

УДК 681.7.013.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРИЦЕЛИВАНИЯ

В.С. ЗАХАРЧЕНКО, инж., **В.Г. КОЛОБРОДОВ**, д-р техн. наук
(НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Рассмотрены принципы обработки сигналов на основе вейвлет-преобразования в оптико-электронных системах прицеливания и автоматического обнаружения для бронетанковой техники.

Розглянуто принципи обробки сигналів на основі вейвлет-перетворення в оптико-електронних системах прицілювання та автоматичного виявлення для бронетанкової техніки.

The principles of wavelet-transformation-based signal processing in optical and electronic systems of aiming and automatic detection for armored vehicles are considered.

В настоящее время развитие бронетанковой техники происходит в двух направлениях: разработка принципиально новых образцов военной техники и модернизация устаревших образцов ранее созданной техники. В сложившихся условиях для Украины наиболее приемлем второй вариант, учитывая, что имеющиеся образцы техники обладают достаточно высокими показателями относительно ходовых характеристик, броневой защиты и огневой мощи. Основным недостатком в оснащении современной бронетанковой техники является система наблюдения за полем боя [1]. Использование инфракрасных оптико-электронных систем в комплексе системы управления огнем позволит решить эту задачу, обеспечивая эффективное функционирование систем в ночное время. Подобные системы зачастую являются комплексными и содержат дневной канал на основе телевизионной камеры, ночной канал на основе тепловизионной камеры, лазерный дальномер и лазерный целеуказатель.

Однако при использовании оптико-электронных систем возникает проблема обработки принятого изображения. Зачастую оно искажается в результате aberrаций оптической системы, смазывается вследствие вибрационных процессов, а так как инфракрасные

приемники обладают большими шумовыми характеристиками в сравнении с приемниками, работающими в видимой области спектра, значительно зашумляется [2]. На данный момент существует множество методик обработки изображения, среди которых особый интерес представляет вейвлет-преобразование и методики, тесно связанные с ним [3].

Использование вейвлет-преобразования требует глубокого понимания не только математических преобразований, но и физических процессов формирования изображения в оптико-электронных системах. В данной статье рассмотрены основные принципы формирования изображения и причины, ухудшающие его качество, с дальнейшей разработкой методов улучшения качества изображения.

Это потребовало разработать методики улучшения качества изображения, которые обладали бы высоким быстродействием, не зависели бы от изменений фоноцелевой обстановки. Анализ тенденций развития исследований в области обработки изображений показал, что для таких задач подходит вейвлет-преобразование.

Использование вейвлет-преобразования. В отличие от других математических преобразований вейвлет-преобразование позволяет проводить кратномасштабный анализ, а в отличие от преобразования Фурье вейвлет-

© В.С. ЗАХАРЧЕНКО, В.Г. КОЛОБРОДОВ, 2009

анализ сигнала происходит одновременно в пространстве как частот, так и координат [4]. При вейвлет-преобразовании сигнал раскладывается по различным масштабам, что соответствует анализу сигнала на разных частотах при смещении материнского вейвлета [5].

На практике выгоднее использовать дискретное вейвлет-преобразование. Основа концепции кратномасштабного анализа состоит в выделении общих форм — аппроксимаций и деталей путем скалярного умножения сигнала, полученного при разложении с вейвлетом [6].

В этом случае результат анализа зависит только от формы сигнала, а не от его размера или местоположения. Результат разложения сигнала выражается в уровнях аппроксимаций и деталей сигнала. Их аналогами можно назвать фильтр низких и высоких частот.

Известно [7], что результат проведения вейвлет-анализа существенно зависит от базиса вейвлет-преобразования. Конкретная задача требует синтеза или подбора специфического базиса. Решение данной проблемы возможно в двух направлениях: синтез вейвлет-базисов, соответствующих объектам наблюдения, или же использование вейвлет-базисов, соответствующих искажениям, которые вносятся в изображение действием оптической системы (ОС). Вследствие того, что алгоритмы улучшения изображения в системах наблюдения окружающего пространства должны работать с максимальной скоростью в автоматическом режиме, предпочтительнее использовать второй подход.

Синтезируемые вейвлет-базисы должны соответствовать следующим требованиям: локализации, нулевого среднего значения, ограниченности и автономности базиса [5, 7].

Принципы построения изображения. На качество формируемого изображения влияет множество факторов, которые условно можно разделить на детерминированные и случайные. Если искажения, вызванные первой группой, можно легко устранить, либо учесть, то потерю полезной информации, вызванную искажениями со случайным характером, восстановить крайне сложно, так как потерянную

информацию можно восстановить лишь с определенной долей вероятности. Таким образом, первоочередной задачей является повышение вероятности правильного восстановления исходного изображения.

Если процесс формирования изображения рассматривать с точки зрения теории линейных систем, то спектр изображения, формируемого на выходе оптико-электронного прибора $L_i(v_x, v_y)$, можно описать в частотной области следующим образом:

$$L_i(v_x, v_y) = M_S(v_x, v_y)L_t(v_x, v_y), \quad (1)$$

где $M_S(v_x, v_y)$ — модуляционная передаточная характеристика системы; $L_t(v_x, v_y)$ — спектр объекта на входе системы.

В свою очередь основные компоненты передаточной функции системы в выражении (1) определяются оптической передаточной функцией (ОПФ) объектива $M_O(v_x, v_y)$ и передаточной функцией приемника излучения $M_D(v_x, v_y)$:

$$M_S(v_x, v_y) = M_O(v_x, v_y)M_D(v_x, v_y). \quad (2)$$

Из выражения (1) видно, что на форму изображения на выходе системы влияет исходная форма объекта и передаточная функция системы, а из выражения (2) видно, что передаточную функцию системы определяют передаточная функция объектива и приемника излучения. Согласно определению из работы [8], ОПФ является преобразованием Фурье от функции рассеяния точки ОС (рис. 1, а). Для упрощения вычислений положим, что ОС осесимметрична, тогда ее функция рассеяния точки (ФРТ) описывается следующим образом:

$$\text{ФРТ}(r') = \left[2J_1 \left(\frac{\pi \frac{D_p}{\lambda f_o} r'}{\pi \frac{D_p}{\lambda f_o} r'} \right) \right], \quad (3)$$

где D_p — диаметр входного зрачка; f_o — фокусное расстояние объектива.

Синтез согласованных базисов для вейвлет-преобразования. Форма сигнала в изображении подобна форме функции рассеяния

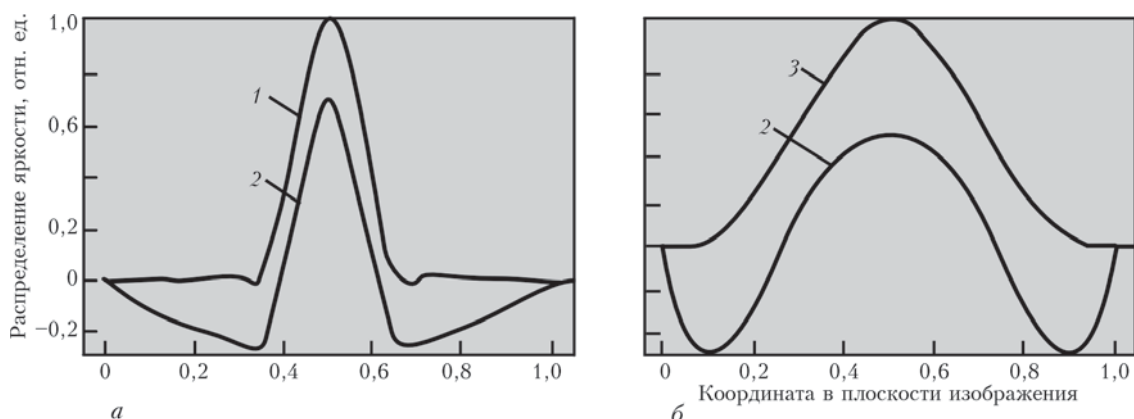


Рис. 1. Согласованный вейвлет с ФРТ (а) и ИОС (б): 1 – ФРТ; 2 – адаптированный вейвлет; 3 – ИОС

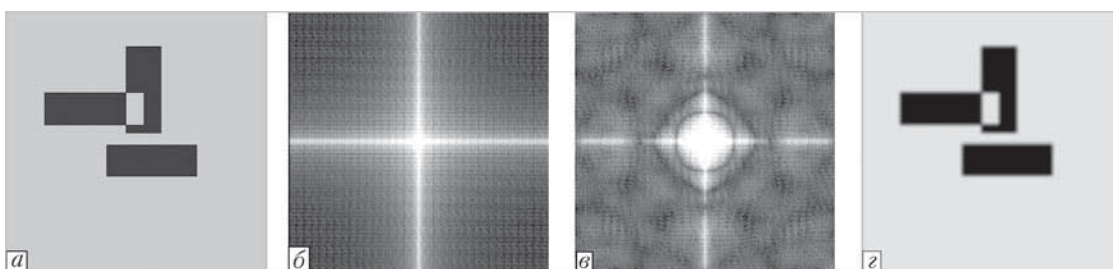


Рис. 2. Сигнал исходный (а, б) и искаженный ОС (в, г): а, г – изображение; б, в – спектр

точки. Это утверждение позволяет синтезировать базис, отвечающий условиям нулевого среднего значения и ограниченности, согласованный с ФРТ ОС (рис. 1, а). Имеет смысл также синтезировать базис, соответствующий импульсному отклику системы (ИОС) (рис. 1, б). Синтез проводили при использовании приложения Wavelet toolbox пакета MATLAB.

Для проверки работоспособности системы использовали синтезированное изображение, которое содержит несколько геометрических фигур (рис. 2, а). Результат прохождения сигнала через ОС получаем, умножив спектр изображения (рис. 2, в) на ОПФ. Применив к полученному спектру обратное преобразование Фурье, получим сигнал, пришедший на приемник излучения (рис. 2, г).

Шумы, присутствующие в ОС, считаем распределенными по нормальному закону, а соотношение сигнал/шум примем равным 3, тогда сигнал, прошедший через ОС и пораженный шумами, имеет вид, приведенный на рис. 3. Результаты применения фильтрации приведены на рис. 4, а, б.

Как видим, соотношение сигнал/шум увеличивается при использовании согласо-

го базиса вейвлет-преобразования. Для сравнения действия алгоритма подвергнем обработке тот же сигнал, используя в качестве фильтрации классические методы, применявшиеся ранее (рис. 5, 6).

Повышение информативности изображения. Сигнал при прохождении через ОС подвергается искажениям, обусловленным аберрационными характеристиками системы. Следует отметить, что, зная каким образом система искажает изображение, можно восстановить исходное изображение из принятой реализации. Ранее для устранения искажений широко использовали спектральный анализ. В данной работе предпринята попытка ис-

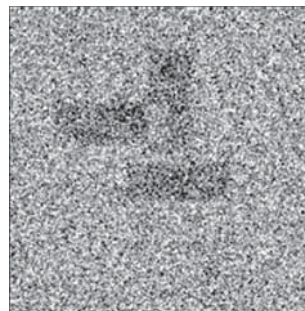


Рис. 3. Сигнал, искаженный ОС и шумами

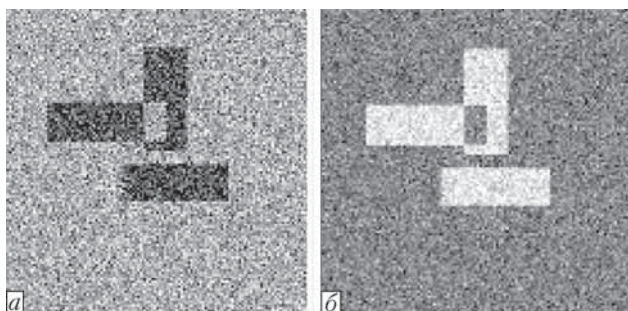


Рис. 4. Восстановление сигнала по согласованным вейвлетам: *а* – ФРТ; *б* – ИОС

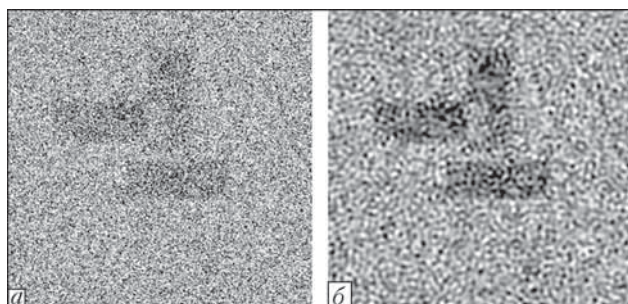


Рис. 5. Высокочастотная фильтрация с полосой пропускания 50 (*а*), 100 (*б*)

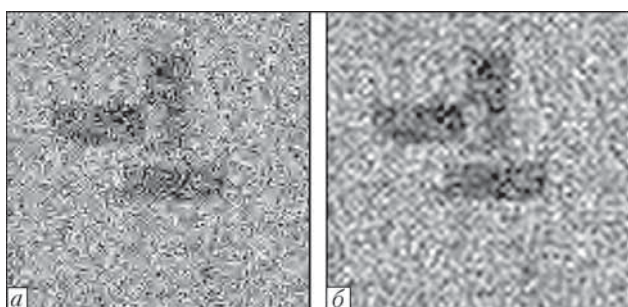


Рис. 6. Вейвлет-фильтрация по базису Добеши (*а*) и Морле (*б*)

пользования для этой цели вейвлет-преобразования.

Если вновь обратиться к уравнению (1), то видим, что спектральный анализ можно заменить использованием различных базисов для разложения в вейвлет-ряд и восстановления исходного сигнала. Такой подход позволяет существенно ускорить процесс анализа, а также построить алгоритм, который будет зависеть от характеристик ОС.

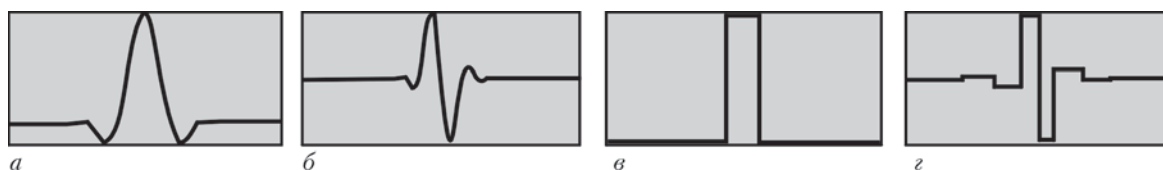


Рис. 8. Базис, согласованный с ИОС (*а, б*) и с исходной формой сигнала (*в, г*): *а, в* – скейлинг-функция; *б, г* – вейвлет

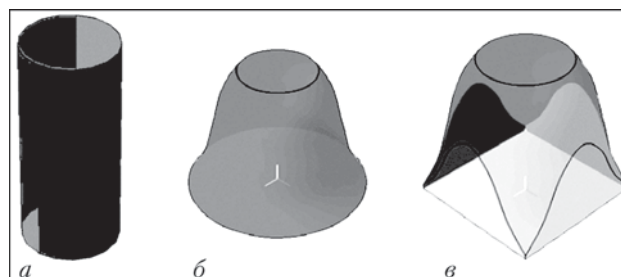


Рис. 7. Эволюция оптического сигнала в ОС: *а* – объект в пространстве предметов; *б* – объект после прохождения через ОС; *в* – проекция объекта на элементарный приемник

На рис. 7 показано эволюцию оптического сигнала при прохождении через ОС. Объект в пространстве предметов считаем осесимметричным, с равномерным распределением яркости по его площади (рис. 7, *а*). Проходя через ОС, сигнал изменится согласно действию (3) и примет форму, приведенную на рис. 7, *б*. При попадании на элементарный приемник фотоприемного устройства сигнал преобразится, как показано на рис. 7, *в*.

Предложенная методика заключается в разложении сигнала в вейвлет-ряд по согласованному с ИОС базису (рис. 8, *а, б*) и дальнейшему его восстановлению по базису, согласованному с формой входного сигнала (рис. 8, *в, г*).

Результат анализа сигнала по описанной методике представлен на рис. 9, *а-в*. Из результатов обработки тестового изображения видно, что применение такого подхода эффективно и дает возможность восстановить исходную форму объекта.

Устранение линейного смазывания. Еще одним фактором, значительно понижающим качество изображения, можно назвать искажения, которые вызваны смазыванием. Как правило, они делятся на два больших класса: линейные и гармонические. Первый класс искажений возникает при воздействии на систему низкочастотных вибрационных воздей-

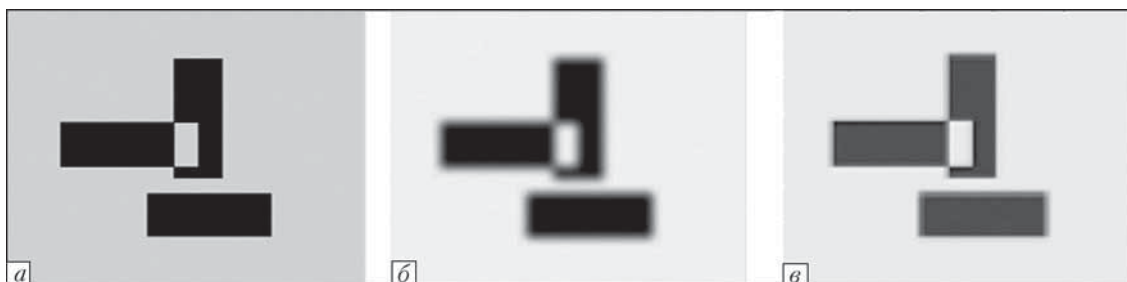


Рис. 9. Повышение четкости изображения: *a* — исходное; *б* — искаженное действием ОС; *в* — восстановленное

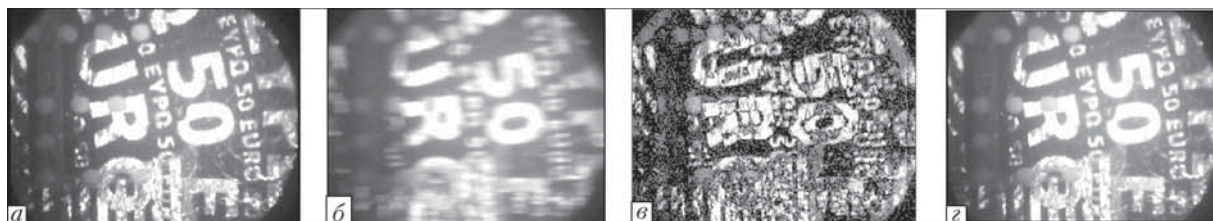


Рис. 10. Восстановление изображения, искаженного смазыванием: *a* — исходное; *б* — смазанное; *в* — вейвлет-спектр; *г* — восстановленное

ствий, либо вследствие непосредственного движения системы, а второй класс — при высокочастотных вибрациях, например от работающего двигателя внутреннего сгорания. Для бронетанковой техники характерны искажения, принадлежащие к первому классу, поэтому рассмотрим методику устранения смазывания, вызванную линейными искажениями.

Существующие методики [9, 10], используемые для определения искажений, которые вызваны линейными вибрациями, основаны на алгоритмах выделения границ в изображении и последующем анализе изменений в освещенности вокруг этой границы. Недостаток подобных методик заключается в значительной ресурсоемкости и неоднозначности результатов.

Суть вейвлет-преобразования заключается в нахождении корреляции сигнала с определенным перемещающимся базисом в различных масштабах [11]. Если в качестве базиса преобразования использовать согласованную с ИОС функцию, то при анализе деталей вейвлет-разложения можно восстановить направление и значение вектора смазывания по единому изображению (рис. 10). При построении матрицы коэффициентов деталей регистрируется место пересечения исходного сигнала с передним фронтом анализирующего вейвлета, а при окончании действия смазы-

вания — с задним. Если изменение коэффициентов в этом промежутке незначительное, то можно утверждать, что найдена проекция вектора смазывания на горизонтальную либо вертикальную ось. Исходя из этого посредством математических вычислений можно восстановить вектор смазывания. Следует также отметить, что анализ должен проводиться в масштабе, точно соответствующем размеру ФРТ ОС. Далее, зная вектор смазывания и ФРТ ОС, можно восстановить ФРТ, вызванную вибрацией, знание формы которой требуется при восстановлении сигнала, для чего используем метод слепой деконволюции [12]. Результат действия алгоритма восстановления линейных искажений, основанного на вейвлет-анализе по согласованному с ИОС базису преобразования, представлен на рис. 10.

Выводы

1. С учетом теории оптико-электронных систем разработана модель построения согласованных базисов для вейвлет-преобразования, на основании которой предложена методика фильтрации для повышения качества наблюдаемого изображения.

2. Предложен новый подход к повышению качества изображения путем устранения воздействия оптической системы посредством использования разных базисов при разложении

в вейвлет-ряд и восстановлении; разработана методика восстановления функции рассеяния точки, вызванной вибрацией, с применением вейвлет-преобразования по согласованному базису.

3. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку методов устранения нелинейных искажений и повышения качества изображения при использовании новых подходов при фильтрации в области вейвлет-спектра.

1. Тарасов М.М., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. — М.: Логос, 2004. — 444 с.
2. Колобродов В.Г., Шустер Н. Тепловізійні системи (фізичні основи, методи проектування і контролю, застосування): Підруч. для вушів. — К.: Тираж, 1999. — 340 с.
3. Сато Ю. Обработка сигналов. Первое знакомство. /Пер. с яп.; под ред. Ёсифуми Амимия. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2002. — 176 с.
4. Chan R.H., Chan T.F., Wong C.-K. Cosine transform based preconditioners for total variation deblurring // IEEE Transactions on image processing. — 1999. — N 10. — P. 1472–1478.
5. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: Учеб. пособие. — Новосибирск: Новосибир. гос. техн. ун-т, 2003. — 104 с.
6. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. — СПб.: Питер, 2002. — 608 с.
7. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений: Спец. справочник. — СПб.: Питер, 2002. — 608 с.
8. Колобродов В.Г., Лихолит М.І. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження. — К.: НТУУ «КПІ», 2007. — 364 с.
9. Сойфер В.А. Компьютерная обработка изображений. Ч. 2. Методы и алгоритмы // Соровский образовательный журн. — 1996. — № 3. — С. 110–121.
10. Сойфер В.А. Методы компьютерной обработки изображений. — 2-е изд. — М.: Физматлит, 2003. — 634 с.
11. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. — Москва; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 412 с.
12. Бейтс Р., Мак-Доннел М. Восстановление и реконструкция изображений: Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 336 с.

GROUND COMBAT VEHICLES 2009

4th Annual Ground Combat Vehicles 2009
September 21-23, 2009 Intercontinental, PRAGUE, Czech
Republic



4-я ежегодная конференция по сухопутным боевым машинам

21-23 сентября 2009 г., отель Интерконтиненталь, Прага, Чешская Республика

Questions? Contact us on 0800 652 2363 or +44 (0) 20 7368 9300 or email enquire@iqpc.co.uk now!