



УДК 654.924

ПОДХОД К СИНТЕЗУ ПАССИВНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КВАЗИТОЧЕЧНОЙ МОДЕЛИ КВАЛИФИЦИРОВАННОГО НАРУШИТЕЛЯ

И.В. Билиженко^а, В.В. Волхонский^а^а Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: volkhonski@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 04.10.16, принята к печати 15.11.16

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-143-150

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Билиженко И.В., Волхонский В.В. Подход к синтезу пассивных оптико-электронных инфракрасных извещателей на основе квазиточечной модели квалифицированного нарушителя // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 1. С. 143–150. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-143-150

Аннотация

Предмет исследования. Рассмотрена задача синтеза пассивных инфракрасных извещателей с улучшенной вероятностью обнаружения квалифицированного нарушителя, применяющего методы противодействия обнаружению: выбор направления движения и маскировка в области инфракрасного диапазона. **Методы.** Предложен подход, заключающийся в использовании квазиточечной модели нарушителя. Подход включает в себя выделение приоритетных параметров модели; формирование набора парциальных диаграмм направленности, адаптированных под упомянутые параметры; использование многоканальной обработки сигналов. **Результаты.** Предложена квазиточечная модель квалифицированного нарушителя, состоящая из обособленных фрагментов, для оценки параметров которой использована плотность разностной мощности излучения фрагментов. Сформулированы критерии, позволяющие выбрать параметры диаграммы направленности на основе параметров модели. Увеличена информативность сигнала путем применения девятиэлементного пироэлектрического приемника с независимыми выходами от чувствительных элементов. Предложена многоканальная обработка сигналов с парциальными диаграммами направленности каналов, оптимизированными под различные направления движения нарушителя. **Практическая значимость.** Разработанная схема устройства может быть реализована как аппаратно, так и программно, а также использована как один из каналов обнаружения комбинированных извещателей.

Ключевые слова

оптико-электронный извещатель, пассивный инфракрасный извещатель, стандартная цель, имитатор цели, нарушитель, обнаружение

APPROACH TO SYNTHESIS OF PASSIVE INFRARED DETECTORS BASED ON QUASI-POINT MODEL OF QUALIFIED INTRUDER

I.V. Bilizhenko^а, V.V. Volkhonskiy^а^а ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: volkhonski@mail.ru

Article info

Received 04.10.16, accepted 15.11.16

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-143-150

Article in Russian

For citation: Bilizhenko I.V., Volkhonskiy V.V. Approach to synthesis of passive infrared detectors based on quasi-point model of qualified intruder. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 143–150. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-143-150

Abstract

Subject of Research. The paper deals with synthesis of passive infra red (PIR) detectors with enhanced detection capability of qualified intruder who uses different types of detection countermeasures: the choice of specific movement direction and disguise in infrared band. **Methods.** We propose an approach based on quasi-point model of qualified intruder. It includes: separation of model priority parameters, formation of partial detection patterns adapted to those parameters and multi channel signal processing. **Main Results.** Quasi-point model of qualified intruder consisting of different fragments was suggested. Power density difference was used for model parameters estimation. Criteria were formulated for detection pattern parameters choice on the basis of model parameters. Pyroelectric sensor with nine sensitive elements was applied for increasing the signal information content. Multi-channel processing with multiple partial detection patterns was proposed optimized for detection of intruder's specific movement direction. **Practical Relevance.** Developed functional device

diagram can be realized both by hardware and software and is applicable as one of detection channels for dual technology passive infrared and microwave detectors.

Keywords

PIR detector, standard walk test target, simulated walk test target, intruder, detection

Введение

Одной из важнейших задач совершенствования характеристик охранных извещателей и, в частности, наиболее распространенных – пассивных оптико-электронных инфракрасных (ПИК) извещателей, является улучшение вероятности обнаружения такой цели, как квалифицированный нарушитель, применяющий комплекс методов и средств противодействия обнаружению, в том числе выбор направления и скорости движения, а также маскировку в области ИК-диапазона посредством теплоизолирующей одежды. В этих условиях наблюдается значительное снижение вероятности обнаружения [1]. Для решения этой проблемы необходимы соответствующие модели нарушителей, а также новые устройства, способные эффективно их обнаруживать. Исходя из этого, представляется целесообразной и актуальной постановка и решение такой задачи, как синтез ПИК-извещателя, обеспечивающего требуемую вероятность обнаружения подобного нарушителя. Решение этой задачи на практике должно происходить при жестких ограничениях [2]. В противном случае рассматриваемые извещатели потеряют важное преимущество – достаточно высокие функциональные характеристики при приемлемой цене.

В настоящее время разработчики ПИК-извещателей достигли значений параметров, близких к предельно достижимым. Ведутся исследования в области пироэлектрических приемников (пироприемников), моделей целей, методов обработки [2–9], есть некоторые практические решения [10–13], однако они, во-первых, позволяют лишь частично улучшить вероятность обнаружения [2, 5] либо решают второстепенные задачи, например, определение направления движения [6–9], и, во-вторых, не учитывают в достаточной степени специфику нарушителя. В [3, 4] сформулированы основные подходы к решению поставленной задачи, в [2, 14, 15] – часть критериев и ограничений, но они не позволяют в полной мере решить задачу. В связи с этим возникает необходимость разработки модели квалифицированного нарушителя, формулировки критериев и собственно решения задачи разработки нового устройства с улучшенными характеристиками обнаружения.

Терминология

Для решения поставленной задачи потребуется детальный анализ процессов обнаружения нарушителя. По этой причине для исключения неоднозначности рассмотрим несколько аспектов, связанных с терминами. Первый связан с понятием диаграммы направленности. В российском стандарте¹ используется термин «элементарная чувствительная зона», определяемая как «область пространства, создаваемая оптическими системами извещателя, состоящими из каждого чувствительного и каждого фокусирующего элемента, при перемещении в которой человека извещатель способен воспринимать его ИК-излучение». В этом определении есть неточности – чувствительный элемент пироприемника не является частью оптической системы. Вследствие этого будем использовать термин «элементарная зона» как область пространства, создаваемая одним сегментом оптической системы и одним чувствительным элементом пироприемника, при перемещении в которой человека извещатель способен воспринимать его ИК-излучение.

В упомянутом стандарте отсутствует термин «диаграмма направленности», а есть лишь понятие зоны обнаружения как совокупности всех элементарных зон. Будем называть совокупность всех элементарных зон и промежутков между ними диаграммой направленности. Причина введения такого понятия в том, что принципиально возможность обнаружения зависит не только от факта нахождения цели в диаграмме направленности, но и от точки входа в нее и других параметров движения нарушителя [16]. Также учтем, что диаграмма направленности ПИК-извещателя сегментирована и поэтому позволяет воспринимать ИК-излучение только в части пространства. С учетом отмеченного выше замечания определим также понятие парциальной диаграммы направленности как совокупности элементарных зон, формируемых одним сегментом оптической системы и всеми чувствительными элементами пироприемника. Таким образом, парциальная диаграмма направленности состоит из нескольких элементарных зон.

Второй аспект заключается в расхождении понятий «стандартная цель» и «имитатор цели» в различных стандартах^{2,3}. Например, в ГОСТ Р¹ есть понятие «стандартная цель», определенное как «конструктивный элемент, характеристики которого в ИК-диапазоне электромагнитного спектра волн аналогич-

¹ ГОСТ Р 50777-2014 Извещатели пассивные оптико-электронные инфракрасные для закрытых помещений и открытых площадок. Общие технические требования и методы испытаний. Введ. 11.11.2014. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2014. 36 с.

² EN 50131-2-2 Alarm systems – Intrusion systems – Part 2-2: Requirements for passive infrared detectors. Approved 2008-05-01. CENELEC. 38 p.

³ CLC/TS 50131-2-2 TECHNICAL SPECIFICATION Alarm systems - Intrusion systems ICS 13.310 Part 2-2: Requirements for passive infrared detectors] 2004, 38 p.

ны характеристикам излучения человека». В стандарте¹ определено понятие «цель стандартная: человек массой от 50 до 70 кг, ростом от 165 до 180 см, одетый в хлопчатобумажный халат». А в европейских стандартах определен ряд понятий, а именно, стандартная цель как человек с определенными параметрами и имитатор цели как некий конструктивный элемент. В этой связи для однозначности определим термин стандартная цель как человек с упомянутыми выше параметрами (что будет соответствовать ГОСТ Р и EN), а имитатор цели как конструктивный элемент. Однако в любом случае ни один из упомянутых стандартов не учитывает ряд возможностей маскировки нарушителем и части трудно обнаруживаемых направлений движения.

Анализ моделей нарушителя

Имитаторы цели, определяемые ГОСТ Р¹ (рис. 1, б) и EN² (рис. 1, в), существенно отличаются друг от друга и от стандартной цели (рис. 1, а). Термограммы реальных нарушителей в разных условиях подробно исследованы в работе [2]. Даже внешний анализ демонстрирует существенные качественные и количественные отличия термограмм на рис. 1, а, г.

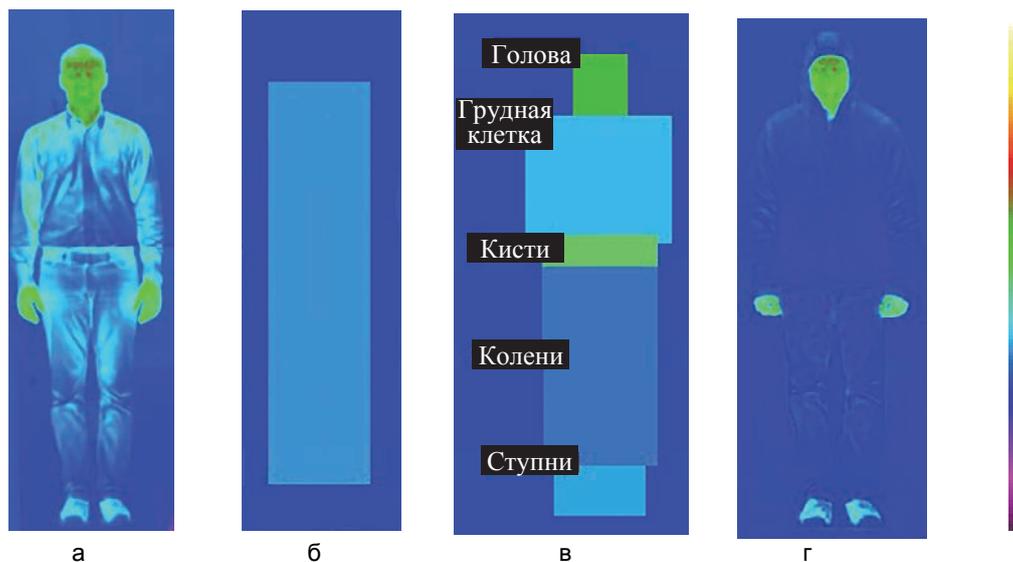


Рис. 1. Термограммы стандартной цели (а), имитаторов (б), (в) и нарушителя (г)

Для создания модели нарушителя можно использовать соотношение мощностей $P_{им}$ и разностных мощностей $\Delta P_{им}$, излучаемых m -и фрагментами цели, по сравнению с общей мощностью излучения $P_{ц}$ цели из M характерных фрагментов. Для оценки влияния значения фоновой температуры $T_{ф}$ на $P_{ц}$ полагаем, что m -й фрагмент площадью S_m полностью находится в площади сечения элементарной зоны, т.е. $S_m \subseteq S_{зчз}$. Это соответствует оценке максимально возможных значений $\Delta P_{им}^{max}$ от m -х фрагментов цели по сравнению с фоном. Также в этом случае можно говорить о разности мощностей излучения фрагмента площадью S_m и от фона с поверхностью $S_{ф} = S_m$, определяемой как $\Delta P_{им} = P_{иф} |_{S_{ф}=S_m} - P_{им}$. Чтобы избежать при сравнении мощностей излучения влияния таких параметров, как различные форма и размер фрагментов, изменение положения цели, отличия используемой одежды и т.п., введем понятие плотности мощности излучения единицы площади поверхности фрагмента, лежащего в диапазоне температур $T_m^{min} - T_m^{max}$. Для каждого n -го пикселя m -го фрагмента площадью s_n и температурой T_n^m можно записать выражение для мощности его излучения как $P_n = ks_n (T_n^m)^4$. Учитывая необходимость компенсации влияния температурного фона при оценке мощности излучения, формирующего выходной сигнал извещателя, следует учитывать разницу в мощностях излучения фона и цели. Соответственно, выражение для плотности разностной мощности излучения всего выделенного фрагмента

¹ ГОСТ Р 52650-2006 Извещатели охранные комбинированные радиоволновые с пассивными инфракрасными для закрытых помещений. Общие технические требования и методы испытания. М.: Стандартинформ, 2007. 16 с.

из N_m пикселей будет иметь вид $\Delta p_m^N = \frac{\left| k \sum_{n=1}^N (T_n^m)^4 - N_m \cdot T_\phi^4 \right|}{N_m}$. Графики плотности разностной мощности

при различных температурах фона и времени прогрева приведены на рис. 2 и иллюстрируют заметное изменение мощностей излучения от отдельных фрагментов цели, существенное их перераспределение между отдельными составляющими при изменении фоновой температуры, а также наличие явных минимумов. Очевидно, что в совокупности это будет приводить к заметному изменению вероятности обнаружения.

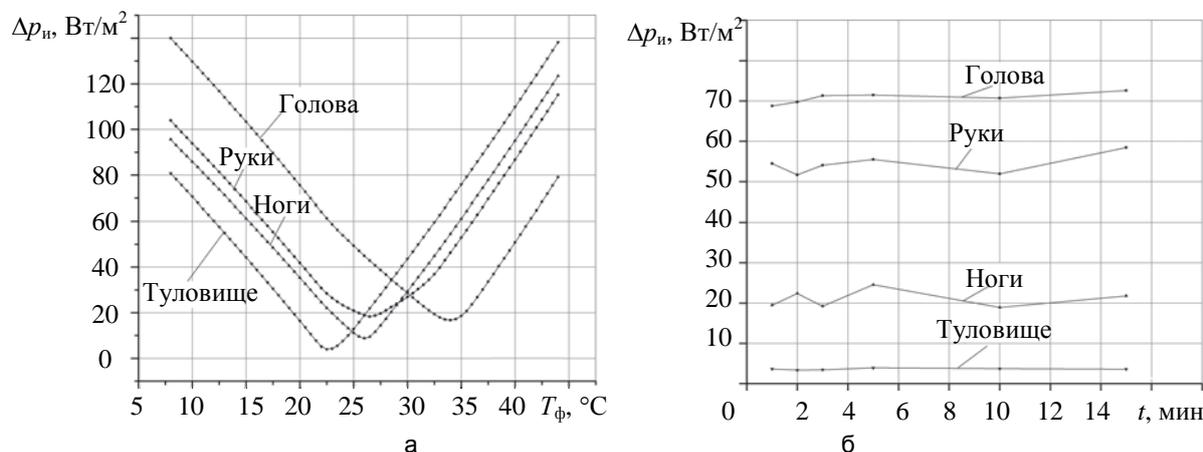


Рис. 2. Характер изменения плотности разностной мощности излучения цели: при изменении фоновой температуры (а); в зависимости от времени прогрева (б)

Квазиточечная модель квалифицированного нарушителя

Учтем, что температура частей тела, закрытых плотной одеждой, обычно близка к температуре фона даже без использования специальных средств маскировки (рис. 1, г), что позволяет пренебречь этими составляющими модели. Основной вклад в суммарную мощность излучения вносят голова, а также кисти рук. Иногда возникает необходимость учета и других составляющих, например, ступней. При этом если и для стандартной цели, и для нарушителя имеет место перераспределение мощностей излучения фрагментов при различных условиях, то для квалифицированного нарушителя отдельные составляющие становятся пренебрежимо малыми. В любом случае можно говорить о наличии нескольких отдельных фрагментов с площадями S_m^{KH} , которые, во-первых, обладают температурой, существенно отличающейся от температуры фона, во-вторых, являются обособленными, разнесенными в пространстве и, наконец, их излучающие площади значительно меньше общей площади цели и меньше площадей соответствующих составляющих $S_m^{CЦ}$ стандартной цели. Тогда модель нарушителя может характеризоваться суммой $S^{KH} = \sum_{m=1}^M S_m^{KH}$ составляющих S_m^{KH} малого размера по сравнению с $S^{CЦ}$. Таким образом, можно говорить о квазиточечной модели квалифицированного нарушителя как совокупности G^{KH} обособленных элементов G_m^{KH} , $m = 1, ..M$.

Критерии и ограничения

Классическое решение соответствует задаче статистической проверки гипотез [17] H_0 об отсутствии в принятом колебании $a(t) = n_{kc}(t) + n_d(t)$ полезного сигнала $c(t)$ (присутствует только шум $n_{ш}(t) = n_{kc}(t) + n_d(t)$) или H_1 о его наличии $a_c(t) = c(t) + n_{kc}(t) + n_d(t)$ на интервале времени T . Основные составляющие шума $n_{ш}(t)$ в принятом колебании – квазистатическая $n_{kc}(t)$ (медленные изменения температуры фона) и динамическая $n_d(t)$, соответствующая наличию в контролируемой области источников ИК-излучения, создающих сигнал, аналогичный сигналу от цели. Это, например, батареи отопления, кондиционеры и т.п., температура которых может изменяться быстро по сравнению с возможной скоростью изменения температуры фона. Для принятия решения используется сравнение отношения правдоподобия $\Lambda = \frac{F(a_c(t))}{F(a(t))}$ с некоторым порогом. Оставим в стороне важный вопрос выбора значения

порога принятия решения, поскольку этот вопрос аналогичен традиционным ПИК-извещателям, а остановимся на основных вопросах достижения максимального отношения сигнал/шум и снижения априорной неопределенности о форме и параметрах сигнала.

Увеличение отношения сигнал/шум достигается выбором геометрических параметров элементарных зон в соответствии с параметрами модели нарушителя и непосредственно снижением уровня шумов. Говоря о критериях выбора параметров элементарных зон, отметим, что с учетом ограничений [2], физического принципа действия, конструктивных особенностей, специфики применения ПИК-извещателей и высокой степени априорной неопределенности параметров реальных сигналов и их нестационарности, решить строго поставленную задачу оптимального синтеза извещателя практически невозможно. Сформулируем квазиоптимальные критерии. Обозначим $S_{\text{эчз}}$ – площадь сечения элементарной зоны на дальности нахождения цели. Тогда максимуму сигнала от цели будут соответствовать выполнение следующих требований.

1. Полное перекрытие видимой (из точки нахождения извещателя) эффективной излучающей поверхности цели S^{KH} сечением элементарной зоны на дальности, соответствующей положению цели относительно извещателя.
2. Отсутствие взаимного перекрытия видимой поверхности цели соседними элементарными зонами диаграммы направленности, имеющими разную поляриность формируемого сигнала.
3. Максимальный размер проекции поверхности фрагмента цели S_m^{KH} на площадь $S_{\text{эчз}}$ сечения элементарной зоны, что соответствует условию $S_m^{\text{KH}} \rightarrow S_{\text{эчз}}$.

Одновременное выполнение этих требований в традиционных ПИК-извещателях для поперечного и продольного направлений движения приводит к практически неразрешимому противоречию. Исходя из этого, предлагается следующий подход: выделение приоритетных параметров модели цели, формирование набора парциальных диаграмм направленности, адаптированных под каждый из упомянутых параметров, и использование для обработки сигналов отдельных каналов, каждый из которых выполняет также задачу компенсации фонового излучения.

Для реализации этого подхода можно использовать многоканальные устройства и соответствующие алгоритмы обработки, в которых каждый канал и его параметры (включая форму и параметры парциальной диаграммы направленности) адаптированы под соответствующие направления движения (продольное, поперечное и два диагональных). При этом основой служит более информативный многоэлементный пироприемник с отдельными выходами от каждого элемента. Это позволяет формировать из исходной матрицы чувствительных элементов различные парциальные диаграммы направленности при наличии только одного пироприемника и одной стандартной оптической системы. Размеры элементарной зоны должны выбираться исходя из размеров основных излучающих фрагментов модели цели. Учитывая, что наибольший вклад создает голова, можно ориентироваться на ее размеры для формирования требований к размерам элементарных зон. Это позволяет сделать вывод о необходимости сокращения горизонтального размера последних на 30–40%. Это может достигаться либо изменением параметров оптической системы, определяющих пространственный размер элементарных зон, либо использованием пироприемника с большим количеством элементов при том же общем размере пироприемника и неизменной оптической системе. Последний способ представляется более предпочтительным, поскольку позволяет принципиально повысить информативность входного сигнала. Вертикальный размер должен сохраняться таким же, как и в традиционных ПИК-извещателях. Это позволит, во-первых, обеспечить возможность попадания всех фрагментов S_m^{KH} цели в площадь $S_{\text{эчз}}$ сечения и тем самым обеспечить выполнение всех трех упомянутых выше требований и, во-вторых, обеспечить соответствие разрабатываемого устройства требованиям действующего ГОСТ Р.

Для уменьшения уровня шумов проанализируем основные его составляющие $n_{\text{кк}}(t)$ и $n_{\text{д}}(t)$. Учитывая высокую степень стабильности фоновой температуры на реальных объектах в течение интервала времени, соизмеримого со временем обработки сигнала, первый из перечисленных выше критериев будет соответствовать достижению максимума сигнала от цели, а с учетом предположения о стабильности фоновой температуры – критерию достижения максимального значения отношения сигнал/шум. В ПИК-извещателях сигналы $a_{ij}(t)$, формируемые (i, j) -и парциальными диаграммами направленности, суммируются при обработке внутри пироприемника. Это обуславливает усреднение принимаемого шума от каждого из чувствительных элементов пироприемника по всем парциальным диаграммам. Очевидно, что такое суммирование приводит к высокому значению уровня шума, формируемого каждой парциальной диаграммой, по сравнению с сигналом от цели, создаваемым только одной элементарной зоной. Тогда выражение для выходного сигнала пироприемника можно записать как

$$A(t) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (n_{\text{кк}}^{ij}(t) + n_{\text{д}}^{ij}(t)) + \sum_{k=1}^K c_k(t),$$

где i – номер горизонтального сектора диаграммы направленности; j – номер парциальной диаграммы направленности в этом секторе; k – номер элементарной зоны парциальной диаграммы, в которой находится цель; $c_k(t)$ – сигнал, создаваемый целью. В дальнейшем не будем учитывать динамическую составляющую $n_d(t)$, поскольку она легко устраняется корректной установкой ПИК-извещателя, при которой в область диаграммы направленности не попадают источники такого излучения.

Для уменьшения высокого уровня квазистатической составляющей фона $n_{kc}(t)$ применим оценочно-компенсационный алгоритм. Для формирования оценки \hat{n}_{kc} можно использовать сигналы смежных элементарных зон, в которых цель отсутствует. Учитывая, что диаграмма направленности ПИК-извещателя имеет сегментированную структуру, все сегменты оптической системы фокусируют сигнал на один и тот же пироприемник а также линейность преобразований, можно записать выражение для ошибки компенсации шумов $\Delta N_{kc} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (n_{kc}^{ij} - \hat{n}_{kc}^{ij})$, обусловленной различиями фоновой температуры. В

идеальном случае строго симметричного пироприемника и равномерного фона $\Delta N_{kc} = 0$.

Основными путями снижения априорной неопределенности являются повышение информативности сигнала и многоканальная обработка с оптимизацией структуры и алгоритма работы каждого канала к определенным условиям обнаружения цели.

Предлагаемое устройство

Предлагаемое устройство изображено на рис. 3 (оптическая система не показана).

Устройство состоит из девятиэлементного пироэлектрического приемника (ПЭП), четырех идентичных каналов обнаружения движения нарушителя в поперечном (КО 1), продольном (КО 2) и двух диагональных направлениях (КО 3, КО 4), логического элемента ИЛИ и схемы выбора максимума (СВМ).

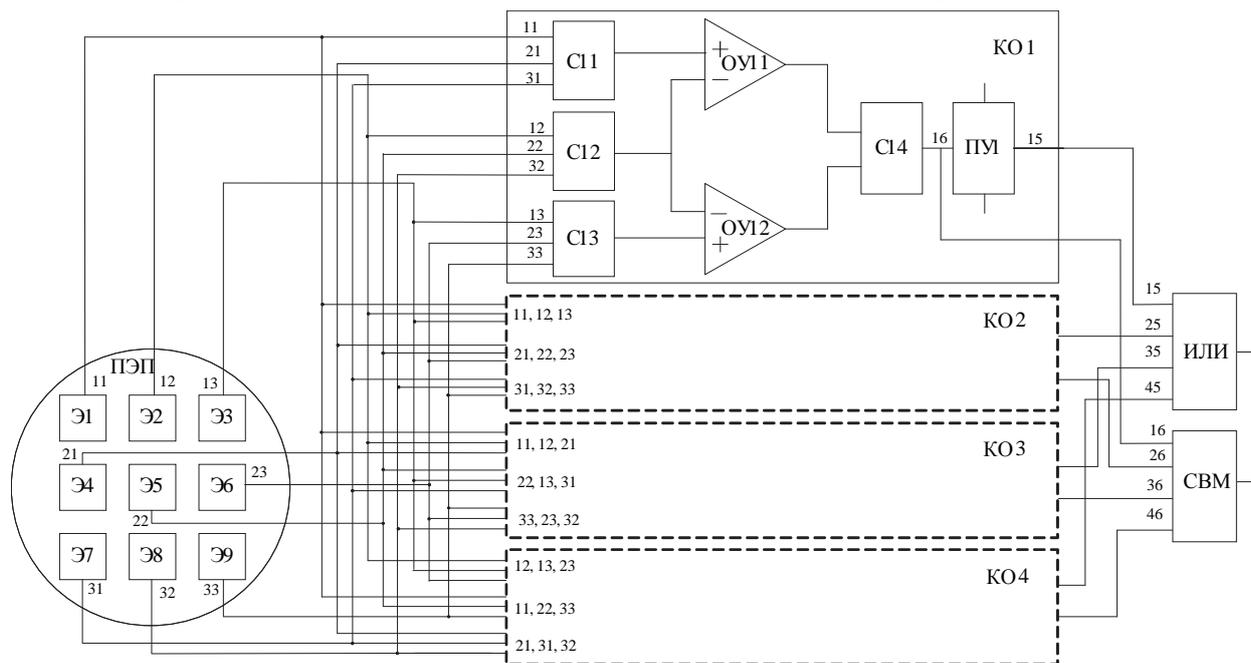


Рис. 3. Функциональная схема многоканального извещателя

Чувствительные элементы (Э) пироприемника имеют независимые выходы, что позволяет в каналах обнаружения формировать индивидуальные парциальные диаграммы направленности. Три входных сумматора каждого канала формируют три тройки чувствительных элементов, расположение которых оптимизировано для обнаружения нарушителя, двигающегося в определенном направлении. Оценка фонового шума формируется в сумматоре С12, а компенсация осуществляется в операционных усилителях (ОУ). Один операционный усилитель из пары каждого канала обнаружения формирует выходной сигнал типа плюс/минус, а другой – типа минус/плюс. Эти сигналы сдвинуты на половину периода благодаря геометрическому расположению троек пироэлектрического приемника. Двухвходовые сумматоры каналов формируют сигналы типа плюс/два минуса/плюс. Исходя из этого, на верхние входы пороговых устройств (ПУ) подаются напряжения порога по модулю вдвое меньше, чем на пороговые напряжения нижнего входа. Постоянная работа всех каналов обеспечивает инвариантность вероятности обнаружения извещателем к направлению движения нарушителя. Выходные сигналы двухвходовых сумматоров по-

ступают также на входы схемы выбора максимума, что позволяет дополнительно определить направленные движения нарушителя.

Заметим, что в определенных условиях логика выбора канала обнаружения ИЛИ может привести к росту числа ложных срабатываний за счет неполного соблюдения требований по установке ПИК-извещателя и за счет наличия в области диаграммы направленности источников динамической составляющей фона. Однако эта возможная проблема легко решается использованием предлагаемого варианта извещателя как одного из каналов комбинированного извещателя со вторым радиоволновым каналом.

Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. Предложена квазиточечная модель квалифицированного нарушителя, состоящая из обособленных фрагментов.
2. Сформулированы критерии выбора параметров диаграммы направленности в зависимости от параметров модели цели.
3. Предложен подход к синтезу пассивных оптико-электронных инфракрасных извещателей, состоящий в выделении приоритетных параметров модели цели, формировании набора парциальных диаграмм направленности, адаптированных под каждый из выбранных параметров цели, и использовании раздельных каналов для обработки сигналов.
4. Предложена схема устройства, обладающего следующими особенностями:
 - увеличенная информативность сигнала, формируемого девятиэлементным пироприемником с независимыми выходами от каждого чувствительного элемента;
 - многоканальная обработка с формированием нескольких различных диаграмм направленности, каждая из которых оптимизирована под определенное направление движения нарушителя при наличии одного пироприемника и одной оптической системы, что дает возможность достичь близкой к равномерной вероятности обнаружения нарушителя;
 - возможность определения направления движения цели;
 - формирование трех импульсов при прохождении нарушителем каждой парциальной диаграммы направленности, в отличие от двух в традиционных устройствах, что позволяет повысить вероятность обнаружения;
 - сохранение структуры одного из каналов, как в традиционных извещателях, что обеспечивает соответствие требованиям существующего государственного стандарта.

Как альтернатива подобное устройство может быть реализовано с использованием цифровых алгоритмов обработки. Например, оно может содержать аналогово-цифровые преобразователи сигналов с выходов чувствительных элементов пироприемника и микропроцессор, реализующий алгоритм, соответствующий алгоритму аппаратной многоканальной обработки.

Литература

1. Волхонский В.В., Воробьев П.А. Методика оценки вероятности обнаружения несанкционированного проникновения оптикоэлектронным извещателем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 1(77). С. 120–123.
2. Воробьев П.А. Модель и метод анализа вероятности обнаружения нарушителя пассивными инфракрасными извещателями систем физической защиты объектов информатизации: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2015. 139 с.
3. Stierli P. Method for Processing Passive Infrared Detector Signals and Infrared Detector for Carrying out the Method. Patent EP 0646901. Publ. 05.04.1995.
4. Rafique F., Siddiqui N. Parametric comparison of selected dual elements PIR sensors // SSU Res. J. of Engg. and Tech. 2012. V. 2. N 1. 7 p.
5. Ustun V., Smith J.S. Creating realistic human behavior in physical security systems simulation // Proc. 19th Conf. on Behavior Representation in Modeling and Simulation. Charleston, USA, 2010. P. 310–311.
6. Zappi P., Farella E., Benini L. Pyroelectric infrared sensors based distance estimation // Proc. IEEE Sensors. 2008. P. 716–719. doi: 10.1109/ICSENS.2008.4716542
7. Fang J.-S., Hao Q., Brady D.J., Shankar M., Guenther B.D., Pitsianis N.P., Hsu K.Y. Path-dependent human identification using a pyroelectric infrared sensor and Fresnel lens arrays // Optics Express. 2006. V. 14. N 2. P. 609–624. doi: 10.1364/OPEX.14.000609
8. Sadagopan V.K., Rajendran U., Francis A.J. Anti theft control

References

1. Volkhonsky V.V., Vorobyov P.A. Estimation method of unauthorized intrusion probability detection by passive infrared detector. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2012, no. 1, pp. 120–123. (In Russian).
2. Vorob'ev P.A. *Model and Method of Analysis of Intrusion Detection Probability by Passive Infrared Detectors in Systems of Physical Protection of Information Objects*. Dis. PhD Eng. Sci. St. Petersburg, 2015, 139 p.
3. Stierli P. *Method for Processing Passive Infrared Detector Signals and Infrared Detector for Carrying out the Method*. Patent EP 0646901, publ. 05.04.1995.
4. Rafique F., Siddiqui N. Parametric comparison of selected dual elements PIR sensors. *SSU Res. J. of Engg. and Tech.*, 2012, vol. 2, no. 1, 7 p.
5. Ustun V., Smith J.S. Creating realistic human behavior in physical security systems simulation. *Proc. 19th Conf. on Behavior Representation in Modeling and Simulation*. Charleston, USA, 2010, pp. 310–311.
6. Zappi P., Farella E., Benini L. Pyroelectric infrared sensors based distance estimation. *Proc. IEEE Sensors*, 2008, pp. 716–719. doi: 10.1109/ICSENS.2008.4716542
7. Fang J.-S., Hao Q., Brady D.J., Shankar M., Guenther B.D., Pitsianis N.P., Hsu K.Y. Path-dependent human identification using a pyroelectric infrared sensor and Fresnel lens arrays. *Optics Express*, 2006, vol. 14, no. 2, pp. 609–624. doi: 10.1364/OPEX.14.000609
8. Sadagopan V.K., Rajendran U., Francis A.J. Anti theft control

- system design using embedded system // Proc. IEEE Int. Conf. on Vehicular Electronics and Safety, 2011, V. 85, P. 239–242. doi: 10.1109/ICVES.2011.5983776
9. Zappi P., Farella E., Benini L. Tracking motion direction and distance with pyroelectric IR sensors // IEEE Sensors Journal, 2010, V. 10, N 9, P. 1486–1494. doi: 10.1109/JSEN.2009.2039792
 10. Shpater P. Passive Infrared Motion Detection Circuit Having Fur Comparators. Patent US5886632, 1999.
 11. Muller K.A. Infrared Intrusion Detector. Patent US 5045702. Publ. 03.09.1991.
 12. Quad R., Storck K. Infrared Detector with Direction Identification Capability. Patent US 4914298. Publ. 03.04.1990.
 13. Волхонский В.В., Воробьев П.А., Малышкин С.Л., Перчуков В.И., Рахматуллина Т.М. Охранный пассивный инфракрасный извещатель. Патент RU159824, опубликован 20.02.2016, бюл. №5.
 14. Волхонский В.В. Возможности качественного улучшения параметров пассивных инфракрасных извещателей // Охрана, безопасность, связь. 2016. №1-1. С. 56–59.
 15. Волхонский В.В., Билизенко И.В. Повышение информативности пироэлектрических приемников как способ увеличения вероятности обнаружения пассивными инфракрасными извещателями // Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции «Комплексная защита объектов информатизации». СПб., 2016. С. 6–10.
 16. Волхонский В.В., Воробьев П.А., Трапш Р.Р. Критерии оценки эффективности функционирования оптико-электронных датчиков систем физической защиты // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 3. С. 24–29.
 17. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. М.: Радио и связь, 1983. 320 с.
 9. Zappi P., Farella E., Benini L. Tracking motion direction and distance with pyroelectric IR sensors. *IEEE Sensors Journal*, 2010, vol. 10, no. 9, pp. 1486–1494. doi: 10.1109/JSEN.2009.2039792
 10. Shpater P. *Passive Infrared Motion Detection Circuit Having Fur Comparators*. Patent US5886632, 1999.
 11. Muller K.A. *Infrared Intrusion Detector*. Patent US 5045702, publ. 03.09.1991.
 12. Quad R., Storck K. *Infrared Detector with Direction Identification Capability*. Patent US 4914298, publ. 03.04.1990.
 13. Volkhonskii V.V., Vorob'ev P.A., Malyshkin S.L., Perchukov V.I., Rakhmatullina T.M. *Guard Passive Infrared Detector*. Patent RU159824, 2016.
 14. Volkhonskii V.V. Capabilities of qualitative improvement of passive infrared detectors parameters. *Okhrana, Bezopasnost', Svyaz'*, 2016, no. 1-1, pp. 56–59. (In Russian)
 15. Volkhonskii V.V., Bilizhenko I.V. Increasing the informativeness of pyroelectric detectors as a way to increase the probability of detection by passive infrared detectors. *Sbornik Nauchnykh Trudov Vserossiiskoi Nauchno-Prakticheskoi Konferentsii Kompleksnaya Zashchita Ob"ektov Informatizatsii*. St. Petersburg, 2016, pp. 6–10. (In Russian)
 16. Volkhonskiy V.V., Vorobev P.A., Trapsh R.R. The evaluating criterion of the PIR sensors effectiveness of physical protection systems. *Vestnik Komp'yuternykh i Informatsionnykh Tekhnologii*, 2014, no. 3, pp. 24–29. (In Russian)
 17. Tikhonov V.I. *Optimal'nyi Priem Signalov* [Optimal Receiving of Signals]. Moscow, Radio i Svyaz' Publ., 1983, 320 p.

Авторы

Билиженко Игорь Владимирович – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Jsiso19@gmail.com

Волхонский Владимир Владимирович – доктор технических наук, доцент, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, volkhonski@mail.ru

Authors

Igor V. Bilizhenko – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Jsiso19@gmail.com

Vladimir V. Volkhonskiy – D.Sc., Associate professor, Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, volkhonski@mail.ru