

УДК 621.391

С. В. Суворов

ДВУХКАНАЛЬНАЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И СЕЛЕКЦИИ ОБЪЕКТОВ ПО ИХ РАЗМЕРАМ

Рассмотрена оптико-электронная система, построенная на двух объективах с одноэлементными приемниками, имеющая массогабаритные преимущества по сравнению с известным прототипом с четырьмя объективами и сохраняющая все его достоинства. Объект, пересекающий контролируемый рубеж, селекционируется по размерам на основе анализа откликов, возникающих в приемниках излучения.

E-mail: ssv-g@mail.ru

Ключевые слова: оптическая система, инфракрасный диапазон, одноэлементный приемник, патент, анализ сигналов.

В широкой номенклатуре охранных комплексов особое место занимают системы автоматического контроля периметра или рубежа охранной зоны, имеющие способность селекции объектов. Одним из основных требований, предъявляемых к системам подобного рода, является необходимость различать объекты по размерам, положению, траектории и скорости перемещения. Такие системы можно реализовать различными средствами в зависимости от многих факторов: свойств и особенностей объекта контроля, размеров охраняемого или контролируемого пространства, степени предъявляемой надежности, ограничений по размещению и скрытности, требуемого энергопотребления и др.

Для выполнения охранно-контрольных функций широко используются оптические локационные системы, выделяющие полезный сигнал вследствие разницы собственного или отраженного излучений между исследуемым объектом и фоном, на котором он наблюдается. Простейший объектив такой системы формирует поле зрения в виде конуса с углом α при вершине и имеет приемник излучения с одним чувствительным элементом.

Как в сканирующих, так и в неподвижных системах обнаружения подобного рода используется амплитудная селекция с применением различных алгоритмов и критериев оценки правильного обнаружения. Во многих случаях применения оптических систем с одноэлементными приемниками бывает полезна временная селекция объектов, которая может давать существенное улучшение параметров обнаружения и селекции [1].

За основу работы взят способ обнаружения объекта, основанный на использовании четырехканальной оптической системы [2]. Применение оптической системы с четырьмя объективами, представляющей собой достаточно крупногабаритную конструкцию, создает значительные трудности по ее практическому использованию в охранных системах. В настоящей работе предлагается использование оптической системы только с двумя объективами вместо четырех, сохраняя при этом все необходимые параметры и характеристики прототипа. На основе временного анализа откликов, возникающих в двух приемниках излучения, предусматривается возможность определения размеров объекта, пересекающего рубеж, его скорости перемещения и расстояния прохождения траектории от сторон охраняемого (контролируемого) рубежа.

Формирование сигналов и их обработка. Прототип, включающий в себя четыре тепловых датчика, использует временную обработку сигналов [2], что позволило повысить помехоустойчивость устройства по сравнению с его зарубежным аналогом благодаря дополнительной селекции поперечного по отношению к направлению движения размера объекта. Необходимый эффект достигается в результате временной обработки сигналов с четырех датчиков формированием порога, разделяющего объекты по поперечным размерам.

Помехоустойчивость системы повышается в том числе от перемещений через рубеж контрастных по температуре слоев воздуха, наблюдаемых на открытой местности при порывистом ветре, так как в этом случае регистрируемый сигнал одного датчика может практически не отличаться от сигнала, принимаемого при перемещении через рубеж объекта.

Устройство обнаружения [2] содержит четыре объектива с одноэлементными тепловыми приемниками — по два на каждой стороне рубежа напротив друг друга — 1, 2, 3, 4 (рис. 1). На каждой стороне

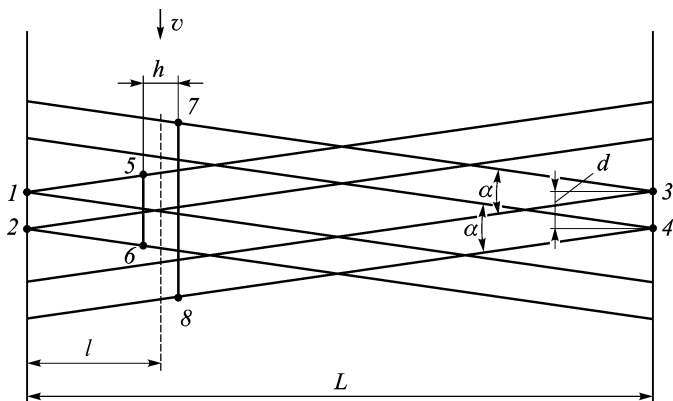


Рис. 1. Организация охраняемого рубежа, предлагаемая в работе [2]

рубежа протяженностью L приемники разнесены в горизонтальной плоскости на расстояние d . Тело, имеющее поперечный размер h , движется через рубеж со скоростью v и пересекает его на расстоянии l , например, от приемников 1 и 2, своими краями отсекая отрезок 5–6, ограниченный образующими зон чувствительности приемников 1 и 2, и отрезок 7–8, ограниченный образующими зон чувствительности приемников 3 и 4.

Длину отсекаемых отрезков 5–6 и 7–8 (l_{5-6} и l_{7-8}) можно определить из геометрических построений (см. рис. 1):

$$l_{5-6} = 2\left(l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + d;$$

$$l_{7-8} = 2\left(L - l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + d.$$

Сумма этих отрезков составит

$$l_{5-6} + l_{7-8} = 2(L - h) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + 2d.$$

С учетом средней скорости v движения объекта через рубеж сумму отрезков можно выразить как

$$l_{5-6} + l_{7-8} = t_1 v + t_2 v,$$

где t_1 — время, в течение которого излучение регистрируется хотя бы одним из приемников, 1 или 2; t_2 — время, в течение которого излучение регистрируется хотя бы одним из приемников, 3 или 4.

Приравняв последние два выражения, получаем

$$(t_1 + t_2)v = 2 \left[(L - h) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + d \right]. \quad (1)$$

Среднее значение тангенциальной составляющей скорости v можно оценить как $v = \frac{d}{t}$, где $t = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2}$ — среднее значение временной задержки между сигналами приемников на каждой стороне рубежа.

Следовательно, $v = \frac{2d}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$ и тогда выражение (1) примет вид

$$d \frac{t_1 + t_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = (L - h) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + d,$$

откуда можно найти интересующий нас параметр:

$$h = L - \frac{d}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \cdot \left(\frac{t_1 + t_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} - 1 \right).$$

Величина $P = \frac{t_1 + t_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$ является вычисляемым параметром при обработке сигналов с четырех датчиков, позволяющим контролировать

поперечный размер h объекта, пересекающего рубеж, т.е. проводить селекцию объектов по размерам.

Предлагается иная и более простая организация охраняемого (контролируемого) рубежа, сохраняющая возможности селекции объектов по размерам.

Пусть оптико-электронная система содержит всего два одинаковых объектива с одноэлементными приемниками 1 и 2 (рис. 2). На каждой стороне рубежа протяженностью L размещено по одному объективу. Две образующие полей зрения объективов, проходящие через их оси в горизонтальной плоскости, параллельны и расстояние между ними

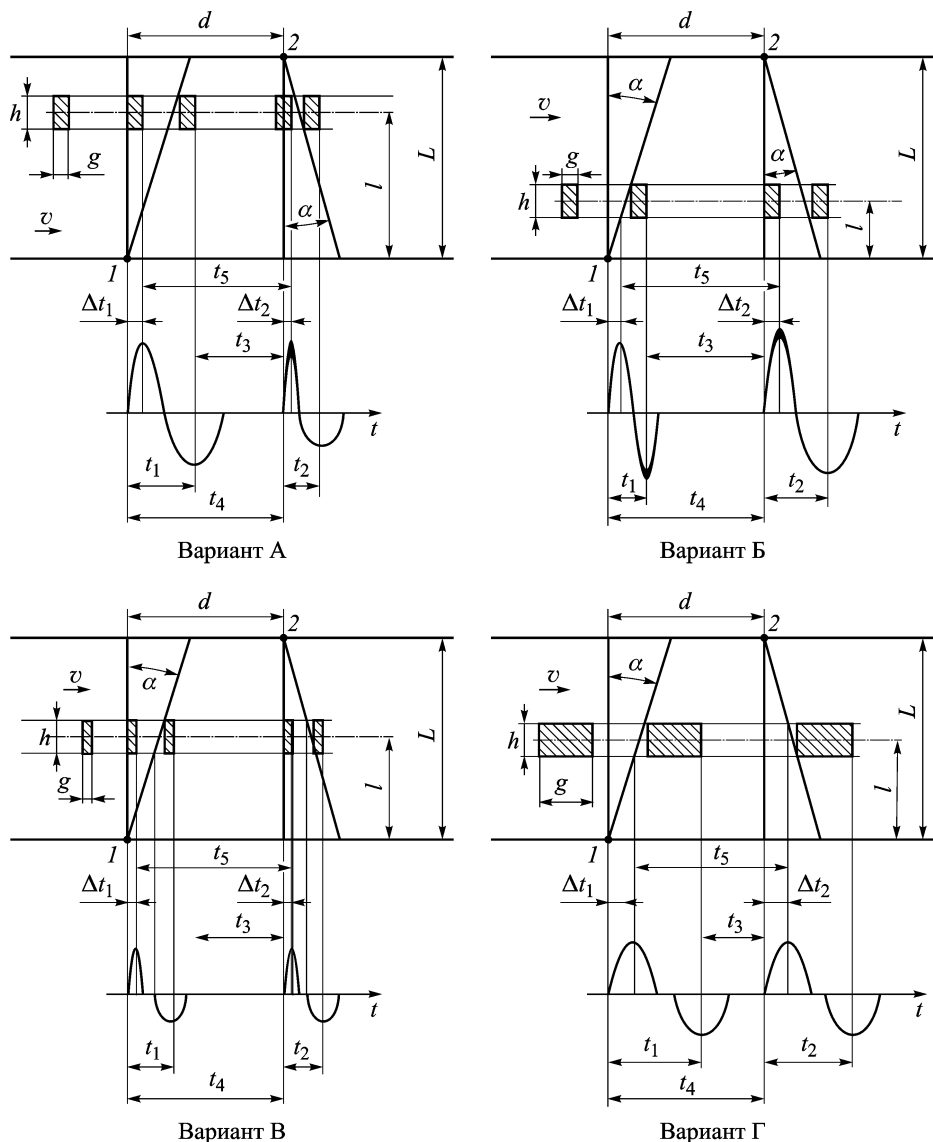


Рис. 2. Варианты пересечения охраняемого рубежа

равно d . Две другие образующие непараллельны (см. рис. 2). Тело, имеющее поперечный h и продольный g размеры, движется через рубеж со скоростью v и пересекает его на расстоянии l , например, от приемника l .

Генеральная совокупность Ω всех возможных вариантов пересечения рубежа состоит из бесконечного их множества. Они отличаются друг от друга размерами объекта сравнительно с полем зрения объектива и положением траектории движения относительно сторон рубежа. Не все уравнения, связывающие временные отклики, возникающие в приемниках излучения, и параметры объекта v, l, h, g однозначны, вид некоторых уравнений зависит от варианта пересечения рубежа.

Поэтому возникает задача разделения генеральной совокупности Ω на минимально возможное число несовместных классов, составляющих полную группу множеств, т.е. должно выполняться $\Omega = A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_r$, где $A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j, i, j = \overline{1, r}$. Каждому классу A_i должны быть свойственны свои признаки, по которым они различаются, и уравнения, по которым определяются параметры объекта.

Из анализа возможных вариантов пересечения рубежа следует, что все множество Ω может быть разбито на несколько классов, отличающихся соотношением между размером поля зрения объектива и продольным размером g объекта, который может быть меньше или больше обоих полей зрения, больше одного из них и меньше другого. Необходимо учесть зависимость этого соотношения от положения траектории относительно сторон рубежа, поскольку оно определяет размер поля зрения каждого объектива. Разбиению на классы в области реальных событий должен сопутствовать поиск соответствующих признаков в области временных откликов, возникающих в приемниках излучения.

Принципиально возможны четыре варианта пересечения рубежа, отличающиеся продольным размером g объекта сравнительно с полем зрения объектива и положением линии движения относительно сторон рубежа (величина l). Варианты A и B (см. рис. 2) отличаются друг от друга только расстоянием l от одной из сторон рубежа, имея при этом размеры, целиком вписывающиеся в одно из полей зрения и не вписывающиеся в другое. Вариант B иллюстрирует объект, имеющий минимальные размеры объекта-нарушителя, а вариант Γ — максимальные, когда его размер g при любом расстоянии l превышает размер поля зрения объектива. Варианты (классы) A, B, B и Γ применительно к условиям [2] составляют полную группу множеств, т.е. $\Omega = A \cup B \cup B \cup \Gamma$ и классы взаимно не пересекаются.

Временные диаграммы, изображенные в нижней части рис. 2 для каждого варианта пересечения рубежа, показывают примерный вид

сигналов на тепловых приемниках и построены с учетом особенностей их работы. По оси времени моменты максимумов сигнала совпадают с моментами полного входа объекта в поле зрения или полного перекрытия объектом поля зрения объектива, а моменты минимума сигнала — с моментами полного выхода объекта из поля зрения объектива.

Прежде чем получить соотношения, характеризующие работу системы, необходимо сделать некоторые замечания относительно особенностей работы тепловых приемников излучения [3, 4]. Пирозлектрические приемники, наиболее приемлемые для инфракрасного диапазона, реагируют на изменение температуры чувствительного элемента. Продолжительность амплитудного нарастания отклика будет совпадать по времени с процессами входа объекта в поле зрения и выхода из него, а по знаку будет определяться увеличением или уменьшением температуры чувствительного элемента (увеличением или уменьшением принимаемого лучистого потока). Продолжительность амплитудного спада определяется временем достижения температурного равновесия кристалла приемника и его чувствительного слоя. Временные диаграммы на рис. 2 построены с учетом этих особенностей и введены обозначения следующих временных отрезков и линейных размеров:

t_1 и t_2 — время от начала вхождения объекта в поле зрения объективов 1 и 2 до полного выхода объекта;

t_3 — время от момента полного выхода объекта из поля зрения объектива 1 до момента начала вхождения в поле зрения объектива 2;

t_4 — время от начала вхождения объекта в поле зрения объектива 1 до начала вхождения объекта в поле зрения объектива 2;

t_5 — время между максимумами сигналов, возникающих на приемниках излучения обоих объективов;

Δt_1 и Δt_2 — время от начала вхождения объекта в поле зрения объективов 1 и 2 до достижения сигналом максимума;

h и g — поперечный и продольный размеры объекта.

Для всех вариантов пересечения рубежа являются справедливыми три уравнения, полученные на основе анализа рис. 2:

$$vt_1 = \left(l + \frac{h}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha + g; \quad (2)$$

$$vt_2 = \left(L - l + \frac{h}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha + g; \quad (3)$$

$$vt_3 = d - g - \left(l + \frac{h}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha. \quad (4)$$

Для нахождения четырех неизвестных v, l, h, g в полученной системе не хватает еще одного уравнения. Здесь же следует отметить, что

некоторые обозначенные на рис. 2 временные отрезки взаимозависимы, а именно $t_4 = t_1 + t_3$. Поэтому совершенно очевидное равенство $vt_4 = d$ не добавляет четвертого уравнения, так как получается сложением уравнений (2) и (4). Временной отрезок t_4 удобен для аппаратной реализации системы.

Составим дополнительные уравнения для всех четырех вариантов пересечения рубежа, пользуясь рис. 2 и приведенными замечаниями относительно особенностей пироэлектрических приемников. Уравнения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Дополнительные уравнения для решения системы (2)–(4)

Вариант А	Вариант Б
$v\Delta t_1 = g$	$v\Delta t_1 = \left(l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$
$v\Delta t_2 = \left(L - l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$	$v\Delta t_2 = g$
$v(\Delta t_1 + \Delta t_2) = g + \left(L - l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$	$v(\Delta t_1 + \Delta t_2) = g + \left(l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$
$v(t_1 + \Delta t_2) = g + L \operatorname{tg} \alpha$	$v(t_1 + \Delta t_2) = 2g + \left(l + \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$
$v(t_2 + \Delta t_1) = 2g + \left(L - l + \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$	$v(t_2 + \Delta t_1) = g + L \operatorname{tg} \alpha$
$vt_5 = d - g + \Delta t_2 v$	$vt_5 = d - \Delta t_1 v + g$
Вариант В	Вариант Г
$v\Delta t_1 = g$	$v\Delta t_1 = \left(l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$
$v\Delta t_2 = g$	$v\Delta t_2 = \left(L - l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$
$v(\Delta t_1 + \Delta t_2) = 2g$	$v(\Delta t_1 + \Delta t_2) = (L - h) \operatorname{tg} \alpha$
$v(t_1 + \Delta t_1) = 2g + \left(l + \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$	$v(t_1 + \Delta t_1) = g + 2l \operatorname{tg} \alpha$
$v(t_1 + \Delta t_2) = 2g + \left(l + \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$	$v(t_1 + \Delta t_2) = g + L \operatorname{tg} \alpha$
$v(t_2 + \Delta t_1) = 2g + \left(l + \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$	$v(t_2 + \Delta t_1) = g + L \operatorname{tg} \alpha$
$vt_5 = d$	$vt_5 = d - \Delta t_1 v + \Delta t_2 v = d + (L - 2l) \operatorname{tg} \alpha$

Среди приведенных в табл. 1 уравнений нет ни одного общего для всех вариантов пересечения рубежа. Это означает, что для нахождения интересующих нас параметров v, l, h и g необходимо осуществлять выбор варианта, чтобы получить четвертое уравнение для решения

системы. Определение реально произошедшего варианта должно проводиться на базе анализа временных отрезков $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, \Delta t_1, \Delta t_2$, которыми располагает анализирующее устройство.

Рассмотрим прежде всего разность уравнений (2) и (3):

$$v(t_1 - t_2) = (2l - L) \operatorname{tg} \alpha.$$

Очевидно, что при прохождении рубежа объектом ровно посередине его границ ($l = L/2$) имеет место равенство временных отрезков t_1 и t_2 ($t_1 = t_2$). При этом варианты A и B пересечения рубежа исключены, так как для них характерно как раз обратное ($t_1 \neq t_2$). При условии $t_1 = t_2$ возможны только варианты B и Γ , между которыми и нужно сделать выбор. Отметим, что вариант Γ — это пересечение рубежа объектом сравнительно большой протяженности, когда его размер g отвечает условиям $g \geq \left(l - \frac{h}{2}\right)$ и $g \geq \left(L - l - \frac{h}{2}\right)$.

Следовательно, для варианта Γ характерно соотношение

$$V(t_1 + \Delta t_1) = g + 2l \operatorname{tg} \alpha \geq \left(l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha + 2l \operatorname{tg} \alpha. \quad (5)$$

При условии $t_1 = t_2$ правая часть выражения (5) преобразуется к виду

$$\begin{aligned} \left(l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha \Big|_{l=L/2} + 2l \operatorname{tg} \alpha \Big|_{l=L/2} &= \\ &= L \operatorname{tg} \alpha + \frac{1}{2}(L - h) \operatorname{tg} \alpha = L \operatorname{tg} \alpha + \frac{1}{2}v(\Delta t_1 + \Delta t_2), \end{aligned}$$

а неравенство (5) приобретает вид

$$v(t_1 + \Delta t_1) \geq L \operatorname{tg} \alpha + \frac{1}{2}v(\Delta t_1 + \Delta t_2)$$

или с учетом, что $\Delta t_1 = \Delta t_2$, окончательно получим

$$vt_1 \geq L \operatorname{tg} \alpha. \quad (6)$$

Условие (6) является критерием выбора варианта Γ пересечения рубежа при $t_1 = t_2$. В противном случае выбирается вариант B . Избавимся от скорости в условии (6), выразив ее через временные отрезки. Сложение уравнений (2) и (4) дает соотношение $v(t_1 + t_3) = d$, а условие (6) с учетом, что $t_4 = t_1 + t_3$, преобразуется к виду

$$\frac{t_1}{t_4} \geq \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{d}. \quad (7)$$

Рассмотрим случай, когда $t_1 > t_2$ ($l > L/2$). При этом возможны три варианта пересечения рубежа — A, B, Γ . При соблюдении условия $\Delta t_1 = \Delta t_2$ ($t_4 = t_5$) это однозначно может быть только вариант B ; при $\Delta t_1 > \Delta t_2$ ($t_4 > t_5$) возможны варианты A и Γ . Для варианта Γ при

этом характерно равенство $t_1 + \Delta t_2 = t_2 + \Delta t_1$. При наличии варианта A справедливо выражение

$$v(t_2 + \Delta t_1) = 2g + \left(L - l + \frac{h}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha = g + L \operatorname{tg} \alpha + g - \left(l - \frac{h}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha < g + L \operatorname{tg} \alpha,$$

поскольку в этом случае $g < \left(l - \frac{h}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha$. Учитывая, что $g + L \operatorname{tg} \alpha = v(t_1 + \Delta t_2)$, имеем неравенство, характерное для пересечения рубежа по варианту A :

$$t_1 + \Delta t_2 > t_2 + \Delta t_1. \quad (8)$$

Наконец, в случае, когда $t_1 < t_2$ ($l < L/2$), возможны варианты B , B , Γ . При соблюдении условия $\Delta t_1 = \Delta t_2$ ($t_4 = t_5$) это опять однозначно может быть только вариант B ; при $\Delta t_1 < \Delta t_2$ ($t_4 < t_5$) возможны варианты B и Γ . Для варианта Γ при этом характерно равенство $t_1 + \Delta t_2 = t_2 + \Delta t_1$. При наличии варианта B справедливо

$$\begin{aligned} v(t_1 + \Delta t_2) &= 2g + \left(l + \frac{h}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha = \\ &= g + L \operatorname{tg} \alpha + g - \left(L - l - \frac{h}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha < g + L \operatorname{tg} \alpha, \end{aligned}$$

поскольку в этом случае $g < \left(L - l - \frac{h}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha$. Учитывая, что $g + L \operatorname{tg} \alpha = v(t_2 + \Delta t_1)$, имеем неравенство, характерное для пересечения рубежа по варианту B :

$$t_1 + \Delta t_2 < t_2 + \Delta t_1. \quad (9)$$

Введем пять логических функций:

$$\begin{aligned} f_1 &= \begin{cases} 1, & \text{если } t_1 = t_2; \\ 0, & \text{если } t_1 \neq t_2; \end{cases} & f_4 &= \begin{cases} 1, & \text{если } t_1 + \Delta t_2 = t_2 + \Delta t_1; \\ 0, & \text{если } t_1 + \Delta t_2 \neq t_2 + \Delta t_1; \end{cases} \\ f_2 &= \begin{cases} 1, & \text{если } t_4 = t_5; \\ 0, & \text{если } t_4 \neq t_5; \end{cases} & f_5 &= \begin{cases} 1, & \text{если } t_1/t_4 \geq L \operatorname{tg} \alpha/d; \\ 0, & \text{если } t_1/t_4 < L \operatorname{tg} \alpha/d. \end{cases} \\ f_3 &= \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta t_1 > \Delta t_2; \\ 0, & \text{если } \Delta t_1 < \Delta t_2; \end{cases} \end{aligned}$$

С использованием этих функций строим схему работы системы определения варианта пересечения рубежа, основанную на анализе временных отрезков $t_1 - t_5$, Δt_1 , Δt_2 . Схема приведена на рис. 3.

При $t_1 = t_2$ критерий (7) позволяет разделить варианты B и Γ , а при $t_1 \neq t_2$ условие $t_4 = t_5$ отделяет вариант B от трех остальных. Сравнение Δt_1 и Δt_2 разделяет три варианта A , B , Γ на две пары A , Γ

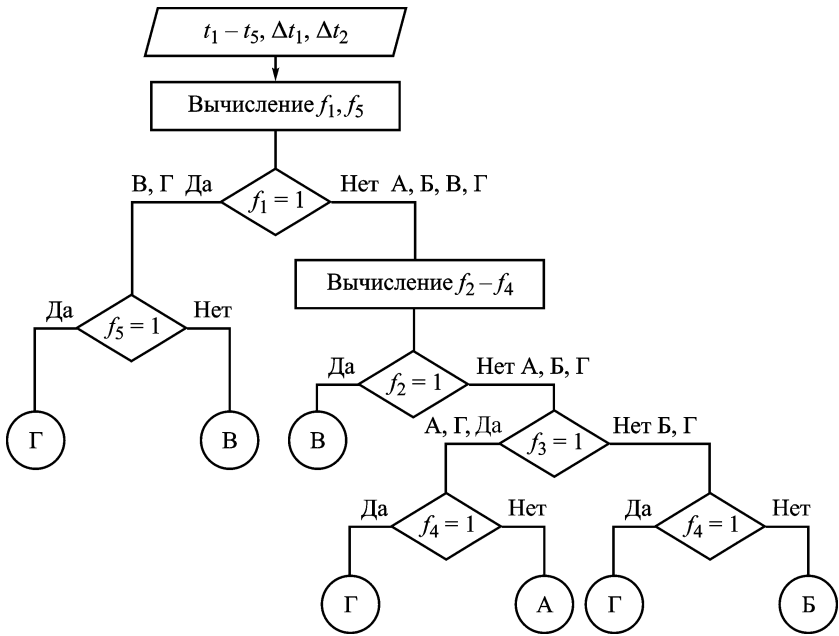


Рис. 3. Схема работы системы определения варианта пересечения рубежа

и $B, Г$, которые далее с помощью критериев (8) и (9) разбиваются до однозначного определения.

Если варианты пересечения рубежа $A–Г$ представить как булевы функции, то в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 3, можно составить таблицу истинности для этих функций. В качестве аргументов булевых функций $A, B, B, Г$ будем рассматривать введенные логические функции $f_1 – f_5$. Булева функция пяти аргументов задается на 32 наборах, но в данном случае ограничимся наборами, адекватными схеме работы системы и приведенными в табл. 2. Заданная таблицей истинности булева функция может быть представлена в аналитической форме с использованием операций конъюнкции, дизъюнкции и инверсии. Выразим функции $A, B, B, Г$ в дизъюнктивной

Таблица 2

Истинность функций $A, B, B, Г$

f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	A	B	B	$Г$
1	–	–	–	1	0	0	0	1
1	–	–	–	0	0	0	1	0
0	1	–	–	–	0	0	1	0
0	0	1	1	–	0	0	0	1
0	0	1	0	–	1	0	0	0
0	0	0	1	–	0	0	0	1
0	0	0	0	–	0	1	0	0

нормальной форме:

$$A = \bar{f}_1 \bar{f}_2 f_3 \bar{f}_4;$$

$$B = \bar{f}_1 \bar{f}_2 \bar{f}_3 \bar{f}_4;$$

$$B = f_1 \bar{f}_5 \vee \bar{f}_1 f_2;$$

$$\Gamma = f_1 f_5 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 f_3 f_4 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 \bar{f}_3 f_4 = f_1 f_5 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 f_4.$$

После прохождения рубежа, оборудованного рассматриваемой системой, объектом контроля одна и только одна из булевых функций A, B, B, Γ принимает единичное значение в соответствии с вариантом этого прохождения. Такой выбор происходит на основе анализа временных отрезков $t_1, t_2, t_4, t_5, \Delta t_1, \Delta t_2$, получаемых как результат обработки сигналов с приемников излучения системы. Этот выбор позволяет однозначно определять параметры объекта g и h , вычисление которых зависит от варианта прохождения рубежа.

Вернемся к генеральной совокупности Ω . Если подразумевать под ω класс вариантов пересечения рубежа, под $F(\omega)$ — аналитическое выражение булевой функции, то множества A, B, B, Γ , составляющие совокупность Ω , можно выделить следующим образом:

$$A = \{ \omega : F(\omega) = \bar{f}_1 \bar{f}_2 f_3 \bar{f}_4 \} ;$$

$$B = \{ \omega : F(\omega) = \bar{f}_1 \bar{f}_2 \bar{f}_3 \bar{f}_4 \} ;$$

$$B = \{ \omega : F(\omega) = f_1 \bar{f}_5 \vee \bar{f}_1 f_2 \} ;$$

$$\Gamma = \{ \omega : F(\omega) = f_1 f_5 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 f_4 \} .$$

Два искомого параметра L и v определены исходными уравнениями (2)–(4). Ранее при получении условия (7) было определено, что $v(t_1 + t_3) = d$, следовательно,

$$v = \frac{d}{t_1 + t_3} = \frac{d}{t_4}. \quad (10)$$

Вычитая из уравнения (2) уравнение (3), получаем $v(t_1 - t_2) = (2l - L) \operatorname{tg} \alpha$, откуда

$$l = \frac{L}{2} + \frac{d}{2 \operatorname{tg} \alpha} \frac{(t_1 - t_2)}{t_4}. \quad (11)$$

Вычитая из уравнения (3) третье уравнение для варианта A из табл. 1, получаем $v(t_2 - \Delta t_1 - \Delta t_2) = h \operatorname{tg} \alpha$. Определяем поперечный размер объекта для варианта A :

$$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{(t_2 - \Delta t_1 - \Delta t_2)}{t_4}. \quad (12)$$

Суммируя уравнение (2) и третье уравнение для варианта A из табл. 1, получаем $v(t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2) = 2g + L \operatorname{tg} \alpha$. Определяем продольный

размер объекта для варианта A :

$$g = \frac{d(t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2)}{2 t_4} - \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{2}. \quad (13)$$

Вычитая из уравнения (2) третье уравнение для варианта B из табл. 1, получаем $v(t_1 - \Delta t_1 - \Delta t_2) = h \operatorname{tg} \alpha$. Определяем поперечный размер объекта для варианта B :

$$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{(t_1 - \Delta t_1 - \Delta t_2)}{t_4}. \quad (14)$$

Суммируя уравнение (3) и третье уравнение для варианта B из табл. 1, получаем $v(t_2 + \Delta t_1 + \Delta t_2) = 2g + L \operatorname{tg} \alpha$. Определяем продольный размер объекта для варианта B :

$$g = \frac{d(t_2 + \Delta t_1 + \Delta t_2)}{2 t_4} - \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{2}. \quad (15)$$

Суммируя уравнения (2) и (3), получаем $v(t_1 + t_2) = 2g + (L + h) \operatorname{tg} \alpha$. Вычитая из полученного равенства третье уравнение для варианта B из табл. 1, получаем $v(t_1 + t_2 - \Delta t_1 - \Delta t_2) = (L + h) \operatorname{tg} \alpha$. Определяем поперечный размер объекта для варианта B :

$$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{(t_1 + t_2 - \Delta t_1 - \Delta t_2)}{t_4} - L. \quad (16)$$

Непосредственно из третьего уравнения для варианта B из табл. 1 следует, что

$$g = \frac{d(\Delta t_1 + \Delta t_2)}{2 t_4}. \quad (17)$$

Суммируя третье уравнение для варианта Γ из табл. 1 и сумму уравнений (2) и (3), получаем $v(t_1 + t_2 + \Delta t_1 + \Delta t_2) = 2g + 2L \operatorname{tg} \alpha$, а вычитая из суммы уравнений (2) и (3) третье уравнение варианта Γ из табл. 1, имеем $v(t_1 + t_2 - \Delta t_1 - \Delta t_2) = 2g + 2h \operatorname{tg} \alpha$. Из совместного решения двух последних уравнений определяем размеры объекта

$$h = L - \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{(\Delta t_1 + \Delta t_2)}{t_4}; \quad (18)$$

$$g = \frac{d(t_1 + t_2 + \Delta t_1 + \Delta t_2)}{2 t_4} - L \operatorname{tg} \alpha. \quad (19)$$

Уравнения (10)–(19) позволяют вычислять параметры объекта, прошедшего рубеж, по временным отрезкам $t_1, t_2, t_4, \Delta t_1, \Delta t_2$. Результаты сведены в табл. 3. Выражения (10), (11) являются общими для всех вариантов прохождения рубежа.

Получив алгоритм определения параметров объекта, нетрудно заметить, что временной отрезок t_3 в него не вошел и является избыточным. Поэтому (4) можно записать в виде $vt_4 = d$, в котором оно

Уравнения для определения параметров объекта

Вариант А	Вариант Б
$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{(t_2 - \Delta t_1 - \Delta t_2)}{t_4}$	$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{(t_1 - \Delta t_1 - \Delta t_2)}{t_4}$
$g = \frac{d}{2} \frac{(t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2)}{t_4} - \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{2}$	$g = \frac{d}{2} \frac{(t_2 + \Delta t_1 + \Delta t_2)}{t_4} - \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{2}$
Вариант В	Вариант Г
$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{(t_1 + t_2 - \Delta t_1 - \Delta t_2)}{t_4} - L$	$h = L - \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{(\Delta t_1 + \Delta t_2)}{t_4}$
$g = \frac{d}{2} \frac{(\Delta t_1 + \Delta t_2)}{t_4}$	$g = \frac{d}{2} \frac{(t_1 + t_2 + \Delta t_1 + \Delta t_2)}{t_4} - L \operatorname{tg} \alpha$

и было использовано при получении уравнения (11), тем более что в этом случае оказывается возможным избежать ограничения в виде соблюдения условия $g \leq d - L \operatorname{tg} \alpha$, необходимого для справедливости первоначального вида уравнения (4). Это означает, что расстояние d между параллельными образующими полей зрения объективов, проходящими через их оси в горизонтальной плоскости, может выбираться достаточно произвольно. Расстояние d — база, при измерении времени прохождения которой определяется средняя скорость перемещения объекта.

Касаясь аппаратной реализации системы, необходимо сделать замечание относительно введенных логических функций $f_1 - f_5$. Например, функция f_1 должна реализовываться в виде

$$f_1 = \begin{cases} 1, & \text{если } |t_1 - t_2| < C; \\ 0, & \text{если } |t_1 - t_2| > C, \end{cases}$$

где C — пороговое значение временного интервала, зависящее от точности формирования временных отрезков t_1 и t_2 . Каким бы образом ни формировались временные отрезки — с помощью пиковых детекторов или только цифровой обработкой — точное равенство $t_1 = t_2$ случайно и маловероятно. Введение порогов C , немного превышающих максимально возможную ошибку при определении временного интервала, в логические функции $f_1 - f_5$ позволит избежать этой случайности и неоднозначности, устраняя возможные сбои в реализации алгоритма работы системы.

Заключение. Показана возможность построения оптико-электронной охранно-контрольной системы, сохраняющей все свои свойства при использовании не четырех, как у прототипа, а всего двух объективов. При этом возникает необходимость в логическом анализе входных сигналов, что при наличии вычислителя в составе системы не должно вызывать затруднений. Разработан алгоритм определения параметров

объекта: его продольного и поперечного размеров, скорости движения и положения траектории относительно сторон рубежа охраны (контроля).

Подтверждено, что временная обработка сигналов в оптико-электронных системах вносит дополнительные преимущества в качество системы, в данном случае благодаря разрешению неопределенности в вычислении параметров объекта.

Оптико-электронная система селекции объектов по размерам, имеющая два объектива вместо четырех, безусловно, будет дешевле в изготовлении и юстировке.

Ввод в эксплуатацию обоих вариантов системы потребует существенной предпусковой подготовки в виде юстировки на местности, измерения и записи в электронную часть устройства необходимых констант, защиты объективов от воздействия внешней среды, экспериментальной проверки возникающих ошибок и внесения возможных корректив для их минимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суворов С. В. Амплитудная и временная селекция объектов в оптических системах с одноэлементными приемниками // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2010. – № 4(81). – С. 62–69.
2. Пат. 2058593 РФ Способ обнаружения нарушителя и устройство для его осуществления.
3. Ишанин Г. Г. Приемники излучения оптических и оптико-электронных приборов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 175 с.
4. Мусьяков М. П., Шахтарин Б. И., Ванеев Г. Г., Суворов С. В. Некоторые особенности пироэлектрических преобразователей на полимерных сегнетоэлектриках // Электричество. – 1998. – № 9. – С. 46–51.

Статья поступила в редакцию 15.03.2011

Сергей Витальевич Суворов родился в 1952 г., окончил в 1975 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Доцент кафедры “Автономные информационные и управляющие системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана, заведующий отделом СМ2-2 “Информационные и управляющие системы” НИИ СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 научных работ в области систем ближней локации и теории высшего образования.

S.V. Suvorov (b. 1952) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1975. Assoc. professor of “Autonomous Information and Control Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University, head of department of the Research Institute for Special Mechanical Engineering of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 40 publications in the field of short-range radar systems and theory of higher education.