

УДК 621.397.42: 621.391.837.1: 621.372.544: 621.3.011.73

**МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Дрынкин В.Н., начальник сектора ФГУП ГосНИИ Авиационных систем, г. Москва, e-mail: drynkin@gosniias.ru;*  
*Царева Т.И., к.б.н., старший научный сотрудник ФГУП ГосНИИ Авиационных систем,*  
*e-mail: tsareva@gosniias.ru*

**Ключевые слова:** разрешающая способность, твердотельные матричные фотоприемники, гексагональная дискретизация, трехмерный интерполирующий фильтр, рекурсивно-нерекурсивные фильтры.

**Введение**

Разрешающая способность (РС) характеризует возможности видеосистемы разделять воспроизводимые мелкие детали наблюдаемой сцены и является одним из основных показателей качества изображения. Пространственная РС определяется количеством элементов твердотельных матричных сенсоров (ПЗС, КМОП, светодиодных матриц InGaAs, микроболометров a-Si и др.), используемых в качестве приемников излучения.

Часто применение видеокамер с большим числом элементов матрицы бывает затруднительно по разным причинам: из-за ограничений применяемых стандартов, из экономических соображений, из-за технологических ограничений и т.п.

Альтернативным подходом повышения разрешения формируемых изображений является использование методов восстановления изображений высокого разрешения (ВР) по последовательности соседних кадров низкого разрешения (НР). Здесь можно выделить два основных направления: методы повышения РС видеокамер на основе применения нескольких матриц с электронной шивкой изображений и методы, основанные на использовании субпиксельного сдвига в соседних кадрах изображения одного и того же объекта.

Среди представителей первого направления практический интерес представляют методы на основе двух матриц ПЗС. Так, в устройстве [1] для получения телевизионных изображений световой поток делится на две части по горизонтали с помощью волоконно-оптического преобразователя и подается на две матрицы ПЗС.

В другой системе [2] для формирования видеосигнала применены две матрицы с зазорами между фоточувствительными элементами, которые взаимно располагаются так, что элементы одной матрицы смещены по горизонтали относительно элементов второй матрицы на половину их ширины. Световой поток от объектива делится между матрицами с помощью полупрозрачного и отражающего зеркал.

В телекамере [3] изображение формируется также с помощью двух матриц ПЗС, а световой поток делится между ними с помощью анаморфотного объектива, изменяющего масштаб изображения в одном направлении,

*Предложен метод повышения разрешающей способности изображений, формируемых твердотельными матричными фотоприемными устройствами. Метод основан на использовании преимуществ гексагональной дискретизации двух соседних кадров с последующей пространственно-временной интерполяцией с помощью трехмерного рекурсивно-нерекурсивного фильтра нижних частот. Приведены результаты полунатурного моделирования с использованием реальных изображений.*

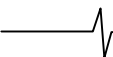
и светоделиителя призмного типа.

При всех своих достоинствах и недостатках, отличающих их друг от друга, эти методы характеризуются тем, что повышение РС камеры осуществляется только в одном направлении по горизонтали.

Существуют методы повышения РС в двух направлениях по горизонтали и вертикали, основанные на использовании субпиксельного сдвига в соседних кадрах изображения одного и того же объекта. В литературе такой подход часто называют «супер-разрешением». Главным достижением этого подхода признается то, что он имеет низкую стоимость и позволяет использовать существующие системы НР. Этот метод находит широкое применение в различных областях, в том числе в медицине, в спутниковых изображениях, в видео приложениях и т.п. В работе [4] содержится технический обзор существующих подходов. В [5] рассмотрены теоретические аспекты различных способов получения супер-разрешения.

Однако при использовании метода супер-разрешения возникает целый ряд неоднозначно решаемых вопросов: как получать смещенные изображения, сколько кадров необходимо, какова будет кратность увеличения разрешения, как определить смещение между кадрами, как бороться с шумом, возникающим от дублирования информации, не теряя получаемую детальность и т.д.

Другим подходом к увеличению РС вдоль обеих осей декартовых координат является способ с использованием светоделительной призмы и двух матриц, устанавливаемых со сдвигом относительно друг друга по горизонтали – на величину, равную половине расстояния между элементами, и по вертикали – на величину, равную половине межстрочного промежутка, в результате чего в блоке памяти образуется информационное поле с шахматной структурой, на основе которого с помощью обработки в виде гребенчатой фильтрации и полной апертурной коррекции формируется телевизионное изображение высокой четкости [6]. Существенным недостатком данного способа является применение для формирования окончательного изображения простейшей одномер-



ной интерполяции, заключающейся в усреднении видеосигнала  $n$ -ой строки кадра первого изображения с усредненным видеосигналом  $(n-1)$ -ой и  $n$ -ой строк кадра второго изображения, которая, как известно, не обеспечивает высокую степень подавления помех дискретизации и высокочастотных шумов [7, 8].

В данной работе предлагается метод повышения РС изображений по вертикали и горизонтали, свободный от перечисленных выше недостатков. Он основан на способе, использующем диагональный субпиксельный сдвиг матричного изображения в соседних кадрах и обеспечивающем повышение РС видеосистем за счет трехмерной интерполяции этих кадров [9].

### Описание способа повышения разрешающей способности

Согласно этому способу четные и нечетные кадры НР снимают со сдвигом по диагонали на полпикселя друг относительно друга, после чего размеры этих кадров увеличивают путем введения в их матричную структуру промежуточных нулевых столбцов и строк. В результате образуется пространственно-временная решетка двух кадров с шахматной структурой расположения отсчетов (рис. 1) [10, 11]. Затем производят формирование последовательности выходных сигналов путем одновременного или последовательного считывания данных каждого увеличенного нечетного и соответствующего увеличенного четного кадров, которые обрабатывают с помощью трехмерного интерполирующего пространственно-временного фильтра нижних частот (ФНЧ), трехмерная частотная характеристика которого имеет область пропускания в виде октаэдра. На выходе фильтра формируется кадр изображения удвоенного пиксельного размера, в котором за счет трехмерной интерполяции полностью восстановлены все нулевые элементы [10, 11]. При этом обеспечивается практически двукратное повышение РС по двум направлениям.

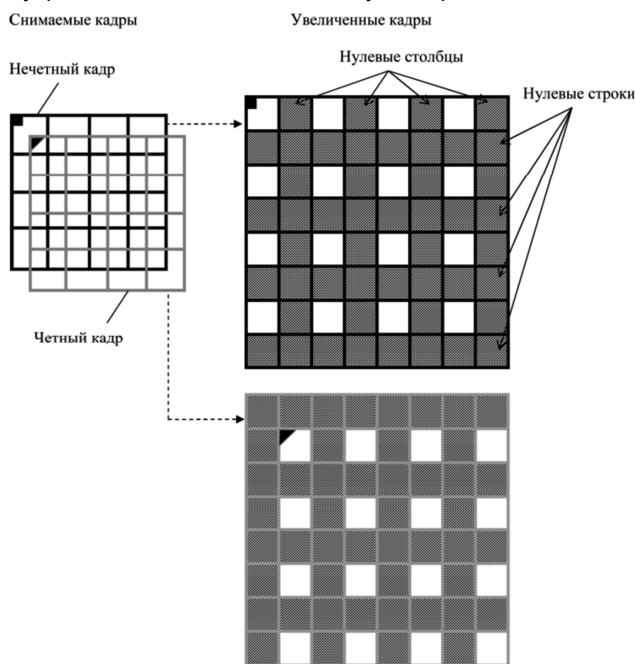


Рис. 1. Формирование решетки двух кадров с шахматной структурой расположения отсчетов

### Формирование кадров с субпиксельным сдвигом

Различные области применения изображений повышенного разрешения определяют способы реализации двух смещенных по диагонали на полпикселя кадров. Рассмотрим некоторые варианты.

#### С помощью одной матрицы

Формирование двух кадров, смещенных на полпикселя по диагонали, можно осуществлять с помощью одной матрицы за счет естественного вибрирования носителя (камеры) аналогично тому, как это делается в вышеупомянутых методах получения супер-разрешения. Существенным недостатком данного способа является необходимость накопления нескольких кадров, сложности определения смещений между кадрами, необходимость дополнительной интерполяции для ослабления шумов, возникающих из-за неточного смещения кадров на половину пикселя и другие проблемы, характерные для методов супер-разрешения.

Более стабильных результатов получения субпиксельного сдвига двух кадров можно достичь, используя управляемый механический сдвиг, применяемый, например, в так называемых джиттер-камерах [12]. На рис. 2 показаны два возможных варианта. Сдвиг соседних кадров осуществляется с помощью управляемых микро-актюаторов, которые могут воздействовать как на саму матрицу (рис. 2, а), так и на вспомогательное оптическое устройство типа наклонной стеклянной пластины, устанавливаемой между объективом и неподвижной матрицей (рис. 2, б).

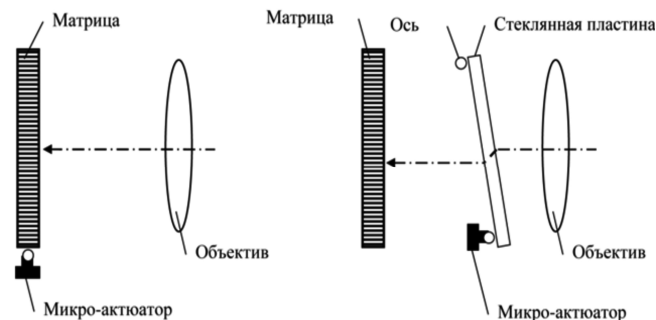


Рис. 2. Примеры механической реализации диагонального субпиксельного сдвига кадров

Точность субпиксельного сдвига в таких камерах может достигать 0,1 пикселя [12].

Более точных результатов можно достичь, используя управляемый электронный субпиксельный сдвиг, например, в камерах, использующих явление биннинга. Известно, что биннинг (т.е. суммирование зарядов смежных ячеек матрицы) применяется с целью увеличения чувствительности камеры, повышения отношения сигнал-шум и возможности увеличения частоты кадров. Однако этот процесс сопровождается уменьшением разрешения изображения. С помощью предлагаемого метода с одной стороны можно повысить разрешение камеры, использующей биннинг, с другой стороны применение биннинга позволяет упростить проблему формирования двух соседних диагонально смещенных друг относительно друга кадров с помощью одной матрицы. На рис. 3 показан пример организации считывания информации из матрицы для двух соседних кадров.

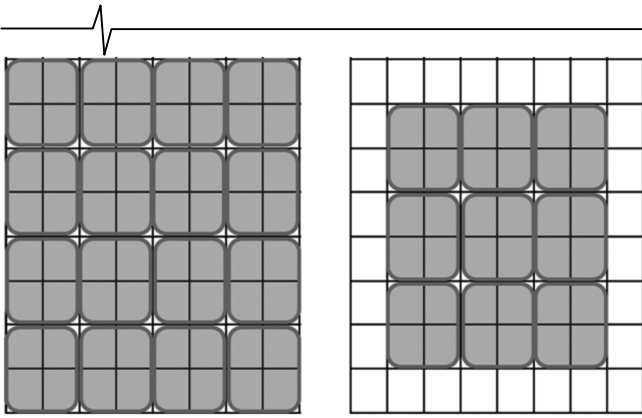


Рис. 3. Организация процедуры считывания информации с матрицы с помощью биннинга для двух соседних кадров

Особенностью рассмотренных методов формирования диагонального субпиксельного сдвига в соседних кадрах с помощью одной матрицы является то, что для последующей обработки информации необходима реализация трехмерного интерполирующего ФНЧ с осуществлением задержки на кадр.

**С помощью двух матриц**

Применение двух одинаковых матриц позволяет предложить схему формирования двух кадров с диагональным субпиксельным сдвигом, изображенную на рис. 4. Деление светового потока между матрицами осуществляется с помощью полупрозрачного и непрозрачного зеркал (рис. 4, а). Матрицы располагаются друг относительно друга так, чтобы их фоточувствительные элементы формировали кадры сцены, смещенные на полпикселя по диагонали (рис. 4, б). При такой схеме в каждый момент времени мы имеем два диагонально смещенных кадра, что позволяет обойтись без устройства задержки на кадр и, тем самым, упростить реализацию трехмерного интерполирующего фильтра.

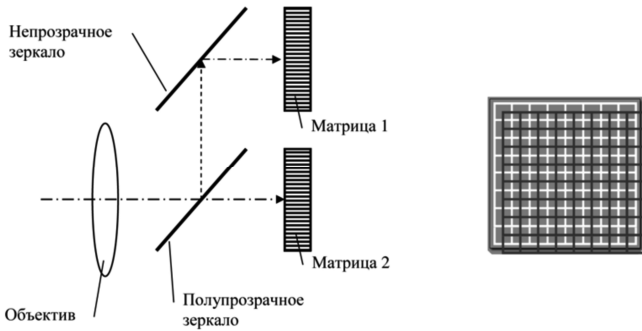


Рис. 4. Схема размещения двух матриц, в одной камере для формирования диагонального субпиксельного сдвига кадров

Для одновременного получения двух смещенных по диагонали кадров можно использовать две матрицы, чувствительные к разным длинам волн спектра электромагнитного излучения и, таким образом, использовать предлагаемый метод для повышения разрешающей способности двухзональной системы, например, телевизионно-тепловизионной [8].

**Результаты синтеза трехмерного ФНЧ**

Согласно теории дискретизации восстановление изображения по его отсчетам сводится к синтезу многомерного интерполирующего фильтра, область пропускания частотной характеристики которого согласована с областью существования спектра изображения [11]. В случае

гексагональной дискретизации с шахматным расположением отсчетов, учитывая анизотропию спектров реальных изображений [11, 13, 14], определим область пропускания частотной характеристики трехмерного интерполирующего ФНЧ в виде октаэдра:

$$D_0 : |v_x| + |v_y| + |v_t| = a, \tag{1}$$

где  $a \leq 1$ ;  $v_x, v_y, v_t$  – соответствующие нормированные продольные, поперечные и временные частоты.

Для синтеза фильтра с областью пропускания (1) воспользуемся методом многомерной рекурсивно-нерекурсивной фильтрации [15, 16], который был специально разработан для синтеза фильтров с произвольной областью пропускания частотной характеристики. Учитывая, что кадр ВР формируется из двух соседних кадров НР ограничимся трёхмерным фильтром первого порядка с фиксированным нулём передаточной функции  $z_0 = -1$  на основе Чебышевского одномерного аналогового прототипа, имеющего один вещественный полюс  $w_p$ .

Синтезируемый фильтр представляет собой каскадное включение трехмерного  $K[v_t, \phi_t(v_x, v_y)]$ , двумерного  $K[v_y, \phi_y(v_x)]$  и одномерного  $K(v_x)$  звеньев:

$$K(v_x, v_y, v_t) = K[v_t, \phi_t(v_x, v_y)] K[v_y, \phi_y(v_x)] K(v_x). \tag{2}$$

Конфигурация области пропускания синтезируемого фильтра в направлении временных частот  $v_t$  полностью определяется трехмерным рекурсивно-нерекурсивным звеном

$$K[v_t, \phi_t(v_x, v_y)] = \frac{0,5(1 + e^{-j\pi v_t})}{1 - \beta(v_x, v_y) e^{-j\pi v_t}} [1 - \beta(v_x, v_y)], \tag{3}$$

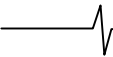
$$\text{где } \beta(v_x, v_y) = \frac{\text{ctg} \frac{\pi(a - v_x - v_y)}{2} + w_p}{\text{ctg} \frac{\pi(a - v_x - v_y)}{2} - w_p} \tag{4}$$

представляет собой пространственно-частотную характеристику (ПЧХ) двумерной рекурсивной цепи обратной связи. Для получения практически реализуемой структуры примем  $a = 0,8$  и, учитывая, что Чебышевский одномерный аналоговый прототип при неравномерности частотной характеристики в полосе пропускания  $\delta = 1$  дБ имеет  $w_p = -1,9652267$  [17], аппроксимируем (4) двумерным тригонометрическим рядом:

$$\hat{\beta}(v_x, v_y) = \gamma 0,656 - 2 \cdot 0,156(\cos \pi v_x + \cos \pi v_y) - 4 \cdot 0,109 \cos \pi v_x \cos \pi v_y. \tag{5}$$

Коэффициенты этого ряда определяются с помощью двумерного обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ) относительно (4). Коэффициент  $\gamma = 0,81$  выбирается из соображений обеспечения устойчивости синтезируемого фильтра.

Конфигурация области пропускания синтезируемого



фильтра в плоскости изображения  $(v_x, v_y)$  определяется двумерным рекурсивно-нерекурсивным звеном:

$$K[v_y, \phi_y(v_x)] = \frac{0,5(1 + e^{-j\pi v_y})}{1 - \beta(v_x)e^{-j\pi v_y}} [1 - \beta(v_x)], \quad (6)$$

где 
$$\beta(v_x, v_y) = \frac{\text{ctg} \frac{\pi(a - v_x)}{2} + w_p}{\text{ctg} \frac{\pi(a - v_x)}{2} - w_p}. \quad (7)$$

Для получения практически реализуемой структуры этой цепи аппроксимируем (7) одномерным тригонометрическим рядом с учетом  $a = 0.8$  и  $w_p = -1,9652267$ :

$$\hat{\beta}(v_x) = 0,534 + 2 \cdot (-0,277) \cos \pi v_x + 2 \cdot (-0,133) \cos 2\pi v_x + 2 \cdot (0,0025) \cos 3\pi v_x + 2 \cdot (0,0151) \cos 4\pi v_x. \quad (8)$$

Одномерное звено  $K(v_x, v_y)$  выражения (2) задает частоту среза синтезируемого фильтра в направлении частот  $v_x$  и для фильтра первого порядка имеет вид

$$K(v_x) = \frac{0,5(1 + e^{-j\pi v_x})}{1 - \beta e^{-j\pi v_x}} [1 - \beta], \quad (9)$$

где с учётом сделанных выше допущений

$$\beta = \frac{\text{ctg} \frac{\pi a}{2} + w_p}{\text{ctg} \frac{\pi a}{2} - w_p} = -0,716. \quad (10)$$

Результирующая ПЧХ трёхмерного рекурсивно-нерекурсивного ФНЧ показана на рис. 5 в виде поверхности уровня  $K(v_x, v_y, v_z) = 0,8$  для положительного октанта области нормированных частот. Степень практического соответствия требуемой и получаемой конфигураций области пропускания будет определяться точностью аппроксимации частотных характеристик рекурсивных фильтров обратных связей и, следовательно, протяженностью импульсных характеристик этих фильтров [15].

Нетрудно видеть (рис. 5), что даже при простейших аппроксимациях цепей обратных и прямых связей тригонометрическими рядами (5) и (8) область пропускания синтезированного фильтра довольно точно соответствует требуемой (1).

Обобщенная структурная схема синтезированного трехмерного интерполирующего ФНЧ с учетом (3), (5), (6), (8-10) при формировании диагонально смещенных

кадров с помощью одной матрицы показана на рис. 6 а, где  $e^{-j\pi v_x}$ ,  $e^{-j\pi v_y}$  и  $e^{-j\pi v_z}$  представляют собой устройства задержки на кадр, строку и элемент изображения, соответственно.

Здесь:  $S_1(v_x, v_y, v_z)$  и  $S_2(v_x, v_y, v_z)$  – Фурье-образы первого и второго диагонально смещенных кадров НР,  $S_{BP}(v_x, v_y, v_z)$  – Фурье-образ кадра ВР. При формировании диагонально смещенных кадров с помощью двух матриц структурная схема ФНЧ показана на рис. 6 б. В этом случае, как указывалось выше, память на кадр  $e^{-j\pi v_z}$  отсутствует.

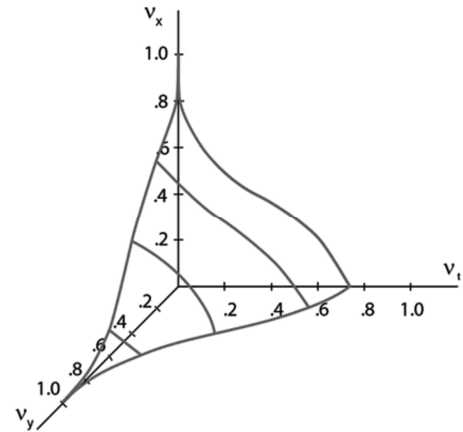


Рис. 5. ПЧХ синтезированного трехмерного ФНЧ

Синтезированный фильтр имеет ряд достоинств.

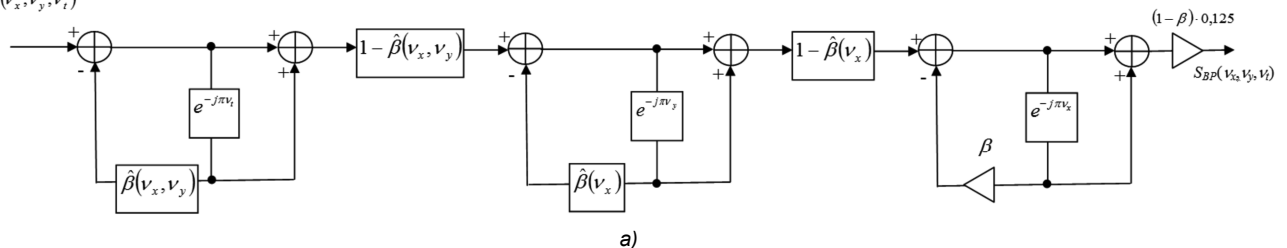
Во-первых, важным достоинством синтезированного трехмерного ФНЧ является его контролируемая устойчивость, которая обеспечивается соответствующим проектированием цепей прямых и обратных связей  $\hat{\beta}(v_x, v_y)$  (5),  $\hat{\beta}(v_x)$  (8). В данной работе устойчивость синтезированного ФНЧ детально не исследуется, поскольку этому вопросу посвящена специальная статья [18].

Во-вторых, область пропускания ПЧХ синтезированного фильтра согласована со спектрами реальных изображений, что обеспечивает лучшее по сравнению с одномерным аналогом [6] качество интерполяции изображения повышенного разрешения. Сравнение трехмерной интерполяции с одномерными вариантами проведено в [8, 14, 20].

В-третьих, рекурсивно-нерекурсивная структура фильтра имеет сравнительно небольшие аппаратные затраты (при реализации требуется память всего на один кадр), что обеспечивает его эффективную реализацию в реальном времени [19, 20].

$$S_1(v_x, v_y, v_z)$$

$$S_2(v_x, v_y, v_z)$$



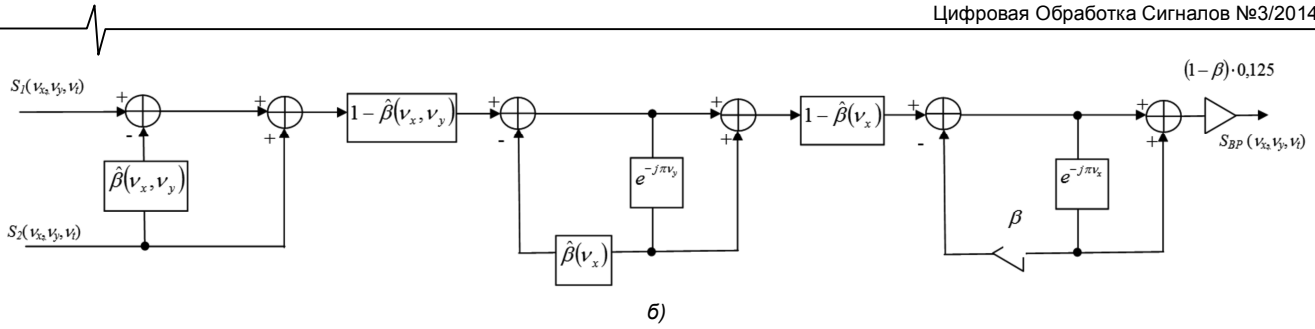


Рис. 6. Обобщенная структурная схема синтезированного трехмерного ФНЧ

**Тестирование метода**

Методами математического полунатурного моделирования с использованием реальных изображений была продемонстрирована возможность повышения разрешающей способности изображений с помощью предложенного метода.

На рис. 7 а, 8 а, 9 а приведены примеры синтезированных предложенным методом изображений повышенного разрешения. Для сравнения на рис. 7 б, 8 б, 9 б показаны по одному из двух исходных кадров НР, смещенных друг относительно друга на полпикселя по диагонали.

Из рис. 7 видно, что в результате повышения разрешения стали видны фрагменты железнодорожного полотна, а на рис. 8 на фоне общего повышения четкости мелких деталей автомобиля уверенно читается государственный регистрационный номер.



а)



б)

Рис. 7. Пример 1 повышения разрешения

Проведенные исследования показали, что предлагаемый метод позволяет получить близкое к двукратно-

му повышение разрешения. Для получения количественной оценки повышения разрешающей способности изображения была проведена серия экспериментов со стандартными измерительными штриховыми мирами.



а)

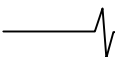


б)

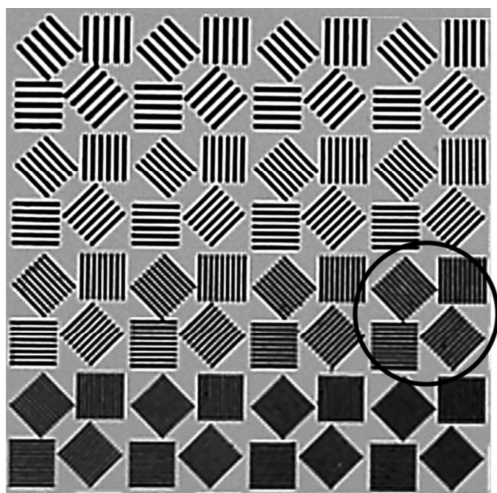
Рис. 8. Пример 2 повышения разрешения

Разрешение определялось методом визуальных экспертных оценок на основе критерия, согласно которому разрешение определяется по группе штрихов с самой узкой шириной полос, разрешаемых по меньшей мере 80% всех наблюдателей. При этом согласно критерию оценки разрешающей способности по частотно-контрастным характеристикам для анализа использовались изображения групп штрихов с относительным контрастом, определяемым разницей между максимальной и минимальной интенсивностью, отнесенной к максимальной интенсивности, не менее 0,2. Группа штрихов считается разрешенной, если по всей длине чередующихся темных и светлых полос при сохранении их одинаковой ширины визуально ощущается разница в уровнях серого тона.

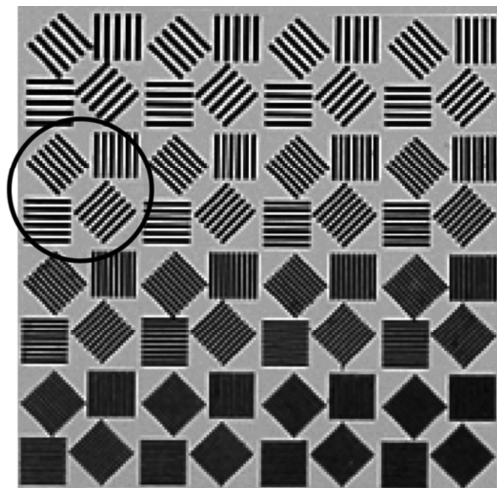
Анализ полученных результатов показал, что в среднем разрешение повышается в 1,7 раза.



На рис. 9 приведен пример, демонстрирующий эту величину. На этом рисунке показаны фрагменты изображений стандартной штриховой миры Фуко. Каждая группа штрихов миры состоит из чередующихся черных и белых полос одинаковой ширины, ориентированных в четырех разных направлениях. Ширина штрихов убывает с увеличением номера группы по закону геометрической прогрессии со знаменателем, равным 0,94. На фрагменте кадра НР (рис. 9 б) видно, что по всей длине штрихов с сохранением одинаковой ширины темных и светлых полос уверенно различается группа, состоящая из 6 штрихов (обведено кружком) с шириной полосы 1,0 мм, в то время как в изображении повышенного разрешения (рис. 9 а) различается группа из 10 штрихов с шириной полосы 0,6 мм.



а)



б)

Рис. 9. Пример 3 повышения разрешения

## Заключение

Разработан метод, позволяющий повысить РС по двум направлениям плоскости изображения за счет двукратного увеличения пиксельного размера кадра с помощью трехмерной интерполяции двух соседних кадров НР, смещенных относительно друг друга на полпикселя по диагонали.

Метод опробован на целом ряде тестовых и реальных изображений. Полученные результаты являются

предварительными и требуют дальнейших исследований, тем не менее уже сейчас они позволяют рассматривать предложенный метод в качестве основы для повышения РС телевизионных, тепловизионных и др. видеосистем, в том числе многозональных.

## Литература

1. Гуйо Л., Рикодо Ж., Ружо А. Устройство для получения телевизионных изображений с помощью матриц с зарядовой связью и передающая система с подобным устройством. Заявка Франции № 2476949, H04N 5/32; H05G 1/60, 1/64. Опубл. 28.08.81.

2. Hoagland K.A. Charge-coupled device video-signal-generating system. US Patent № 4038690, H04N 3/14, 358/213; 357/24; 357/30. Filed: Jan. 21, 1976. Publ. July 26, 1977.

3. Смелков В.М. Метод повышения разрешающей способности телекамеры для криминалистической диагностики // журнал "Специальная техника" Дата размещения: 12.04.2006 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=625&lvl=01.03>. (дата обращения: 03.04.2014).

4. Park S.Ch., Park M.K., Kang M.Gi. Super-resolution image reconstruction: a technical overview // Signal Processing Magazine. IEEE. 2003. May. Volume 20. Issue 3. Pp. 21–36.

5. Katsaggelos A., Molina R., Mateos J. Super Resolution of Images and Video. Synthesis Lectures on Image, Video and Multimedia Processing. / Editor A.C. Bovik. Morgan&Claypool Publishers. 2007. 134 pp.

6. Виленчик Л.С., Курков И.Н., Разин А.И., Розвал Я.Б. Способ получения телевизионных изображений высокой четкости в камере на обычных ПЗС и устройство для реализации этого способа. Патент РФ № 2143789, H04N 5/335, 5/225. Заявл. 23.01.1998. Опубл. 27.12.1999.

7. Бородянский А.А., Дрынкин В.Н. Вертикально-временная фильтрация в системах телевидения повышенной четкости / Рязань. 1986. 15 с. – Деп. в ЦНТИ «Информсвязь» 24.03.87, № 1068-св.

8. Дрынкин В.Н., Фальков Э.Я., Царева Т.И. Эффективность двухзональной бортовой авиационно-космической системы формирования комбинированного изображения // Техническое зрение в системах управления – 2013. / Труды научно-технической конференции. – М.: ИКИ РАН, 12-14 марта 2013 г. (в печати).

9. Дрынкин В.Н., Царева Т.И. Способ повышения разрешающей способности видеосистем. Заявка на изобретение № 2014103333(005183) от 03.02.2014. H04N 3/14, 5/335. / Заявитель – ФГУП ГосНИИАС.

10. Бородянский А.А. Оптимальная дискретизация движущихся изображений // Электросвязь. 1983. № 3. С. 35-39.

11. Бородянский А.А. Гипертреугольная дискретизация n-мерных сообщений // Радиотехника. 1985. № 4. С. 49-52.

12. Ben-Ezra M., Zomet A., Nayar S.K. Video Super-Resolution Using Controlled Subpixel Detector Shifts // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. June 2005. Vol. 27. No. 6. P. 977-987.

13. Цифровое кодирование телевизионных изображений; под ред. И.И. Цуккермана. М.: Радио и связь, 1981. 240 с.

14. Дрынкин В.Н., Фальков Э.Я., Царева Т.И. Формирование комбинированного изображения в двухзональной бортовой авиационно-космической системе // Техническое зрение в системах управления – 2012. Труды научно-технической конференции. / М.: ИКИ РАН, 14-16 марта 2012 г. – С. 33-39.

15. Бородянский А.А., Дрынкин В.Н. Синтез многомерных рекурсивно-нерекурсивных фильтров // Радиотехника. 1986. № 4. С. 47-51.

16. Drynkin V.N. Real-Time design of N-dimensional digital filters for image processing // Digital Photogrammetry and Remote Sensing'95; editor E.A. Fedosov. St. Petersburg, 1995. P. 240-249.

17. Альбац М.Е. Справочник по расчету фильтров и линий задержки. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963. 200 с.

18. Бородянский А.А., Дрынкин В.Н. Устойчивость многомерных рекурсивно-нерекурсивных фильтров // Радиотехника. 1988. № 3. С. 37-38.

19. Бондаренко А.В., Докучаев И.В., Дрынкин В.Н.,

Царева Т.И., Бондаренко М.А. Аппаратная реализация трёхмерного фильтра // Техническое зрение в системах управления – 2013. Труды научно-технической конференции. / М.: ИКИ РАН, 12-14 марта 2013 г. (в печати).

20. Бондаренко А.В., Бондаренко М.А., Дрынкин В.Н., Докучаев И.В., Ядчук К.А. Пространственно-временная фильтрация движущихся изображений // Техническое зрение в системах управления – 2014. Труды научно-технической конференции. / М.: ИКИ РАН, 18-20 марта 2014 г. (в печати)

## RESOLUTION INCREASING METHOD OF IMAGES

*Drynkin V.N., Tsareva T.I.*

Method for resolution increasing of images formed by solid-state photodetector arrays is proposed. The method is based on the use of advantages of the hexagonal sampling of two adjacent frames with subsequent spatiotemporal interpolation using a three-dimensional-recursive-nonrecursive lowpass filter. The results of half-scale simulation with the use of the real images are given.

### Уважаемые коллеги!

*Приглашаем Вас принять участие в формировании тематических выпусков журнала «Цифровая обработка сигналов» и размещению рекламы продукции (услуг) Вашей организации на его страницах. В случае положительного решения просим представить в редакцию журнала Ваши предложения по плановому размещению информационных материалов и макет рекламы продукции (услуг) с указанием желаемого её месторасположения: обложка (2-я, 3-я или 4-я стр.), цветная внутренняя полоса (объем полосы).*

Журнал «Цифровая обработка сигналов» издается с 1999 года. Выходит ежеквартально, тиражом – 700 экз. Распространяется по подписке через агентство «Роспечать» в России (индекс 82185), СНГ и странах Балтии (индекс 20630), а также на Конференции: «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA'».

Научно-технический журнал «Цифровая обработка сигналов» включен в Список изданий, рекомендуемый ВАК РФ для публикации результатов научных исследований соискателями ученой степени доктора и кандидата технических наук в области радиотехники, связи, вычислительной техники, электроники, информационно-измерительных и управляющих систем.

### Планируемые сроки издания отдельных номеров журнала:

- № 4 – декабрь 2014 г. Тематический выпуск: «ЦОС в радиотехнике и системах телекоммуникаций».
- № 1 – март 2015 г. Тематический выпуск: «ЦОС в информационно-измерительных системах»
- № 2 – июнь 2015 г. Тематический выпуск: «Теория и методы цифровой обработки сигналов» (по материалам международной научно-технической конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA' 2015».
- № 3 – сентябрь 2015 г. Тематический выпуск: «Цифровая обработка изображений».

### Ориентировочная стоимость рекламных услуг:

- 4-я (внешняя) страница цветной обложки – 25 тысяч рублей.
  - 2-я и 3-я (внутренние) страницы цветной обложки – 15 тысяч рублей.
  - 1/2 цветной внутренней полосы – 8 тысяч рублей.
- Ждем Ваших предложений.

С наилучшими пожеланиями, зам. главного редактора  
д.т.н., профессор Витязев Владимир Викторович, телефон 8-903-834-81-81.

Предложения прошу направлять по адресу: E-mail: vityazev.v.v@rsreu.ru или info@dspa.ru