

## Алгоритм сглаживания увеличенного изображения в тракте видеообработки цифрового прибора наблюдения

А. А. Голицын, М. Ю. Цивинский

*Обосновывается необходимость реализации в цифровых приборах наблюдения и прицелах алгоритма сглаживания изображения при его электронном увеличении. Приводятся примеры, поясняющие преимущества сглаженного изображения по сравнению с пикселизованным. Эффективность увеличения изображения методом интерполяции подтверждена экспериментально.*

*Ключевые слова:* цифровое увеличение, интерполяция, обработка изображений, цифровой прицел.

### Введение

Одной из задач разработки новых электронных приборов наблюдения, систем прицеливания и наведения оружия, к которым относятся цифровые прицелы [1], тепловизионные прицелы [2] и приборы на их основе, является повышение комфортности наблюдения в указанные приборы.

Для удобства наблюдения и прицеливания в приборе может быть реализована функция электронного масштабирования изображения. Традиционно электронное увеличение применяется в тепловизионных приборах наблюдения, для того чтобы «растянуть» получаемое с фотоприемной матрицы изображение на дисплей, обладающий большим, по сравнению с фотоприемной матрицей, разрешением. Но даже если фотоприемник имеет сопоставимое или избыточное по сравнению с дисплеем разрешение [3], в электронном масштабировании может возникнуть необходимость для увеличения точности прицеливания по малоразмерным объектам в условиях, когда отсутствует необходимость в широком поле зрения.

Целью работы являлось обоснование преимуществ применения алгоритма сглаживания увеличенного электронным способом изображения, выбор конкретного алгоритма и его реализация в тракте видеообработки реального прибора наблюдения или прицела.

### Недостатки увеличения изображения путем дублирования пикселей

Обычно для экономии вычислительных ресурсов прибора и из соображений простоты описания алгоритма на языках программирования, при реализации электронного увеличения применяется алгоритм дублирования пикселей изображения. Такой способ увеличения изображения имеет два недостатка. Первый недостаток заключается в том, что увеличенные изображения наблюдаемых объектов оказываются сильно пикселизованными, а диагональные границы наблюдаемых объектов оказываются ступенчатыми или зубчатыми. Второй недостаток заключается в том, что при наблюдении малоразмерных объектов, исходное изображение которых занимает не более 10 пикселей в ширину или высоту, при наведении на них прицельного знака или в случае их самостоятельного движения по сцене происходит изменение формы этих объектов, а их контуры начинают мерцать [4].

Мерцание контуров малоразмерных объектов в момент движения обусловлено постоянно меняющейся формой их изображений. В свою очередь, причина изменения формы объектов заключается в том, что интенсивность яркости каждого пикселя изображения зависит от соотношения площадей ярких и темных частей объектов, которые на этот пиксель попадают. В качестве примера на рис. 1 продемонстрировано формирование двух разных пикселизованных изображений одного и того же объекта в зависимости от расположения относительно пикселей фотоприемника. Для упрощения показано формирование изображения однотонного объекта. Формы реальных объектов, изображения которых состоят из полутонов, при пикселизации оказываются еще более зависимыми от взаимного расположения изобра-

---

Голицын Александр Андреевич, старший инженер-электроник.

Цивинский Михаил Юрьевич, ведущий инженер.  
Филиал ИФП СО РАН «КТИПМ».

Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика  
Лаврентьева, 2/1.

E-mail: aag-09@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 29 апреля 2017 г.

---

© Голицын А. А., Цивинский М. Ю., 2017

жений объектов и пикселей. Кроме того, на рис. 1 показано изменение формы при смещении по горизонтали. При смещении по вертикали или при одновременном смещении по вертикали и горизонтали происходят аналогичные эффекты.

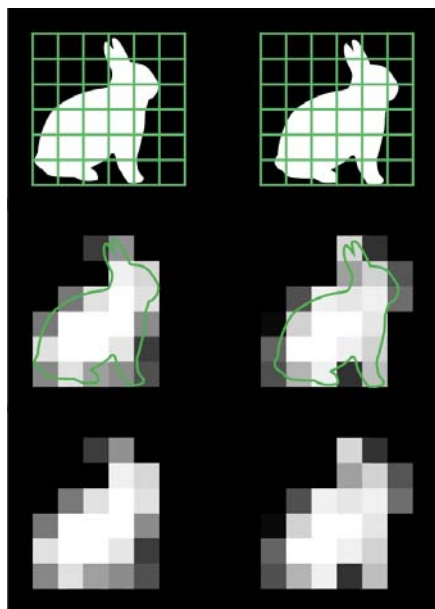


Рис. 1. Изменение формы малоразмерного объекта в зависимости от расположения его изображения на матрице фотоприемника.

При наблюдении увеличенного фрагмента изображения один реальный пиксель изображения занимает на дисплее прибора четыре, девять, шестнадцать и т. д. пикселей в зависимости от кратности электронного увеличения. Прицеливание же осуществляется с точностью одного дисплея, то есть фактически осуществляется субпиксельное позиционирование прицельного знака на изображении объекта. При использовании реальных приборов с функцией электронного увеличения, реализованной методом дублирования пикселей, нередко возникают случаи, когда прицельный знак наводится на некоторый пиксель изображения, занимающий за счет увеличения изображения несколько пикселей на дисплее прибора, и в этот момент времени пиксель «исчезает». В частности, подобный эффект наблюдался при испытаниях тепловизионного прицела для стрелкового оружия [5] и при испытаниях тепловизионных приборов наблюдения [6]. Связанно это с тем, что при перемещении прибора таким образом, чтобы прицельный знак переместился в пределах одного пикселя, фактически происходит смещение изображения на половину (треть, четверть и т. д. – в зависимости от кратности увеличения) пикселя, и группа из одного яркого и одного темного пикселя превращается в группу из двух пикселей со средней яркостью, как в примере, представленном на рис. 1.

### Применение интерполяции

Избежать проявления указанных эффектов помогает иной способ реализации электронного увеличения изображения. Вместо того чтобы дублировать исходные пиксели, следует дополнять изображение, помещая между исходными пикселями пиксели со значениями яркости, равными некоторым средним значениям яркостей соседних исходных пикселей. Подобная процедура хорошо известна в компьютерной графике и называется интерполяцией изображения [7]. В качестве способа расчета значений промежуточных пикселей был выбран метод билинейной интерполяции, описанный в [8, 9]. Метод был выбран как наиболее простой для реализации программным способом в уже существующем аппаратно-программном комплексе обработки изображений тепловизионного прибора наблюдения. Помимо него рассматривался метод бикубической интерполяции, также описанный в [8], но на этапе экспериментальной проверки метода билинейной интерполяции последний показал, что полностью удовлетворяет исходным требованиям, т. е. позволяет устранить мерцание контуров малоразмерных объектов и визуально улучшает их изображения. По той причине, что метод билинейной интерполяции оказался достаточным для решения поставленной задачи, метод бикубической интерполяции далее не реализовывался как более сложный с точки зрения написания программного кода для его реализации.

### Алгоритм расчета

Алгоритм расчета значений методом билинейной интерполяции сводится к следующим действиям. Сначала рассчитываются промежуточные значения крайних пикселей, располагающихся в первом и последнем столбцах будущего увеличенного фрагмента изображения, расположенного между четырех исходных пикселей:

$$R_{1,Y} \approx \frac{N - Y}{N} Q_{1,1} + \frac{Y}{N} Q_{1,N}$$

$$R_{N,Y} \approx \frac{N - Y}{N} Q_{N,1} + \frac{Y}{N} Q_{N,N}$$

Затем рассчитываются значения яркостей всех остальных промежуточных пикселей:

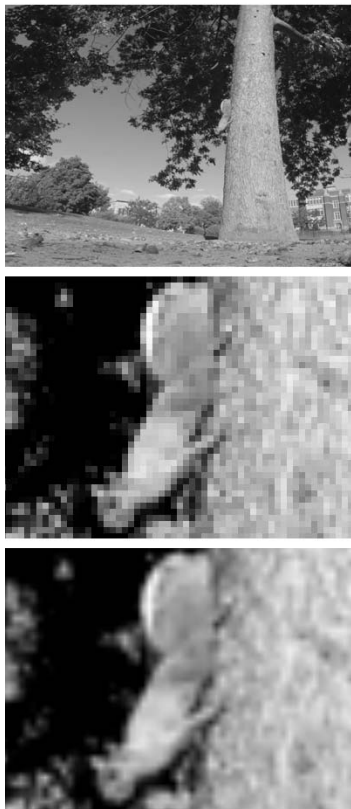
$$R_{X,Y} \approx \frac{N - X}{N} R_{1,Y} + \frac{X}{N} R_{N,Y}$$

где  $N = K + 1$  для кратности электронного увеличения равной  $K$ ,  $Y$  – порядковый номер строки от 1 до  $N - 1$ ,  $X$  – порядковый номер столбца от 1 до  $N - 1$ , а  $Q_{1,1}$ ,  $Q_{N,1}$ ,  $Q_{1,N}$  и  $Q_{N,N}$  – значения яркостей исход-

ных четырех пикселей, становящихся крайними для заполняемого квадрата изображения.

Порядок расчета значений по строкам или столбцам в общем случае не важен. Для программной реализации алгоритма в тракте получения и обработки изображений прибора наблюдения удобнее изначально рассчитать значения яркостей для пикселей, находящихся в крайних столбцах, а затем для всех остальных пикселей построчно, так как исходно организовано построчное чтение (запись) значений яркостей пикселей из модуля (в модуль) оперативной памяти прибора, что, в свою очередь, является оптимальным для построчного получения данных с фотоприемника.

На рис. 2 представлен пример увеличенного изображения в семь раз путем дублирования пикселей и с применением интерполяции.



*Рис. 2. Исходное изображение (верхний снимок) и результаты его увеличения в 7 раз: средний снимок – дублирование пикселей; нижний снимок – применение интерполяции.*

Экспериментально применение метода билинейной интерполяции при увеличении изображения электронным способом проверялось на тепловизионном прицеле [5]. Мерцание контуров малоразмерных объектов, увеличенных электронным способом указанным методом, при их движении в поле зрения прибора не наблюдалось. Положительный эффект по сравнению с методом дублирования пикселей изображения заключался в том, что за счет отсутствия мерцания контуров уменьшилось время наведения на прицельного знака на малоразмерные объекты. Положительный эффект по сравнению прицеливанием без использования электронного увеличения заключался в возможности прицеливания с субпиксельной точностью, что повысило точность и кучность стрельбы.

Примеры наблюдаемых тепловизионных изображений в прибор с фотоприемной матрицей  $640 \times 480 \times 17$  мкм через объектив с  $F = 225$  мм приведены на рис. 3. Слева представлено изображение человека на расстоянии около 50 метров без увеличения и с семикратным увеличением (дублирование и интерполяция). Справа представлено исходное изображение легкового автомобиля (в центре поля зрения) на расстоянии 4 км, расположенного на противоположном берегу озера, и изображение этого же автомобиля с одиннадцатикратным увеличением (дублирование и интерполяция). Следует отметить, что статичное изображение не дает полного представления о пользе применения алгоритма сглаживания, т. к. на рисунке и сглаженные, и пикселизованные изображения объектов выглядят примерно одинаковыми. В движении же малоразмерные пикселизованные объекты меняют свою форму за счет мерцания граничных пикселей, в то время как сглаженные изображения этих же объектов остаются неизменными.

Применение метода билинейной интерполяции оказывается полезным не только для прицельных комплексов, но и для приборов наблюдения, так как сглаженные изображения объектов являются более узнаваемыми по сравнению с пикселизованными.



**Рис. 3. Примеры наблюдаемых и увеличенных тепловизионных изображений. Пояснения в тексте.**

В процессе экспериментальной проверки также выявились две особенности применения электронного увеличения. Первая особенность заключается в том, что для повышения кучности стрельбы при использовании тепловизионного или цифрового прицела, кратность увеличения должна быть нечетной. Связанно это с тем, что при нечетном увеличении центром «увеличенного пикселя» изображения является пиксель дисплея, а при четном увеличении центром является граница между пикселями, и поэтому прицеливание осуществляется не в центр, а в смещенную точку. Вторая особенность заключается в том, что для увеличения необходимо выбирать такой фрагмент изображения, чтобы прицельный знак находился в его центре. В противном случае при относительно большом увеличении прицельный знак оказывается вне поля зрения оператора.

### Заключение

В работе предложен способ повышения комфортности наблюдения малоразмерных объектов в цифровой или тепловизионный прибор наблюдения. Показано, что при отсутствии необходимости широкопольного наблюдения применение электронного увеличения методом интерполяции позволяет при использовании прицела

наводить прицельный знак с субпиксельной точностью. Кроме того, за счет эффекта сглаживания не происходит самопроизвольного изменения контуров малоразмерных объектов при их движении в поле зрения, а сами объекты становятся более узнаваемыми, и наведение на них прицельного знака осуществляется за меньшее время.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Голицын А. А. // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. 2013. Вып. 7–8. С. 121.
2. Бутримов И. С., Голицын А. А. // Спецтехника и связь. 2014. № 5. С. 12.
3. Голицын А. А. // Спецтехника и связь. 2015. № 1. С. 17.
4. Голицын А. А., Цивинский М. Ю. / Труды XVI Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона», Новосибирск, 22–24 апреля 2015 г. (Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2015). С. 213.
5. Бутримов И. С., Ширяев А. Н., Голицын А. В., Голицын А. А. // Вестник Нижегородской академии МВД России. 2013. № 4. С. 40.
6. Голицын А. А., Голицын А. В., Журов Г. Е., Цивинский М. Ю., Чибурун С. Д., Яшина Т. В. // Оптический журнал. 2013. Т. 80. № 6. С. 8.
7. Вельтмандер П. В. Машинная графика. Основные алгоритмы. Книга 2. – Новосибирск: НГУ, 1997.
8. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. – М.: Мир, 1987.
9. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику: Учеб. пособие: для вузов. – М.: Изд-во Моск. Физ.-техн. ин-та, 1994.

## The algorithm for smoothing the enlarged image in the video processing path of the digital surveillance device

*A. A. Golitsyn and M. Y. Tsivinsky*

Design and Technology Institute of Applied Microelectronics,  
a Branch of the Institute of Semiconductor Physics  
2/1, Lavrentev av., Novosibirsk, 630090, Russia  
E-mail: aag-09@yandex.ru

*Received April 29, 2017*

***The paper justifies the need to apply smoothing algorithm for digitally enlarged images in digital sights and digital surveillance devices. The example explaining the advantages of smoothed image over the pixelized one is given. The efficiency of image enlarging by its interpolation is confirmed in practice.***

*Keywords:* digital enlarging, interpolation, image processing, digital sight.

### REFERENCES

1. A. A. Golitsyn, *Voprosy Objronnoi Tekhniki*. Ser. 16, No. 7–8, 121 (1993).
2. I. S. Butrimov and A. A. Golitsyn, *Spetstekhnika i Svyaz*, No. 5, 12 (2014).
3. A. A. Golitsyn, *Spetstekhnika i Svyaz*. No. 1, 17 (2015).
4. A. A. Golitsyn and M. Y. Tsivinsky, in *Proc.Conf. Nauka Promyshlennost Oborona* (Novosibirsk, 2015), pp. 213–216.
5. I. S. Butrimov, A. N. Shirjaev, A. V. Golitsyn, and A. A. Golitsyn, *Vestnik MVD*, No. 4, 40 (2013).
6. A. A. Golitsyn, A. V. Golitsyn, G. E. Zhurov, M. Y. Tsivinskii, S. D. Chiburun, and T. V. Yashina, *Journal of Optical Technology*. **80**, 355 (2013).
7. P. V. Veltmander, *Computer Graphics, Main Algorithms, Part 2* (NSU, Novosibirsk, 1997) [in Russian].
8. N. S. Bahvalov, N. P. Zhidkov, and G. M. Kovelkov, *Numerical Methods* (Mir, Moscow, 1987) [in Russian].
9. R. P. Fedorenko, *Introduction to Computational Physics, Textbook for High Schools* (MFTI, Moscow, 1994) [in Russian].