

Л.И. Акопов, Е.К. Завриева, В.Л. Паронян

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ПОМЕХОУСТОЙЧИВАЯ ПЕРЕДАЧА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Создание надежных и эффективных систем оптической связи, обеспечивающих помехоустойчивость и сжатие передаваемой информации, в частности изображений, невозможно без предварительной обработки с целью кодирования. Наиболее высокая степень сжатия видеоинформации достигается при кодировании с преобразованием, позволяющим разрушить корреляционную связь между элементами изображения и устранить присущую ему избыточность [1-4].

Результат преобразования является отображением исходного изображения в пространственно-частотной области и представляет собой трансформанту, состоящую из элементов, полученных в результате умножения двумерной функции, описывающей изображение на матрицы, или базисные функции выбранного преобразования. При этом характерные признаки изображения входят многократно в результат преобразования, а наиболее важные частотные компоненты имеют относительно высокие весовые коэффициенты [3, 5].

Сжатие осуществляется за счет отбрасывания элементов с малыми весовыми коэффициентами.

Относительно высокая помехоустойчивость при кодировании с преобразованием

достигается за счет того, что при передаче и восстановлении результатов преобразования распределение искажений, вызванных процессом обработки и передачи, происходит равномерно по всему восстановленному изображению.

Типичный расход бит на элемент изображения при цифровой передаче результатов кодирования с преобразованием - 1,5-0,5 бит/элемент, что является минимальным по сравнению с другими методами кодирования [3].

В настоящее время при кодировании с преобразованием широко применяется цифровая обработка на ЭВМ, однако из-за стремления осуществить процесс в реальном масштабе времени внимание разработчиков привлекают аналоговые методы, позволяющие также избежать ошибок квантования, возникающие при оцифровке изображения.

Недостатком известных оптических устройств, осуществляющих параллельное преобразование Уолша-Адамара, является поэтапность получения результата, связанная с поочередным представлением отрицательных и положительных значений элементов матриц Адамара [6] или базисных двумерных функций Уолша [7].

Скорость вычислений можно повысить, представляя противоположные по знаку

элементы взаимно ортогональными поляризациями [8].

На рис. 1 представлена блок-схема устройства реализующего умножение трех знакопеременных матриц, функционирование которого основано на свойствах анаморфотных оптических звеньев 10, 11, 12 [7, 9]. Абсолютное значение и знак элементов матриц представляются соответственно амплитудным и фазовым пропусканием двуслойных управляемых жидкокристаллических транспарантов 4 и 7; 5 и 8; 6 и 9 [10].

При выполнении преобразования с помощью этого устройства необходимость в двуслойном транспаранте возникает только при обратном преобразовании, когда на месте 5, 7 синтезируется знакопеременная трансформанта. При прямом преобразовании матрица-изображение, расположенная на этом месте, всегда положительна. Элементы же матрицы Адамара, расположенные слева и справа (4, 7 и 6, 9), как при прямом, так и при обратном преобразовании имеют постоянные значения +1 и -1.

При вычислении элементов результирующей матрицы

$$d_{km} = \sum_{i,j=1}^N b_{ki} a_{ij} c_{jm}$$

из-за отрицательных значений элементов матриц-сомножителей b_{ki} , a_{ij} , c_{jm} возникает необходимость выполнения вычитания.

Известен способ оптического вычитания изображений, использующий заранее записанные специальные голографические линзы, которые освещаются промодулированными вычитаемыми транспарантами, сопряженным опорным пучком [11, 12]. Однако этим способом регистрируется не яркостная разность, а геометрическое различие между двумя двуградационными изображениями.

Устройства коррекции смаза и дефокусировки на основе фотоанизотропных материалов [13, 14], осуществляющие вычитание двух световых потоков с взаимно ортогональными поляризациями позволяют регистрировать величину, пропорциональ-

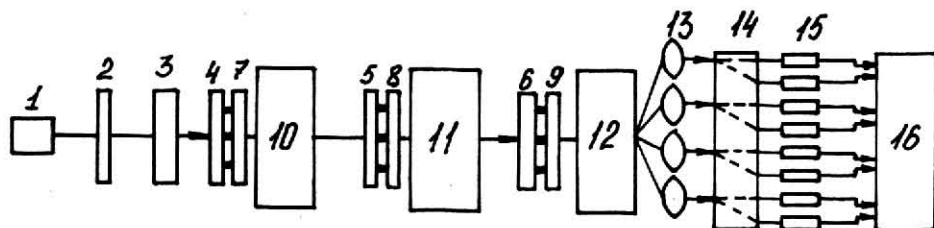


Рис. 1

1 - источник излучения; 2 - поляризатор; 3 - компенсатор; 4, 5, 6 - амплитудные транспаранты; 7, 8, 9 - фазовые транспаранты; 10, 11, 12 - анаморфотные оптические звенья; 13 - линзовый растр; 14 - призма Воллостона; 15 - матрица фотоприемников; 16 - блок регистрации

ную квадрату разностей интенсивностей сравниваемых потоков. И только в пределах приближенного равенства величины сигнала ее квадрату (для слабых сигналов) результирующую интенсивность можно считать разностью.

Результат, получаемый в процессе пространственно-частотной фильтрации с использованием дифракционной решетки, позволяющей регистрировать комплексную амплитуду выходного излучения, пропорциональную разности пропускания двух транспарантов [15] (в общем случае многоградационных), так же, как и в случае обычной интерференции представляет собой квадрат либо суммы, либо разности амплитуд.

По указанным причинам с целью регистрации величины и знака элемента результирующей матрицы нами используются призма Воллостона 14 и фотоэлектрическая схема сравнения 15, 16 (см. рис. 1). В результате сигналы с выхода оптического устройства, реализующего преобразование Уолша-Адамара, представлены в электрическом виде. Подача полученных элек-

трических сигналов на шины матричного управляемого поляризационного модулятора обеспечивает формирование, а просвещение его излучением лазера - введение трансформанты в канал связи.

При этом может осуществляться как параллельная, так и последовательная передачи. Параллельная передача с сохранением поляризационной модуляции (знака) возможна по открытому пространству, однако в этом случае дальность передачи ограничена дифракционной расходимостью [16].

Для сохранения знаковой информации, представленной в виде поляризации при передаче по волоконным световодам, необходимо организовать взаимное разделение двух видов поляризации. Такая передача может происходить по одномодовому оптическому волокну, сохраняющему поляризацию [17, 18]. При этом из-за случайных вращений плоскости поляризации передача знака происходит с помощью линейной и круговой поляризации [19]. Однако такой способ передачи не позволяет использовать преимущества параллельного

преобразования, так как для определения соответствия расположения элементов трансформанты на передающем и приемном пунктах необходимо надежное пространственное разделение каналов. То есть в этом случае возможна только последовательная передача.

С целью реализации параллельной передачи знакопеременной трансформанты по волоконному каналу связи целесообразно использовать одновременно частотное и спектральное разделения [20].

При этом абсолютное значение сигнала кодируется частотой модуляции излучения, а знак — длиной волны. Для кодирования адреса передаваемого элемента используется диапазон частот модуляции, так что каждому элементу трансформанты соответствует определенный частотный диапазон. Диапазон частот, необходимый для передачи 64 элементов 256-уровневого изображения 65 кГц. Вводу и передаче подлежит трансформанта, синтезированная с помощью управляющих сигналов, осуществляющих частотную модуляцию двухцветных излучателей, и представляет собой матричную структуру, размеры и число элементов которой зависят от степени сжатия.

На рис. 2 представлена схема устройства, осуществляющего процесс синтеза трансформанты на матрице двухцветных светодиодов. При одновременном попадании излучений с ортогональными поляризациями на каждый из пары фотодиодов на выходе дифференциального усилителя M_1 появляется напряжение, пропорциональное разности освещенности фотодиодов.

Полярность напряжения определяется фотодиодом, освещенность которого больше. Для правильного функционирования преобразователя "напряжение — частота" — M_4 напряжение на его входе должно быть только положительным. Это условие обеспечивается преобразователем абсолютных значений, собранным на M_2 и M_3 . Одновременно сигнал с выхода дифференциального усилителя M_1 поступает на "усилитель-ограничитель" M_5 . Величина напряжения на его входе определяется напряжениями стабилизации стабилизаторов D_1 и D_2 , а полярность — полярностью входного сигнала. Сигнал с выхода преобразователя "напряжение — частота" поступает на входы обоих компараторов 7 и 8, однако выходные сигналы с них по-

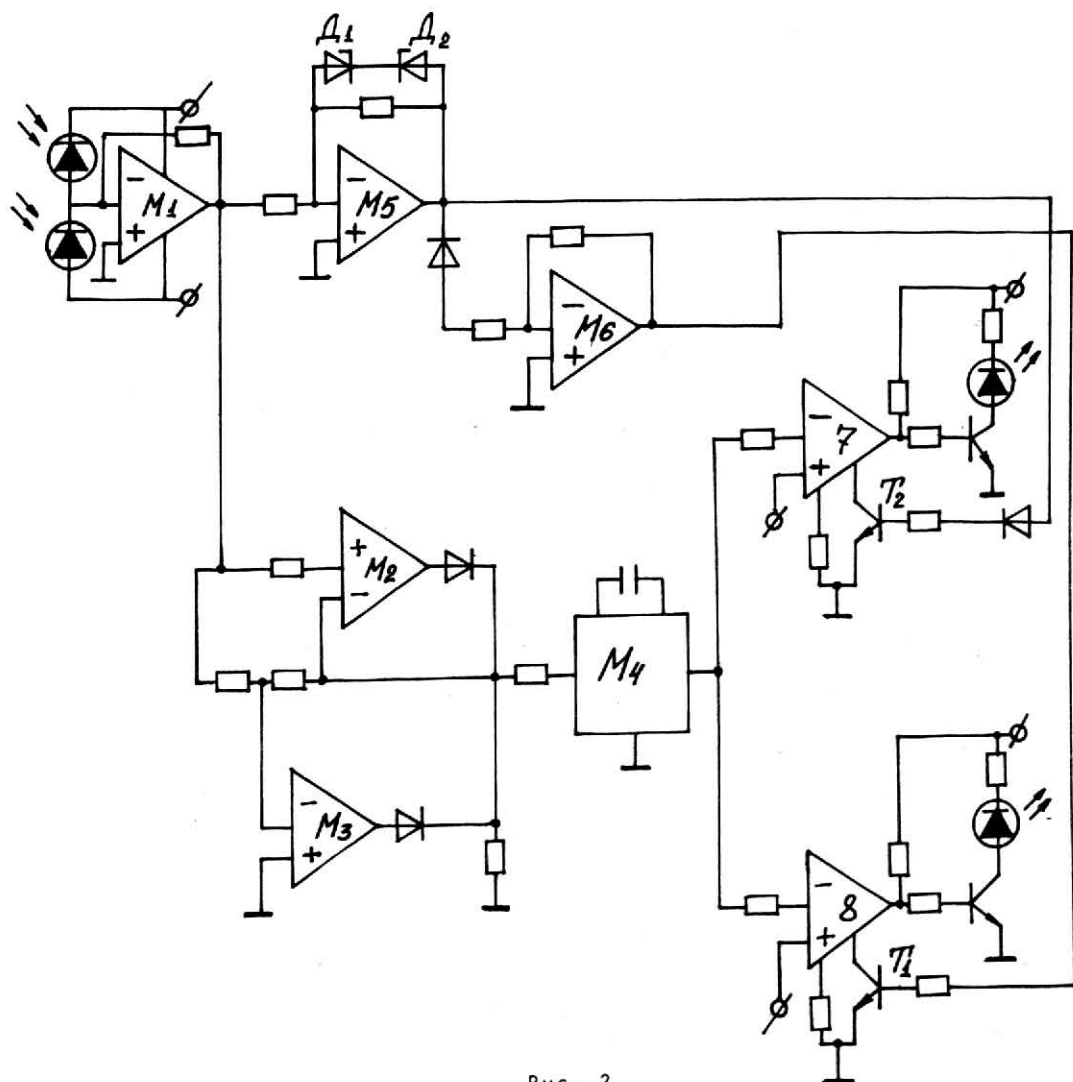


Рис. 2

явятся только тогда, когда откроются ключи на транзисторах T_1 и T_2 знаковым сигналом, поступающим с M_5 и инвертора M_6 .

Следует отметить, что описанное сравнение интенсивности излучений, попадающих на фотодиоды, необходимо проводить для всех элементов трансформанты, кроме первого d_{11} , так как в нем сосредоточена вся энергия от преобразуемого изображения и он всегда положителен.

Сжатие информации может осуществляться как на основе зональной, так и на основе пороговой стратегии отбора.

Зональная стратегия отбора более проста при реализации, менее критична к необходимости сохранения адреса, однако зональный отбор значительно сужает класс передаваемых изображений.

Сжатие на основе порогового отбора обеспечивает более правильный выбор отсчетов для передачи (с точки зрения искажений) и является более эффективным

при кодировании изображений с быстро изменяющимися статистическими свойствами [1, 3].

В нашем случае отбор передаваемых элементов трансформанты может осуществляться либо сравнением абсолютного значения каждого элемента с заранее выбранным пороговым напряжением, что достигается введением компаратора между преобразователем абсолютных значений и преобразователем "напряжение-частота", либо сравнением абсолютных значений пары элементов с помощью дополнительного дифференциального усилителя.

Таким образом, частотное и спектральное разделение каналов согласуются с параллельностью преобразования изображений, обеспечивают многоканальную передачу по волоконному световоду, а также позволяют избежать неравномерности влияния помех на сигналы различных уровней.

Л и т е р а т у р а

1. Методы передачи изображений / Под ред. У.К. Прэтта. М.: Радио и связь, 1983.
2. Прэтт У.К. Цифровые методы обработки изображений. М.: Мир, 1982.
3. Джайн А.К. Сжатие видеоинформации, ТИИЭР, т. 69, № 3, 1981, с. 71-117.
4. Шеннон К. Математическая теория связи, в сб. Работы по теории информации и кибернетики. М.: ИЛ, 1963, с. 243-332.
5. Трахтман А.М., Трахтман В.А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. М.: Сов. радио, 1975.
6. Кривенков Б.Е., Михляев С.В., Твердохлеб П.Е. и др. Некогерентная оптическая система для выполнения матричных преобразований // Автометрия, 1975, № 3, с. 32-40.
7. Блок А.С., Крупицкий Э.И., Куликов В.В. Оптико-электронный анализ изображений на основе формирования множества линейных функционалов. // Оптоэлектронные методы обработки изображений. Л.: Наука, 1982, с. 70-85.
8. Акопов Л.И., Бегиашвили Г.А., Воеводкин Г. и др. Оптическое кодирование знакопеременных функций // Тез. докл. II Всес. науч.-техн. конф. "Проблемы развития радиооптики", М., 1985, с. 102.
9. Михляев С.В., Твердохлеб П.Е. Оптическая система для матричных вычислений // Автометрия, 1989, № 2, с. 74-76.
10. Акопов Л.И., Бегиашвили Г.А., Воеводкин Г.Г., Челидзе И.Ш. Оптическое аналоговое устройство для умножения трех знакопеременных матриц. Авт. свид. СССР № 1226498. Бюлл. изобр., 1986, № 15.
11. Venkateswara Rao V., Joenathan C., Sirohi R. Real-Time Optical Image Subtraction by a Holographic Shear Lens, Optics Communications, Vol. 55, N 2, 1985, p. 83-86.
12. Venkateswara Rao V., Joenathan C., Sirohi R.S. Improved realtime optical image subtraction based on wave, Optical Engineering, vol. 25, N 12, 1986, p. 1320-1323.
13. Козенков В.М., Одинокоев С.В., Петрушенков И.В. Оперативное устройство коррекции смаза и дефокусировки с фотоанизотропным носителем // Оптические и оптоэлектронные методы обработки изображений и сигналов / Под ред. Гуревича. Л.: ЛФТИ, 1982, с. 82-96.
14. Одинокоев С.В., Петрушенко И.В., Савицкий А.В. и др. Параллельно-последовательный оптический коррелятор с фотоанизотропной средой // Автометрия, 1987, № 5, с. 23-26.
15. Майоров С.А., Очин Е.Ф., Романов Ю.Ф. Оптические аналоговые вычислительные машины. М.: Энергоавтоматиздат, 1983, с. 60-65.

16. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973.
 17. Берикашвили В.Ш. Световоды, сохраняющие поляризацию излучения // Электронная промышленность, 1987, № 8, с. 39-41.
 18. Творемирова Т.А. Состояние поляризации в одномодовых волокнах и методы его стабилизации. Теория передачи по каналам связи. М.: 1985, с. 122-128.
 19. Акопов Л.И., Захриева Е.К., Паронян В.Л. Оптическая обработка изображений с целью анализа и передачи // Тез. докл. 14-й Всес. науч.-техн. конф. "Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстропротекающих процессов", 1989, с. 87.
 20. Mosu K., Toba H., Iwashita K. Optical FDM Transmission Technique // Journal of Lightwave Technology, LT-5, N 9, 1987, p. 1301-1308.
-