

УДК 621.391

А.И. Стрелков¹, А.П. Лытюга², Т.А. Стрелкова³¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков²Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков³Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ

Статья посвящена разработке алгоритма обнаружения сигналов в телевизионных системах на основе последетекторного логического накопления последовательности бинарно-квантованных телевизионных кадров. Показана возможность улучшения характеристик обнаружения сигналов при низком отношении сигнал/шум.

Ключевые слова: телевизионная система; обнаружение оптических сигналов; отношение сигнал/шум; характеристики обнаружения сигналов.

Введение

Современные телевизионные системы обладают большими возможностями регистрации оптических сигналов широкого диапазона энергий в различных условиях наблюдения, что позволяет получать высокоточную объективную информацию о наблюдаемых объектах. Неотъемлемой частью телевизионных комплексов являются вычислительные средства и методы обработки результатов измерений.

Результаты цифровой обработки существенно зависят от качества информации, содержащейся в получаемом изображении, которое определяется величиной коэффициента контрастности K и величиной отношения сигнал/шум φ исходного изображения.

Методы повышения контрастности при достаточном энергетическом уровне сигнальной составляющей изложены в [1]. Однако на практике возникает необходимость регистрации малоконтрастных объектов при малых величинах отношения сигнал/шум [2].

Одним из способов повышения контрастности и величины отношения сигнал/шум является метод увеличения времени накопления сигнальной составляющей. Так увеличение времени накопления в m раз улучшает отношение сигнал/шум φ в \sqrt{m} раз [3]. При этом происходит пропорциональное накопление фоновой составляющей. Техническая реализация этого метода связана с риском полной потери информации о наблюдаемом объекте, вызванной насыщением фотоприемника под воздействием фоновой составляющей. Реальные фотоприемники имеют ограниченный динамический диапазон, т. е. величина суммарной освещенности светочувствительной поверхности фотоприемника E_{Σ} не должна превышать некоего порогового значения $E_{\text{ПОР}}$. В случае превышения величиной освещенности $E_{\text{ПОР}}$ для удержания

рабочей точки на линейном участке световой характеристики применяют нейтральные ослабители (нейтральные фильтры) с коэффициентом ослабления $\gamma = E_{\Sigma}/E_{\text{ПОР}}$. При этом, как показано в работе [4], применение нейтральных фильтров реализует стохастическую модель ослабления световых потоков, что приводит к ухудшению отношения сигнал/шум в ослабленном потоке в $\sqrt{\gamma}$ раз.

При использовании большинства телевизионных систем первичной является задача обнаружения сигнала на фоне аддитивных помех в поле изображения, формируемом оптической системой. В этом случае качество обнаружения сигнала определяется энергетическими параметрами сигнала и помехи на входе системы.

В существующих телевизионных системах, как правило, реализованы методы обнаружения сигналов, основанные на пороговой обработке выходного сигнала [5]. В работах [6 – 8] показано, что квазиоптимальное решение задачи обнаружения оптических сигналов на фоне аддитивных помех может быть реализовано путем сравнения принятой реализации аддитивной смеси «сигнал + помеха» с порогом. Решение о наличии сигнальной компоненты в принятой реализации (телевизионный кадр) принимается при превышении амплитудой отклика элемента разрешения матрицы фотоприемника определенного порогового значения. В этом случае реализуется так называемое энергетическое обнаружение сигнала.

Целью работы является разработка методики энергетического обнаружения малоконтрастных объектов при малой величине отношения сигнал/шум в телевизионных системах путем цифровой обработки последовательности изображений.

Основной материал

Рассмотрим возможность увеличения величины отношения сигнал/шум. Используем выражение

для величини отношения сигнал/шум φ , как отношение среднего значения измеряемой величины к ее среднеквадратичному отклонению [9].

$$\varphi = \frac{\bar{U}_C}{\sqrt{D_C}}, \quad (1)$$

где $\sqrt{D_C} = \sigma_C$ – среднеквадратичное отклонение измеряемой величины.

Одним из способов увеличения величины отношения сигнал/шум является последетекторное логическое накопление телевизионных кадров [3]. В этом случае отношение сигнал/шум улучшается пропорционально \sqrt{n} , т. е., если φ_1 – отношение сигнал/шум в одном кадре, то

$$\varphi_R \sim \sqrt{n} \varphi_1, \quad (2)$$

так как среднее значение сигнальной компоненты в результирующем изображении $\bar{U}_{CR} \sim n$, а среднеквадратичное отклонение $\sigma_{CR} = \sqrt{D_C} \sim \sqrt{n}$ (здесь n – число просуммированных изображений, индекс «R» указывает на величину, относящуюся к результирующему изображению).

При накоплении последовательных изображений в общем случае необходимо проводить поэлементное суммирование цифровых изображений. Для удобства цифровой обработки и снижения времени обработки информации представляется целесообразным проводить бинарное квантование видеосигнала. Результатом такой обработки является последовательность числовых бинарных массивов, соответствующих по размерности размеру телевизионного кадра, в которых отметки «1» соответствуют случаю превышения откликом элемента разрешения определенного порога, а отметки «0» – случаю не превышения порога. При этом отметки «1» могут формироваться под воздействием как сигнальной так и фоновой составляющей. Поэтому при совместной обработке последовательности бинарно квантованных кадров необходимо оценивать и учитывать изменение условных вероятностей правильного обнаружения (D) и появления ложных отметок (F).

Для оценки характеристик обнаружения в бинарно квантованных кадрах в первом приближении можно считать, что центрированная шумовая компонента распределена по нормальному закону [10]. Тогда характеристики обнаружения в одном бинарно квантованном кадре будут равны:

$$D_1 = \int_{U_0}^{\infty} w_{\Phi+C}(U) dU; \quad (3)$$

$$F_1 = \int_{U_0}^{\infty} w_{\Phi}(U) dU, \quad (4)$$

где D_1 – вероятность правильного обнаружения сигнала;

F_1 – вероятность появления ложных отметок;

$w_{\Phi+C}(U)$ – плотность вероятности суммарной флуктуационной компоненты сигнала и фона;

$w_{\Phi}(U)$ – плотность вероятности флуктуационной компоненты фона.

Для получения результирующего изображения будем проводить логическое суммирование бинарно квантованных кадров, например, для двух кадров, по логическому правилу «И»:

$$\begin{cases} 1+1=1 \\ 1+0=0 \\ 0+1=0 \\ 0+0=0. \end{cases} \quad (5)$$

Для суммирования выбирается конечное число бинарных кадров n . Произведем расчет характеристик обнаружения для результирующего изображения (D_R и F_R). Вероятность появления отметки в результирующем кадре может быть определена, как вероятность k благоприятных исходов в серии из n испытаний при вероятности успеха в одном испытании p .

Вероятность правильного обнаружения и вероятность появления ложных отметок могут быть описаны с помощью биномиального распределения:

$$D_R = C_n^k p^k q^{n-k}; \quad (6)$$

$$F_R = C_n^k p^k q^{n-k}, \quad (7)$$

где k – число кадров, в которых будет присутствовать отметка;

n – количество кадров в серии;

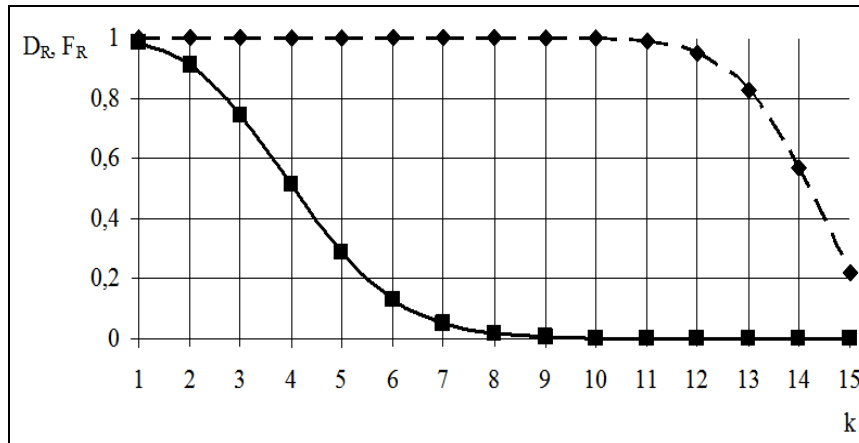
$p = D_1$ и определяется с использованием (3) для вычисления вероятности правильного обнаружения;

$p = F_1$ и определяется выражением (4) для вероятности появления ложных отметок;

$q = 1 - p$; $0 \leq k \leq n$.

На рис. 1 приведена зависимость D_R и F_R , рассчитанных, в соответствии с (6) и (7), от k для $n = 15$ для величины отношения сигнал/шум $\varphi = 1$; $D_1 = 0,5$; $F_1 = 0,16$.

Из анализа кривых, изображенных на рис. 1, следует, что при суммировании n кадров характеристики обнаружения в суммарном изображении существенно зависят от k . Значения k целесообразно выбирать в определенных пределах для обеспечения оптимального соотношения вероятностей правильного обнаружения сигнала и появления ложных отметок.

Рис. 1. Зависимость D_R и F_R от k :

—◆— — вероятность правильного обнаружения;
 —■— — вероятность ложной отметки

При совместной обработке последовательности бинарно квантованных кадров возникает возможность стабилизации одной из характеристик обнаружения при оптимизации другой. Например, стабилизация вероятности правильного обнаружения и снижение вероятности появления ложной отметки в результирующем кадре. Для этого необходимо проводить квантование исходных видеокadres с адаптивным порогом.

Выбор адаптивного порога должен проводиться таким образом, чтобы обеспечивалось требуемое значение стабилизируемой вероятности в результирующем изображении.

Принимая во внимание вышеизложенное, предлагается методика совместной обработки кадров для обеспечения заданной вероятности правильного обнаружения и минимизации вероятности появления ложной отметки в результирующем изображении.

Методика состоит в последовательном выполнении следующих операций. При получении первого кадра необходимо центрировать шумовую составляющую и измерить дисперсию. Вычислить вероятность правильного обнаружения и вероятность появления ложной отметки для конкретного значения сигнальной составляющей (отношения сигнал/шум). Исходя из значений характеристик обнаружения, выбрать количество кадров для суммирования n . Для вычисления можно использовать значения интегральной функции распределения для нормированной случайной величины, распределенной по нормальному закону [7]. Вычислить величину адаптивного порога, обеспечивающее заданное значение D_R и F_R , согласно выражениям (6) и (7).

С учетом выбранного порога произвести бинарное квантование суммируемых кадров. Просум-

мировать бинарно квантованные кадры по логическому правилу (5). Зависимость характеристик обнаружения от числа суммируемых кадров для случая стабилизации вероятности правильного обнаружения на уровне $D_R = 0,9$ и величины отношения сигнал/шум в одном кадре $\varphi_1 = 2$ приведены на рис. 2.

Из анализа кривых на рисунке видно, что вероятность ложной тревоги в результирующем изображении будет принимать минимальное значение при $k = 9$ для заданных исходных условий. Такая процедура позволяет обнаруживать в результирующем изображении объекты с условными вероятностями $D_R = 0,9$ и $F_R = 3,23 \cdot 10^{-7}$.

Выводы

Проведенные рассуждения позволяют сделать вывод, что предложенная методика логического накопления последовательности бинарно квантованных кадров позволяет существенно увеличить показатели качества обнаружения сигналов в телевизионных системах (вероятностные характеристики обнаружения). Это даст возможность применять сравнительно просто технически реализуемые схемы энергетических обнаружителей в решении задач первичного обнаружения сигналов при низких значениях отношения сигнал/шум.

Список литературы

1. Стрелкова Т.А. Методика повышения контрастности телевизионных изображений при микроскопических наблюдениях биологических объектов / Т.А. Стрелкова, А.П. Лытюга, А.Б. Щербакова // Сб. науч. тр. по материалам 4-го Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Х.: ХТУРЭ. – 2000. – С. 175-176.

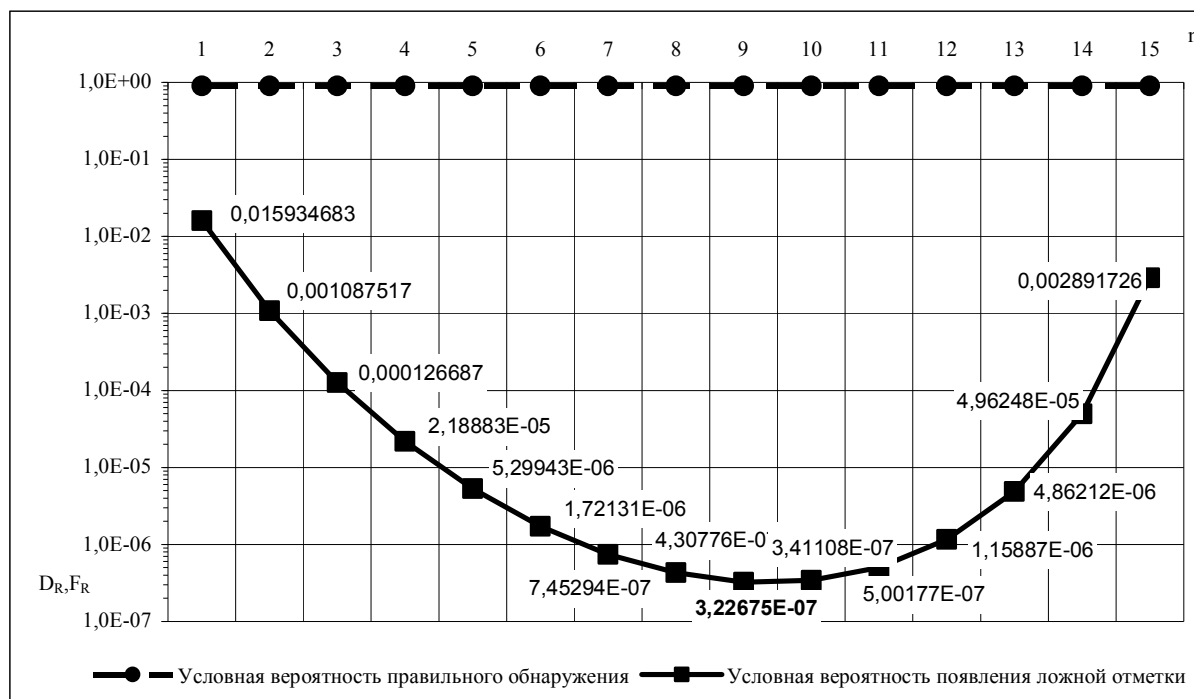


Рис. 2. Залежність характеристик виявлення від числа суммуємих кадрів

2. Стрелков А.И. Состояние и перспективы развития оптико-электронных приборов специального назначения / А.И. Стрелков, А.П. Лытюга, Т.А. Стрелкова // 2-й Международный Радиоэлектронный Форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ-2005). Сб. научн. тр. – Х.: АН ПРЭ, ХНУРЭ. – 2005. Том 2. – С. 469-470.

3. Москвитин С.В. Теоретические основы оптической локации: Конспект лекций / С.В. Москвитин, А.И. Стрелков. – К.: МО Украины, 1992. – 370 с.

4. Сравнительный анализ вероятностного и детерминированного методов ослабления световых потоков / А.И. Стрелков, А.М. Стадник, А.П. Лытюга, Т.А. Стрелкова // Радиотехника. – Х., 1998. – №108. – С. 27-33.

5. Воробьев В.И. Оптическая локация для радиоинженеров. – М.: Радио и связь, 1983. – 176 с.

6. Системы технического зрения / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский и др. – Л.: Машиностроение, 1988. – 432 с.

7. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

8. Лытюга А.П. Эффективность обнаружения сигналов от космических объектов в астрономических телевизионных системах в дневное время / А.П. Лытюга // Системы управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ навігації і управління, 2007. – Вип. 3. – С. 42-46.

9. Гальярди Р.М., Карп Ш. Оптическая связь / Р.М. Гальярди, Ш. Карп. – М.: Связь, 1978. – 424 с.

10. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Т. 2 / Б.Р. Левин. – М.: Советское радио, 1968. – 504 с.

Поступила в редколлегию 28.01.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ЕНЕРГЕТИЧНЕ ВИЯВЛЕННЯ ОПТИЧНИХ СИГНАЛІВ В ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ

О.І. Стрелков, О.П. Литюга, Т.О. Стрелкова

Статтю присвячено розробці алгоритму виявлення сигналів в в телевізійних системах на основі після детекторного логічного накопичення послідовності бінарно квантованих телевізійних кадрів. Показано можливість покращення характеристик виявлення сигналів при низькому відношенні сигнал/шум.

Ключові слова: телевізійна система; виявлення оптичних сигналів; відношення сигнал/шум; характеристики виявлення сигналів.

THRESHOLD DETECTION OF OPTICAL SIGNALS IN TELEVISION SYSTEMS

A.I. Strelkov, O.P. Lytyuga, T.A. Strelkova

The article covers the development of signals detection algorithm in television systems. The algorithm is based on post-detection logical integration of binary quantized television frames sequence. The possibility of signal detection characteristics improvement with low signal-to-noise ratio is shown.

Keywords: television system; optical signals detection; signal-to-noise ratio; signal detection characteristics.