеют постоянную изгибную жесткость и поэтому использовать его на производстве вышеуказанных работ можно только в тех случаях, когда они рассчитаны на изгиб, на обработку почвы, имеющей определенную твердость. Если твердость почвы будет выше чем та, на которую рассчитаны стойки рабочих органов, то работа культиватора на ней окажется не эффективной за счет значительной упругой деформации последних при движении культиватора.

Известна также конструкция культиватора, предназначенного для сплошной обработки стерни [2], где на стр.4 показана стойка с рабочим органом культиватора, обладающая хорошими возможностями заглубляться в почву.

В этом случае работа такого технического решения происходит за счет наличия комплекта винтовых пружин сжатия, установлен-