

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 627.397.2

И. В. ТРОХИМЦ  
(Харьков)

ОБНАРУЖЕНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ  
НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ  
ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

Во многих работах по обнаружению изображений [1, 2] модель сигнала, подлежащего обработке, представляется следующим образом:

$$S(x, y) = S_n(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

или

$$S(x, y) = S_o(x, y) + S_n(x, y), \quad (2)$$

где  $S(x, y)$ ,  $S_n(x, y)$ ,  $S_o(x, y)$ ,  $n(x, y)$  — двумерные функции пространственных координат, описывающие принимаемый сигнал, изображение (фон), объект, шум. Однако при решении задач по обнаружению объектов на изображениях, переданных по каналу связи, такие модели будут неполезными. Поэтому представляет интерес решение задачи по обнаружению объектов  $S_o(x, y)$  на фоне изображения  $S_n(x, y)$ , которое, в свою очередь, зашумлено помехами  $n(x, y)$ . При этом на практике часто приходится обнаруживать малоразмерные цели. Поэтому введено допущение о том, что объекты малоразмерные. В работе предполагалось, что обнаружение объектов осуществляется моделью зрительной системы (ЗС) человека, рассмотренной в [3]. Тем самым также преследовалась цель проверить возможность использования модели ЗС человека [3] для обнаружения объектов на фоне зашумленного изображения.

Рассмотрим модель принимаемого сигнала. Считается, что взаимодействие искомого объекта  $S_o(x, y)$  и изображения  $S_n(x, y)$  в общем случае нельзя описать детерминистски и аддитивная модель неверна [2]. Это объясняется тем, что наблюдаемый сигнал от искомого объекта определяется не только самим объектом, но и соседними объектами (тенями), условиями освещенности, метеусловиями и другими трудно формализуемыми факторами. Однако, как показали исследования, аддитивная модель полезного сигнала (объекта) на изображении является справедливой в том случае, если размеры объекта значительно меньше размеров всего изображения [4].

Согласно [1] человек-наблюдатель при обнаружении изображений в присутствии квазибелого гауссова шума («белая» помеха) обеспечивает примерно такую же вероятность их правильного обнаружения, что и оптимальное устройство, работающее по критерию минимума среднего риска. Однако отсчеты изображения, на фоне которого находится объект, сильно коррелированы между собой и в общем случае с объектом («цветная» помеха). Закон распределения отсчетов изображения не является гауссовым [5]. При этих условиях вероятность правильного обнаружения объектов на изображениях наблюдателем меньше, чем оптимальным устройством [1].

При передаче изображений по цифровому каналу связи необходимо учесть собственно шум канала, шум квантования, обусловленный преобразованием изображения в двоичный код, и шум пространственной дискретизации изображения при разложении его в телевизионный растр.

Согласно [1] при числе элементов разложения по строкам и столбцам  $N \geq 64$  влиянием шума пространственной дискретизации на вероятность правильного опознавания (тем более обнаружения) изображений можно пренебречь, так как при этом отношение сигнал (изображение)/шум с учетом эффекта фильтрации, осуществляемой наблюдателем, достаточно велико. Также согласно [1] даже при двух уровнях квантования изображение и шум, возникающий при его квантовании, практически не коррелированы. Во многих практических случаях справедливо допущение, что шумовая помеха широкополосна и на выходе цифрового преобразователя спектральная плотность шума канала не зависит от частоты. Допущение аддитивности шума канала, распределенного по гауссовому закону, при обнаружении изображений наблюдателем является справедливым, поскольку отличие закона распределения шума, обусловленного цифровым каналом, от гауссового при-

ведет лишь к небольшому занижению значений искомых вероятностей [1]. В связи с этим возможно моделирование шума канала квазигбелым шумом. Тогда модель принимаемого сигнала будет

$$S(x, y) = S_0(x, y) + S_n(x, y) + n(x, y). \quad (3)$$

В данном случае шум квантования не учитывался с целью уменьшения его влияния на результаты обнаружения. При наличии модели (3), т. е. когда в полезном сигнале  $S_0(x, y)$  существуют «белая»  $n(x, y)$  и «цветная»  $S_n(x, y)$  помехи одновременно, можно ожидать, что результаты обнаружения сигнала  $S_0(x, y)$  человеком будут зависеть от соотношения мощностей этих помех. Если мощность «белой» помехи (квазигбелый шум, характеризующий шум канала) преобладает, то основное воздействие на результаты обнаружения оказывает именно этот вид помехи. Если же наоборот, то основное воздействие будет оказывать «цветная» помеха (фон или «подстилающее изображение»). В последнем случае результаты обнаружения окажутся хуже, чем при оптимальном приеме, когда вероятности правильного обнаружения сигнала человеком и приемником совпадают. В случае более мощной «белой» помехи результаты будут приближаться к результатам, полученным с помощью оптимального приемного устройства.

Таким образом, зависимости вероятности правильного обнаружения объектов на изображениях человеком от отношения сигнал (объект)/шум (изображение)  $\Psi_n(P_{обн.чел} = f(\Psi_n))$  при различных отношениях сигнал (изображение)/шум (некоррелированная помеха-шум канала)  $\Psi_{ш}$  должны пересекаться. Причем при увеличении  $\Psi_n$  пересечение зависимостей  $P_{обн.чел} = f(\Psi_n)$  будет происходить при меньших  $\Psi_{ш}$ .

С целью проверки этого факта проводилось экспериментальное исследование. В качестве обнаружителя использовалась модель ЗС человека [3]. Образцами изображений были монохроматические аэрофотоснимки, вводимые в память ЭВМ при 64 уровнях квантования и разложенные на  $128 \times 128$  элементов. В качестве объекта выбиралась метка, вид которой представлен на рис. 1, а. Размеры метки —  $7 \times 7$  элементов разложения. Значение максимальной яркости равно  $H$  (рис. 1, б). Такой вид метки выбирался из соображений наличия контурных перепадов во всех направлениях. Шум канала моделировался при помощи специальных программ, вводимых в память ЭВМ.

Само изображение по отношению к объекту (метка) выступало в качестве коррелированной помехи. Отношение сигнал/шум объекта (метки) к изображению  $\Psi_n$  определялось как отношение амплитуды метки  $H$  к корню квадратному из средней мощности (дисперсии) изображения [1]. За отношение сигнал/шум изображения и некоррелированного шума — шума канала  $\Psi_{ш}$  принималось отношение размаха сигнала изображения, определяемого как разность максимального и минимального значений, к среднеквадратическому значению шума канала.

Исследование проводилось путем статистического моделирования на ЭВМ. Для каждого значения отношения сигнал/шум  $\Psi_n$  при заданном  $\Psi_{ш}$  проведено по 1000 испытаний. Вероятность обнаружения объекта (метки) находилась из отношения количества испытаний, в которых метка была правильно обнаружена, к общему числу испытаний. В ходе исследования предполагалось, что объект может располагаться в любой точке рассматриваемого изображения. Характеристики точности и надежности оценки вероятности правильного обнаружения объектов на изображениях моделью ЗС человека [3] могут быть представлены в следующем виде. При доверительной вероятности  $\beta = 0,9$  и  $P_{обн}^* = 0,996$  нижняя и верхняя границы доверительного интервала согласно [6]  $P_{обн1} = 0,99143$ ,  $P_{обн2} = 0,99820$ . Доверительный интервал  $I_\beta = (0,99143, 0,99820)$ . При  $P_{обн}^* = 0,51$  и  $\beta = 0,9$   $P_{обн1} = 0,48404$ ,  $P_{обн2} = 0,53591$ ,  $I_\beta = (0,48404, 0,53591)$ . Таким образом,  $P_{обн1}$  меняется в пределах  $(0,00487 \div 0,02596)$ ,  $P_{обн2}$  — в пределах  $(0,0022 \div 0,02591)$ .

Полученные зависимости вероятности правильного обнаружения объекта на изображениях  $P_{обн}$  от отношения сигнал/шум  $\Psi_n$  при различных  $\Psi_{ш}$  приведены на рис. 2. Из

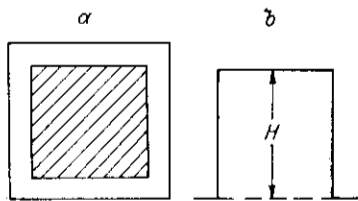


Рис. 1

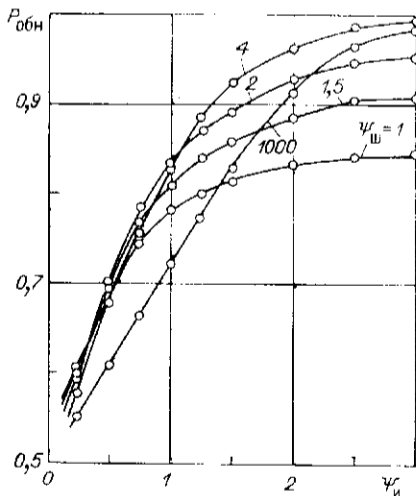


Рис. 2

графиков видно, что при больших значениях  $\psi_n$  вероятность правильного обнаружения объекта  $P_{обн}$  выше, когда  $\psi_{ш}$  больше. При малых  $\psi_n$   $P_{обн}$  выше при меньших  $\psi_{ш}$ , т. е. кривые  $P_{обн} = f(\psi_n)$  при различных  $\psi_{ш}$  пересекаются. Из анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что при обнаружении объектов на изображениях и человеком [1], и моделью ЗС (в данном исследовании) коррелированная помеха (изображение) в большей степени разрушает полезную информацию, чем некоррелированная (шум канала). Совпадение результатов свидетельствует о правильности предложенной модели ЗС человека [3]. Анализ кривых  $P_{обн} = f(\psi_n)$  при различных  $\psi_{ш}$  (см. рис. 2) позволяет сделать вывод о том, что для повышения вероятности правильного обнаружения объектов на изображениях в присутствии шума канала необходима предварительная обработка, заключающаяся в «выбеливании» изображения, которое является фоном. Шум канала разрушает как полезную информацию (объекты на изображении), так и само изображение, т. е. декоррелирует его.

Таким образом, приведенные результаты позволяют сделать вывод, что модель ЗС человека [3] подходит для решения задачи обнаружения малоразмерных объектов на фоне зашумленных изображений. Используя подобную методику исследования, можно оценивать качество систем передачи видеoinформации по критерию вероятности правильного обнаружения объектов на изображениях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красильников И. Н. Теория передачи и восприятия изображений // Теория передачи изображений и ее приложения.— М.: Радио и связь, 1986.
2. Ярославский Л. П. Введение в цифровую обработку изображений.— М.: Сов. радио, 1979.
3. Трохимец И. В. Обнаружение изображений при помощи модели зрительной системы человека // Автометрия.— 1991.— № 2.
4. Василенко Г. И., Цибульский Л. М. Голографические распознающие устройства.— М.: Радио и связь, 1985.
5. Мусман К. Г., Парш П., Граллерт Х.-Й. Достижения в области кодирования изображений // ТИИЭР.— 1985.— 73, № 4.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей.— М.: Наука, 1969.

Поступило в редакцию 3 мая 1990 г.

УДК 681.325.5.01

Ю. А. ПОПОВ, Э. А. ФОМИН, Е. А. ШЕВЕРДУК  
(Новосибирск)

#### ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ С РАСШИРЕННЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

При исследовании широкополосных сигналов часто возникает задача обеспечения большого динамического диапазона, когда требуется измерить малые изменения сигналов на уровне больших постоянных сигналов. Подобная задача возникает, например, при исследовании тонкой структуры сигналов ЭСЛ- и ТТЛ-логики.

Одним из распространенных методов решения подобной задачи (особенно при использовании малоразрядных АЦП) является применение дифференциального усилителя, на один из входов которого подается исследуемый сигнал, а на второй вход — управляемое постоянное напряжение смещения. Сигнал на выходе усилителя представляет собой разность постоянного напряжения смещения и исследуемого сигнала (рис. 1). Этот метод позволяет исследовать сигнал по частям, выводя с помощью

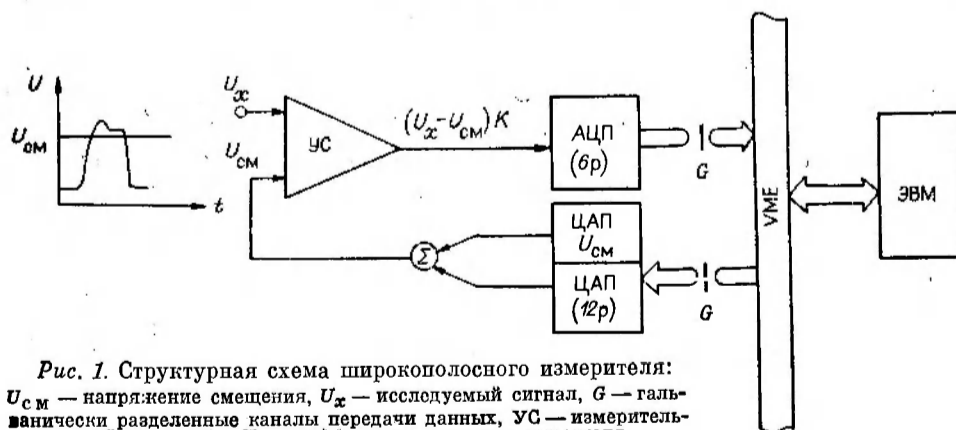


Рис. 1. Структурная схема широкополосного измерителя:  
 $U_{см}$  — напряжение смещения,  $U_x$  — исследуемый сигнал,  $G$  — гальванически разделенные каналы передачи данных, УС — измерительный усилитель,  $K$  — коэффициент усиления усилителя