УДК 621.396.96

## Влияние погрешностей взаимного расположения фотоматриц в устройствах, реализующих метод субпиксельного сканирования, на качество синтезируемых изображений

## Артюшкин А. Б., Матасов Ю. Ф., Пантенков А. П.

Постановка задачи: расширение возможностей электронных оптических приборов было и остается актуальной темой для исследований. Известные способы повышения разрешающих способностей таких приборов, основывающиеся на применении нескольких фотоматриц для синтеза более качественного изображения, обладают высокой чувствительностью к точности взаимного расположения матриц и требуют дальнейшей модернизации. Целью работы является выявление особенностей влияния погрешностей взаимного расположения матрии на качество синтезируемых изображений и обоснование необходимости их учета при реализации методов субпиксельного сканирования. Используемые методы: решение задачи построения вторичного изображения с повышенным разрешением, основанное на решении системы уравнений, описывающих построение матрицы увеличенного размера на основе нескольких вариантов определённым образом модернизированной исходной матрицы, реализация данного решения с помощью компьютерной модели, позволяющей вносить в алгоритм синтеза изображения искажения, аналогичные погрешностям относительного смещения фотоматрии, визуализация полученных решений. Новизна: элементами новизны представленной работы являются результаты расчетов, выполненные для одномерных матриц, а также результаты работы построенной модели, распространяющие сделанные выводы на двумерные изображения. Результат: полученные и подтвержденные в работе результаты позволяют обосновать необходимость принятия специальных мер по снижению степени влияния ошибок смещения, таких как дополнительный контроль при изготовлении аппаратуры, а также модернизация алгоритмов, используемых для синтеза изображений. Практическая значимость: статья является основой для дальнейшего планирования работ по совершенствованию метода субпиксельного сканирования.

*Ключевые слова:* видеоконтроль, субпиксельное сканирование, фоточувствительный элемент, прибор с зарядовой связью, ошибки смещения, пиксель.

#### Актуальность

В настоящее время подавляющее большинство фото- и видео устройств цифровых систем наблюдения и телеметрического контроля строятся на базе датчиков изображения матричного типа – матриц фоточувствительных элементов (МФЧМ). Такие матрицы – ПЗС (прибор с зарядовой связью) – представляют собою аналоговые микросхемы, состоящие из фотодиодов (пикселей), расположенных на подложке в виде столбцов и строк, с управляющим затвором возле каждого фотодиода.

URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2018-01/05-Artjushkin.pdf

Библиографическая ссылка на статью:

Артюшкин А. Б., Матасов Ю. Ф., Пантенков А. П. Влияние погрешностей взаимного расположения фотоматриц в устройствах, реализующих метод субпиксельного сканирования, на качество синтезируемых изображений // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 1. С. 109-121. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2018-01/05-Artjushkin.pdf

**Reference for citation:** 

Artjushkin A. B., Matasov J. F., Pantenkov A. P. Quality of synthesized images taking into account a accuracy of mutual arrangement of photomatrix in a sub-pixel scanning device. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 1, pp. 109-121. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2018-01/05-Artjushkin.pdf (in Russian)

Каждый этап процесса совершенствования техники регистрации изображений характеризуется некоторым минимальным размером пикселя в матрице регистрирующих детекторов, определяющим ее разрешающую способность, достигнутым в данный момент. На сегодняшний день, размеры пикселя могут варьироваться в пределах 0,0025–0,008 мм. Детализация получаемого изображения тем выше, чем большее количество пикселей приходится на единицу его площади изображения. В то же время, чем крупнее пиксель, тем больше его площадь и количество собираемого им света и, соответственно, выше светочувствительность и отношение сигнал/шум.

Таким образом, увеличение разрешающей способности матрицы достигается путем наращивания общего количества чувствительных элементов, однако качество получаемого изображения во многом зависит от того, каким образом выполняется такое наращивание. Попытка повысить разрешение матрицы без увеличения ее размеров, за счет «дробления» чувствительных ячеек площадью  $S_i$  на более мелкие элементы, во-первых, приводит к снижению отношения сигнал/шум на выходах этих элементов, во-вторых – приводит к росту стоимости ПЗС, либо, на каком-то этапе, становится невозможным для существующего уровня технологий.

Повышение же разрешения за счет наращивания общей площади матрицы  $S_{\rm M}$  при неизменных значениях  $S_i$  ведет к значительному увеличению геометрических размеров оптических электронных приборов и росту их стоимости. При этом увеличение разрешения в *n* раз требует такого же увеличения площади матрицы. Тем не менее, это является «наименьшим злом» относительно метода повышения разрешения делением площадок на меньшие по площади, т. к. обеспечивает большую чувствительность матрицы и более высокое отношение сигнал/шум на ее выходах.

Таким образом, для получения максимального разрешения при сохранении качества сигнала, необходимо сохранить неизменными значения  $S_i$  при минимальном увеличении  $S_{M}$ .

В настоящее время существуют дополнительные возможности повышения разрешения изображений при заданных размерах матрицы и пикселя. Одну из таких возможностей представляют субпиксельное сканирование и субпиксельная обработка изображений [1].

В работах Блажевича С.И., Винтаева В.Н., Ушакова Н.Н. [2], Блажевич С.И., Силютина Е.С. [3], Попова М.А., Станкевича С.А., Шкляра С.В. [4] описываются некоторые разновидности алгоритмов, реализующих субпиксельный подход. Однако анализа влияния каких-либо факторов на результаты решения задач обработки изображений данными алгоритмами авторами не делается.

В данной работе представлены результаты исследования влияния неточности взаимного расположения матриц фоточувствительных элементов, определенного требованиями метода субпиксельного сканирования (МСС) на качество формируемого цифрового изображения.

#### Метод субпиксельного сканирования изображения

Правильнее было бы называть данный метод методом «субпиксельного синтеза», т. к. в процессе его реализации появляются или синтезируются новые пиксели. Однако, название «метод субпиксельного сканирования» является исторически-сложившимся [2, 3], поэтому будем пользоваться данным термином.

Суть метода заключается в следующем. Одно и то же изображение проецируется на четыре одинаковые матрицы чувствительных элементов размерности  $m \times n$  (m – количество элементов в строке, n – количество элементов в столбце), которые сдвинуты относительно него и относительно друг друга так, как показано на рис. 1. При этом величина сдвигов d – должна быть равна половине линейной величины одного фоточувствительного элемента (ФЧЭ).





Информация с выхода каждой ПЗС снимается с частотой формирования кадров видеопотока. Полученный массив данных обрабатывается в соответствии с синтезирующим алгоритмом. В результате совместной обработки данных о четырех исходных изображениях определяются значения освещенности их определенных участков и формируется матрица вычисленных чувствительных элементов. При этом разрешение полученного изображения в два раза превышает разрешение исходных матриц фоточувствительных элементов (МФЧЭ) (рис. 2).

Рассмотрим реализацию рассматриваемого метода субпиксельного сканирования более подробно на примере ФМЧЭ размерности 3×3 элемента.

Порядок формирования виртуальной матрицы из четырех исходных, имеющих разрешение *J*, показан на рис. 1.

Пространственно исходные матрицы разнесены, и изображение проецируется на каждую из них по отдельному оптическому каналу. Такой канал может формироваться как с использованием отдельного объектива, так и с помощью системы общего для всех матриц объектива и распределяющих призм. При этом для каждой матрица одни и те же элементы изображения – серая часть рисунков – по-разному смещены относительно ее границ. Из рисунка видно, что величина смещения равна половине линейного размера чувствительного элемента, а векторы смещения выбраны таким образом, чтобы общее сенсорное поле образовало прямоугольник с внешней неосвещенной границей

## шириной *d*. Темным цветом выделена синтезированная виртуальная матрица, обладающая разрешением 2*J*.



Рис. 2. Преобразование изображений в электронно-оптической системе, реализующей МСС

Реализация алгоритма предусматривает присвоение порядкового номера каждому элементу исходной МФЧЭ. На рис. 3 приведена нумерация элементов для матрицы с номером 1. Здесь  $U_{zy}$  – значение сигнала на выходе чувствительного элемента, пропорциональное интегральной яркости проецируемого на не-

го изображения, *z* – порядковый номер матрицы в системе, *y* – порядковый номер чувствительного элемента матрицы.

Рис. 3. Пример нумерации чувствительных элементов матрицы

Аналогичным образом присваиваются номера элементам остальных исходных МФЧЭ. Совмещенная система из четырех матриц, формирующая виртуальную МФЧЭ, показана на рис. 4.



Рис. 4. Виртуальная МФЧЭ, составленная из четырех матриц

Здесь  $u_k$  – значение освещенности виртуального фоточувствительного элемента, а k – условный порядковый номер элемента в виртуальной матрице. Значения  $U_{zy}$ , размещенные на рисунке в верхнем и нижнем рядах, разбиты на группы, каждая из которых включает три значения. Порядковый номер группы соответствует порядковому номеру столбца, состоящему из элементов соответствующей исходной МФЧЭ. Каждая группа включает значения сигналов на выходах чувствительных элементов, соответственно, исходных матриц 1 и 3 в порядке их следования внутри соответствующего столбца. Значения  $U_{zy}$ , размещенные на рисунке справа и слева в промежуточных рядах, соответствуют значениям выходных напряжений в строках исходных МФЧЭ 2 и МФЧЭ 4.

Предполагается, что выполняется т. н. «краевое условие» – освещенность участков матриц, на которые изображение не попадает, одинакова и для каждого виртуального ФЧЭ, которые на рисунке не пронумерованы, составляет некоторую известную величину *X*.

В соответствие с рис. 4, всю совокупность возможных значений  $U_{zy}$  можно задать следующей системой уравнений (1):

$$\begin{array}{lll} U_{11} = 3X + u_{1}; & U_{31} = u_{1} + u_{2} + u_{6} + u_{7}; \\ U_{12} = 2X + u_{2} + u_{3}; & U_{32} = u_{3} + u_{4} + u_{8} + u_{9}; \\ U_{13} = 2X + u_{4} + u_{5}; & U_{33} = 2X + u_{5} + u_{10}; \\ U_{14} = 2X + u_{6} + u_{11}; & U_{34} = u_{11} + u_{12} + u_{16} + u_{17}; \\ U_{15} = u_{7} + u_{8} + u_{12} + u_{13}; & U_{35} = u_{13} + u_{14} + u_{18} + u_{19}; \\ U_{16} = u_{9} + u_{10} + u_{14} + u_{15}; & U_{36} = 2X + u_{15} + u_{20}; \\ U_{17} = 2X + u_{16} + u_{21}; & U_{37} = 2X + u_{21} + u_{22}; \\ U_{18} = u_{17} + u_{18} + u_{22} + u_{23}; & U_{38} = 2X + u_{23} + u_{24}; \\ U_{19} = u_{19} + u_{20} + u_{24} + u_{25} & U_{39} = 3X + u_{25}; \\ U_{21} = 2X + u_{1} + u_{2}; & U_{41} = 2X + u_{1} + u_{6}; \\ U_{22} = 2X + u_{3} + u_{4}; & U_{42} = u_{2} + u_{3} + u_{7} + u_{8}; \\ U_{23} = 3X + u_{5}; & U_{43} = u_{4} + u_{5} + u_{9} + u_{10}; \\ U_{24} = u_{6} + u_{7} + u_{11} + u_{12}; & U_{44} = 2X + u_{11} + u_{16}; \\ U_{25} = u_{8} + u_{9} + u_{13} + u_{14}; & U_{45} = u_{12} + u_{13} + u_{17} + u_{18}; \\ U_{26} = 2X + u_{10} + u_{15}; & U_{46} = u_{14} + u_{15} + u_{19} + u_{20}; \\ U_{27} = u_{16} + u_{17} + u_{21} + u_{22}; & U_{47} = 3X + u_{21}; \\ U_{28} = u_{18} + u_{19} + u_{23} + u_{24}; & U_{48} = 2X + u_{22} + u_{23}; \\ U_{29} = 2X + u_{20} + u_{25}; & U_{49} = 2X + u_{24} + u_{25}. \end{array} \right]$$

Из (1) возможно выразить непосредственно значения напряжений на выходах виртуальных чувствительных элементов:

$$\begin{array}{ll} u_{1} = U_{11} - 3X; & u_{13} = U_{15} + u_{7} + u_{8} + u_{12}; \\ u_{2} = U_{21} - 2X + u_{1}; & u_{14} = U_{25} + u_{8} + u_{9} + u_{13}; \\ u_{3} = U_{12} - 2X + u_{2}; & u_{15} = U_{16} + u_{9} + u_{10} + u_{14}; \\ u_{4} = U_{22} - 2X + u_{3}; & u_{16} = U_{44} - 2X - u_{11}; \\ u_{5} = U_{23} - 3X; & u_{17} = U_{34} + u_{11} + u_{12} + u_{16}; \\ u_{6} = U_{41} - 2X - u_{1}; & u_{18} = U_{45} + u_{12} + u_{13} + u_{17}; \\ u_{7} = U_{31} + u_{1} + u_{2} + u_{6}; & u_{19} = U_{35} + u_{13} + u_{14} + u_{18}; \\ u_{8} = U_{42} + u_{2} + u_{3} + u_{7}; & u_{20} = U_{36} - 2X - u_{15}; \\ u_{9} = U_{32} + u_{3} + u_{4} + u_{8}; & u_{21} = U_{17} - 2X - u_{16}; \\ u_{10} = U_{43} + u_{4} + u_{5} + u_{9}; & u_{22} = U_{37} - 2X - u_{21}; \\ u_{11} = U_{14} - 2X + u_{6}; & u_{23} = U_{48} - 2X - u_{22}; \\ u_{12} = U_{24} + u_{6} + u_{7} + u_{11}; & u_{24} = U_{38} - 2X - u_{23}; \\ u_{25} = U_{39} - 3X. \end{array} \right)$$

Таким образом, применение рассмотренного метода позволяет получить уточненное по сравнению с исходным, изображение, разрешение которого увеличено в четыре раза.

# Влияние погрешностей взаимного расположения исходных МЧЭ на качество синтезируемого изображения

Необходимым условием реализации метода субпиксельного сканирования является наличие смещения d = 0.5 l между совместно обрабатываемыми чувствительными элементами матриц ПЗС, (1 – линейный размер фоточувствительного элемента (ФЧЭ) вдоль линии смещения). Как указывалось выше, такое смещение позволяет доопределять распределение яркости изображения, проецируемого на ФЧЭ, между двумя его равными частями. Логично ожидать, что появление погрешностей  $\Delta d$ , вызванных, например, несоблюдением допусков при изготовлении, или неточностью монтажа при сборке оборудования, будет влиять на качество синтезируемого изображения. Проиллюстрируем данное утверждение простым примером. Для упрощения анализа рассмотрим совместную работу двух пространственно разнесенных линеек фоточувствительных элементов (ЛФЧЭ) К и U, на которые, через оптическую систему специальной конструкции, проецируется одно общее изображение. Под ЛФЧЭ будем понимать совокупность одинаковых единичных фоточувствительных элементов, расположенных рядом друг с другом на общей оси х. При этом их рабочие поверхности лежат в одной плоскости и направлены в одну и ту же сторону.

Проецирование общего изображения на ЛФЧЭ эквивалентно случаю, когда положения данных приборов совпадают в плоскости проецирования.

Смещение одной из ЛФЧЭ относительно другой вдоль оси *x* на величину *d*, равную половине линейного размера *l* фоточувствительного элемента (рис. 5) позволяет сформировать систему, удовлетворяющую требованиям МСС.



Расчет совокупности значений  $\{u_i\}$  – величин, соответствующих интегральной яркости последовательности виртуальных ФЧЭ выполняется с помощью системы уравнений (3). В качестве коэффициентов уравнений используются значения исходных сигналов  $k_{i \text{ исх}}$  и  $U_{i \text{ исх}}$  построенной системы ЛФЧЭ. Под исходными понимаются значения сигналов, снятые с выходов матриц в исходном состоянии, когда ошибка  $\Delta d$  отсутствует.

$$u_{1 \mu cx} = x;$$

$$u_{2 \mu cx} = k_{1 \mu cx} - x;$$

$$u_{3 \mu cx} = U_{1 \mu cx} - k_{1 \mu cx} + x;$$

$$u_{4 \mu cx} = -U_{1 \mu cx} + (k_{1 \mu cx} + k_{2 \mu cx}) - x;$$

$$u_{5 \mu cx} = (U_{1 \mu cx} + U_{2 \mu cx}) - (k_{1 \mu cx} + k_{2 \mu cx}) + x;$$

$$u_{6 \mu cx} = -(U_{1 \mu cx} + U_{2 \mu cx}) + (k_{1 \mu cx} + k_{2 \mu cx} + k_{3 \mu cx}) - x;$$
(3)

Пусть теперь величина *d* имеет погрешность  $\Delta d$  и отсчитывается относительно матрицы *U*. Смещенной будем считать МФЧЭ *K*. В этом случае в системе (3) измеренные значения  $U_i$  являются исходными, а измеренные значения  $k_i$ отличаются от исходных на величину  $\Delta k_i = f(\Delta d, I)$ , где *I* – яркость светового потока, приходящаяся на  $\Delta k_i$ . Т. е. можно записать выражение  $k_i = k_{i \text{ исх}} + \Delta k_i - \Delta k_{i+1}$ . Соответственно,  $k_{i \text{ исх}} = k_i - \Delta k_i + \Delta k_{i+1}$ , и система (3) имеет вид:

$$u_{1} = x + \Delta k_{1\mucx};$$

$$u_{2} = k_{1\mucx} + \Delta k_{2\mucx} - u_{1};$$

$$u_{3} = U_{1\mucx} - k_{1\mucx} - \Delta k_{2\mucx} + u_{1};$$

$$u_{4} = -U_{1\mucx} + (k_{1\mucx} + k_{2\mucx}) + \Delta k_{3\mucx} - u_{1};$$

$$u_{5} = (U_{1\mucx} + U_{2\mucx}) - (k_{1\mucx} + k_{2\mucx}) - \Delta k_{3\mucx} + u_{1};$$

$$u_{6} = -(U_{1\mucx} + U_{2\mucx}) + (k_{1\mucx} + k_{2\mucx} + k_{3\mucx}) + \Delta k_{4\mucx} - u_{1};$$
(4)

После подстановки  $k_{i \text{ исх}}$  в систему (4), в уравнениях системы появляется дополнительные элементы  $\pm \Delta k_i \mp 2\Delta k_1$  или  $\mp (\Delta k_i - 2\Delta k_1)$ , определяющих величину абсолютной погрешности или отличия  $U_{i-1}$ ,  $U_i$  и  $U_{i+1}$ . Для четных значений *i* значение погрешности берется со знаком «-», для нечетных – со знаком «+». Т. е. наличие ошибки  $\Delta d$  приводит к перераспределению яркости между элементами изображения. Данное перераспределение носит периодический характер: чередуются элементы, яркость которых возрастает относительной яркости соответствующих элементов исходного изображения и элементы, яркость которых уменьшается. Величина изменения определяется взаимным соотношением величин  $\Delta k_i$  и  $\Delta k_1$ . На рис. 6. приведен пример такой трансформации для случая, когда  $\Delta k_i = \Delta k_1$ , т.е. исходное изображение является равномерно освещенным фоном (цифры внизу рисунка – порядковые номера элементов в последовательности).



Рис. 6. Перераспределение яркости в линейке ФЧЭ

Система (3) в данном случае отличается от системы (4) наличием одинаковых по модулю значений ошибок  $\Delta k_1$ , знаки которых чередуются от элемента к элементу. Соответственно, после обработки, равномерный фон трансформируется в изображение, состоящее из двух чередующихся последовательностей разной яркости. С ростом величины ошибок контраст между последовательностями увеличивается (рис. 6, б).

Подобным образом ведет себя и двумерное изображение, синтезированное с помощью МСС. Это подтверждают результаты моделирования, приведенные ниже.

Целью моделирования являлась количественная оценка степени влияния  $\Delta d$  на качество синтезируемого изображения. При этом задавались следующие условия эксперимента:

- а) взаимное расположение рабочих МФЧЭ (на рис. 7 они обозначены как *G*, *B*, *W* и *R*) удовлетворяет требованиям МСС;
- б) ошибки смещения ∆d<sub>ij</sub> рассматриваются только для пар матриц *R*−*B*, *B*−*G*, *W*−*G*, *R*−*W* и только в направлениях, указанных на рисунке стрелками.



Рис. 7. Взаимное расположение рабочих МФЧЭ

В качестве исходного, «аналогового», проецируемого на вход оптической системы, было выбрано изображение размерностью 1600×1600 точек, информация о яркости которых сохранялась в виде массива М1 такой же размерности (рис. 2, а). Размерность рабочих МФЧЭ задавалась размерностью 100×100 элементов. Выходные сигналы ФЧЭ формировались модернизацией, разбиением и усреднением данных массива М1. Под модернизацией понималось создание на основе *M*1 четырех массивом *M*1\_1, *M*1\_2, *M*1\_3, *M*1\_4 такой же размерности. При этом массив  $M1_1$ , соответствующий матрице R, полностью совпадал с M1, а в остальных данные из M1 без изменений сдвигались на d=8 позиций, в каждом случае – в своем направлении. В массиве M1\_2 – матрица W – данные сдвигались вправо, в массиве M1\_3 – матрица В – вниз, в массиве M1\_4 – матрица G – вправо и вниз. При этом в освободившиеся позиции заносились значения «0». Все полученные массивы разбивались на совокупность ячеек размерностью 16×16 и для каждой ячейки вычислялось среднее значение для входивших в нее элементов. Таким образом, из массива M1 размерностью 1600×1600 формировались массивы  $M1_1_1$ ,  $M1_1_2$ ,  $M1_1_3$  и  $M1_1_4$ , размерностью 100×100, имитирующие выходные сигналы рабочих МФЧЭ (рис. 2, б). Далее, на основе имеющихся данных, решалась задача синтеза нового изображения в соответствии с алгоритмом МСС. Размерность нового изображения составляла уже 200×200 элементов, а разрешение – в двое больше, чем разрешения исходных цифровых (рис. 2, в).

Ошибки смещения  $\Delta d_{B-G}$ ,  $\Delta d_{W-G}$ ,  $\Delta d_{R-W}$ ,  $\Delta d_{R-B}$  вносились в модель изменением величины смещения d при формировании массивов  $M1_1$ ,  $M1_2$ ,  $M1_3$  и  $M1_4$ . Визуально влияние таких ошибок проявляется в виде искажений, появляещихся на синтезируемом изображении (рис. 8).



Рис. 8. Искажение синтезируемого изображения под влиянием погрешностей взаимного расположения исходных МЧЭ

С ростом величин ошибок степень деформации изображения возрастает. При этом подтверждается предсказанное выше свойство такого искажения: происходит перераспределение яркости между соседними элементами изображения, носящее циклический характер.

#### Выводы

Результаты математических расчетов и моделирования показали, что погрешности во взаимном расположении чувствительных матриц цифровых фотои видеосистем, реализующих МСС, оказывают существенное влияние на качество формируемых изображений. Наличие таких погрешностей приводит к циклическому перераспределению значений яркости между соседними ФЧЭ в синтезируемом изображении, увеличивая яркость одних и уменьшая – других, относительно истинных значений.

Данный вопрос требует дополнительного изучения, а результаты исследований должны учитываться при разработке, конструировании и изготовлении аппаратуры видеоконтроля, видеонаблюдения и других оптико-электронных систем, связанных с получением и обработкой изображений. Необходимы специальные меры по устранению или снижению степени влияния ошибок смещения, такие как дополнительный метрологический и допусковый контроль при изготовлении аппаратуры, а также модернизация алгоритмов МСС таким образом, чтобы они учитывали возможное наличие ошибок с последующей их компенсацию.

## Литература

1. Козлов В. Л., Васильчук А.С. Субпиксельная обработка изображений для измерения дальности на основе цифровой фотокамеры // Приборы и методы измерений. 2012. № 1 (4). С. 115-120.

2. Блажевич С. И., Винтаев В. Н., Ушаков Н. Н. Синтез космического изображения с улучшенной разрешающей способностью на основе субпиксельного сканирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. № 7. Вып. 2. С. 9-13.

3. Блажевич С. И., Силютина Е. С. Синтез матрицы двумерного изображения со сверхразрешением // Научные ведомости. 2012. № 23 (142). С. 43-53.

4. Попов М. А., Станкевич С. А., Шкляр С. В Алгоритм повышения разрешения субпиксельно смещенных изображений // Математичні машини і системи, 2015. № 1. С. 29-36.

#### References

1. Kozlov V. L., Vasilchuk A. S. Subpikselnaia obrabotka izobrazhenii dlia izmerenia dalnosti na osnove tsifrovoi fotokameri [Sub pixel image processing for distance measurement on the base of digital camera]. *Pribory i metody izmerenij*, 2012, vol. 4, no 1, pp. 115-120.

2. Blazhevich S. V., Vintaev V. N. Ushakova N. N. Sintez kosmicheskogo izobragenia s uluchshenoi razreshaushchei sposobnostu na osnove subpikselnogo skanirovania [Image synthesis with enhanced resolution on the basis of subpixel scanning]. *Sovremennie problemi listancionnogo zondirovania Zemli iz kosmosa*, 2010, no. 7, pp. 9-13.

3. Blazhevich S. V., Selyutina E. S. Sintez matrici dvumernogo izobragenia so sverhrazrecheniem [Synthesis metods of two-demensional image matrix with superresolution]. *Nauchnie vedomosti*, 2012, vol. 142, no. 23, pp. 43-53.

4. Popov M A., Stankevich S.A., Shkliar S.V. Algoritm povishenia razreshenia subpikselno smeshonnih izobragenii. *Matematichni mashini i sistemi*, 2015, no. 1, pp. 29-36.

#### Информация об авторах

*Артюшкин Андрей Борисович* – кандидат технических наук. Военнокосмическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: обработка изображений, моделирование радиотехнических систем.

*Матасов Юрий Федорович* – кандидат технических наук. Военнокосмическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: мониторинг информационных ресурсов; сбор и обработка информации.

Пантенков Александр Павлович. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов, системы связи.

Адрес: 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13.

## Quality of synthesized images taking into account a accuracy of mutual arrangement of photomatrix in a sub-pixel scanning device

A. B. Artjushkin, J. F. Matasov, A. P. Pantenkov

Actuality. Electronic optical equipment has insufficient capability. Therefore, the increase in such capability as optical resolution is an actual topic of research. The methods of increasing the resolution of optical equipment are based on the use of several photomatrix, so the accuracy of the mutual arrangement of photomatrix requires an increase. The aim of the article is to study the influence of accuracy of the mutual arrangement of photomatrix on quality of synthesized images, taking into account the methods of sub-pixel scanning. Result. The solution of the problem is based on model of image synthesis. The input parameter of the model is the accuracy of the mutual arrangement of photomatrix, and output parameter is the image as a result of synthesis process. Quality of image is assessed in a visual way. Mathematical expressions that take into account the accuracy of the mutual arrangement of photomatrix for two-dimensional images are the novelty of the article. Practical significance. The model, which is obtained in the article, allows substantiating the ways to improve the quality of images for optical equipment, which depend on the accuracy of the mutual arrangement of photomatrix.

*Key words:* vision inspection, sub-pixel scanning, a photosensitive element, a charge-coupled device, error offset, pixel.

## **Information about Authors**

*Andrej Borisovich Artjushkin* – Ph.D. of Engineering Sciences. Mozhaysky Military Space Academy. Field of research: image processing, models of the radio-technical communication components.

*Jurii Feodorovich Matasov* – Ph.D. of Engineering Sciences. Mozhaysky Military Space Academy. Field of research: information monitoring; data acquisition.

Aleksandr Pavlovich Pantenkov. Mozhaysky Military Space Academy. Field of research: digital signal processing, communication systems.

Address: Russia, 197198, Saint Petersburg, Zjdanovskaya ulica, 13.