УДК 621.383.8 : 681.142.36

Ю. И. НЕФЕДОВ, канд. техн. наук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ.

СООБЩЕНИЕ I

Решение многих практически важных задач автоматического анализа и распознавания изображений связано с выделением полезной (целевой) информации по определенным, заранее установленным признакам, т. е. с пространственно-временной фильтрацией изображений. Последнюю принято рассматривать как важнейшую подготовительную операцию максимизации отношения сигнал — помеха при распознавании зрительных образов. Эта операция облегчает принятие решения о наличии и положении искомого объекта в поле зрения в каждый момент времени.

Реакцию пространственно-временного фильтра $u(x, y, t)$ на входное возмущение $I(x, y, t)$ можно найти из соотноше для пороговой операции свертки [1]:

$$u(x, y, t) = [I(x, y, t) * Q(x, y, t)] \times$$

$$\times 1[I(x, y, t) * Q(x, y, t) - C], \qquad (1)$$

где $Q(x, y, t)$ — весовая функция фильтра;

C — величина порога.

Введение порога на выходе фильтра позволяет отсеять шум и выделить полезный сигнал.

Весовую функцию пространственно-временного фильтра можно представить в виде произведения

$$Q(x, y, t) = Q_1(x, y) Q_2(t), \qquad (2$$

в котором $Q_1(x, y)$ — пространственная компонента весовой функции (ответ на δ-импульс Дирака);

$Q_2(t)$ — временная компонента весовой функции (импульсная реакция).

Если в системе отсутствует пространственная иррадиация возмущения, т. е. $Q_1(x, y) = 1$, то такая система является фильтром временных сигналов. Когда же в системе не учитывается влияние импульсного возмущения на состояние системы в последующие моменты времени, т. е. когда $Q_2(t) = 1$, то такая система является пространственным фильтром изображений. Реакция пространственного фильтра $u(x, y)$ на входной сигнал $I(x, y)$ может быть найдена из соотношения

$$u(x, y) = [I(x, y) * Q_1(x, y)] \times \\ \times 1[I(x, y) * Q_1(x, y) - C]. \quad (3)$$

Таким образом, пространственную и временную фильтрации можно рассматривать как частные случаи фильтрации пространственно-временных сигналов.

Конкретный вид весовой функции предопределяет все функциональные возможности пространственно-временного фильтра. Однако отыскание весовых функций по известным реакциям и входным сигналам является чрезвычайно сложной задачей. Некоторые соображения относительно вида весовых функций ряда пространственно-временных фильтров могут быть высказаны на основании данных нейрофизиологических исследований зрительной системы [2, 3]. Математические и телевизионные модели нейронных структур, отвечающие этим данным, позволили подробно изучить функциональные свойства ряда пространственно-временных фильтров и уточнить их весовые функции [2 — 6].

Пространственно-временная фильтрация изображений может осуществляться как программным путем на ЭВМ, так и с помощью специальных оптических и электронных устройств. Если задача обработки изображений требует быстрого решения, то для пространственно-временной фильтрации целесообразно использовать электронные или оптические устройства.

Для построения электронных фильтров могут использоваться стандартные телевизионные системы [3, 5, 6]. Телевизионные пространственно-временные фильтры имеют преимущества по сравнению с оптическими. Рассмотрим некоторые из них.

1. Использование телевизионных фильтров для оперативной обработки поступающей информации в реальном масштабе времени не сопряжено с какими-либо трудностями. При оптической пространственно-временной фильтрации обычно требуется предварительная регистрация изображений на фотоматериалах.

2. Телевизионные системы позволяют одновременно с фильтрацией изображений осуществлять преобразование пространственного оптического сигнала во временной электрический сигнал,

что имеет большое значение при использовании ЭВМ для последующей обработки данных.

3. На телевизионных системах, в отличие от оптических, легко реализуются пороговые операции, дающие возможность выделять сигналы определенной интенсивности.

4. На телевизионных системах сравнительно легко реализуются временные компоненты весовых функций пространственно-временных фильтров.

Перечисленные преимущества оказываются решающими при необходимости оперативной (быстрой) обработки поступающей информации [3, 7].

В соответствии с выражением (1) синтез телевизионного пространственно-временного фильтра осуществляется по следующему алгоритму:

1) реализуются пространственная и временная компоненты весовой функции фильтра;

2) значения сигналов в каждой точке входного изображения умножаются на весовую функцию фильтра;

3) в каждой точке телевизионного растра производится пространственно-временное интегрирование найденных выше произведений;

4) полученный интегральный сигнал выделяется из шума.

Рассмотрим основные способы реализации данного алгоритма.

Весовая функция пространственно-временного фильтра может быть синтезирована в передающей или приемной телевизионной трубке. Форма апертуры сканирующего луча трубки всегда определяет пространственную компоненту весовой функции. Различные формы апертур могут быть получены путем специальной расфокусировки электронного луча [8, 9] либо посредством программного перемещения луча по определенному закону [3, 5, 10]. С помощью линий задержек и регистров можно строить многоэлементные апертуры [11, 12]. Для программного перемещения луча используются высокочастотные синусоидальные напряжения, которые вместе с пилообразными напряжениями разверток подаются на отклоняющую систему трубки. Синусоидальные сигналы создают локальные высокочастотные развертки электронного луча, т. е. формируют апертуры определенной конфигурации. Форма апертуры задается пространственной компонентой весовой функции фильтра. Подбирая определенные значения амплитуд, частот и разности фаз синусоидальных напряжений, подаваемых на отклоняющие системы, можно синтезировать апертуры любой нужной формы [3, 5].

Умножение весовой функции на входной сигнал осуществляется при сканировании мишени передающей трубки апертурой коммутирующего луча. В приемной трубке такое умножение выполняется при модуляции яркости сканирующей апертуры видеосигналом. Умножение весовой функции на входной сигнал будет производиться в каждой точке растра, если частота сину-

соидальных напряжений превысит частоту строчной развертки не менее чем в 200 раз.

Для синтеза временных компонент весовых функций пространственно-временных фильтров могут использоваться две передающие трубки с различными инерционностями [6, 18], дифференцирующие трубки [14], вычитающие потенциалоскопы [15] и передающие трубки, имеющие световую характеристику $u_{вых}(E)$ с положительной и отрицательной крутизной [16, с. 390].

Накопление энергии на мишенях передающих трубок и на запоминающих люминесцентных поверхностях приемных трубок позволяет приближенно воспроизвести в каждой точке телевизионного растра пространственно-временное интегрирование произведений весовой функции и входного сигнала. При этом важно, чтобы информация о поступающем изображении сохранялась на накопительной поверхности трубки в течение времени, превышающего период кадровой разверстки. Данное условие всегда может быть выполнено в запоминающих трубках (потенциалоскопах). Для выполнения этого условия в передающих или приемных трубках без длительной памяти необходимо с учетом инерционности или времени послесвечения трубки правильно выбрать частоту кадровой развертки.

После реализации свертки следует выделить полезный сигнал из шума. Такую пороговую операцию можно осуществить путем ограничения уровня видеосигнала на выходе передающей трубки либо ограничением уровня яркости приемной трубки.

Пространственное интегрирование на экране приемной трубки

Упрощенная блок-схема телевизионной системы, предназначенной для пространственной фильтрации изображений, имеет передающую камеру *ПК*, блок низкочастотных разверток *БНР*, включающий синхрогенератор и генераторы строчной и кадровой разверток, блок высокочастотных разверток *БВР*, предназначенный для синтеза весовых функций (апертур) пространственного фильтра, видеоконтрольное устройство *ВУ* (рис. 1). Данная телевизионная система может использоваться для выделения из контурных изображений прямых линий определенной ориентации, углов, линий заданной кривизны и разнообразных фигур сложной конфигурации.

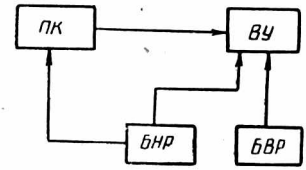

Рис. 1.

Весовую функцию пространственного фильтра — детектора ориентированных прямых можно записать в виде δ-функции, заданной на прямолинейном, ориентированном под углом α к оси абсцисс [3] отрезке длиной a:

$$Q_1(x-x_0,\ y-y_0) = \delta[(x-x_0)\sin\alpha + (y-y_0)\cos\alpha] \times$$

$$\times \left\{1\left[(x-x_0)\cos\alpha-(y-y_0)\ \sin\alpha+\frac{a}{2}\right]-\right.$$

$$\left.-1\left[(x-x_0)\cos\alpha-(y-y_0)\ \sin\alpha-\frac{a}{2}\right]\right\}. \quad (4$$

Апертуру, соответствующую данной весовой функции, можно реализовать, подавая на отклоняющую систему приемной трубки высокочастотные синусоидальные напряжения с *БВР*. Раздельная регулировка амплитуды этих напряжений на вертикальной и горизонтальной отклоняющих системах трубки позволяет изменять угол наклона прямолинейной апертуры и, следовательно, выделять прямые линии любой нужной ориентации.

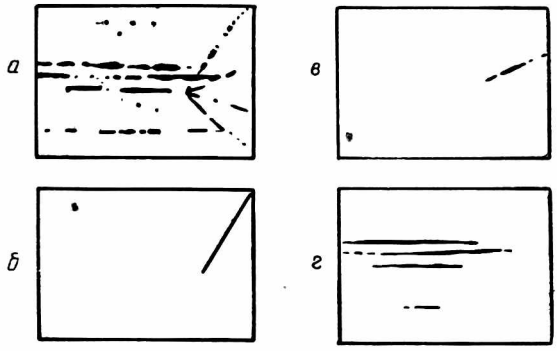

Рис. 2.

Фотоснимок треков был получен с пузырьковой камеры (рис. 2, *а*). Это изображение обрабатывалось на телевизионной системе. После пространственной фильтрации также производилось фотографирование (рис. 2, *б*—*г*). Сравнение изображения, предъявляемого на входе телевизионной системы (рис. 2, *а*), с изображениями, формирующимися на экране *ВУ* (рис. 2, *б* — *г*) позволяет сделать следующий вывод: телевизионный пространственный фильтр с весовой функцией (4) может использоваться для выделения полезного сигнала из шума, определения принадлежности отдельных зерен одному треку и ориентации треков. Данная система позволяет также измерять углы между треками и кривизну треков.

По аналогии с весовой функцией детектора ориентированных прямых весовую функцию пространственного фильтра, выделяющего углы, можно представить в виде суммы двух δ-функций, заданных на сторонах угла одинаковой длины *a*:

$$Q_1(x-x_0,\ y-y_0)=\delta\left[(x-x_0)\sin\alpha_1+(y-y_0)\cos\alpha_1\right]\times$$

$$\times\left\{1\left[(x-x_0)\cos\alpha_1-(y-y_0)\sin\alpha_1+\frac{a}{2}\right]-1\left[(x-x_0)\cos\alpha_1-\right.\right.$$

$$-(y-y_0)\sin\alpha_1-\frac{a}{2}\Big]\Big\}+\delta\,[(x-x_0)\sin\alpha_2+(y-y_0)\cos\alpha_2)\times$$

$$\times\Big\{1\Big[(x-x_0)\cos\alpha_2-(y-y_0)\sin\alpha_2+\frac{a}{2}\Big]-1\Big[(x-x_0)\cos\alpha_2-$$

$$-(y-y_0)\sin\alpha_2-\frac{a}{2}\Big]\Big\}, \qquad (5)$$

где α_1, α_2 определяют ориентацию сторон угла по отношению к оси абсцисс.

Апертуру луча, соответствующую данной весовой функции, можно синтезировать из высокочастотных синусоидальных напряжений. Для этого необходимо разделить синусоидальный сигнал на положительную и отрицательную составляющие и каждую из них использовать для формирования прямолинейной компоненты апертуры определенной ориентации [3].

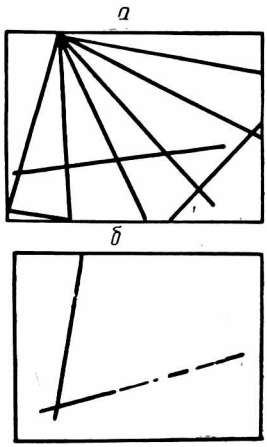

Рис. 3.

Работу телевизионной системы в режиме выделения углов можно проиллюстрировать фотоснимками: на рис. 3, *а* показано входное изображение, а на рис. 3, *б* — изображение, формирующееся на экране *ВУ*.

Весовую функцию пространственного фильтра, выделяющего линии определенной кривизны, можно записать в виде δ-функции, сосредоточенной на окружности радиусом a [3]:

$$Q_1(x-x_0,\ y-y_0)=\delta\left[\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}-a\right]. \qquad (6)$$

Данная весовая функция, умноженная на возмущение, преобразует каждую точку последнего в окружность такого же радиуса. Если он равен радиусу кривизны возмущения, то в центре кривизны все окружности пересекутся, образуя интегральный сигнал большой величины [3].

Апертуру луча приемной трубки, соответствующую весовой функции детектора кривизны (6), можно синтезировать, подавая с *БВР* на горизонтальную и вертикальную отклоняющие системы трубки напряжения одинаковой амплитуды и частоты, но сдвинутые по фазе относительно друг друга на 90°. В результате сложения таких взаимно-перпендикулярных колебаний создается круговая апертура. Ее радиус зависит от амплитуды сигналов, подаваемых с *БВР*.

Работу телевизионной системы в режиме выделения линии определенной кривизны также иллюстрируют фотоснимки (рис. 4).

Обработке подвергалось изображение в виде окружностей разного радиуса на фоне помех (рис. 4, *а*). На фотоснимках, полученных с экрана *ВУ* (рис. 4, *б*, *в*), видны лишь точки, соответствующие центрам выделяемых окружностей. Радиус выделяемой окружности равен радиусу круговой апертуры, сканирующей изображение.

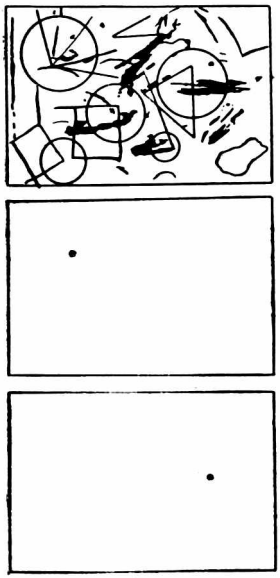

Рис. 4.

Для выделения из изображений фигур, образуемых линиями различной кривизны, необходимо сканировать изображение апертурной, имеющей конфигурацию выделяемой фигуры. Апертуры сложной формы могут быть синтезированы из синусоидальных сигналов [17].

Телевизионные системы, в которых пространственная фильтрация осуществляется на экране приемной трубки, могут использоваться для выборочной индикации визуальной информации [3]. Применение таких систем индикации облегчит условия наблюдения и повысит эффективность работы оператора

ЛИТЕРАТУРА

1. *Caianiello E. R.* Outline of a theory of thought processes and thinkin machines. — «J. Theoret. Biol.», 1961, vol 1, p 98 — 104.
2. *Marko H.* Die Anwendung Nachrichtentheoretisher Methoden in der Biologie. — «Electronishe Informationsverarbeitung und Kybernetik,» 1969, Bd 5, H2, S. 3
3. *Нефедов Ю. И.* Исследование принципов переработки информации в зрительной системе и их использование при построении телевизионных пространственно-временных фильтров изображений. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Харьков. 1971. 26 с. (Харьковский институт радиоэлектроники).
4. Детектирование движения в сетчатке глаза лягушки. — В сб.: Проблем бионики. Вып. 5. Харьков, Изд-во Харьк. ун-та, 1971, с. 30 — 37. Авт. Ю. И. Зозуля, Ю. И. Нефедов, В. Г. Червов, Ю. П. Бугай.
5. *Нефедов Ю. И., Червов В. Г., Бугай Ю. П.* Моделирование процессов первичной обработки информации в зрительном анализаторе с помощью телевизионной системы. — В сб.: Проблемы бионики. Вып. 3. Харьков, Изд-во Харьк. ун-та, 1970, с. 142 — 148.
6. *Нефедов Ю. И., Червов В. Г., Абдула В. Г.* Телевизионная модель детектора движения. — В сб.: Проблемы бионики. Вып. 7 Харьков, Изд-во Харьк. ун-та, 1971. с. 85 — 89.
7. *Гуревич С. Б.* Теория и расчет невещательных систем телевидения. Л. «Энергия», 1970. 236 с.
8. *Нефедов Ю. И., Червов В. Г., Бугай Ю. П.* Исследование возможности изотропного выделения контуров изображений в телевизионной передающей системе. — В сб : Радиотехника. Вып. 11. Харьков, Изд-во Харьк. ун-та 1969, с. 156 — 163.