

АНАЛИЗ РАБОТЫ БИОЛОГИЧЕСКИ ПОДОБНЫХ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

И.В. Жигулина, В.А. Яковлев

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический
университет», г. Тамбов*

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.В. Иванов

Ключевые слова и фразы: движение объектов; двойные разности частотных характеристик; определение параметров движения; фазоэнергетический спектр; энергетический спектр.

Аннотация: Рассмотрена и проанализирована математическая модель двойных разностей частотных характеристик. Выделены информативные кривые, определяющие местоположение движущегося объекта. На реальных изображениях протестирована работа биологически подобных алгоритмов в сравнении с алгоритмом межкадровой разности.

Разработка методов и проектирование систем машинного зрения являются актуальными на современном этапе развития науки и техники. Создание алгоритмов анализа и обработки изображений – задача весьма сложная. Это объясняется тем, что изображения как информацию трудно классифицировать, а работу зрительного анализатора – формализовать. Кроме того, анализ изображений является затруднительным из-за наличия всевозможных шумов, затенений, пятен яркостей и других эффектов, дестабилизирующих работу тех алгоритмов, которые обрабатывают качественные изображения с приемлемыми характеристиками.

В работах [1, 2] предложены алгоритмы (биологически подобные), определяющие местоположение движущегося объекта даже при значительной зашумленности изображения гауссовским шумом. Этот шум характерен для датчиков видеосигналов изображения, особенно при низких уровнях освещенности. На тестовых примерах было показано, что данные алгоритмы являются предпочтительными по сравнению с алгоритмом обнаружения движения объекта просто по межкадровой разности.

Жигулина Ирина Викторовна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Прикладная математика и механика», e-mail: p-digim@mail.ru; Яковлев Владимир Андреевич – студент, e-mail: javascientific@gmail.com, ТамбГТУ, г. Тамбов.

Цель статьи – проанализировать работу биологически подобных алгоритмов и обосновать возможность их применения на реальных изображениях.

В работах [1, 2] были рассмотрены двойные разности частотных характеристик (фазоэнергетических спектров (ФЭС) или энергетических спектров (ЭС)). Они определялись как разность межкадровых разностей [3, 4], полученных при различном препарировании двух кадров изображения. Препарирование изображения заключалось в последовательном обнулении пикселей через один, начиная либо с крайнего пикселя (нечетное обнуление), либо с соседнего с ним пикселя (четное обнуление).

В качестве тестовых были рассмотрены строки изображений типа «объект-фон» с разной четностью длины объекта и его расстояния от края строки [2]. Результаты обработки тестовых изображений показали, что двойные разности, получаемые при различной длине обнуления кадров, существенно зависят от совпадения четностей длины объекта и расстояния его крайнего пикселя до ближайшего края строки изображения.

Окончательно было выделено 8 типов обнуления, обозначенных аббревиатурой из трех латинских букв, например *NPN* (*N* обозначает нечетность, а *P* – четность). Буквы в аббревиатуре означают типы: первая – обнуления, вторая – расстояния от края, а третья – длины объекта.

На рисунке 1 приведены всевозможные графики двойных разностей частотных характеристик ФЭС, которые получены при обработке тестовых изображений.

В таблице 1 представлена математическая модель двойной разности ФЭС $\Delta^2 I_k^m(n)$, где m – номер строки изображения; k – количество обнуленных пикселей; n – номер гармоники ФЭС. В таблице использованы следующие обозначения: l и p – координаты левого и правого краев объекта соответственно; $[-N; N]$ – строка изображения; a и b – уровни сигналов фона и объекта соответственно.

При *NNN*-обнулении графики двойных разностей ФЭС имеют вид (см. рис. 1, а): одного импульса (линии 3, 4), двух импульсов (линия 1) и линии с ярко выраженным трендом, переходящим в пульсацию при минимальных фазах (линия 2). При этом максимальная фаза характеристики равна $N-l$, что соответствует левому краю объекта [3].

При *NPN*-обнулении графики двойных разностей ФЭС имеют вид (см. рис. 1, б): одного импульса (линия 3), двух импульсов (линия 1) и двух линий с ярко выраженным трендом (линии 2, 4). В этом случае такие характеристики имеют максимальные фазы соответственно $N-l$ и $N-p-1$, то есть полностью определяют размеры движущегося объекта.

При *PNN*-обнулении графики двойных разностей ФЭС имеют вид (см. рис. 1, в): одного импульса (линия 4), двух импульсов (линии 1, 2) и линии, которая имеет ярко выраженный тренд с максимальной фазой $N-p-1$, указывающей на правый край движущегося объекта (линия 3).

При *PNP*-обнулении графики двойных разностей ФЭС имеют вид только двух импульсов (см. рис. 1, г, линии 1, 2, 3). Информативные линии не возникают, определить местоположение объекта сложно.

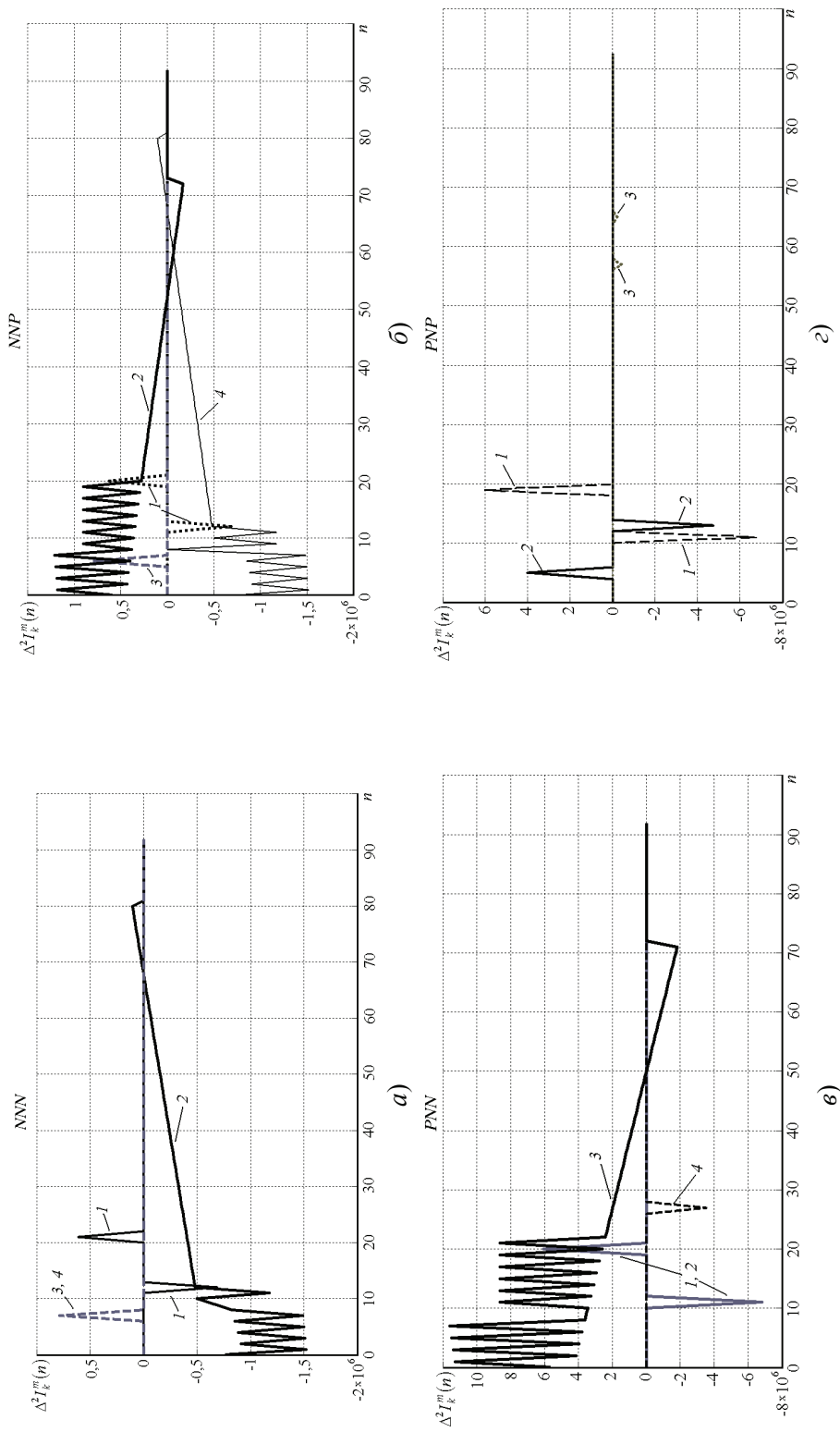


Рис. 1. Двойные разности фазоэнергетических характеристик при различных типах обновления кадров

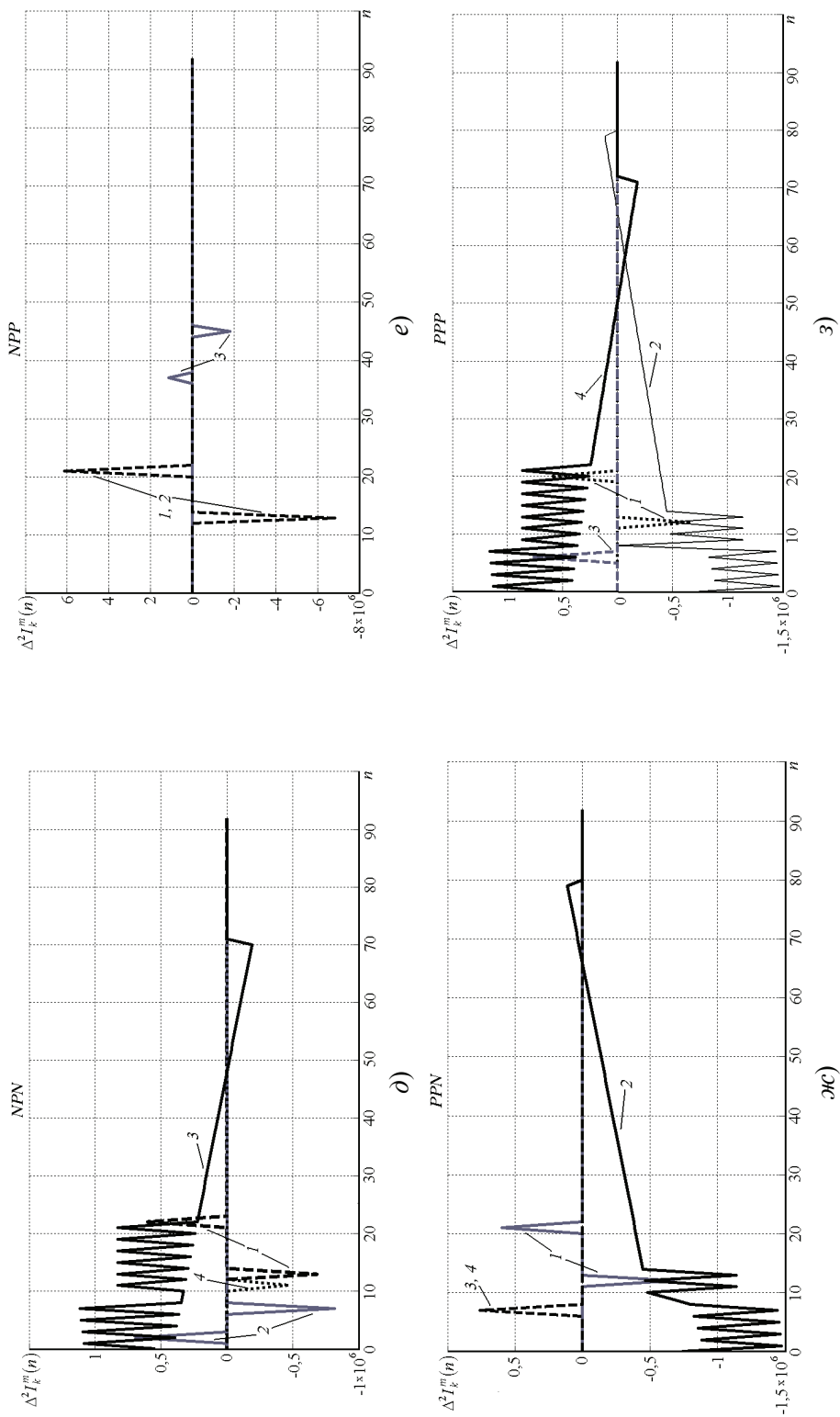


Рис. 1. Окончание

Таблица 1
Математическая модель двойной разности фазоэнергетической характеристики для одного движущегося объекта

№ линии	Значение $\Delta^2 J_k^m(n)$	Номер гармоник	Количество обнуленных пикселей k
1	2	3	4
N/N-обнуление			
1	$(l - N + 2k - 2)(ab - a^2)$	$n = l + N - 2k + 2$	$1 \leq k \leq \frac{N+l}{2}$
	$(p+1 - N + 2k - 2)(a^2 - ab)$	$n = p + 1 + N - 2k + 2$	
	0	иначе	
2	$(2l + n)(b^2 - ab) + (2l - n)(ab - a^2)$	n – нечетное, $1 \leq n \leq p - l - 1$	$k = \frac{N+l}{2} + 1$
	$(2l + n)(b^2 - ab)$	n – четное, $2 \leq n \leq p - l$	
	$(3l - p - 1)(ab - a^2)$	$n = p - l + 1$	
	$4l(ab - a^2)$	n – нечетное, $p - l + 3 \leq n \leq N + l - 1$	
	$(2l + n)(ab - a^2)$	$\begin{cases} n \text{ – четное, } p - l + 2 \leq n \leq N + l - 2 \\ n \text{ – любое, } N + l \leq n \leq N - l \end{cases}$	
	0	$n > N - l$	
3	$(p+1 - N + 2k - 2)(ab - b^2)$	$n = p + 1 + N - 2k + 2$	$\frac{N+l}{2} + 2 \leq k \leq \frac{p+N}{2} + 1$
	0	иначе	
4	$(p+1 - N + 2k - 2)(a^2 - ab)$	$n = -N + 2k - 2 - p - 1$	$\frac{p+N}{2} + 2 \leq k \leq N + 1$
	0	иначе	

1	2	3	4
NNP-обнуление			
1	$(l-N+2k-2)(ab-a^2)$	$n = l + N - 2k + 2$	$1 \leq k \leq \frac{N+l}{2}$
	$(p+1-N+2k-2)(a^2-ab)$	$n = p + 1 + N - 2k + 2$	
	0	иначе	
	$(2l+n)(b^2-ab) + (2l-n)(ab-a^2)$	n – нечетное, $1 \leq n \leq p-l$	
	$(2l+n)(b^2-ab)$	n – четное, $2 \leq n \leq p-l-1$	
2	0	$n = p-l+1$	$k = \frac{N+l}{2} + 1$
	$4l(ab-a^2)$	n – нечетное, $p-l+2 \leq n \leq N+l-1$	
	$(2l+n)(ab-a^2)$	$\begin{cases} n \text{ – четное, } p-l+3 \leq n \leq N+l-2 \\ n \text{ – любое, } N+l \leq n \leq N-l \end{cases}$	
	0	$n > N-l$	
	$(p+1-N+2k-2)(ab-b^2)$	$n = p + 1 + N - 2k + 2$	
3	0	иначе	$\frac{N+l}{2} + 2 \leq k \leq \frac{p+N+1}{2}$
	$(2p+2+n)(a^2-ab) + (2p+2-n)(ab-b^2)$	n – нечетное, $1 \leq n \leq p-l$	
	$(4p+4)(a^2-ab)$	n – нечетное, $p-l+2 \leq n \leq p+N$	
	$(2p+2+n)(a^2-ab)$	$\begin{cases} n \text{ – четное, } 2 \leq n \leq p+N+1 \\ n \text{ – любое, } p+N+2 \leq n \leq N-p-1 \end{cases}$	
	0	$n > N-p-1$	
4	0	$n > N-p-1$	$k = \frac{p+N+1}{2} + 1$
	$(2p+2+n)(a^2-ab)$	n – нечетное, $2 \leq n \leq p+N+1$	
	$(4p+4)(a^2-ab)$	n – нечетное, $p-l+2 \leq n \leq p+N$	
	$(2p+2+n)(a^2-ab)$	$\begin{cases} n \text{ – четное, } 2 \leq n \leq p+N+1 \\ n \text{ – любое, } p+N+2 \leq n \leq N-p-1 \end{cases}$	
	0	$n > N-p-1$	

<i>PNN</i>-обнуление			
1	$(l-N+2k-1)(ab-a^2)$	$n = l + N - 2k + 1$	$1 \leq k \leq \frac{N+l}{2}$
	$(p+1-N+2k-1)(a^2-ab)$	$n = p+1 + N - 2k + 1$	
	0	иначе	
2	$(l-N+2k-1)(b^2-ab)$	$n = -N + 2k - 1 - l$	$\frac{N+l}{2} + 1 \leq k \leq \frac{p+N}{2}$
	$(p+1-N+2k-1)(ab-b^2)$	$n = p+1 + N - 2k + 1$	
	0	иначе	
3	$(2p+2+n)(a^2-ab) + (2p+2-n)(ab-b^2)$	n – нечетное, $1 \leq n \leq p-l-1$	$k = \frac{p+N}{2} + 1$
	$(4p+4)(a^2-ab)$	n – нечетное, $p-l+3 \leq n \leq p+N+1$	
	$(2p+2+n)(a^2-ab)$	$\begin{cases} n \text{ – четное, } 2 \leq n \leq p-l \\ n = p-l+1 \\ n \text{ – любое, } p+N+2 \leq n \leq N-p-1 \end{cases}$	
	0	$n > N-p-1$	
4	$(l-N+2k-1)(ab-a^2)$	$n = -N + 2k - 1 - l$	$\frac{p+N}{2} + 2 \leq k \leq N$
	0	0	

1	2	3	4
<i>PNP</i>-обнуление			
1	$(l - N + 2k - 1)(ab - a^2)$	$n = l + N - 2k + 1$	$1 \leq k \leq \frac{N+l}{2}$
	$(p+1 - N + 2k - 1)(a^2 - ab)$	$n = p + 1 + N - 2k + 1$	
	0	иначе	
2	$(l - N + 2k - 1)(b^2 - ab)$	$n = -N + 2k - 1 - l$	$\frac{N+l}{2} + 1 \leq k \leq \frac{p+N+1}{2}$
	$(p+1 - N + 2k - 1)(ab - b^2)$	$n = p + 1 + N - 2k + 1$	
	0	иначе	
3	$(l - N + 2k - 1)(ab - a^2)$	$n = -N + 2k - 1 - l$	$\frac{p+N+1}{2} + 1 \leq k \leq N$
	$(p+1 - N + 2k - 1)(a^2 - ab)$	$n = -N + 2k - 1 - p - 1$	
	0	иначе	

NPN-обнуление			
1	$(l-N+2k-2)(ab-a^2)$	$n = l + N - 2k + 2$	$1 \leq k \leq \frac{N+l+1}{2}$
	$(p+1-N+2k-2)(a^2-ab)$	$n = p + 1 + N - 2k + 2$	
	0	иначе	
2	$(l-N+2k-2)(b^2-ab)$	$n = -N + 2k - 2 - l$	$\frac{N+l+1}{2} + 1 \leq k \leq \frac{p+N+1}{2}$
	$(p+1-N+2k-2)(ab-b^2)$	$n = p + 1 + N - 2k + 2$	
	0	иначе	
3	$(2p+2+n)(a^2-ab) + (2p+2-n)(ab-b^2)$	n – нечетное, $1 \leq n \leq p-l-1$	$k = \frac{p+N+1}{2} + 1$
	$(4p+4)(a^2-ab)$	n – нечетное, $p-l+3 \leq n \leq p+N$	
	$(2p+2+n)(a^2-ab)$	$\begin{cases} n \text{ – четное, } 2 \leq n \leq p+N-1 \\ n = p-l+1 \\ n \text{ – любое, } p+N+1 \leq n \leq N-p-1 \end{cases}$	
	0	$n > N - p - 1$	
	$(l-N+2k-2)(ab-a^2)$	$n = -N + 2k - 2 - l$	
4	0	иначе	$\frac{p+N+1}{2} + 2 \leq k \leq N+1$

1	2	3	4
НРР-обнуление			
1	$(l-N+2k-2)(ab-a^2)$	$n = l + N - 2k + 2$	$1 \leq k \leq \frac{N+l+1}{2}$
	$(p+1-N+2k-2)(a^2-ab)$	$n = p+1+N-2k+2$	
	0	иначе	
2	$(l-N+2k-2)(b^2-ab)$	$n = -N + 2k - 2 - l$	$\frac{N+l+1}{2} + 1 \leq k \leq \frac{p+N}{2} + 1$
	$(p+1-N+2k-2)(ab-b^2)$	$n = p+1+N-2k+2$	
	0	иначе	
3	$(l-N+2k-2)(ab-a^2)$	$n = -N + 2k - 2 - l$	$\frac{p+N}{2} + 2 \leq k \leq N+1$
	$(p+1-N+2k-2)(a^2-ab)$	$n = -N + 2k - 2 - p - 1$	
	0	иначе	

PPN-обнуление			
1	$(l-N+2k-1)(ab-a^2)$	$n = l + N - 2k + 1$	$1 \leq k \leq \frac{N+l-1}{2}$
	$(p+1-N+2k-1)(a^2-ab)$	$n = p+1+N-2k+1$	
	0	иначе	
2	$(2l+n)(b^2-ab) + (2l-n)(ab-a^2)$	n – нечетное, $1 \leq n \leq p-l-1$	$k = \frac{N+l+1}{2}$
	$(2l+n)(b^2-ab)$	n – четное, $2 \leq n \leq p-l$	
	$(3l-p-1)(ab-a^2)$	$n = p-l+1$	
	$4l(ab-a^2)$	n – нечетное, $p-l+3 \leq n \leq N+l$	
	$(2l+n)(ab-a^2)$	$\begin{cases} n \text{ – четное, } p-l+2 \leq n \leq N+l-1 \\ n \text{ – любое, } N+l+1 \leq n \leq N-l \end{cases}$	
	0	$n > N-l$	
3	$(p+1-N+2k-1)(ab-b^2)$	$n = p+1+N-2k+1$	$\frac{N+l+1}{2} + 1 \leq k \leq \frac{p+N-1}{2}$
	0	иначе	
	$(p+1-N+2k-1)(a^2-ab)$	$n = -N+2k-1-p-1$	
4	0	иначе	$\frac{p+N+1}{2} \leq k \leq N$

1	2	3	4
PPP-обнуление			
1	$(l - N + 2k - 1)(ab - a^2)$	$n = l + N - 2k + 1$	$1 \leq k \leq \frac{N+l-1}{2}$
	$(p+1 - N + 2k - 1)(a^2 - ab)$	$n = p + 1 + N - 2k + 1$	
	0	иначе	
	$(2l + n)(b^2 - ab) + (2l - n)(ab - a^2)$	n – нечетное, $1 \leq n \leq p - l$	
	$(2l + n)(b^2 - ab)$	n – четное, $2 \leq n \leq p - l - 1$	
2	0	$n = p - l + 1$	$k = \frac{N+l+1}{2}$
	$4l(ab - a^2)$	n – нечетное, $p - l + 2 \leq n \leq N + l$	
	$(2l + n)(ab - a^2)$	$\begin{cases} n \text{ – четное, } p - l + 3 \leq n \leq N + l - 1 \\ n \text{ – любое, } N + l + 1 \leq n \leq N - l \end{cases}$	
	0	$n > N - l$	
	$(p + 1 - N + 2k - 1)(ab - b^2)$	$n = p + 1 + N - 2k + 1$	
3	0	иначе	$\frac{N+l+1}{2} + 1 \leq k \leq \frac{p+N}{2}$
	$(2p + 2 + n)(a^2 - ab) + (2p + 2 - n)(ab - b^2)$	n – нечетное, $1 \leq n \leq p - l$	
	$(4p + 4)(a^2 - ab)$	n – нечетное, $p - l + 2 \leq n \leq p + N + 1$	
	$(2p + 2 + n)(a^2 - ab)$	$\begin{cases} n \text{ – четное, } 2 \leq n \leq p + N \\ n \text{ – любое, } p + N + 1 \leq n \leq N - p - 1 \end{cases}$	
	0	$n > N - p - 1$	
4	$k = \frac{p+N}{2} + 1$		
	$n > N - p - 1$		
	$n > N - p - 1$		
	$n > N - p - 1$		
	$n > N - p - 1$		

При NPN -обнулении графики двойных разностей частотных характеристик имеют вид (см. рис. 1, δ): одного импульса (линия 4), двух импульсов (линии 1, 2) и линии с ярко выраженным трендом (линия 3). Максимальная фаза $N - p - 1$ указывает на правый край движущегося объекта.

При NPP -обнулении графики двойных разностей частотных характеристик имеют только вид двух импульсов (см. рис. 1, e – линии 1–3). Линии, несущие информацию о движущемся объекте, не возникают, что затрудняет определение местоположения объекта.

При PPN -обнулении графики двойных разностей частотных характеристик имеют вид (см. рис. 1, $ж$): одного импульса (линии 3, 4), двух импульсов (линия 1) и линии 2, имеющей ярко выраженный тренд, который переходит в пульсацию при минимальных фазах. В этом случае значение максимальной фазы характеристики равняется $N - l$, что соответствует левому краю объекта.

При PPP -обнулении графики двойных разностей частотных характеристик имеют вид (см. рис. 1, $з$): одного импульса (линия 3), двух импульсов (линия 1) и линий 2 и 4, имеющих ярко выраженный тренд. Такие характеристики имеют максимальные фазы соответственно $N - l$ и $N - p - 1$, то есть полностью определяют размеры движущегося объекта.

Таким образом, осуществляя последовательно операции нечетного и четного обнуления с разным числом пикселей, получаем два семейства характеристик. Среди них всегда найдутся две информативные кривые, полностью определяющие местоположение объекта. Это дает возможность использовать данный алгоритм для идентификации движущихся объектов на реальных изображениях.

На рис. 2 приведены изображения реальных сцен с движущимися объектами, которые выделены рамками. В обоих случаях между кадрами объекты сдвигаются на два пикселя вправо по горизонтали и имеют области движения $[42; 48]$ и $[-69; -61]$ соответственно.

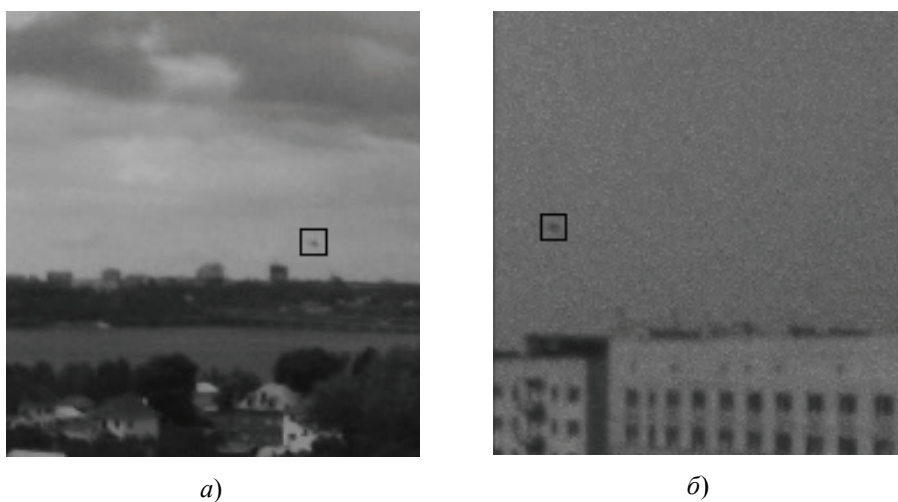
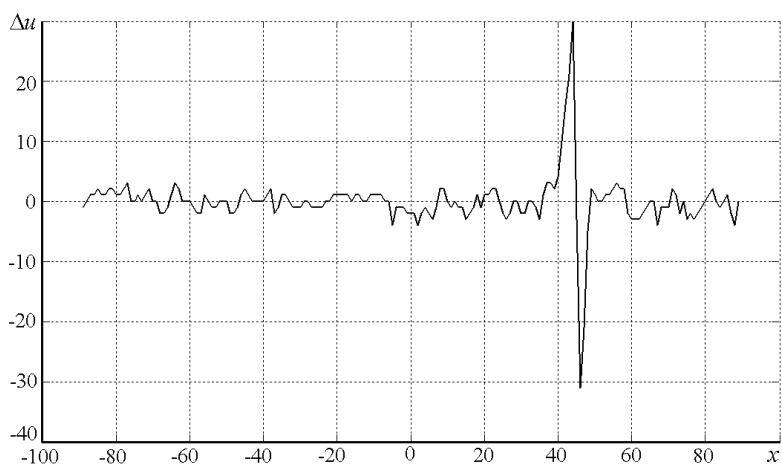


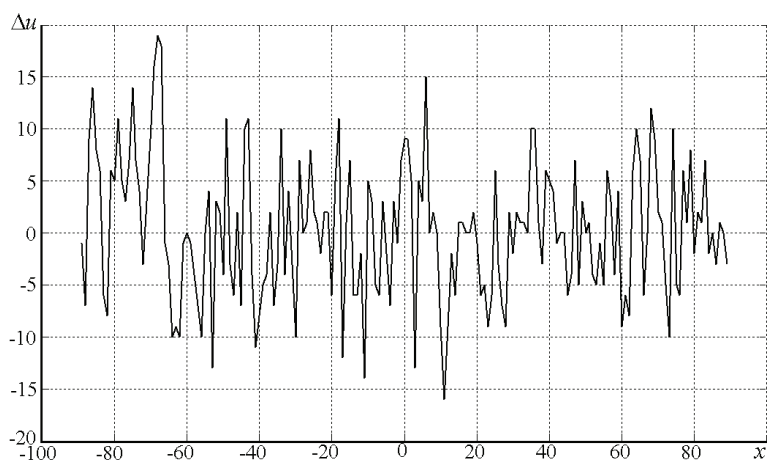
Рис. 2. Изображения реальных сцен

На рис. 3 показан сигнал $\Delta u(x)$ межкадровой разности строки изображения, вдоль которой перемещается объект (для каждого из рис. 2, а, б). На рис. 4 приведены серии графиков двойных разностей ФЭС $\Delta^2 I_k^m(n)$, возникающие при нечетном обнулении соответствующих изображений. Жирной линией выделены информативные кривые, определяющие местоположение объекта.

Как видно из рис. 2–4, а, определить движущийся объект достаточно легко как визуально, так и используя межкадровую разность или двойные разности частотных характеристик. Но для изображения на рис. 2, б определить наличие объекта по межкадровой разности становится затруднительным. В то же время, кривые двойных разностей на рис. 4, б полностью определяют местоположение объекта. В табл. 2 приведены результаты определения области движения объекта различными алгоритмами для изображений на рис. 2.



а)



б)

Рис. 3. Межкадровая разность строки изображения

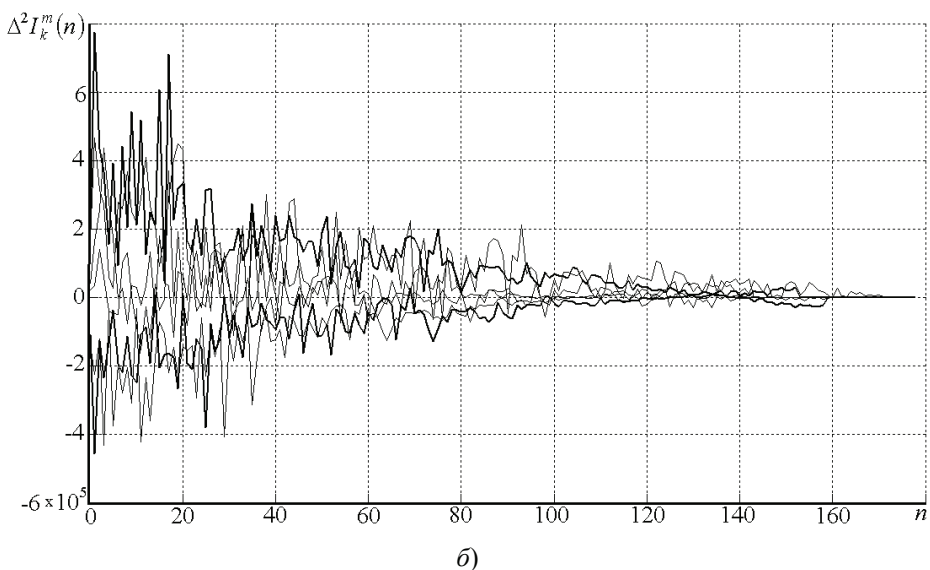
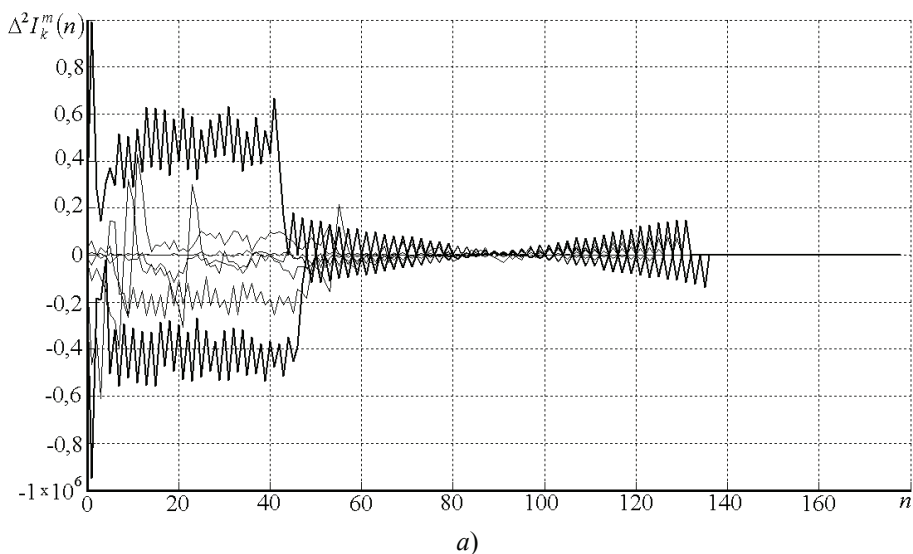


Рис. 4. Двойные разности ФЭС (нечетное обнуление)

Таблица 2

Результаты работы алгоритмов для реальных изображений

Обрабатываемое изображение	Реальная область движения объекта	Область движения объекта, найденная по двойным разностям частотных характеристик	Область движения объекта, найденная по межкадровым разностям
Рис. 2, а	[42; 48]	[43; 46]	[45; 47]
Рис. 2, б	[-69; -61]	[-68; -63]	[-67; 12]

При использовании межкадровой разности положение объекта определялось по максимальным и минимальным всплескам сигнала. В случае на рис. 2, б это не позволяет правильно определить местоположение движущегося объекта. В то же время применение двойных разностей частотных характеристик позволяет решить эту задачу.

Таким образом, в статье показаны потенциальные возможности биологически подобных алгоритмов для анализа движущихся изображений.

Список литературы

1. Биологически подобные алгоритмы для определения движения в системах технического зрения / А.В. Богословский [и др.] // Радиотехника. – 2011. – № 5. – С. 41–45.
2. Двойные разности частотных характеристик / А.В. Богословский [и др.] // Радиотехника. – 2011. – № 5. – С. 46–51.
3. Определение параметров движения объекта по изображению на основе межкадровых разностей частотных характеристик / А.В. Богословский [и др.] // Радиотехника. – 2010. – № 5. – С. 55–59.
4. Идентификация движущихся объектов по межкадровым разностям частотных характеристик / А.В. Богословский [и др.] // Радиотехника. – 2010. – № 12. – С. 55–60.

The Analysis of Biologically Similar Algorithms for Detection of Moving Objects

I.V. Zhigulina, V.A. Yakovlev

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: double differences of frequency characteristics; motion parameter detection; object motion; phase-power spectrum; power spectrum.

Abstract: The paper studies and analyzes the mathematical model of double differences of frequency responses. The informative curves identifying the location of moving installation are obtained. The operation of biologically similar algorithms in is tested on real maps in comparison with the algorithm of frame-to-frame differences.

© И.В. Жигулина, В.А. Яковлев, 2011