

## Обработка одномерных сигналов с растровым вводом в двумерных оптических корреляторах

© М.С. Кузьмин, С.А. Рогов

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,  
195251 Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: sarogov@mail.ru

(Поступило в Редакцию 21 сентября 2014 г.)

Показана возможность применения оптических корреляторов Вандер-Люгта и совместного преобразования для корреляционной обработки одномерных сигналов с большой базой. Приведены результаты экспериментального исследования коррелятора совместного преобразования с жидкокристаллическим входным устройством и растровым вводом сигнала.

Когерентные оптические корреляторы могут быть использованы для решения таких задач обработки одномерных сигналов, как сжатие импульсов в радиолокации, распознавание сигналов, увеличение отношения сигнал-шум. Наиболее простыми системами для построения оптических корреляторов сигналов являются акустооптические (АО) устройства с пространственным интегрированием [1]. Они имеют широкую полосу пропускания, но ограничения по длительности сигналов. Многоканальные АО-корреляторы не дают значительного увеличения длительности обрабатываемых сигналов из-за ограниченного числа каналов, при этом они существенно сложнее одноканальных устройств [2]. Достаточно простые АО-корреляторы с временным интегрированием могут обрабатывать длинные сигналы, но имеют диапазон задержек, ограниченный временем памяти АО-модулятора. Нами предлагается использовать для получения корреляции сигналов с большой базой и с большой относительной задержкой двумерные оптические корреляторы — коррелятор Вандер-Люгта или коррелятор совместного преобразования [3,4]. При применении в этих корреляторах двумерных оптических пространственных модуляторов света с большим числом каналов, например жидкокристаллических (ЖК), и используя растровую запись сигналов, можно обеспечить обработку в этих устройствах сигналов с большой базой.

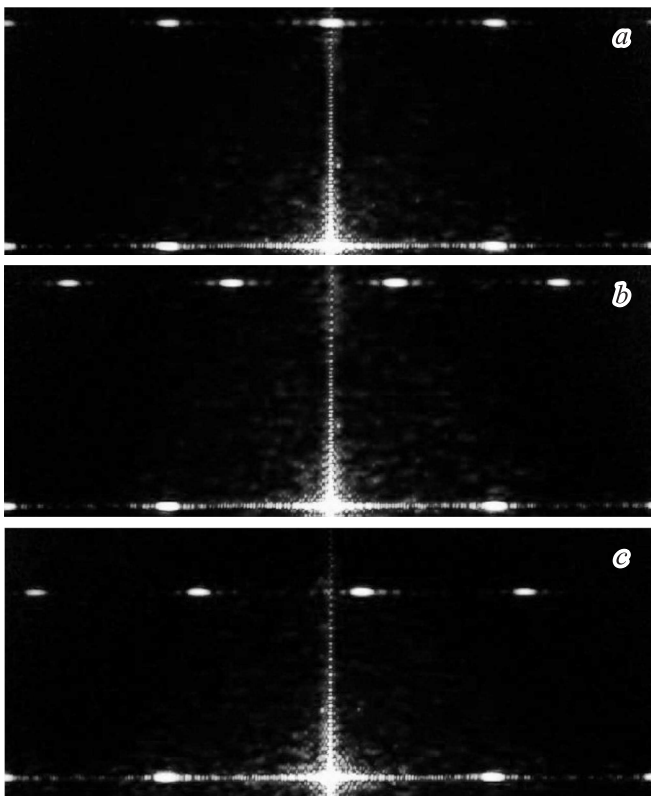
Схема анализатора со свернутым спектром, использующего растровую запись входного сигнала, известна [5], однако для корреляционной обработки устройства со свернутым спектром не использовалась. Принцип работы коррелятора со свернутым спектром может быть таким же, как и у обычного когерентного коррелятора с частотной плоскостью, в которой осуществляется перемножение спектра входного сигнала на комплексный спектр опорного сигнала. В корреляторе со свернутым спектром спектры входного и опорного сигналов — свернутые, а их произведение, формируемое в частотной плоскости, — свернутый спектр корреляционной функции. Для получения корреляционной функции на выходе такого коррелятора достаточно осуществить обратное преобразование Фурье от сформированного свернутого

спектра с помощью Фурье-объектива. Корреляционная функция на выходе будет при этом представлена в растровой форме. Диапазон задержек такого коррелятора будет такого же порядка, как и длительность обрабатываемых сигналов, т.е. большим при большом числе каналов пространственного модулятора света.

Для подтверждения возможности создания такого коррелятора нами проводились эксперименты по сжатию ЛЧМ-сигналов в корреляторе совместного преобразования (КСП). Этот коррелятор проще коррелятора Вандер-Люгта, так как не требует предварительного изготовления согласованного фильтра и его ввода в оптическую систему с помощью второго транспаранта. Мы использовали схему КСП, в которой обратное преобразование Фурье осуществлялось в той же оптической системе, в которой записывался совместный спектр входного и опорного сигналов [6]. Ввод сигналов в оптическую систему осуществлялся с помощью ЖК-матрицы с электронным управлением от компьютера [7]. Число ее элементов составляло  $1024 \times 728$ . Матрица имела хорошее оптическое качество, достаточное для применения в когерентных системах. Была измерена зависимость пропускания света элементами ЖК-матрицы от управляющего напряжения и выбрана рабочая точка на линейном участке этой характеристики. Ввод двуполярных сигналов в систему осуществлялся с помощью добавления к сигналу постоянной составляющей, смещающей ноль сигнала в рабочую точку. Ранее нами была продемонстрирована возможность использования этой матрицы в спектроанализаторе со свернутым спектром [8].

Для ввода ЛЧМ-сигналов с большой базой нами использовалась многорастровая запись на входе коррелятора, позволяющая уменьшить взаимное влияние строк в свернутом спектре сигнала [9]. Отсутствие заметных помех на выходе коррелятора наблюдалось при трех и более растрах во входном и опорном сигналах. Нами использовалась четырехрастровая запись входных сигналов.

На рис. 1 приведен вид сигнала на выходе коррелятора (квадрат огибающей автокорреляционной функ-



**Рис. 1.** Выходной сигнал оптического коррелятора (квадрат огибающей автокорреляционной функции ЛЧМ-сигнала) для разных задержек входного сигнала относительно опорного (*a* — без задержки).

ции ЛЧМ-сигнала) для различных задержек входного сигнала относительно опорного. Поскольку в экспериментах использовался четырехрастрый ввод сигнала, на выходе также формировались четыре одинаковых сигнала корреляционной функции, свернутых в виде раstra. Для устранения избыточности достаточно фиксировать только один из четырех сигналов. Из приведенных результатов следует, что при увеличении задержки максимум корреляции смещается на величину задержки входного сигнала по раstrу: сначала по точной оси (горизонтальной), а затем по грубой — переходя на другие строки раstra. При этом форма корреляционной функции не изменяется (на рис. 1 видны боковые лепестки, характерные для автокорреляционной функции ЛЧМ-сигнала).

Протяженность ЛЧМ-сигнала в экспериментах составляла 195 строк раstra (протяженность строки раstra в нашем эксперименте равна 1/4 строки ЖК-матрицы). Пространственная частота менялась по линейному закону от 10 периодов на строку раstra до 22 периодов на строку, таким образом, ширина пространственного спектра сигнала составляла 12 периодов на строку, а база (и коэффициент сжатия [10]) —  $195 \times 12$ . Из рис. 1 видно, что протяженность сжатого сигнала по половинной мощности составляла примерно 1/12 строки раstra,

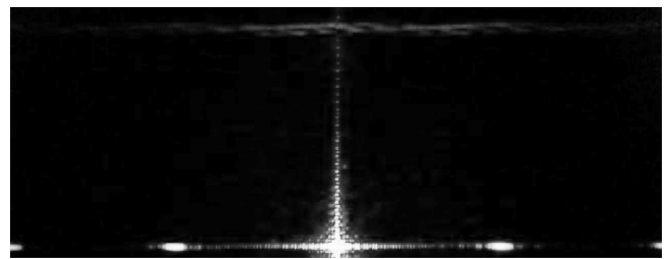
что совпадает с теоретическим значением, равным протяженности сигнала на входе, деленной на коэффициент сжатия.

На рис. 2 приведены выходные сигналы коррелятора при отличии крутизны нарастания частоты во входном сигнале от опорного на 10%. Из сравнения рис. 2 и 1 видно существенное снижение максимума корреляционной функции из-за несовпадения входного и опорного сигналов.

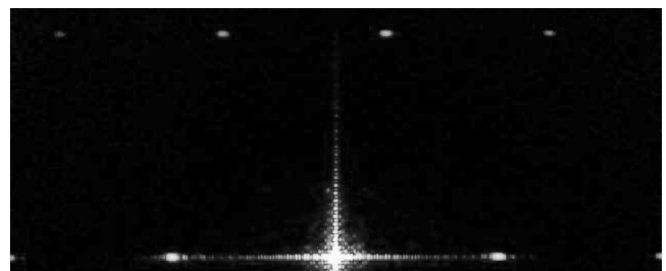
На рис. 3 приведен вид автокорреляционной функции на выходе коррелятора для ЛЧМ-сигналов на входе со скоростью нарастания, в 1.5 раза большей по сравнению с ЛЧМ-сигналами в первом эксперименте (рис. 1). Видно, что наблюдается соответствующее сужение корреляционной функции.

Нами была приведена также оценка динамического диапазона коррелятора по одному и двум входным сигналам по появлению ложных максимумов над уровнем шумов. При работе коррелятора с одним входным сигналом на выходе не появлялись ложные максимумы, что связано с ограничением входного и опорного сигналов нелинейной характеристикой ЖК-транспаранта. При двух входных сигналах эта нелинейность приводила к появлению сигналов перекрестной модуляции и ложных сигналов на выходе системы. Это ограничивало динамический диапазон устройства по двум сигналам величиной 30 dB.

Таким образом, проведенные исследования показали, что на основе КСП с ЖК-устройством ввода может быть создан простой коррелятор одномерных сигналов с большой базой и большой задержкой между ними.



**Рис. 2.** Выходной сигнал коррелятора при рассогласованной на 10% крутизне нарастания частоты входного и опорного ЛЧМ-сигналов.



**Рис. 3.** Автокорреляционная функция на выходе коррелятора для ЛЧМ-сигнала со скоростью нарастания частоты, в 1.5 раза большей, чем для сигнала на рис. 1.

Для получения качественных, теоретически ожидаемых результатов при такой обработке рекомендуется использовать многолучевой ввод входных сигналов. Мы не видим препятствий по созданию аналогичного устройства и на базе коррелятора Вандер-Люгта, хотя и в этом случае требуется экспериментальная проверка.

## Список литературы

- [1] *Rodes U.T.* // ТИИЭР. 1981. Т. 69. № 1. С. 74–91.  
*Rhodes W.T.* // Proc. of the IEEE. 1981. Vol. 69. N 1. P. 65–79.
- [2] *Готтлиб, Конрой, Фостер* // Зарубежная радиоэлектроника. 1973. № 12. *Gottlieb M., Conroy J.J., Foster T.* // Appl. Opt. 1972. Vol. 11. N. 5. P. 1068–1077.
- [3] *Vander Lugt A.* // IEEE Trans. Inf. Theory. 1964. Vol. IT–10. P. 139–140.
- [4] *Weaver C.S., Goodman J.W.* // Appl. Opt. 1966. Vol. 5. P. 1248.
- [5] *Carlton E.T.* // Appl. Opt. 1966. Vol. 5. N. 11. P. 1782–1790.
- [6] *Javidi Bahram, Gregory Don A, Horner Joseph L.* // Appl. Opt. 1989. Vol. 28. N 3. P. 411–413.
- [7] *Kuzmin M.S., Rogov S.A.* // Opt. Memory & Neural Networks (Information Optics). 2013. Vol. 22. N 4. P. 261–266.
- [8] *Кузьмин М.С., Рогов С.А.* // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40. Вып. 15. С. 1–5.
- [9] Оптическая обработка информации. Применения / Под ред. Д. Кейсесента. М.: Мир, 1980. Optical data processing. Applications / Ed. by D. Casasent. Berlin, Springer-Verlag. NY: Heidelberg, 1978.
- [10] *Кук Ч., Бернфельд М.* Радиолокационные сигналы. М.: Советское радио, 1971. *Cook C.E., Bernfeld M.* Radar Signals. NY: Academic Press, 1967.