

А.Н. Алексеев, В.В. Белов, Б.Д. Борисов, Н.В. Молчунов

АППАРАТУРНАЯ КОРРЕКЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСКАЖЕННЫХ РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Рассматриваются некоторые результаты применения аппаратного метода коррекции изображений, искаженных рассеивающими средами. Коррекция основана на подавлении рассеянной и усилении нерассеянной компоненты сигнала. Приводятся результаты лабораторных экспериментов по наблюдению объектов через рассеивающие среды с использованием разработанного электронного блока коррекции изображений. Сравняются результаты аппаратной коррекции и численной фильтрации искаженных рассеивающей средой изображений.

Проблема реставрации изображений, искаженных плотными рассеивающими средами, является одной из центральных проблем теории видения. Возможен ряд подходов к ее решению. В первом случае решение ищется с помощью привлечения алгоритмов численной фильтрации, во втором случае используются аппаратные средства коррекции сигнала изображения, в третьем случае разрабатываются специализированные аппаратно-программные комплексы восстановления изображений [1–3].

Проблемам применения эффективных алгоритмов численной фильтрации изображений, искаженных дисперсными средами, посвящены работы [4–6]. В предлагаемом сообщении рассматривается одна из возможных простых схем аппаратной коррекции изображений и обсуждаются некоторые результаты ее применения при наблюдении самосветящихся объектов в лабораторном эксперименте, выполненном в Институте оптики атмосферы СО РАН.

С помощью электронного устройства, построенного по приведенной схеме, осуществляется сдвиг и привязка уровня черного телевизионного сигнала с ТВ-камеры в зависимости от величины фоновой компоненты видеосигнала. Блок-схема устройства представлена на рис. 1. В состав схемы входят следующие узлы: 1 – входной усилитель, 2 – компаратор, 3 – усилитель-инвертор, 4 – устройство выборки-хранения (УВХ), 5 – формирователь интервала, задающий момент включения УВХ и начало регулируемого участка в строке, 6 – мультиплексор, 7 – формирователь длительности регулируемого участка, 8 – усилитель-инвертор, 9 – выходной усилитель.

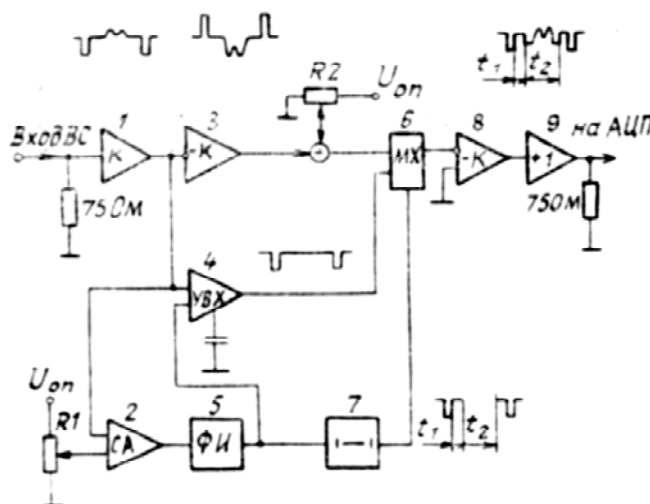


Рис. 1

Схема привязки и сдвига работает следующим образом. С выхода видеокамеры сигнал поступает на входной усилитель 1 и далее на компаратор 2, усилитель-инвертор 3 и УВХ 4. С помощью компаратора фиксируется уровень синхроимпульсов и задается точная временная привязка момента запуска УВХ и формирователя начала регулируемого участка в строке. На УВХ происходит запоминание значения входного сигнала, т.е. значение уровня фона, которое подается на один из входов мультиплексора 6. На другой вход мультиплексора через сумматор, осуществляющий сдвиг уровня с помощью регулировки опорного напряжения ($U_{он}$), поступает усиленный видеосигнал. По сигналам, сформированным схемой задержки 7, мультиплексор в течение длительности одной строки поочеред-

но пропускает на вход инвертирующего усилителя 8 значение уровня фона с УВХ или видеосигнал, производя его «врезку» в выбранный участок строки через интервал t_1 на длительность t_2 . Сформированный таким образом видеосигнал поступает через усилитель мощности 9 на вход 8-разрядного АЦП и далее с помощью системы ввода и обработки изображения [7] производится запись кадра на магнитный носитель. В результате такой предварительной обработки удается более полно использовать разрядную сетку АЦП (младшие разряды включаются на полезный сигнал, а не на фон) и тем самым расширить динамический диапазон регистрируемого сигнала. Схема позволяет отказаться от необходимости применения АЦП с более широким диапазоном уровней квантования и, следовательно, значительно упростить и удешевить весь тракт регистрации и хранения изображения.

Устройство испытывалось в специальном лабораторном эксперименте, блок-схема которого приведена на рис. 2.

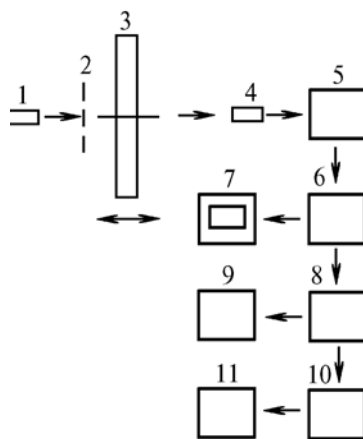


Рис. 2

Источник света 1 с помощью маски 2 формирует исходный объект, регистрация которого производится с помощью телевизионной системы через кювету 3, заполненную модельной рассеивающей средой. Оптическая плотность среды задается изменением концентрации раствора молока в дистиллированной воде. Перемещением кюветы вдоль оптической оси моделируется тип оптико-геометрической ситуации наблюдения [8, 9]. Искаженное изображение с помощью ТВ-камеры 4 преобразуется в видеосигнал, который через схему привязки и сдвига 5 подается на АЦП видеопроцессора 6. Из памяти видеопроцессора с помощью управляющей микро-ЭВМ 8 цифровое изображение пересылается для хранения на магнитное запоминающее устройство дискового типа 9. Для проведения обработки, требующей значительных вычислительных мощностей, изображение транслируется с помощью адаптера локальной вычислительной сети 10 на быстродействующую ЭВМ 11 типа ЕС-1066 или IBM/PC-AT386. Визуальный контроль изображения осуществляется на мониторе 7.

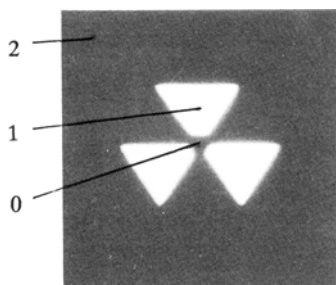


Рис. 3

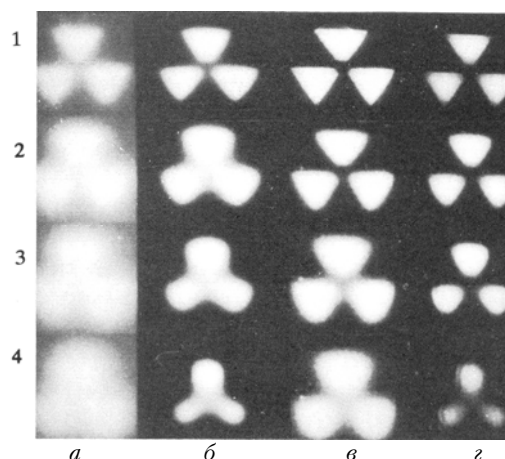


Рис. 4

На рис. 3 приведен исходный объект, представляющий собой три ярких треугольника с темным пятном в центральной части. Размер раstra определен в пределах 128×128 точек. Шаг квантования по пространству составляет $0,32$ мм/отсчет. С целью уменьшения шумовой компоненты сигнала регистрация изображения производилась с усреднением по 32 кадрам. Цифрами 0, 1, 2 обозначены точки, по которым рассчитывались значения коэффициентов контраста:

$$K_{1,2} = \frac{E(x_0, y_0) - E(x_{1,2}, y_{1,2})}{E(x_0, y_0) + E(x_{1,2}, y_{1,2})},$$

где $E(x, y)$ — амплитуда изображения в выбранной точке раstra.

На рис. 4, *a* представлены изображения, зарегистрированные в эксперименте в условиях оптико-геометрической ситуации 1-го типа (слой повышенной мутности граничит с объектом) с рассеивающей средой различной оптической толщины. Цифры 1–4 на левом поле рисунка соответствуют значениям $\tau = 3, 11; 5, 17; 7, 41; 10, 03$. Буквы на нижнем поле рисунка соответствуют; *b* — изображениям, полученным с применением блока фиксации и сдвига фоновой компоненты сигнала, *в* — результатам численной фильтрации изображений *a* по методу А.Н. Тихонова [10, 11], *г* — результатам тихоновской фильтрации изображений *b*.

На рис. 5 приведены изображения, полученные в условиях оптико-геометрической ситуации 2-го типа (слой повышенной мутности расположен между объектом и наблюдателем). Цифры и буквы на полях рис. 5 соответствуют рис. 4, за исключением $\tau = 10, 03$. Реставрация по методу А.Н. Тихонова в обоих случаях производилась с применением ФРТ, рассчитанной в численном эксперименте методом Монте-Карло [9].

На рис. 6 приведены изображения, зарегистрированные в условиях оптико-геометрической ситуации 3-го типа (слой повышенной мутности находится у наблюдателя).

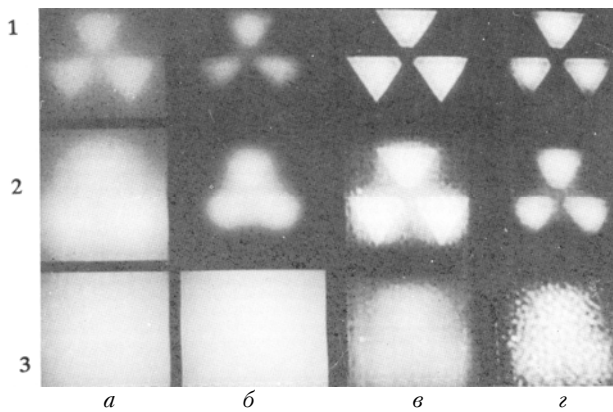


Рис. 5

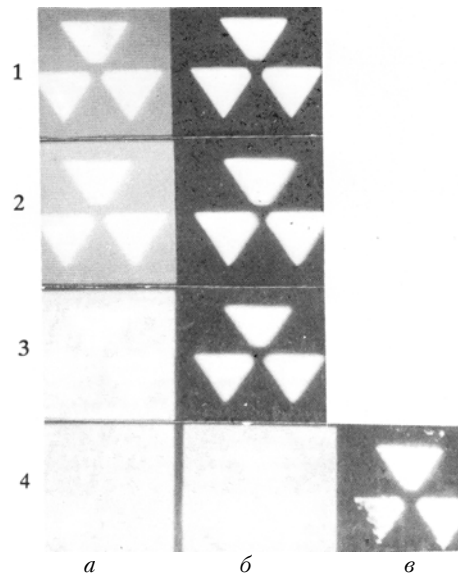


Рис. 6

Значения одночисловых характеристик качества для приведенных изображений содержатся в табл. 1–4, в которых цифрами 1, 2, 3 обозначены типы оптико-геометрических ситуаций.

Анализ полученных данных позволяет сделать ряд выводов. Включение в тракт регистрации устройства коррекции контраста оказывает положительное влияние на формируемое изображение во всех оптико-геометрических ситуациях наблюдения. Так, в ситуациях 1-го типа улучшение качественных характеристик наблюдается для оптических толщин рассеивающего слоя вплоть до 10. В ситуациях 2-го типа положительный результат отмечается для слоев с $\tau < 5$. Наибольший эффект, как и ожидалось, получен в условиях оптико-геометрической ситуации 3-го типа. При $\tau = 7,41$ и менее удается полностью подавить фоновую засветку и повысить коэффициент контраста практически до 1. При $\tau = 10$ удается усилить и зарегистрировать изображение объекта, слившегося с фоном (коэффициент контраста $K_1 = 0,01$). Применение к полученному усиленному изображению таких простых операций, как вычитание среднего уровня фоновой засветки и масштабирование амплитуды в диапазон 0–255, позволяет восстановить структуру и интенсивность исходного объекта (рис. 6, *в*).

Фильтрация искаженных изображений по методу А.Н. Тихонова с использованием рассчитанных методом Монте-Карло ФРТ приводит к следующим результатам. В ситуациях 1-го типа улучшение разрешающей способности системы наблюдается для оптических толщин, достигающих 10, в то время как форма объекта удовлетворительно восстанавливается при $\tau < 7$. В ситуациях 2-го типа положительный результат цифровой фильтрации отмечается при $\tau < 5$. Заметим, что фильтрация изображений, подвергнутых априорной аппаратурной коррекции контраста, дополнительного улучшения качественных характеристик не приносит. В ситуациях 3-го типа использование цифровой фильтрации, осуществляющей частотную коррекцию сигнала, не имеет смысла, т.к. в этих случаях происходит только потеря контраста изображения без изменения его частотных характеристик.

Таблица 1 ($\tau = 3,11$)

	Искаженное изображение (a)			Аппаратурная коррекция (b)			Восстановление по методу Тихонова (c)		
	НСКО	K1	K2	НСКО	K1	K2	НСКО	K1	K2
1	66,3	0,22	0,54	47,2	0,48	1,00	43,1	0,77	0,69
2	74,7	0,09	0,49	64,4	0,31	1,00	61,6	0,47	0,47
3	58,6	0,47	0,48	50,7	1,00	0,98	—	—	—

Таблица 2 ($\tau = 5,17$)

	Искаженное изображение (a)			Аппаратурная коррекция (b)			Восстановление по методу Тихонова (c)		
	НСКО	K1	K2	НСКО	K1	K2	НСКО	K1	K2
1	71,0	0,14	0,56	49,8	0,33	1,00	46,1	0,86	0,84
2	85,0	-0,03	0,41	69,8	0,02	-1,0	54,0	0,71	0,74
3	63,8	0,39	0,41	26,2	1,00	1,00	—	—	—

Таблица 3 ($\tau = 7,41$)

	Искаженное изображение (a)			Аппаратурная коррекция (b)			Восстановление по методу Тихонова (c)		
	НСКО	K1	K2	НСКО	K1	K2	НСКО	K1	K2
1	74,8	0,06	0,53	63,6	0,21	1,00	49,8	0,78	0,75
2	90,5	-0,05	0,28	94,7	-0,08	0,69	61,5	0,76	0,79
3	85,3	0,11	0,13	52,0	0,97	0,98	—	—	—

Таблица 4 ($\tau = 10,03$)

	Искаженное изображение (a)			Аппаратурная коррекция (b)			Восстановление по методу Тихонова (c)		
	НСКО	K1	K2	НСКО	K1	K2	НСКО	K1	K2
1	78,9	0,04	0,50	79,1	0,06	1,00	61,4	0,37	0,46
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	86,6	0,01	0,02	83,1	0,09	0,07	—	—	—

1. Обработка изображений при помощи цифровых вычислительных машин /Под ред. Г. Эндрюса, Л. Инло. Пер. с англ. М.: Мир, 1973. 219 с.
2. Василенко Г.И., Тараторин А.М. Восстановление изображений. М.: Радио и связь. 1986. 302 с.
3. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 333 с.
4. Калайда В.Т., Молчунов Н.В., Сапожников С.В. //Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 6. С. 655–664.
5. Белов В.В., Молчунов Н.В. //Тез. докл. Международной конференции «Обработка изображений и дистанционные исследования» (ОИДИ-90). Новосибирск. 1990. С. 35–36.
6. Белов В.В., Борисов Б.Д., Молчунов Н.В. //Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. № 8. С. 838–847.
7. Журавлев В.И., Шинкевич С.Л., Гриднев В.А., Константинов А.П., Коробов В.В. //Проблемно-ориентированные измерительно-вычислительные комплексы. Новосибирск: Наука, 1986. С. 58–62.
8. Белов В.В., Борисов Б.Д., Макушкина И.Ю. //Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 2. С. 18–24.
9. Белов В.В. //Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 8. С. 787–799.
10. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука. 1979. 285 с.
11. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Численные методы решения некорректных задач. М.: Наука. 1990. 230 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
14 мая 1992 г.

A.N. Alekseev, V.V. Belov, B.D. Borisov, N.V. Molchunov. **Instrumental Correction of Images for Distortions Introduced by a Scattering Medium.**

This paper deals with some aspects of instrumental correction of images for distortions introduced by scattering media. The correction technique is based on damping the scattered and amplification of direct signal components. Some results of laboratory experiments on observations of objects through scattering media conducted using the developed electronic unit for image processing are presented. An intercomparison of the results of instrumental correction with those obtained using numerical filtration of images distorted by scattering media is discussed.