

АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Известные методы пространственной фильтрации изображений [1] не всегда позволяют выделить полезный сигнал на мешающем неоднородном фоне. Мешающий фон могут создавать сигналы с такими же оптическими и пространственными частотами, как и у объектов селекции. В этом случае приходится решать задачу селекции одних подвижных объектов на фоне других по траекторным пространственно-временным признакам. Сложность ее решения обусловлена двумя противоречивыми требованиями — необходимостью измерения достаточно полных траекторных характеристик всех источников излучения и существенными ограничениями времени на решение этой задачи.

Вместе с тем, можно привести немало примеров успешного решения подобных задач животными при погоне, уходе от преследования и в других конфликтных ситуациях [2]. Представляет интерес простейший механизм селекции, обнаруженный на уровне элементов сетчатки у амфибий. Здесь селекция осуществляется рецептивным полем с быстро меняющейся структурой под воздействием полезного (целевого) сигнала. Данный сигнал по-видимому управляет механизмом подключения фоторецепторов, расположенных в зоне вероятного появления объекта селекции через малый промежуток времени. Остальные фоторецепторы при этом заторможены. Можно полагать, что при решении ряда задач селекции и распознавания, подобный механизм адаптивной фильтрации позволит существенно сократить объем входных данных, а это приведет к уменьшению времени последующей обработки изображения и повышению отношения полезного сигнала к шуму.

Рассмотрим некоторые возможные пути использования указанного бионического принципа для селекции точечного сигнала по траекторным признакам. Для упрощения задачи введем следующие ограничения и начальные условия: пусть регистрация источников излучения осуществляется многоэлементным фотоприемником; выделяемый точечный объект появляется в поле обзора фотоприемника до появления других объектов, создающих помехи; движение всех источников излучения происходит в плоскости, параллельной плоскости фотоприемника; известна величина наибольшего ускорения движения $a_{\text{макс}}$ выделяемого объекта. Задачу селекции целесообразно разделить на четыре последовательных этапа (рис. 1): 1 — регистрация источников излучения; 2 — измерение скорости объекта селекции; 3 — определение координат области фоторецепторов, в которой ожидается появление данного сигнала через определенный проме-

жукот времени; 4 — отключение фоторецепторов, не лежащих в указанной области.

Пусть в системе селекции имеются технические средства, позволяющие через равные промежутки времени Δt определять величину и направление скорости v_0 селектируемого сигнала. Наиболее сложным этапом задачи селекции является определение области пространства S на плоскости фотоприемника, в которой можно достоверно ожидать появление этого сигнала через промежуток времени Δt . Если затем в фотоприемнике будут отключены все фоторецепторы, не лежащие в области

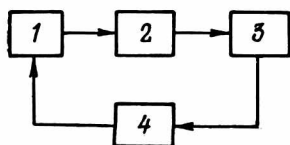


Рис. 1

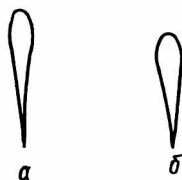


Рис. 2

, то любые объекты, расположенные вне ее, не создадут помехи. Через интервалы времени Δt границы области S должны изменяться в соответствии с изменениями величины и направления скорости селектируемого объекта.

В качестве примера рассмотрим равноускоренное движение бъекта селекции. Определим границы области S из известных начений \vec{v}_0 и $\vec{a}_{\text{макс}}$. Наибольшее ускорение движения селектируемого объекта можно представить в виде суммы тангенциальной \vec{a}_τ и нормальной \vec{a}_n составляющих: $\vec{a}_{\text{макс}} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$. Двигаясь прямолинейно и равноускоренно с ускорением $a_{\text{макс}}$, равным тангенциальной составляющей a_τ , и начальной скоростью v_0 , источник излучения за время Δt пройдет путь

$$l_{\text{макс}} = v_0 \Delta t + 0,5 a_{\text{макс}} \Delta t^2 \quad (1)$$

направлении вектора скорости \vec{v}_0 . Из условия

$$a_{\text{макс}} = a_n = v_0^2 / R_{\text{мин}}$$

можно определить минимальный радиус траектории движения селектируемого объекта:

$$R_{\text{мин}} = v_0^2 / a_{\text{макс}}. \quad (2)$$

Двигаясь по траектории с наименьшим радиусом кривизны $R_{\text{мин}}$ скоростью v_0 за время Δt источник излучения пройдет путь

$$l_{\text{мин}} = v_0 \Delta t. \quad (3)$$

При равноускоренном движении с наибольшим допустимым тангенциальным ускорением по траектории, радиус кривизны которой принимает значения, лежащие в пределах

$$R_{\text{мин}} < R < \infty, \quad (4)$$

уравнение пройденного пути принимает вид

$$l = v_0 \Delta t + 0,5 a_\tau \Delta t^2.$$

Здесь тангенциальное ускорение a_τ определяется из уравнения

$$a_\tau = (a_{\max}^2 - a_n^2)^{1/2},$$

в котором

$$a_n = v^2/R = (v_0 + a_\tau \Delta t)^2/R.$$

Соотношения (1)–(7) позволяют найти границы истинно области пространства, в которой ожидается появление селектуемого объекта через интервал времени Δt .

Оптическая система фотоприемника уменьшает протяженность всех расстояний (l_{\min} , l , l_{\max} , R_{\min} , R) в k раз. Этот коэффициент уменьшения ($0 < k < 1$) необходимо учитывать при построении на плоскости фотоприемника границ области S . На рис. границы данной области, найденные с помощью соотношений (1)–(7), построены для двух разных значений начальной скорости — v_{01} и v_{02} ($v_{01} = 840$ м/с — (а), $v_{02} = 560$ м/с — (б), $\Delta t = 2 \cdot 10^{-5}$ с, $a_{\max} = 70$ м/с², $k = 2 \cdot 10^{-5}$). Следует отметить, что по известным значениям v_0 , a_{\max} и k можно определить границы области при любой ориентации плоскости фотоприемника по отношению к плоскости движения объекта селекции с учетом всех возможных маневров последнего. Данная задача может быть решена за время, меньшее Δt , только на быстродействующих ЭВМ.

На четвертом этапе селекции (рис. 1) необходимо за время значительно меньшее Δt , отключить все фоторецепторы фотоприемника, расположенные вне области S . Тогда любые источники излучения, проектируемые на фотоприемник и лежащие вне этой области, не будут создавать мешающего неоднородного фона. Появление других точечных объектов в области S маловероятно, так как здесь существенно ограничены возможности безопасного маневрирования.

Качество фильтрации зависит от площади области S . Уменьшение этой площади приводит к повышению отношения полезного сигнала к шуму. Из соотношений (1), (3), (5) следует, что уменьшение площади области S может быть достигнуто в системе селекции только за счет уменьшения длительности интервала квантования времени Δt . Идеальной фильтрации точечного объекта можно достичь при условии $\Delta t \rightarrow 0$. В этом случае площадь области S также стремится к нулю. В реальных технических системах это условие не выполнимо, так как выбор интервала квантования времени Δt обусловлен суммой инерционностей элементов, осуществляющих все последовательные этапы селекции. Поэтому способ адаптивной фильтрации, основанный на определении области S , является наиболее оптимальным для существующих технических систем.

Системы селекции точечного объекта используются, как правило, в оптических следящих системах. В реальных условиях при определении скорости необходимо учитывать движение следящей системы по отношению к селектируемому объекту. Эти движения приводят к изменениям проекции вектора скорости на плоскость фотоприемника. Сложность определения в данных условиях скорости селектируемого объекта является основным препятствием для реализации рассматриваемого адаптивного фильтра.

В некоторых случаях бывает априори известно, что излучающий объект движется с большой скоростью, вследствие чего траектория его движения близка к прямолинейной и изменяется по направлению за большие промежутки времени. Если проекция траектории излучающего объекта на плоскость фотоприемника за время Δt остается прямолинейной (или кривизна ее изменяется незначительно), то можно осуществить адаптивную фильтрацию точечного объекта по направлению движения. При этом отпадает необходимость в определении скорости.

Рассмотрим возможности использования адаптивного фильтра-детектора направления движения в оптической следящей системе. Будем считать, что следящая система непрерывно через равные промежутки времени Δt осуществляет совмещение оптической оси фотоприемника с выделенным фильтром точечным объектом. Расположим все чувствительные элементы фотоприемника симметрично относительно его оптической оси. Тогда после каждого совмещения селектируемого объекта с оптической осью (т. е. после каждого цикла отслеживания) данный объект будет перемещаться в радиальных направлениях относительно фотоприемника с круговой симметрией.

Блок-схема адаптивного фильтра-детектора направления движения приведена на рис. 3.

На блок-схеме изображены: многоэлементный фотоприемник (Φ), разделенный на 6 одинаковых секторов, и схема коммутации отдельных элементов фотоприемника — фотоспротивлений (ΦC). Схема коммутации состоит из шести одинаковых каналов, каждый из которых осуществляет обработку информации, поступающей от фотоспротивлений одного сектора. Для наглядности на блок-схеме изображен полностью канал 1 и частично — канал 2.

Схема коммутации содержит усилители ($У$), триггеры Шмитта ($ТШ$) с одним устойчивым состоянием, блоки, реализующие операции логического сложения ($ИЛИ$) и логического умножения ($И$), триггеры ($Т$). На блок-схеме верхний индекс каждого элемента определяет номер канала, а нижний — порядковый номер элемента в данном канале.

Рассмотрим работу системы на примере прямолинейного движения точечного источника излучения относительно фотоприемника из центра Φ в секторе 1. Перед появлением источников

излучения все каналы селекции находятся в одинаковых состояниях, когда на верхние входы всех схем совпадения (I) подается разрешающий сигнал («1»). При появлении селектируемого объекта, например в секторе 1 триггер $TШ_3^1$ устанавливается в «единичное» состояние, сохраняющееся до тех пор, пока этот объект находится в данном секторе. Поэтому на выходе первого канала (I_3^1) появляется сигнал, устанавливающий триггеры $TШ_4^{2-6}$ всех каналов кроме первого ($TШ_4^1$) в «нулевое» состояние

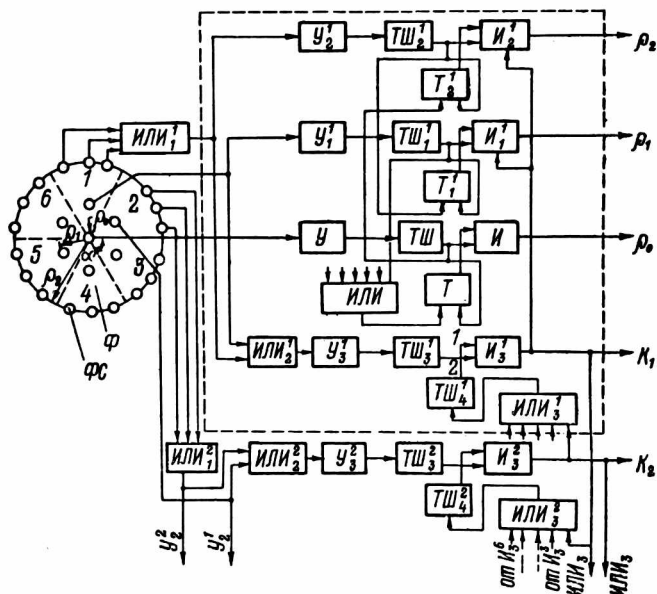


Рис. 3

Такое же состояние устанавливается на верхних входах схем совпадения (I_3^{2-6}) всех пяти каналов (кроме I_3^1). Следовательно, схемы совпадения I_3^{2-6} запрещают прохождение на выход системы сигналов от источников излучения, появляющихся в любом секторе фотоприемника кроме первого.

Перемещение селектируемого объекта из центра фотоприемника в «разрешенном» секторе сопровождается последовательным отключением фотоспротивлений. Так, при перемещении точечного источника на расстояние ρ_1 триггеры $TШ_1^1$ и T_1^1 устанавливаются в «единичное» состояние, а триггер T — в «нулевое» состояние. В результате на выходе I_1^1 появляется сигнал, а выход схемы совпадения I отключается. Аналогично отключается и элемент I_1^1 , если источник излучения перемещается на расстояние ρ_2 . На рис. 4 показано последовательное изменение конфигурации

области «открытых» фотсопротивлений (S) при движении селектируемого объекта из центра к периферии фотоприемника (Φ): $a - \rho = 0$; $b - \rho = \rho_0$; $в - \rho = \rho_1$; $г - \rho = \rho_2$. Любые помехи, появляющиеся в области отключенных фотсопротивлений (обведенной на рис. 4 пунктирными линиями), не вызовут выходного сигнала. Это приводит к улучшению помехозащищенности системы. Выходные сигналы системы указывают на номер сектора ($K_1 - K_6$) и расстояние от центра фотоприемника до селектируемого объекта ($\rho_0 - \rho_2$). Если угловая ширина сектора (α) невелика, то выходные сигналы системы могут быть использованы

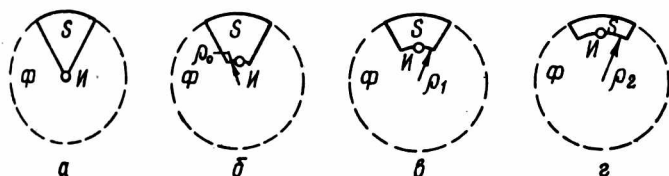


Рис. 4

для слежения за выделенным источником излучения, т. е. для управления системой совмещения оптической оси (центра) фотоприемника с объектом селекции.

После отслеживания источника излучения в центр фотоприемника направление траектории движения объекта не должно измениться. Поэтому в течение времени отслеживания T должно сохраняться прежнее состояние выходов $K_1 - K_6$ каналов селекции. Для запоминания состояния используются триггеры $TШ^{1-6}$, у которых при помощи RC — элементов обратной связи регулируется время перехода в устойчивое состояние. Если это время превышает T , то на входе 1 схемы совпадения $И_3$ открытого канала сохраняется «единичное» состояние. Таким образом, ранее работавший канал получает приоритет перед остальными, обеспечивая дирекциональную чувствительность фотоприемника в последующих циклах работы.

В рассмотренной системе (рис. 3) для наглядности фотоприемник разделен на 6 секторов, а каждый сектор — на 3 различные части кольцевых областей. Угловая ширина сектора (α) и радиусы кольцевых областей (ρ) определяют площадь области на плоскости фотоприемника, в которой возможно появление первого наблюдаемого источника излучения в последующие моменты времени. Уменьшение этой площади (например, путем уменьшения угловой ширины каждого сектора) приводит к улучшению помехозащищенности системы.

С целью более полного исследования помехозащищенности рассмотренного адаптивного фильтра проведены экспериментальные исследования. Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 5. На блок-схеме изображены: аналоговая

вычислительная машина (АВМ); имитатор источников излучения (ИИИ), разработанный на базе двухлучевого осциллографа «Орион»; адаптивный фильтр (АФ), состоящий из фотоприемника (Ф) и системы селекции (СС); имитатор следящей системы (ИСС). Фотоприемник изготовлен из фотоспротивления СФЗ-1, а система селекции — из интегральных элементов дискретной логики.

ИИИ формирует на экране двухлучевой трубки изображение двух точечных источников излучения, движущихся совместно

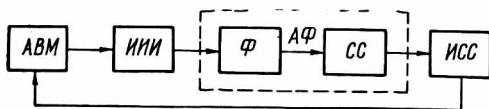


Рис. 5

из центра трубки с последующим разделением их траекторий. При этом один из точечных объектов не изменяет направление движения. Закон движения источников излучения задается АВМ. Воз-

можно и независимое движение объектов по разным траекториям.

Назначение ИСС — адекватно воспроизвести на экране ИИИ изменения характеристик движения источников излучения, вызванные работой следящей системы. Если выделенный источник излучения перемещается к периферии фотоприемника, то ИСС отключает управляющие напряжения АВМ и ИИИ и источники излучения смещаются постоянными напряжениями в начальные точки их траекторий движения.

Проведенные на макете эксперименты показали, что выделение и «отслеживание» первого излучающего объекта осуществляется надежно и не зависит от вида помех, если последние не находятся в области «открытых» фотоспротивлений. В противном случае возникает неопределенность в определении расстояния ρ , которая может привести к ошибке при «отслеживании» селектируемого объекта.

Проведены также эксперименты по выделению «мерцающего» источника излучения на фоне непрерывно излучающей помехи. Эффект «мерцания» обычно возникает при регистрации сильно удаленных объектов, когда интенсивность излучения селектируемого источника соизмерима с интенсивностью фона [1]. В этом случае данный источник излучения регистрируется фотоприемником не регулярно, что приводит к снижению помехозащищенности системы пеленгации.

Для отображения эффекта «мерцания» на экране ИИИ яркость одного луча трубки модулировалась по амплитуде с частотой от 1 до 10 Гц. Модуляция осуществлялась путем аперийодического отключения модулирующего электрода электронно-лучевой трубки ИИИ от источника питания.

В режиме «мерцания» объект селекции не излучает в течение большого промежутка времени τ_m — от 0,1 с до 1 с. Во все каналы селекции после усилителей $У_3$ введена задержка на

время, большее τ_m . Данная задержка позволила сохранить прежнее состояние каналов селекции в течение времени отключения селектируемого объекта и обеспечить нечувствительность системы к эффекту «мерцания».

Можно перестраивать структуру адаптивного фильтра при изменении направления движения объекта. Так, если селектируемый объект изменяет траекторию движения и его изображение перемещается в соседний сектор фотоприемника, то по последним координатам объекта можно предсказать номера сектора и кольцевой зоны, в которых ожидается его появление. После чего следует соответствующим образом перекоммутировать фотоспротивления. Техническая реализация алгоритма перестройки не представляет трудности.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать общий вывод: использование даже простых бионических принципов адаптивной пространственно-временной фильтрации может привести к заметному сокращению объема поступающей информации, а следовательно, к уменьшению времени обработки изображения и повышению помехозащищенности поисковых и распознающих систем.

Список литературы: 1. Левшин В. И. Пространственная фильтрация в оптических системах пеленгации. М., Сов. радио, 1971. 200 с. 2. Прибрам К. Языки мозга. М., Прогресс, 1975. 464 с.

Поступила 12 сентября 1978 года