

УДК 621.391

А.И. Стрелков¹, В.И. Барсов², Т.А. Стрелкова², Е.Н. Кац²

¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

²Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА НАКОПЛЕНИЯ СЕРИИ КОРОТКОЭКСПОЗИЦИОННЫХ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАДРОВ

Приводятся теоретические расчеты условных вероятностей правильного обнаружения и ложно тревоги, отношения сигнал/шум в одном телевизионном кадре, и после накопления серии кадров. Описывается имитационное моделирование. Результаты расчетов и моделирования позволяют оценить эффективность применения метода накопления серии короткоэкспозиционных слабоконтрастных телевизионных кадров.

оценка эффективности обработки ТВ изображений, метод накопления

Введение

Постановка проблемы. В последнее время разработчики получили в свое распоряжение широкий ассортимент быстродействующих элементов вычислительной техники в микросхемном исполнении, позволяющих создать сложные многофункциональные изделия с перестраиваемыми алгоритмами. Это открыло возможность обработки цифровыми методами сложных многомерных сигналов, в первую очередь, изображений объектов, формируемых разнообразными техническими датчиками. Такие изображения являются результатом работы радиолокационных, телевизионных, пассивных и активных ИК-систем, гидролокаторов, рентгеновских и других установок и устройств. Чаще всего данные изображения весьма

несовершенны, обладают недостаточной по отношению к фону контрастностью, четкостью, искажены помехами и шумами, что сильно усложняет решение задачи обнаружения сигнала.

В условиях аддитивного шума высокой интенсивности и малого уровня сигнала из-за малого отношения сигнал/шум практически невозможно обнаружить сигнал ни автоматически, ни визуально. Для повышения эффективности обнаружения сигнала, как визуальным способом (оператор), так и автоматизированным (ЭВМ), подчеркивают контуры изображений, повышают контрастность и отношение сигнал/шум. Одним из методов улучшения перечисленных параметров является метод накопления серии короткоэкспозиционных слабоконтрастных изображений [12].

Анализ литературы. Принципам и методам решения задачи обнаружения оптических сигналов посвящено большое количество работ [3, 5, 11]. Оптимальное решение задачи обнаружения оптических сигналов на фоне аддитивных шумов выбирается в соответствии со статистической теорией радиотехники по одному из критериев качества выбора решения [9 – 11]. Для повышения показателей качества обнаружения оптических сигналов увеличивают отношение сигнал/шум методом накопления [1, 2, 4, 6, 8, 9]. Несмотря на подробное описание данного метода, существует небольшое количество статей и монографий, непосредственно посвященных малоcontrastным ТВ сигналам, принятым в условиях интенсивного аддитивного шума.

Целью данной работы является оценка эффективности метода накопления серии короткоэкспозиционных слабоcontrastных изображений с помощью теоретических расчетов и имитационного моделирования.

Основные формулировки

Особенность метода накопления серии кадров с уменьшенной экспозицией состоит в том, что решение о наличии сигнала принимается не в каждом ТВ кадре, а после суммирования (накопления) серии короткоэкспозиционных слабоcontrastных изображений. Для определения эффективности метода накопления серии короткоэкспозиционных слабоcontrastных изображений оценим показатели качества обнаружения полезного сигнала в одном кадре, и после накопления серии ТВ кадров.

Вначале определим параметры сигнала, поступающего на вход системы. Сигнал поступает на вход системы непосредственно после фотоприемника. Ключевой операцией в фотоприемнике является фотодетектирование светового потока. При этом осуществляется преобразование светового потока в электрический сигнал. В [2] для математического описания данного преобразования предложено использовать случайные дискретные потоки. Такой подход, в отличие от описания сигналов непрерывными функциями, позволяет учесть случайный дискретный характер операции преобразования сигналов. Предположим, что интенсивность светового сигнала на входе фотоприемника не изменяется (не флуктуирует), следовательно, количество электронов на выходе фотоприемника можно представить как случайный пуассоновский поток

$$P(n) = \frac{\bar{n}^n}{n!} e^{-\bar{n}}, \quad (1)$$

где $P(n)$ – вероятность вылета n электронов на интервале τ ; \bar{n} – математическое ожидание вылета электронов на интервале τ .

Для пуассоновского потока дисперсия числа вылета электронов на интервале τ равна \bar{n} .

Рассмотрим случай интенсивного аддитивного шума, при котором распределение Пуассона воз-

можно аппроксимировать нормальным законом распределения. Тогда можно записать

$$P(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(n - \bar{n})^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2)$$

где $\sigma^2 = \bar{n}$ – дисперсия случайной величины n .

При проведении моделирования и расчетов в качестве исходных данных были приняты такие значения:

1) разрешение приемной телевизионной трубки (ПТТ) или ПЗС матрицы равным 500×500 точек изображения;

2) детерминированный полезный сигнал в виде постоянной яркости равной $I_s = 2$;

3) шумовая составляющая в виде случайного пуассоновского процесса со средним $\bar{n}_n = 40$.

Рассчитаем характеристики обнаружения одного элемента разрешения в одном кадре. Для этого запишем в соответствии с выражением (2) закон распределения шума

$$P_n(n) = P(x_{i,j} | S_0) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(n - m_n)^2}{2\sigma_n^2}\right), \quad (3)$$

где $m_n = \bar{n}_n = \lambda_n \tau$ – математическое ожидание шума; λ_n – интенсивность шума; $\sigma_n = \sqrt{\lambda_n \tau}$ – среднеквадратическое отклонение (СКО) шума.

Закон совместного распределения сигнала и шума запишем в виде

$$P_f(n) = P(x_{i,j} | S_1) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(n - m_f)^2}{2\sigma_f^2}\right), \quad (4)$$

где $m_f = (\lambda_n + I_s) \tau$ – математическое ожидание распределения смеси сигнал+шум; $\sigma_f = \sigma_n = \sqrt{\lambda_n \tau}$ – СКО распределения смеси сигнал+шум; S_0 – условие отсутствия сигнала; S_1 – условие наличия сигнала.

Основными показателями качества обнаружения являются условные вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги.

Расчетные выражения для условных вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги для одного элемента разрешения в одном кадре при нормальном законе распределения шума приведены в [13]:

$$D = P(\gamma_1 | S_1) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} \int_k^\infty -\frac{(n - m_f)^2}{2\sigma_f^2} dn; \quad (5)$$

$$F = P(\gamma_1 | S_0) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \int_k^\infty \exp\left(-\frac{(n - m_n)^2}{2\sigma_n^2}\right) dn, \quad (5')$$

где k – порог, выбранный в соответствии с одним из критериев качества выбора решения.

Решение о наличии сигнала будем принимать при превышении некоторого порога k в каждом элементе разрешения. Порог k выбирают в соответствии с одним из критериев качества выбора решения.

Для серии кадров (N – количество кадров) выражения расчета условной вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги в одном элементе разрешения запишем:

$$D = P(\gamma_1 | S_1) = \frac{1}{\sigma_{fs} \sqrt{2\pi}} \int_{ks}^{\infty} -\frac{(n - m_{fs})^2}{2\sigma_{fs}^2} dn ; \quad (6)$$

$$F = P(\gamma_1 | S_0) = \frac{1}{\sigma_{ns} \sqrt{2\pi}} \int_{ks}^{\infty} -\frac{(n - m_{ns})^2}{2\sigma_{ns}^2} dn , \quad (6')$$

где $m_{fs} = Nm_f$ – математическое ожидание распределения случайной величины после суммирования N кадров при условии наличия полезного сигнала; $\sigma_{fs} = \sqrt{N}\sigma_f$ – СКО распределения случайной величины после суммирования N кадров при условии наличия полезного сигнала; $m_{ns} = Nm_n$ – математическое ожидание распределение случайной величины после суммирования N кадров при условии отсутствия полезного сигнала; $\sigma_{ns} = \sigma_{fs} = \sqrt{N}\sigma_n$ – СКО распределения случайной величины после суммирования N кадров при условии, что полезный сигнал, описывается детерминированной функцией.

В оптико-электронных системах для оценки качества выходного сигнала широко применяется отношение сигнал/шум. Данный параметр характеризует степень искажения полезного сигнала и определяется как отношение среднего значения сигнала к дисперсии суммарного (комбинированного) процесса [2]:

$$\varphi = \bar{U}_c / \sqrt{D_f} . \quad (7)$$

Данное выражение действительно при условии, что входной сигнал есть сумма полезного сигнала и аддитивного шума. Так как $\bar{U}_c = \bar{U}_f - \bar{U}_n$, то выражение (7) примет вид:

$$\varphi = \bar{U}_f - \bar{U}_n / \sqrt{D_f} . \quad (8)$$

Учитывая принятые ранее обозначения, выражение (8) при расчете отношения сигнал/шум в одном кадре примет вид:

$$\varphi = m_f - m_n / \sigma_f . \quad (9)$$

Для суммы кадров:

$$\varphi = m_{fs} - m_{ns} / \sigma_{fs} ; \quad (10)$$

$$\varphi = Nm_f - Nm_n / \sqrt{N}\sigma_f ; \quad (11)$$

$$\varphi = \sqrt{N} m_f - m_n / \sigma_f . \quad (12)$$

Как видно из выражения (12), отношение сигнал/шум увеличится в корень из количества кадров раз. Необходимо отметить, что данное условие выполняется только при независимой случайной величине в каждом кадре, т.е. шум между кадрами не коррелирован, что на практике выполняется редко, обычно шум коррелирован. В нашем случае для оценки эффективности вполне достаточно случая некоррелированного шума

Для определения эффективности метода были проведены теоретические расчеты изменения условной вероятности правильного обнаружения при за-

данной условной вероятности ложной тревоги и отношения сигнал/шум в зависимости от количества суммируемых кадров. Результаты данных расчетов приведены на рис. 1.

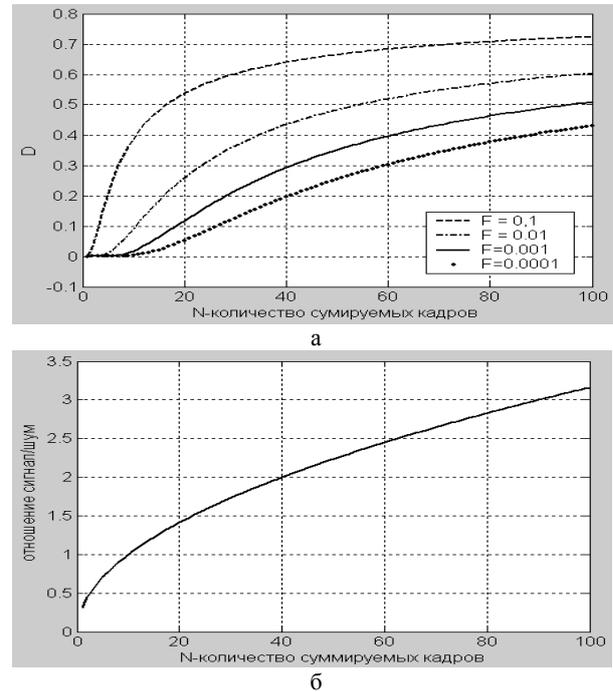


Рис. 1. Результаты расчета эффективности накопления серии кадров: а – изменение условной вероятности правильного обнаружения при заданном значении условной вероятности ложной тревоги; б – изменение отношения сигнал/шум

Также было проведено имитационное моделирование данного метода, которое подтвердило соответствие расчетных данных практическим. Моделирование состоит из генерации 50 матриц случайных величин, распределенных по закону распределения шума (3), размер матриц соответствует разрешению ПТТ и равняется 500×500 . К данным матрицам прибавляется матрица таких же размеров, элементы которой соответствуют наличию полезного сигнала, принимают значение яркости ($I_s = 2$ и $\tau = 1$), остальным присваиваются нулевые значения, т.е. сигнал отсутствует. После чего проводят суммирование кадров.

На рис. 2 приведен результат моделирования накопления серии кадров, на рис. 2, б в дальнем углу отчетливо видна область наличия полезного сигнала. Из рис. 1 и 2, а видно, что в одном кадре невозможно достаточно точно принять решение о наличии сигнала ни автоматически, ни визуально (т.е. оператору). В свою очередь, после суммирования 50 кадров (рис. 2, б) видно, что значение яркости сигнала превышает значение яркости шума и отношение сигнал/шум (рис. 1, б) приемлемы для автоматического принятия решения о наличии сигнала с достаточной точностью.

Для принятия решения оператору необходима дополнительная обработка значений яркости для согласования с динамическим диапазоном устройств отображения видео информации. Учитывая, что зрительный аппарат человека имеет эффективность

несравненно более высокую, чем системы технического зрения, логично разработать и оценить методы повышения визуального восприятия оператором результатов суммирования кадров.

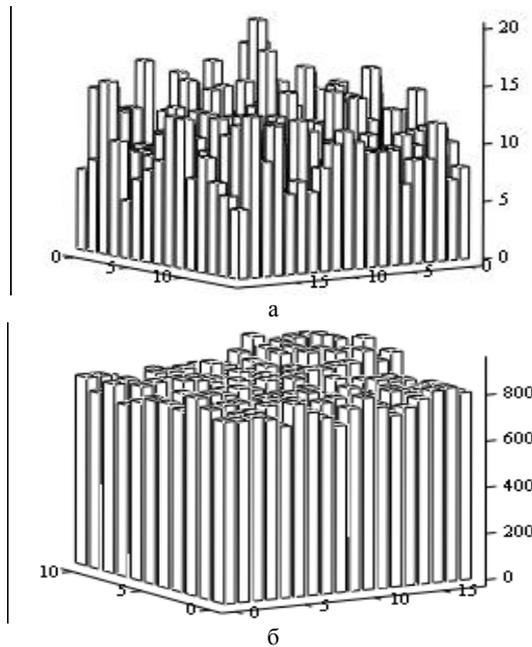


Рис. 2. Результаты моделирования накопления серии кадров: а – приведен результат моделирования значений яркости в 1 кадре; б – приведен результат моделирования значений яркости после накопления 50 кадров

Выводы

Результаты теоретических расчетов и моделирования метода накопления серии СКИ позволяет сделать следующие выводы:

– данный метод значительно повышает отношение сигнал/шум и качество решения задачи обнаружения слабого сигнала на фоне интенсивного аддитивного шума;

– увеличение отношения сигнал/шум достигается ценой увеличения времени обработки и принятия решения о наличии сигнала;

– метод применим только при автоматическом решении задачи обнаружения сигнала, при принятии решения оператором необходима дополнительная обработка результатов накопления и согласования суммы кадров с динамическим диапазоном средств отображения видеоинформации (монитором).

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Гальярди Р.М., Карп Ш. Оптическая связь. – М.: Высшая школа, 1978. – 524 с.
3. Левин Б.Р. Теоретические основы радиотехники. – М.: Сов. радио, 1968. – 504 с.
4. Бондарев В.Н., Трёстер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд. – Х.: Конус, 2001. – 398 с.
5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 496 с.
6. Фурман А.Я. Введение в контурный анализ; приложение к обработке изображений и сигналов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
7. Якушенко Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. – М.: Машиностроение, 1989. – 360 с.
8. Свенсон А.Н. Параллельные методы и средства распознавания образов. Т. 2. – К.: Наук. думка, 1985. – 288 с.
9. Москвитин С.В., Стрелков А.И. Теоретические основы оптической локации. – Х.: ВИРТА, 1992. – 369 с.
10. Писаревский А.Н., Чернявский А.Ф. Системы технического зрения. – Л.: Машиностроение, 1988. – 432 с.
11. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
12. Стрелков А.И., Лисовенко С.А., Панасенко Д.П. Обработка серии короткоэкспозиционных слабоконтрастных телевизионных кадров // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2006. – № 6 (12). – С. 46-49.
13. Ширман Я.Д., Голиков В.Н. Основы теории обнаружения радиолокационных сигналов и измерения их параметров. – М.: Сов. радио, 1963. – 278 с.

Поступила в редколлегию 22.12.2006

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.И. Карпенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.