

УДК 535.231.13 : 534

А.В. Шевченко

Национальная академия обороны Украины, Киев

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ ПРОЦЕССОРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ БОЕВЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ

Представлен, разработанный автором в интересах повышения точности навигационных определений средствами навигации боевых систем и комплексов, метод повышения быстродействия акустооптических цифровых процессоров обработки изображений корреляционно-экстремальных систем самонаведения. Показаны отличия предлагаемого метода от известных ранее, а также проведена оценка прироста быстродействия бортового специализированного вычислителя на основе акустооптического цифрового процессора с повышенным быстродействием при обработке массивов оцифрованной информации.

акустооптический цифровой процессор, брэгговская дифракция, двухчастотный режим

Введение

Постановка проблемы. Решающую роль в локальных войнах и вооруженных конфликтах конца XX-го – начала XXI-го вв. сыграло массовое применение высокоточного оружия (ВТО) [1]. Этот неоспоримый факт сделал одним из приоритетных направлений проведения военных научных изысканий в Украине прикладные исследования по модернизации и разработке новых вооружений и военной техники, в частности, разработку высокоточной тактической управляемой ракеты [2]. Необходимость данных исследований объясняется тем, что состоящие на вооружении ВС Украины тактические ракетные комплексы требуют совершенствования и модернизации.

Для обеспечения требуемой точности поражения на современном этапе развития вооружения в системах наведения ВТО тактического и оперативно-тактического радиуса действия необходимо наличие корреляционно-экстремальной системы самонаведения на цель на конечном участке полета

управляемого средства поражения (КЭ ССН) [3]. Увеличение размерности обрабатываемых изображений в бортовых специализированных вычислителях (СВ) КЭ ССН приводит к повышению требований к быстродействию данных устройств. Поэтому все чаще разработчики перспективных военных систем обращаются к исследованиям в области фотоники. Оптические процессоры обладают возможностью параллельной обработки информации в реальном масштабе времени, высоким быстродействием, малыми габаритными размерами и массой, незначительной потребляемой мощностью и низкой стоимостью. Акустооптические цифровые процессоры (АОЦП), использующие свойства дифракции света на периодических структурах, которые созданы ультразвуковыми волнами (УЗВ), являясь классом оптических процессоров, обладают всеми вышеперечисленными достоинствами. Кроме того, АОЦП наилучшим образом сопрягаются с основной цифровой ЭВМ, обеспечивая высокую точность вычислений, что позволяет использовать их не только для

создания ССН перспективного оружия, но и для модернизации существующих образцов ВТО.

Разработанные схемы АОЦП, основанные на использовании свойств брэгговской дифракции первого порядка, позволяют выполнять порядка 10^9 операций умножения/сложения в секунду [4]. Дальнейшее повышение быстродействия АОЦП возможно путем комплексного использования при их построении свойств брэгговской дифракции первого и второго порядков, что достигается применением двухчастотного режима работы АО ячейки.

Анализ публикаций. Дифракция света на нескольких пространственно совмещенных УЗВ с различными частотами относится к достаточно распространенным задачам, решаемым в акустооптике и имеющим самостоятельный интерес [5, 6]. Как правило, данная задача решалась при выполнении условий первого брэгговского резонанса. Ранее в работах [7, 8] были изучены амплитудно-частотные характеристики вторых порядков брэгговской дифракции. Данные исследования проводились в интересах создания АО процессоров обработки радиотехнических сигналов.

Постановка задачи. Однако, как было установлено, свойства АО взаимодействия при дифракции света на двух УЗВ, создаваемых одним возбудителем ультразвука, когда их частоты соотносятся как $f_1 = 2f_2$ существенно отличаются от изученных ранее. Особенностью данного режима является то, что при постоянном брэгговском угле $\theta_B = \text{const}$, для частоты f_1 выполняются условия брэгговской дифракции первого, а для частоты f_2 – второго порядка. Это вызвало необходимость более глубокого исследования данного вопроса для создания АОЦП, входящих в состав бортовых СВ.

Цель. Таким образом, представляется необходимым разработать технические решения по повышению быстродействия АОЦП, входящих в состав бортовых СВ в интересах повышения точности навигационных определений средствами навигации боевых систем и комплексов. В настоящей статье рассмотрен метод повышения быстродействия АОЦП, состоящий в использовании свойств брэгговской дифракции первого и второго порядков при дифракции света на двух УЗВ, создаваемых одним возбудителем ультразвука, когда их частоты соотносятся как $f_1 = 2f_2$.

Отличие предлагаемого метода от известных ранее состоит в том, что для проведения вычислительных операций в АОЦП проводится такой выбор параметров АО взаимодействия, при котором результирующая дифракционная картина представляет собой суперпозицию двух составляющих: первого порядка дифракции (частота f_1) и второго порядка дифракции (частота f_2).

Проведенные автором исследования позволяют сформулировать метод повышения быстродействия АОЦП как совокупность приемов и операций, позво-

ляющих повысить скорость обработки изображений в бортовых СВ перспективных комплексов ВТО.

Основными научными положениями, составляющими теоретическую основу предлагаемого метода, являются:

при дифракции света на двух УЗВ, создаваемых одним возбудителем ультразвука, когда их частоты соотносятся как $f_1 = 2f_2$, результирующая дифракционная картина представляет собой суперпозицию двух составляющих: первого порядка дифракции (частота f_1) и второго порядка дифракции (частота f_2) [9, 10];

дифракционная эффективность второго порядка брэгговской дифракции зависит не только от величины относительного изменения коэффициента преломления $\Delta n/n$ (амплитуды напряжения, подаваемого на электроакустически преобразователь), но и от периода дифракционной решетки (частоты ультразвука) [11, 12];

исследования дифракции ограниченного светового пучка на акустическом цуге малой длительности при первом и втором брэгговских резонансах показали, что пространственные составляющие второго порядка в большей степени, чем первые зависят от расходимости светового и ультразвукового пучков [13].

Сущность предлагаемого метода повышения быстродействия акустооптических цифровых процессоров состоит в следующем: во-первых, используется двухчастотный режим работы АО ячейки, когда частоты соотносятся как $f_1 = 2f_2$ и для частоты f_1 выполняются условия брэгговской дифракции первого, а для частоты f_2 – второго порядка; во-вторых, расчет параметров АО взаимодействия осуществляется с учетом свойств первого и второго порядков брэгговской дифракции, а также дифракции ограниченного светового пучка на акустическом цуге малой длительности; в-третьих, используется предложенный автором алгоритм ввода разрядов двоичного числа в АО ячейку [9].

Результаты проведенных численных расчетов дифракционной эффективности двухчастотного режима работы АО ячейки [9-10] и экспериментальных исследований [10] находятся в хорошем согласии, что подтверждает их достоверность и позволяет производить расчеты для конкретных технических реализаций.

Для оценки прироста быстродействия бортового специализированного вычислителя при применении разработанного метода рассмотрим классическую схему АОЦП [9], введя в нее многоканальную АО ячейку (рис. 1).

На вход системы, состоящей из двух многоканальных акустооптических ячеек Брэгга (1) и (2), поданы двоичные последовательности, представленные в виде прямоугольно модулированных высокочастотных сигналов, причем ячейки спроектированы так, что два сигнала, распространяются в них в противоположных направлениях. Свет, про-

дифрагировавший на обеих ячейках, собирается линзами (на рисунке не показаны) и фокусируется на линейке фотодетекторов (3). Аналоговый сигнал на выходе фотодетектора отображает смешанную двоичную последовательность в виде импульсов различной амплитуды. Для представления результата в двоичном коде импульсы аналогового выходного сигнала дискретизируются по модулю 2 аналого-цифровым преобразователем (4), а полученные двоичные числа затем соответствующим образом суммируются по модулю 2 со сдвигом на сумматоре (5).

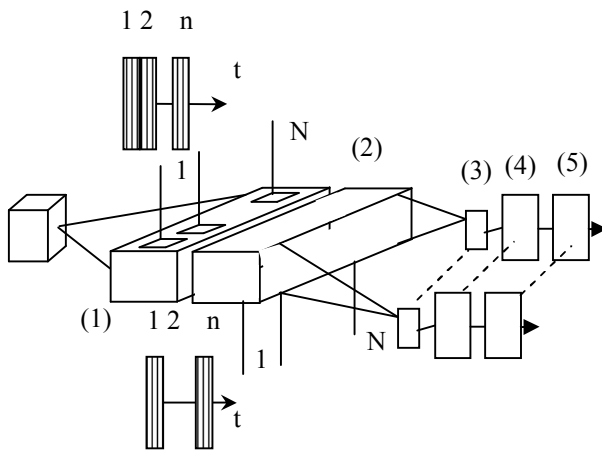


Рис. 1. Упрощенная схема АОЦП для перемножения цифровых массивов

Время перемножения двух n -разрядных двоичных чисел составит:

$$T_{\Sigma} = 4nT_{\text{и}},$$

где $T_{\text{и}}$ – длительность единичного импульса.

Быстродействие данной схемы АОЦП будет представлять собой произведение значения T_{Σ} на количество каналов в АО ячейке N . При 8-ми разрядных числах, длительности импульса 1 нс, и 16-ти канальной АО-ячейке быстродействие АОЦП составит $5 \cdot 10^9$ операций умножения в секунду. При использовании приведенных выше положений разработанного метода, величина T_{Σ} определяется как $T_{\Sigma} = 2nT_{\text{и}}$.

Таким образом, быстродействие данной схемы АОЦП составит $1 \cdot 10^{10}$ операций умножения в секунду, что дает прирост быстродействия в 2 раза.

Выводы

Повышение быстродействия АОЦП возможно путем комплексного использования при их построении свойств брэгговской дифракции первого и второго порядков, что достигается применением двух-частотного режима работы АО ячейки.

При расчете рабочих характеристик АО модулятора необходимо учитывать свойства первого и второго порядков брэгговской дифракции, а также дифракции ограниченного светового пучка на акустическом пути малой длительности.

Разработанный метод повышения быстродействия АОЦП обеспечивает увеличение быстродей-

ствия в 2 раза и может быть использован при проектировании перспективных бортовых СВ для КЭ ССН комплексов ВТО.

Список литературы

1. Тенденції, перспективи розвитку теорії та практики застосування повітряних сил у війнах і збройних конфліктах XXI століття / П.В. Щипанський, В.В. Ткачов, В.Ф. Курдюк, Е.Л. Бонковський, О.В. Шевченко // Труды академії. – 2006. – № 69. – С. 78-85.
2. Біла книга 2005: Оборонна політика України. – К., 2006. – 134 с.
3. Быков В.Н. О возможности создания высокоточных управляемых средств поражения оперативно-тактического назначения // Збірник наукових праць ХВУ. – 2001. – Вип. 3 (33). – С. 112-116.
4. Шевченко А.В. К возможности построения бортовых специализированных вычислителей на основе акустооптических цифровых процессоров // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ, 2002. – Вип. 4 (42). – С. 100-103.
5. Балакиев В.И., Нагаева И.А. Дифракция света на двух коллинеарных акустических волнах с разными частотами. Конкуренция мод // Радиотехника и электроника. – 2000. – Т. 45, № 5. – С. 596-601.
6. Купченко Л.Ф., Рыбалка Г.В., Ефимова О.В. Дифракция света на двух ультразвуковых волнах с различными частотами // Радиофизика и электроника. – 2004. – Т. 9, № 3. – С. 503-508.
7. Купченко Л.Ф., Ефимова О.В., Плахов Ю.М. Определение условий акустооптического взаимодействия, обеспечивающих максимальную величину второго порядка дифракции в промежуточном режиме // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ, 1998. – Вип. 17. – С. 63-68.
8. Купченко Л.Ф., Ефимова О.В., Плахов Ю.М. Свойства акустооптических спектроанализаторов на втором порядке дифракции // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ, 1998. – Вип. 18. – С. 24-27.
9. Шевченко А.В. Повышение быстродействия акустооптических цифровых процессоров путем применения брэгговских резонансов 1 и 2 порядков // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2002. – Вип. 1 (17). – С. 114-118.
10. Шевченко О.В. Экспериментальне дослідження дифракції світла на двох ультразвукових хвилях з кратними частотами // Труды академії. – 2006. – № 70. – С. 119-123.
11. Дифракционная эффективность второго порядка брэгговской дифракции при взаимодействии света с ультразвуком под двойным углом Брэгга / Л.Ф. Купченко, Ю.М. Плахов, О.В. Ефимова, В.Б. Лобырев, Е.Л. Черкашина, А.В. Шевченко // Радиофизика и радиоастрономия. – 1999. – Т. 4, № 4. – С. 342-348.
12. Выбор условий акустооптического взаимодействия для процессоров, использующих составляющие второго порядка брэгговской дифракции / Л.Ф. Купченко, Ю.М. Плахов, О.В. Ефимова, В.Б. Лобырев, Е.Л. Черкашина, А.В. Шевченко // Радиофизика и радиоастрономия. – 2002. – Т. 7, № 2. – С. 112-119.
13. Копылов А.А., Шевченко А.В., Черкашина Е.Л. Влияние расходимости светового и ультразвукового пучков на дифракционную эффективность пространственных составляющих 1 и 2 порядков в акустооптических процессорах // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2003. – Вип. 6. – С. 169-173.

Поступила в редакцию 22.03.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.