

В. В. Данилов, А. Ю. Липинский, А. Н. Рудякова
Донецкий национальный университет. Кафедра радиофизики
ул. Университетская 24, 83001 Донецк, Украина
e-mail: krf@dongu.donetsk.ua

Оптоэлектронные устройства потоковой обработки информации

Рассмотрены аналоговые и дискретные оптоэлектронные акустооптические устройства потоковой обработки информации: акустооптические корреляторы/конвольверы, точность которых составляет порядка восьми двоичных разрядов и оптоэлектронные акустооптические процессоры, точность которых при бинарном кодировании существенно превышает это значение. Приведено математическое описание процессов преобразования сигналов дискретными оптоэлектронными акустооптическими устройствами.

Ключевые слова: потоковая обработка информации, акустооптический коррелятор/конвольвер, дискретный акустооптический процессор, оптоэлектронные устройства дискретной обработки информации.

Введение

Существует естественный предел, ограничивающий дальнейший рост быстродействия электронных приборов, и обусловленный наличием объемного заряда и временем пробега электронов. Использование оптических аналогов электронных устройств позволяет решить эти проблемы, так как фотоны являются электрически нейтральными, и движутся со скоростью света. Таким образом, новый технологический скачок связывают с заменой электронных приборов оптическими и оптоэлектронными [1, 2].

Традиционно применение аналоговых оптических процессоров связано с высокой степенью параллелизма обработки потоков информации, а также значительными быстродействием и производительностью, однако требует существенных энергетических затрат и отличается невысокой, по сравнению с современными цифровыми электронными процессорами, точностью преобразования [3].

Использование дискретных оптоэлектронных акустооптических процессоров, в которых каждый элемент входных данных одновременно используется для вычисления нескольких результатов, позволяет, в некоторой степени, решить указанные проблемы.

Акустооптические корреляторы-конвольверы

Акустооптический коррелятор с пространственным интегрированием [3], служащий для определения квадрата корреляционной огибающей, приведен на рис. 1. Это устройство позволяет находить корреляционную функцию электрического сигнала $s_1(t)$ и записанного на транспаранте опорного сигнала $s_2(t)$.

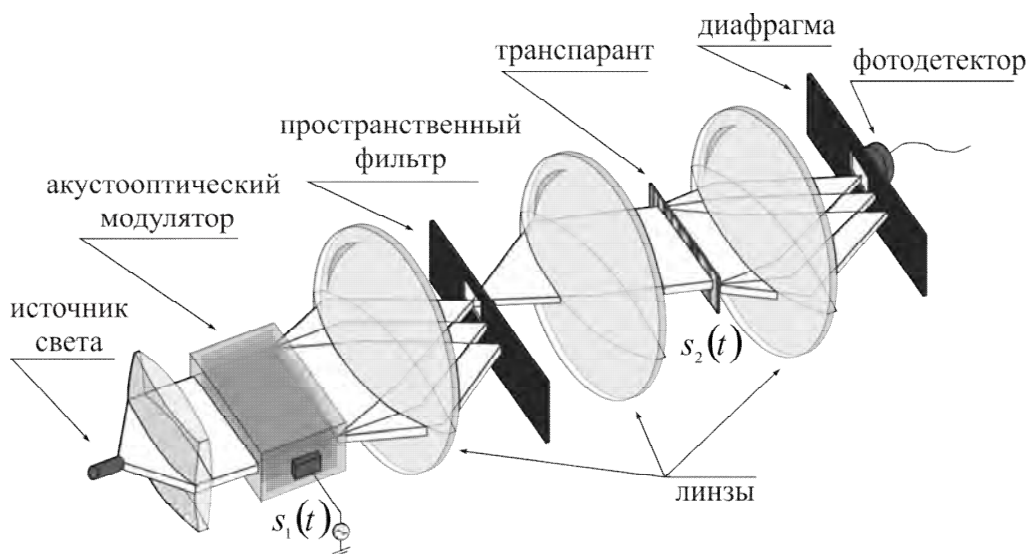


Рис. 1. Акустооптический коррелятор с пространственным интегрированием

К достоинствам подобных устройств следует отнести сравнительную простоту корреляционной обработки широкополосных радиосигналов в реальном времени, наличие дополнительной пространственной координаты, позволяющей обеспечить многоканальность обработки, принципиальную возможность совместить процедуры обработки и формирования сложных радиосигналов в едином устройстве. Точность же преобразования рассмотренного устройства в лучшем случае составляет порядка 8–10 двоичных разрядов. При этом для повышения точности возникает необходимость в переходе к дискретному представлению информации [4].

Оптоэлектронные акустооптические устройства дискретной обработки сигналов

Дискретные акустооптические процессоры используются для решения таких задач обработки дискретной информации, как скалярное умножение вектора на вектор, вектора на матрицу, матрицы на матрицу, тройного произведения матриц и т.д. [3, 5]. На рис. 2 представлена схема дискретного акустооптического процессора, предназначенного для скалярного умножения вектора на матрицу специального вида (ленточную, или матрицу Теплица) [3].

За время каждого такта все элементы одной строки матрицы умножаются на соответствующие компоненты вектора b , а их суммирование осуществляется на фотоприемнике. Минимальная тактовая длительность таких устройств, выполненных на объемных акустооптических модуляторах, составляет единицы наносекунд [5]. При переходе к интегральному исполнению устройства возможно добиться существенного уменьшения минимальной тактовой длительности, и тем самым увеличения быстродействия.

За счет значительного увеличения отношения сигнал/шум (особенно при использовании бинарного представления), точность преобразования дискретных оптоэлектронных акустооптических устройств существенно превышает точность аналоговых корреляторов-конвольверов, и может достигать 64 двоичных разрядов и более [4]. Однако строгое математическое описание процесса преобразования дискретной информации требует привлечения элементов теории обобщенных функций.

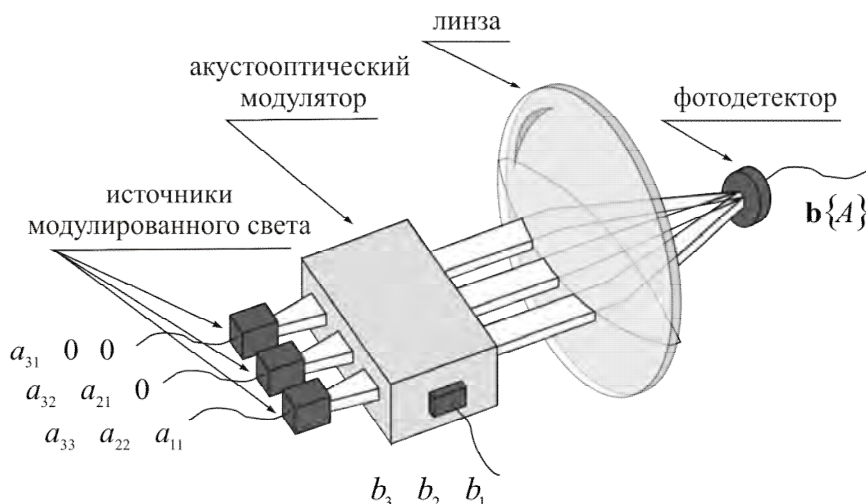


Рис. 2. Дискретный акустооптический процессор для умножения вектора на ленточную матрицу

Математическое описание процессов преобразования сигналов дискретными акустооптическими устройствами

Пусть сигналы принимают отличные от нуля значения только в интервале времени от 0 до W/V , и равны нулю вне этого промежутка. Представим сигналы $s_1(t)$ и $s_2(t)$, принимающие отличные от нуля значения только в интервале от 0 до W/V , дискретными наборами отсчетов $\hat{s}_1(t)$ и $\hat{s}_2(t)$, соответствующими времени дискретизации $\tau \leq \pi/\omega_{\max}$, где ω_{\max} — ширина спектра, соответствующая более широкополосному сигналу:

$$\hat{s}_1(t) = \sum_k s_1(k\tau) \cdot \delta(t - k\tau), \quad \hat{s}_2(t) = \sum_n s_2(n\tau) \cdot \delta(t - n\tau). \quad (1)$$

Рассмотрим случай, когда сигналы $\hat{s}_1(t)$ и $\hat{s}_2(t)$ «движутся» навстречу друг другу вдоль оси x со скоростью V каждый, что может быть с некоторой точностью реализовано в системе из двух акустооптических ячеек с апертурами W , включенных в режиме конвольвера, при этом V — скорость звука в среде. С учетом зависимости от координаты x , выражения (1) могут быть записаны как:

$$\hat{s}_1(t, x) = \sum_k s_1(k\tau) \cdot \delta(t - k\tau - x/V), \quad \hat{s}_2(t, x) = \sum_n s_2(n\tau) \cdot \delta(t - n\tau + x/V).$$

Запишем интеграл от произведения этих сигналов по переменной x/V на участке от $-W/(2V)$ до $W/(2V)$:

$$R(t) = \int_{-W/(2V)}^{W/(2V)} \hat{s}_1(t, x) \cdot \hat{s}_2(t, x) d(x/V) = \\ = \sum_k \sum_n \left\{ s_1(k\tau) \cdot s_2(n\tau) \int_{-W/(2V)}^{W/(2V)} \delta(t - k\tau - x/V) \cdot \delta(t - n\tau + x/V) d(x/V) \right\}.$$

Поскольку произведение $\hat{s}_1(t, x)$ и $\hat{s}_2(t, x)$ обращается в нуль вне промежутка от $-W/(2V)$ до $W/(2V)$, можно перейти от интеграла с конечными пределами к интегралу с пределами от $-\infty$ до $+\infty$. Воспользовавшись известными из теории обобщенных функций соотношениями $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(a-x) \cdot \delta(x-b) dx = \delta(a-b)$, $\delta(ax) = 1/|a| \cdot \delta(x)$, запишем это выражение в виде:

$$R(t) = \sum_k \sum_n s_1(k\tau) \cdot s_2(n\tau) \cdot \delta\{2t - \tau(k+n)\} = \sum_k \sum_n s_1(k\tau) \cdot s_2(n\tau) / 2 \cdot \delta\{t - \tau/2(k+n)\}.$$

Функция $R(t)$, с точностью до множителя $1/2$, представляет собой свертку двух сигналов $\hat{s}_1(t)$ и $\hat{s}_2(t)$, однако ее отсчеты следуют с удвоенной частотой дискретизации.

Выводы

На основе элементов теории обобщенных функций получено математическое описание процесса преобразования сигналов оптоэлектронными акустооптическими дискретными процессорами, которое может быть использовано при проектировании подобных устройств потоковой обработки информации.

1. Asakawa K. Photonic Crystal Quantum Dot Integrated Circuit for Innovative All-Optical Digital Processor / K. Asakawa // 4-th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL). — 2008. — P. 18–20.
2. Woods D. Parallel and Sequential Optical Computing / D. Woods, T.J. Naughton // Optical Super Computing. — 2008. — Vol. 5172. — P. 70–86.
3. Белов П.А. Оптические процессоры: достижения и новые идеи / П.А. Белов, В.Г. Беспалов, В.Н. Васильев [и др.] // Проблемы когерентной и нелинейной оптики: сб. статей; под ред. И.П. Гурова и С.А. Козлова. — СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. — 268 с.
4. Lipinskii A.Y. Acoustooptic Binary Coding Based on Space-Time Integration and Its Application to Ultrafast High-Resolution Digital-Analog Conversion / A.Y. Lipinskii, A.N. Rudiakova, V.V. Danilov // IEEE Photonics Technology Letters. — 2008. — Vol. 20, N 24. — P. 2087–2089.
5. Рудякова А.Н. Оптоэлектронные акустооптические устройства обработки дискретной информации / А.Н. Рудякова, А.Ю. Липинский, В.В. Данилов // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. — 2007. — Т. 5, № 4. — С. 51–59.

Поступила в редакцию 17.06.2010