

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ ПРОЦЕССОРОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ БРЭГГОВСКИХ РЕЗОНАНСОВ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА

А.В. Шевченко

(представил д.т.н., проф. Л.Ф. Купченко)

Предложен способ и разработан алгоритм перемножения чисел с использованием первого и второго брэгговских резонансов, что позволяет повысить быстродействие схемы акустооптического цифрового процессора в два раза.

Обычно при определении параметров антенных систем требуется произвести значительный объем вычислительных операций за короткое время с высокой точностью. Зачастую большинство вычислений в этом случае можно свести к операциям линейной алгебры, например, к умножению вектора на матрицу, матрицы на матрицу и др., что реализуются цифровыми вычислителями. Анализ показал, что с усложнением класса решаемых задач возникает необходимость совершенствования специализированных процессоров.

Оптические процессоры, к которым относятся и акустооптические цифровые процессоры (АОЦП), позволяют осуществить параллельную обработку при высоком быстродействии, обладая при этом малыми габаритами и незначительной потребляемой мощностью, обеспечивая при этом высокую точность вычислений. Современные АОЦП позволяют

обеспечить перемножение матрицы на матрицу со скоростями 10^8 - 10^9 операций умножения / сложения в секунду [1-3].

Принцип цифрового перемножения с помощью АОЦП показан на рис. 1 [4].

На вход системы, состоящей из двух акустооптических ячеек (АОЯ) Брэгга (1) и (2), поданы двоичные по-

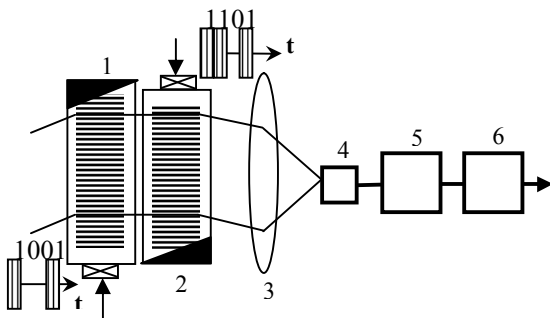


Рис. 1. Упрощенная АОЦП для перемножения числа на число

следовательно, представленные в виде прямоугольно модулированных высокочастотных сигналов, причем ячейки спроектированы так, что два

сигнала, распространяются в них в противоположных направлениях. Свет, продифрагировавший на обеих ячейках, собирается линзой (3) и фокусируется на фотодетекторе (4). 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 (АЦП) (5), а полученные двоичные числа затем соответствующим образом суммируются по модулю 2 со сдвигом на сумматоре (6). Полное время перемножения данной схемы АОЦП при N-й разрядности чисел составит $T_{\Sigma} = 4NT_n$, где T_n – длительность единичного импульса. Время T_{Σ} пропорционально полосе частот акустооптического модулятора (АОМ). Производительность такого процессора при полосе частот 1 ГГц и восьмиразрядных числах составит $3.1 \cdot 10^7$ оп/с.

Все известные акустооптические устройства используют брэгговский режим дифракции, когда взаимодействие света и звука происходит под углом Брэгга θ_b ($\sin \theta_b = -K / 2k$, где K и k – волновые числа ультразвуковой и световой волн соответственно) и используются первые порядки дифракции. В работе [5] показано, что величина дифракционной составляющей второго порядка может быть соизмерима с величиной падающего на ультразвуковую волну (УЗВ) светового излучения, если взаимодействие происходит под двойным углом Брэгга $\theta = 2\theta_b$ – второй брэгговский резонанс. При реализации второго брэгговского резонанса дифракционные составляющие второго порядка обладают в два раза большими угловой дисперсией и спектральной селективностью [6].

Целью статьи является обоснование принципа построения АОЦП, в котором в интересах повышения быстродействия используются свойства брэгговских резонансов, как первого, так и второго порядков. Для этого на вход АОМ должны подаваться две УЗВ на частотах f и $2f$. Причем, для УЗВ с частотой f выполняются условия второго брэгговского резонанса, а для волны с частотой $2f$ – первого брэгговского резонанса. Дифракция света для этого случая поясняется на рис.2. Здесь $E_1^{(2f)}$ – дифракционная компонента первого порядка, вызванная дифракцией света на УЗВ с частотой $2f$, а $E_2^{(f)}$ – дифракционная составляющая второго порядка, которая является результатом дифракции на УЗВ с частотой f .

В работе [7] было получено выражение для дифракционной эффективности света для данного случая брэгговской дифракции:

$$|\psi|^2 = \left| \frac{E}{E_0} \right|^2 = \frac{q_1^4 + q_2^2 - q_1^2 q_2 \cos \delta}{q_2^2 + q_1^4} \sin^2 \frac{K^2 R_0 L}{2k}, \quad (1)$$

где E_0 – напряженность поля на входе АОЯ; E – напряженность поля на выходе АОЯ, представляющая собой суперпозицию компонент $E_1^{(2f)}$ и $E_2^{(f)}$;

$q = \Delta n / n \left(\frac{k}{K} \right)^2$ – параметр Рытова; $\Delta n/n$ – относительное изменение показателя преломления; δ – начальная фаза ультразвукового колебания; $R_0 = \sqrt{q_2^2 + q_1^4}$; q_1, q_2 – параметр Рытова для частот f и $2f$ соответственно.

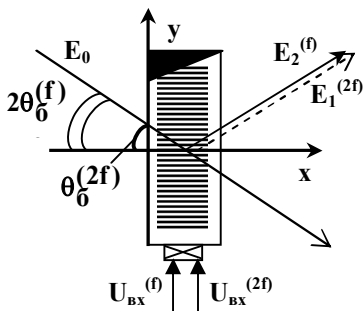


Рис. 2. К пояснению дифракции света на двух ультразвуковых волнах

На основании формулы (1) были произведены расчеты и построены зависимости дифракционной эффективности от относительного изменения показателя преломления $\Delta n/n$, который, как известно, связан линейной зависимостью с величиной электрического напряжения на пьезопреобразователе [6]. На рис. 3 построены графики, иллюстрирующие различные режимы работы АОМ на парателлурите при частоте ультразвука $f=30$ МГц, длине волны светового излучения $\lambda=0,633$ мкм, длине акустооптического взаимодействия $L=0,5$ см, начальной фазе ультразвукового колебания $\delta=\pi/2$.

График для ψ_1 (сплошная линия) соответствует режиму, когда в модуляторе существует только УЗВ на частоте $2f$. График для ψ_2 (штриховая линия) соответствует случаю, когда в модуляторе распространяется только волна на частоте f . Из представленных зависимостей видно, что путем выбора соответствующего значения относительного изменения показателя преломления $\Delta n/n$ для каждой из частот f и $2f$ можно получить требуемые значения величины дифракционной эффективности в случае, когда на вход АОМ подается сигнал на частоте f либо $2f$. Если же в АОМ одновременно существуют обе УЗВ, то дифракционная эффективность зависит от взаимного отношения относительных изменений показателя преломления $\Delta n/n$ для каждой из частот.

Предположим, что величина относительного изменения показателя преломления $\Delta n/n$ при подаче сигнала на частоте $2f$ составляет $(\Delta n/n)_1=0,9 \cdot 10^{-5}$, а на частоте f – $(\Delta n/n)_2=3,6 \cdot 10^{-5}$. Тогда величина ди-

фракционной эффективности акустооптического взаимодействия для первого случая составит $\psi_1=0,25$, а во втором случае – $\psi_2=0,15$. Если присвоить оптическому сигналу на частоте f значение a^1 , а сигналу с частотой $2f$ – a^2 , то по величине интенсивности света на выходе АОМ можно определить какое из чисел a^1 или a^2 подано на его вход.

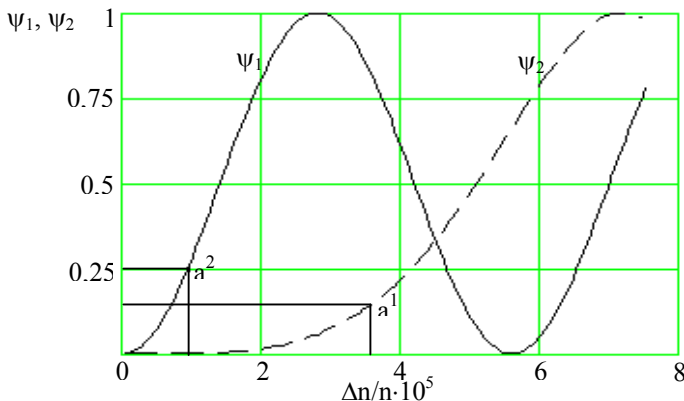


Рис. 3. Зависимость дифракционной эффективности от относительного изменения показателя преломления

Теперь нас будет интересовать величина оптического сигнала, когда на вход модулятора поданы оба сигнала – a^1 на частоте f и a^2 на частоте $2f$ с величиной относительного изменения показателя преломления $(\Delta n/n)_2$ и $(\Delta n/n)_1$ соответственно. Значение дифракционной эффективности было определено численным методом с использованием выражения (1). Для выбранных значений параметров взаимодействия $\psi_\Sigma=0,374$. Значение ψ_Σ больше значений ψ_1 и ψ_2 , то есть по величине интенсивности света можно сделать заключение о том, что на выходе АОМ присутствует сумма сигналов a^1 и a^2 . Таким образом, АОЯ, работающую в данном режиме, можно использовать как сумматор.

Предлагается подачу сигналов в описанной выше схеме (рис. 1) осуществлять по схеме, представленной на рис. 2. Следовательно, на каждую АОЯ подается по два сигнала на частотах f и $2f$. N - разрядное число a разбивается на $N/2$ пар разрядов (двухразрядных двоичных чисел) согласно выражению

$$a = \sum_{i=1}^{N/2} [(a^2)_i 2^{2i-1} + (a^1)_i 2^{2i-2}], \quad (2)$$

где a^2 и a^1 принимают значения 0 и 1. Затем это число подается на АОМ1. Информация о значении младшего в паре порядка a^1_i , содержится

в УЗВ с частотой f , а старшего a_i^2 , – в УЗВ с частотой $2f$. На выходе АОМ1 будем иметь сумму $(a_i^2 + a_i^1)$. Число b разбивается на пары разрядов согласно выражению (2) и синхронно с числом a подается на АОМ2. На выходе АОМ2 интенсивность света пропорциональна произведению $(a_i^2 + a_i^1)(b_i^2 + b_i^1)$. Дальнейший алгоритм обработки идентичен описанному выше. Полное время перемножения двух N -разрядных чисел составит $T_\Sigma = 2NT_n$. Это позволяет говорить о повышении быстродействия АОЦП в два раза.

Данный способ умножения можно распространить и для выполнения более сложных операций, таких как умножение вектора на матрицу, матрицы на матрицу, тройное матричное перемножение. Эти алгоритмы реализуются с помощью применения многоканальных АОМ, линеек светоизлучающих (лазерных) диодов, многочастотного режима работы АОЯ и т.д.

Предложенный способ перемножения чисел с использованием брэгговских резонансов первого и второго порядков позволяет увеличить быстродействие АОЦП матричного умножения в два раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев Ю.В., Проклов В.В., Соколовский С.В., Сотников В.Н. Акустооптические устройства обработки аналоговой и цифровой информации // Радиотехника и электроника. – 1987. – Т. 32, №1. – С. 169 - 181.
2. Кулаков С.В., Кулаков В.С., Пресленев Л.Н., Тигин Д.В. Акустооптические цифровые процессоры для операций матричной алгебры // Зарубежная радиоэлектроника. – 1988. – №12. – С. 30 - 40.
3. Родес У.Т., Гилфойл П.С. Архитектура акустооптических алгебраических процессоров // ТИИЭР. – 1984. – Т. 72, №7. – С. 80 - 91.
4. Guilfoyle P.S. Systolic Acousto-optic Binary Convolver // Optical Engineering. – 1984. – Vol. 23, №1. – P. 20 - 25.
5. Зильберман Г.Е., Сидоров И.Н., Купченко Л.Ф. К теории дифракции света на ультразвуке // Радиотехника и электроника. – 1982. – Т. 27, №2. – С. 241 - 247.
6. Купченко Л.Ф., Плахов Ю.М., Ефимова О.В., Лобырев В.Б., Черкашина Е.Л., Шевченко А.В. Дифракционная эффективность второго порядка брэгговской дифракции при взаимодействии света с ультразвуком под двойным углом Брэгга // Радиопизика и радиоастрономия. – 1999. – Т. 4, №4. – С. 342 - 348.
7. Зильберман Г.Е., Голтвянская Г.Ф., Голтвянский И.Н. Акустооптический брэгговский резонанс на двух частотах // Радиотехника и электроника. – 1991. – Т. 36, №7. – С. 1408 - 1411.

Поступила 10.01.2002

ШЕВЧЕНКО Алексей Валериевич, адъюнкт Харьковского военного университета. В 1998 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – акустооптическая обработка цифровой информации.