

$$\int_{-(N-|m|)T}^{(N-|m|)T} \left[ 1 - \frac{|\xi|}{(N-|m|)T} \right] \gamma(\xi, mT) d\xi \approx \int_{-M(N_c-|m|)T}^{M(N_c-|m|)T} \left[ 1 - \frac{|\xi|}{M(N_c-|m|)T} \right] \times \\ \times \gamma(\xi, mT) d\xi,$$

если  $|m| < N_c/2$ . При этом выражение (8) примет простой вид:

$$A(mT) = (N - |m|) / M(N_c - |m|). \quad (9)$$

График функции  $A(mT)$  для различных значений  $M$  представлен на рис. 2 сплошными линиями. Как следует из графиков, для значений  $m$ , близких к  $N_c/2$ , дисперсия погрешности для метода секционирования с перекрытием примерно вдвое меньше. Для проверки справедливости оценки (9) были проведены расчеты по точным формулам для случая корреляционной функции вида  $K_{xx}(\tau) = \sigma_x^2 \exp(-\lambda|\tau|)$ . Результаты представлены на рис. 2 штриховыми линиями. Сравнение кривых показывает, что оценка (9) практически приемлема. Кривая для значения  $\lambda TN_c = 2$  свидетельствует об уменьшении выигрыша при увеличении длительности корреляционной функции.

Таким образом, метод секционирования с перекрытием для вычисления корреляционных функций по алгоритму БПФ позволяет почти вдвое уменьшить дисперсию случайной погрешности по сравнению с классическим методом секционирования, хотя и требует некоторого увеличения числа арифметических операций и объема ЗУ.

Этот метод целесообразно применять для анализа низкочастотных процессов, когда увеличение количества операций не имеет существенного значения и вычислительное устройство в состоянии обеспечить работу в реальном масштабе времени. Его можно применять также для оценки спектральной плотности случайных процессов. При этом, как показывает анализ, оценки для процессов, близких к белому шуму, имеют примерно в 1,5 раза меньшую дисперсию случайной погрешности при той же ширине полосы по сравнению с методом секционирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пугачев В. Н., Лившиц Н. А. Вероятностный анализ систем автоматического управления. М., «Сов. радио», 1973.
2. Голд Б., Рейдер Ч. Цифровая обработка сигналов. М., «Сов. радио», 1973.
3. Rader M. An improved algorithm for high speed autocorrelation with applications to spectral estimation.— "IEEE Trans. on AV-18", 1970, N 4, p. 439—441.
4. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М., «Мир», 1972.

Поступило в редакцию 13 октября 1976 г.;  
окончательный вариант — 25 июля 1977 г.

УДК 621.383 : 535

Г. К. ГРИГОРЬЕВ, Б. Г. ПОДЛАСКИН  
(Ленинград)

#### ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ФОТОПРИЕМНЫХ МАТРИЦ В РЕЖИМЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АДАМАРА

В настоящее время большое внимание уделяется преобразованию Адамара как средству кодирования сигнала, удобному для сокращения избыточности информации, опознавания образов, фильтрации и проведения других логических операций [1]. Имеются также предложения по реализации этого преобразования непосредственно на входе оптоэлектронных систем [2].

При реализации интегральных преобразований на уровне входных слоев информационных устройств необходимо учитывать собственные шумы фотоприемников, разброс их параметров, перекрестные и коммутационные помехи, определяющие пороговую чувствительность систем в целом.

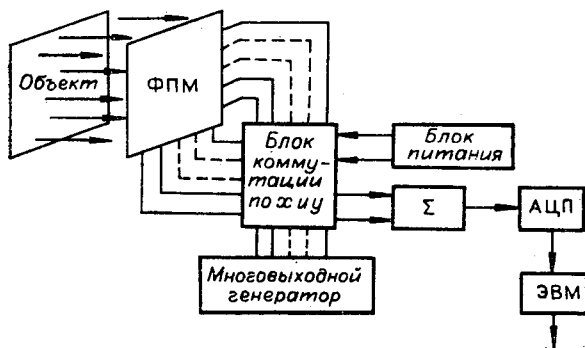


Рис. 1.

соответственно матрицы преобразования по  $x$  и  $y$ ;  $\|F_{xy}\|$  — входное оптическое изображение, приведенное к матрице фотодетектора.

В отличие от поэлементного сканирования при таком способе обработки изображения в каждый момент времени на вход суммирующего усилителя поступают сигналы от всех фоточувствительных ячеек, что позволяет на выходном устройстве реализовать принцип накопления энергии сигнала. Анализ показывает, что при этом различные источники шумов по-разному сказываются на выходном значении отношения сигнал/шум. Шумовая схема канала без учета искажений, вносимых восстановителем, представлена на рис. 2, где  $\bar{n}_f$  — фотонный шум падающего источника излучения,  $\bar{n}_s$  — фотонный шум постороннего фона,  $\bar{n}_t$  — шум темнового тока фоточувствительных элементов матрицы,  $\bar{n}_{\Delta t}$  — разброс темновых токов фотодетекторов,  $\bar{n}_k$  — разброс чувствительности фотодетекторов,  $\bar{n}_n$  — дробовой шум усилителя.

Для идеализированной системы, в которой собственные шумы отсутствуют, выходное отношение сигнал/шум определяется тем, насколько полно используется энергия падающего светового потока и как производится усреднение фотонных шумов. Анализ показывает, что после проведения прямого и обратного преобразования Адамара отношение сигнал/шум для такой системы

$$x_f = \frac{F_{xy}}{\left[ \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} F_{xy} \right]^{1/2} \frac{1}{N}}$$

где  $N \times N$  — размерность матрицы или полное число элементов. Из этого соотношения видно, что в отличие от поэлементного сканирования, где отношение сигнал/шум в каждой точке изображения зависит от шумов и сигнала, сосредоточенных только в этой точке, в случае преобразования Адамара сигнал по всему полю искажается шумом, уровень которого зависит от полной энергии входного светового потока. В соответствии с этим, если  $F_{xy}$  сосредоточена в одной точке,  $F_{xy} = F_{ij}$ , то

$$x_f' = \frac{F_{ij}}{\sqrt{F_{ij}} \frac{1}{N}}$$

Если  $F_{xy}$  равномерно распределена по всему полю матрицы, т. е.  $\sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} F_{xy} = N^2 F_{ij}$ , преобразование адекватно другому предельному случаю — системе мгновенного действия с поэлементным опросом, где

$$x_f'' = \frac{F_{ij}}{\sqrt{F_{ij}}}$$

В остальных случаях система занимает промежуточное положение между системой с накоплением и системой мгновенного действия с той особенностью, что участки с малой энергией сигнала искажаются шумом в большей степени, чем ярко освещенные точки.

Аналогичный анализ прямого и обратного преобразований Адамара фотонного шума постороннего фона и дробовых шумов темновых токов фотодетекторов, действующих по всему полю матрицы, показывает, что их влияние эквивалентно влиянию шумов в системе мгновенного действия, что требует построения фоточувствительных матриц на элементах с возможно малым уровнем темновых токов.

Данная работа посвящена исследованию специфики формирования сигнала и отношения сигнал/шум на матрицах, работающих в режиме преобразования Адамара, по сравнению с режимом поэлементного сканирования.

На рис. 1 изображена общая схема устройства, осуществляющего над дискретными изображениями преобразование вида

$$\|A_{yl}\| \|F_{xy}\| \|A_{kx}\| \Rightarrow \|C_{kl}\|,$$

где  $x, y, k, l$  принимают дискретные значения;  $\|A_{kx}\|, \|A_{yl}\|$  —

Из линейности преобразования Адамара следует, что разброс темновых токов  $\bar{n}_{\Delta i}$  и разброс чувствительности фотодетекторов  $\bar{n}_n$  преобразуются как полезный сигнал, причем шум  $\bar{n}_{\Delta i}$  аддитивен с сигналом, а  $\bar{n}_n$  — мультипликативен так же, как в случае поэлементного опроса.

Дробовые шумы усилительного канала  $\bar{n}_k$  при преобразовании Адамара ведут себя так же, как в системе многоканального типа, т. е. происходит их усреднение по числу выборок. Отношение сигнал/шум при определяющей роли этих шумов.

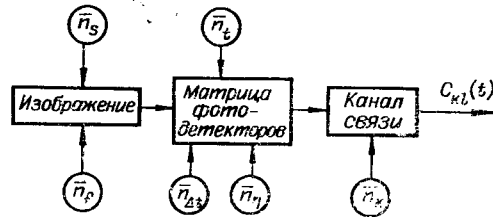


Рис. 2.

$$\kappa_k = F_{xy} N / \bar{n}_k.$$

При этом, однако, динамический диапазон канала по сравнению с системой поэлементного опроса должен быть увеличен в  $N$  раз.

Существенное преимущество использования преобразования Адамара при съеме информации с матричных фотоприемников заключается в подавлении перекрестных помех, которые при поэлементном опросе являются фактором, значительно ограничивающим пороговую чувствительность и размерность матриц. В силу симметричности и разделимости ядра при матричном преобразовании Адамара эквивалентная схема матрицы превращается в схему балансного типа, где взаимное влияние токов различных элементов друг на друга исключается.

Важным фактором, ограничивающим чувствительность оптоэлектронных систем, является прохождение в нагрузочное сопротивление фронтов коммутирующих импульсов через паразитные емкости отдельных элементов. При реализации преобразования Адамара в схеме балансного типа в суммирующем усилителе происходит взаимное вычитание этих импульсов. Остаточная величина коммутационной помехи зависит от разброса параметров отдельных элементов, просуммированных по участкам матрицы, чувствительность которых определяется преобразованием Адамара с весовыми коэффициентами  $+1$  и  $-1$ . Среднеквадратичное значение этих помех пропорционально среднеквадратичному отклонению емкостей элементарных фотоприемников от их средней величины, деленному на корень квадратный из размерности преобразования.

В схеме, приведенной на рис. 1, действуют еще два специфических источника помех, влияющих на точность преобразования. Первый из них — нарушение временной ортогональности между последовательностями импульсов, формируемых на выходах генератора бинарных функций, т. е. наличие сдвигов моментов перехода через нуль формируемых последовательностей. Из-за рекурсивного характера получения таких функций величина этих сдвигов возрастает с увеличением порядка функций. В работе [3] описывается специальная схема генератора, обеспечивающая разность задержек фронтов до  $10^{-8}$  с. Нами был построен макет, в котором задержка не превышала  $10^{-6}$  с, что при временной базе  $10^{-4}$  с не приводило к нарушению ортогональности.

Другим источником помех может служить разброс параметров ключевых элементов, входящих в блок коммутации по  $x$  и  $y$ . В общем виде в схеме преобразования Адамара влияние этого разброса тоже должно уменьшаться по сравнению с поэлементным сканированием в  $a = \sqrt{N \times N}$  раз. Однако в реальных системах влияние разброса ключевых элементов зависит от типа фотоприемников, из которых составлена матрица. В связи с этим нами были сделаны некоторые измерения коэффициентов спектров Адамара для двух типов матриц при наличии и отсутствии ключевых элементов.

В исследованиях использовались фототиристорная матрица размерностью  $8 \times 8$  элементов из оптронов светодиод-фототиристор типа АОУ-103, причем для создания симметричных вольт-амперных характеристик применялось встречно-параллельное включение фототиристоров в каждом элементе матрицы. Сопротивления нагрузки каждой пары фототиристоров имели величину 5,6 кОм и выбирались с точностью 5%. Были построены гистограммы распределения ошибок коэффициентов Адамара с такой матрицы при отсутствии (рис. 3, а) и наличии (рис. 3, б) системы ключей. В нашем случае применялись ключевые МОП-элементы с величиной сопротивления в открытом состоянии не более 200 Ом. Видно, что введение в систему ключевых элементов несколько увеличивает величину ошибки.

Фотодиодная матрица такой же размерности была собрана из специально изготовленных фотодиодов с токами утечки  $\sim 5 \cdot 10^{-9}$  А. Величина разброса темновых токов не превышала 70%. Поскольку фотодиоды работали в режиме генератора тока, влияния разброса сопротивления ключей обнаружено не было. Удалось показать, что величина разброса чувствительности фотодиодов существенно меньше, чем разброс темновых токов. Это видно из гистограмм рис. 3, в и 3, г, где приведены распределения ошибок в темновом режиме и при равномерном освещении матрицы ( $i_f = 30 i_T$ ).

Для полного исследования всех источников шума, рассмотренных в работе, требуется проведение обратного преобразования Адамара с учетом временных параметров сигналов.

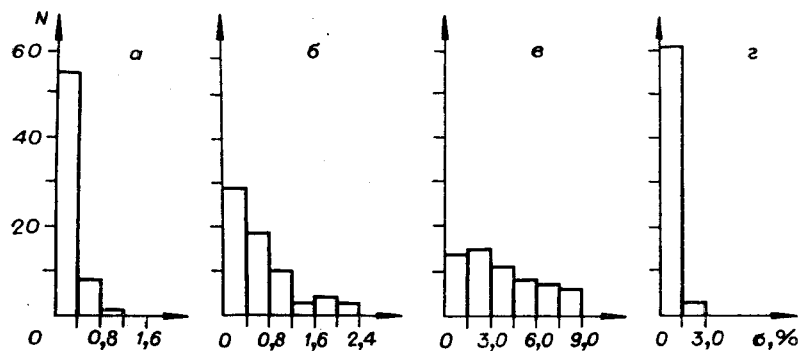


Рис. 3.

Приведенные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения фотоприемных матриц в режиме преобразования Адамара как для регистрации слабых оптических сигналов в режиме восстановления (накопление фотонных шумов, снижение шумов канала), так и при обработке сигналов на уровне коэффициентов (усреднение геометрических шумов).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Oliver C. I. Optical image processing by multiplex coding.—“Appl. Opt.”, 1976, vol. 15, p. 93—106.
2. Берковская К. Ф., Подласкин Б. Г. Оптоэлектронный анализатор изображения.—«Микроэлектроника», 1975, т. 4, № 2, с. 130—139.
3. Бесветтер. Генерирование функций Уолша.—«Зарубеж. радиоэлектроника», 1972, № 11, с. 68—78.

Поступило в редакцию 15 июля 1977 г.;  
окончательный вариант — 10 января 1978 г.

УДК 681.3.053 : 543.51

А. П. ЗАХАРНЕВ, П. П. ИВАНОВ, А. Я. ЧУХНИН  
(Ленинград)

#### УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВВОДА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ЭВМ «МИР-2»

В настоящее время обработка результатов эксперимента производится в целом ряде случаев с помощью универсальных ЭВМ, автоматизированный ввод в которые непосредственно от цифрового датчика не предусмотрен.

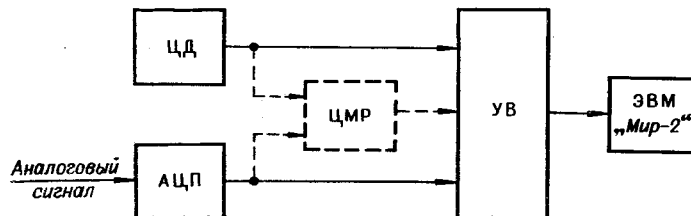


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного ввода экспериментальных данных в ЭВМ «Мир-2»:

ЦД — цифровой датчик; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ЦМР — цифровой магнитный регистратор; УВ — устройство ввода.