

УДК 004.9:532.574

А.Е. МОЧАЛИН

Донбасский государственный технический университет, Украина

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБРАБОТКИ ТРАССЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГОРИТМА ПОРОГОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Предложен новый метод устранения шума с цифровых трассерных изображений, основанный на поиске пороговой интенсивности – такого значения яркости, которое могут иметь пиксели, равновероятно принадлежащие как шуму, так и частицам. Метод позволяет значительно улучшить качество трассерных кадров даже в тех случаях, когда диапазоны яркости шума, фона и изображений трассеров перекрываются. Его использование может повысить надежность компьютерных алгоритмов обработки цифровых трассерных кадров, так как их точность напрямую зависит от качества входных изображений, которые практически всегда содержат в себе шум.

Ключевые слова: трассерное изображение, надежность, гарантоспособность, шум, закон распределения, регрессия.

1. Характеристика проблемы

В середине XV века для исследования течения воды Леонардо Да Винчи использовал следующую методику: он добавлял в водоем маленькие частички и следил за их движением. Данный опыт можно отнести к первым попыткам использования методов трассерной визуализации, суть которых сводится к тому, что в поток жидкости или газа добавляют маленькие частички (трассеры) и наблюдают за их перемещением в потоках. На ранних этапах трассерную визуализацию использовали для определения качественных характеристик течений [1].

С развитием цифровой и компьютерной техники стала возможна регистрация изображений потоков, содержащих трассеры – цифровых трассерных кадров. Это привело к появлению информационных технологий обработки трассерных изображений [2, 3], которые позволяют по двум кадрам определить двумерное распределение скорости в изучаемом потоке, его качественные и количественные характеристики. Информационная технология обработки трассерного изображения включает в себя метод обработки изображения, алгоритм, реализующий заданный метод, и соответствующее программное обеспечение.

Если на заре становления методов трассерной визуализации, они в основном использовались в фундаментальных научных исследованиях, то сейчас дело обстоит иначе. В настоящее время растет число практических применений данных технологий [4]. Например, в медицине данный метод используется для изучения движения воздуха в верх-

них дыхательных путях человека, в химической инженерии и биотехнологиях – для изучения микрофлюидных потоков, в авиаконструировании – для изучения движения газов на выходе из двигателя, и это далеко не все области применения [5].

Такие направления как медицина и авиаконструирование относят к критическим областям применения вычислительных средств [6]. Следовательно, программное обеспечение, входящие в состав информационных технологий обработки трассерных изображений и используемое в вышеуказанных отраслях, должно обладать некоторой степенью гарантоспособности. Под гарантоспособностью понимается комплексное свойство системы предоставлять требуемые услуги, которым можно доверять [7, 8].

К числу первичных свойств гарантоспособности относят надежность – свойство систем, машин, аппаратуры и программ выполнять возложенные на неё функции в заданных условиях эксплуатации с заданными показателями качества, достоверностью результатов, пропускной способностью, временем работы и т.д. при сохранении значений основных параметров в установленных пределах.

Одним из главных критериев оценки качества работы алгоритмов, используемых в методах трассерной визуализации, является точность определения векторов перемещения. Она напрямую зависит от качества входных изображений, которые в свою очередь довольно часто могут содержать шум. Источниками шума на цифровом изображении могут быть различные факторы: плохая освещенность потока, несовершенство фотосенсора регистрирующей камеры и т.д.

Целью данного исследования является разработка метода устранения шума на цифровых трассерных изображениях, а следовательно и повышение надежности программного обеспечения используемого в методах трассерной визуализации.

2. Алгоритм компьютерной фильтрации цифровых трассерных изображений

Рассмотрим диаграмму распределения числа пикселей по интенсивности (рис. 1 а) реального зашумленного трассерного изображения (рис. 1 б). Мы можем наблюдать, что на диаграмме (рис. 1 а) отсутствуют три четко выраженных максимума, обусловленных шумом, фоном и частицами. Это связано с тем, что диапазоны яркости фона и шума могут перекрываться, а сигнальный пик может поглощаться из-за относительно небольшого числа пикселей, соответствующих частицам.

Идея разрабатываемого метода борьбы с шумом состоит в обнаружении порогового значения интенсивности. Пороговая интенсивность – значение яркости, которую могут иметь пиксели, равновероятно принадлежащие как шуму, так и трассерам. Все пиксели, которые имеют яркость выше пороговой, а так же соседствующие с ними пиксели, считаются изображениями трассеров. Это обусловлено тем, что одна частица на изображении чаще всего занимает несколько пикселей, ее яркость неравномерна: в центре частица имеет наибольшую яркость, а по бокам яркость падает. Следовательно, с достаточной высокой степенью вероятности можно утверждать, что пиксель, соседствующий с пикселем, яркость которого выше пороговой, так же принадлежит изображению трассера. Оставшаяся часть кадра содержит в себе фон и шум.

Для разделения фона, шума и сигнала и последующего определения пороговой интенсивности будем последовательно подбирать законы распределения яркости по пикселям фона, шума и сигнала.

Относительная частота появления на кадре пикселя с заданной яркостью задается выражением:

$$W(I_j) = \frac{n_j}{N}, \quad (1)$$

где n_j - количество пикселей с яркостью I_j ;

N – общее количество пикселей на изображении.

По формуле (1) можно от исходной диаграммы распределения пикселей по интенсивностям определить относительные частоты появления пикселей с каждым из значений яркости ($I = 0, 1 \dots 255$) (рис. 2 а). Первый от начала массива $W = [w_j]_{j=0,1 \dots 255}$, пик будет, в основном, обусловлен пикселями фона и шума. Соответствующее ему

значение яркости будем обозначать I_{m1} . Следующий, в направлении увеличения яркости, пик может быть обусловлен либо шумом, либо сигналом (изображениями частиц). Отвечающую ему яркость будем обозначать I_{m2} . Исходные значения I_{m1}, I_{m2} отмечены на рис. 2 а.

Первой задачей является подбор выражения для функции распределения вероятных значений интенсивности пикселей фона. Для этого будем использовать регрессию на основе имеющихся значений относительных частот W . В качестве функции регрессии примем выражение нормального закона распределения (кривой Гаусса), имеющего следующий вид:

$$f_1(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s_1} \exp\left[-\frac{(I-a_1)^2}{2s_1^2}\right], \quad (2)$$

где a_1, s_1 – параметры распределения, имеющие смысл математического ожидания и среднеквадратичного отклонения.

Далее необходимо определить интервал, на котором будет осуществляться регрессия. Для фона в качестве начальной точки интервала регрессии примем $I_{b0} = 0$. Конечную точку интервала определим по формуле

$$I_{b1} = \frac{I_{m1} + I_{m2}}{2}. \quad (3)$$

При отсутствии на исходной диаграмме второго пика (фон сливается с шумом и подавляют сигнал) вместо I_{m2} в формуле (3) можно использовать значение максимальной яркости – $I = 255$.

Регрессию будем проводить по методу наименьших квадратов. При использовании итерационной процедуры, в качестве начального приближения параметров a_1, s_1 кривой регрессии примем I_{m1} и $(I_{b1} - I_{m1})$ соответственно.

Получив функцию распределения $f_1(I)$ (рис. 2 б), мы можем определить аппроксимированное значение числа пикселей фона, имеющих каждое из значений яркости I_j :

$$n_{j1} = f_1(I_j) \cdot N. \quad (4)$$

После этого убираем аппроксимированный фон из рассмотрения. Для этого вычтем из исходной диаграммы распределения пикселей по яркостям значения, определяемые выражением (4), следующим образом:

$$n_j^1 = \begin{cases} 0 & (n_{j1} \geq n_j); \\ n_j - n_{j1} & (n_{j1} < n_j), \end{cases} \quad (j = 0, 1 \dots 255). \quad (5)$$

Теперь снова перейдем к вероятностным характеристикам появления пикселей заданной яркости,

используя формулу 1, где вместо n_j, N берем значения n_j^1 и $N_1 = \sum_{j=0}^{255} n_j^1$. Полученное распределение

относительных частот представлено на рис. 3 а. Здесь, в данном случае, мы видим три пика: первый и второй обусловлены остаточным фоном и шумом, а третий – сигналом.

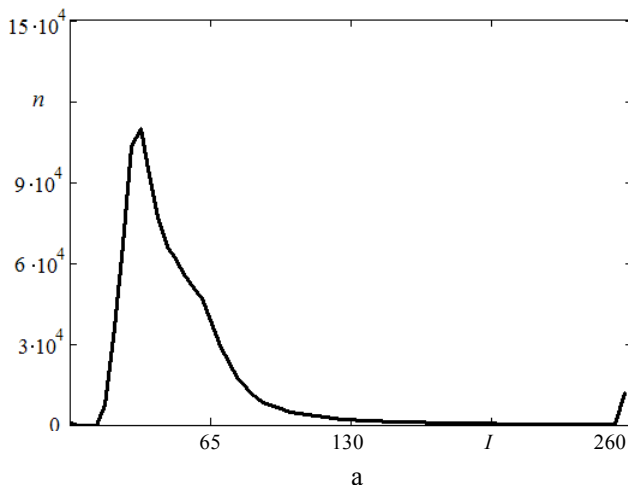
Повторяем описанные выше действия до тех пор, пока не приходим к распределению вида, представленного на рис. 3 б, с одним сигнальным пиком, соответствующим значению I_{mp} .

В качестве функции регрессии для вероятности появления пикселей сигнала с различными значениями интенсивности также примем выражение нормального закона:

$$f_p(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s_p} \exp\left[-\frac{(I - a_p)^2}{2s_p^2}\right], \quad (6)$$

где a_p, s_p – подходящие значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения.

Границы интервала регрессии определим на основе следующих выражений:



$$I_{p0} = I_{mp} - \max\left(60, \frac{255 - I_{mp}}{2}\right), \quad I_{p1} = 255. \quad (7)$$

Определив на основе регрессии математическое ожидание нормального распределения по яркостям пикселей шума a_1 и изображения частиц a_p , а так же среднеквадратические отклонения – s_1 и s_p , мы можем рассчитать пороговую интенсивность. Для этого необходимо решить следующие уравнение:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}s_1} \exp\left[-\frac{(x - a_1)^2}{2s_1^2}\right] - \frac{1}{\sqrt{2\pi}s_p} \exp\left[-\frac{(x - a_p)^2}{2s_p^2}\right] = 0. \quad (8)$$

Найденный корень $x = I^*$ уравнения (8) и будет искомым значением пороговой интенсивности, так как пиксели, имеющие яркость I^* , могут равновероятно принадлежать и шуму и трассерам.

Фрагмент отфильтрованного изображения, соответствующий рис. 1 б, представлен на рис. 4.

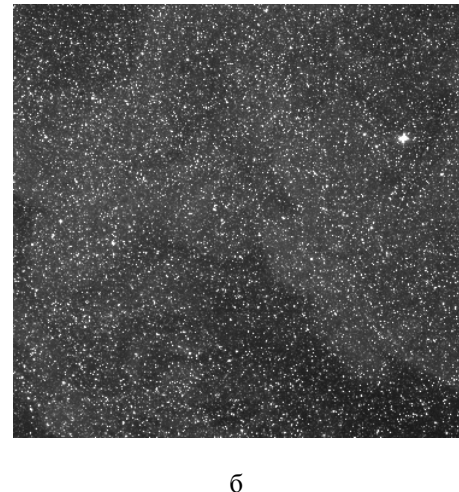


Рис. 1. Распределение числа пикселей по интенсивности (а), фрагмента реального трассерного изображения (б)

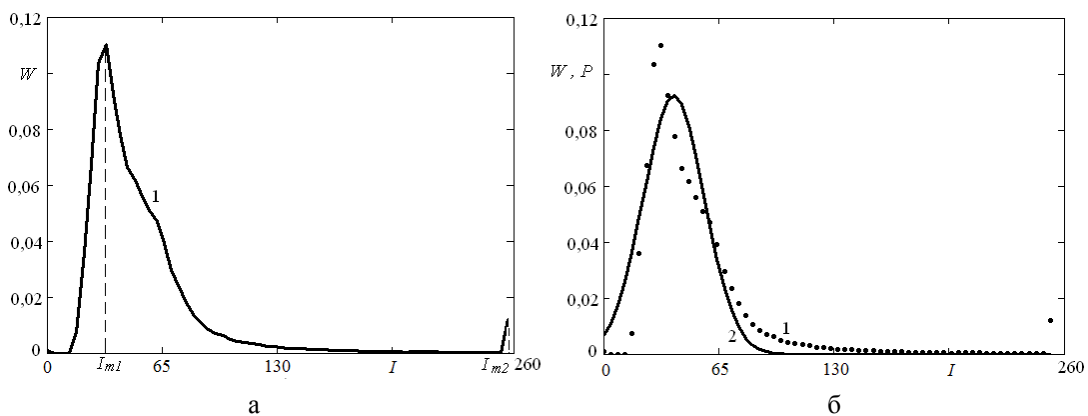


Рис. 2. График зависимости относительных частот пикселей от значений яркости (а) и аппроксимирующее распределение вероятных значений интенсивности пикселей фона (б): 1 – $W(I)$; 2 – $P(I) = f_1(I)$

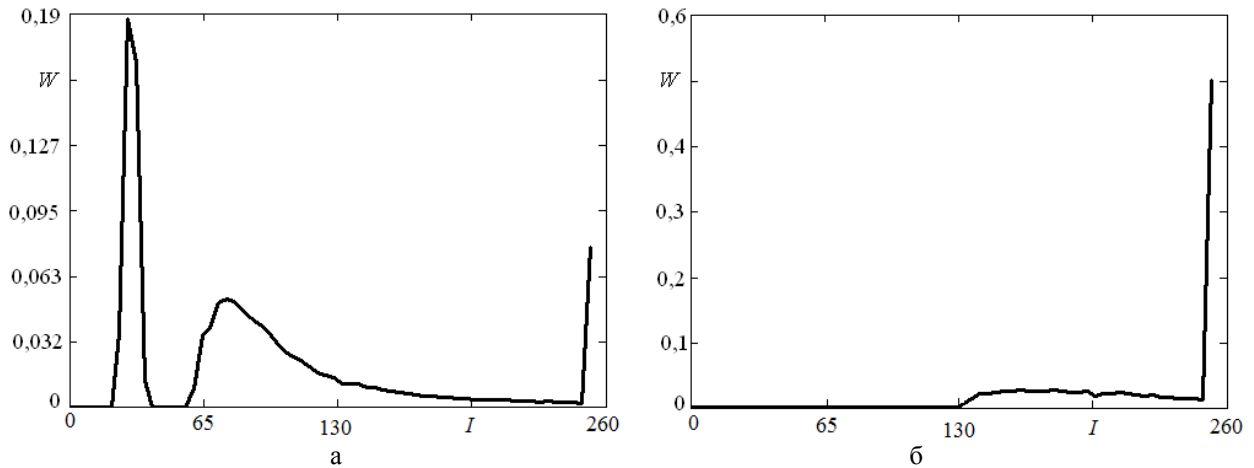


Рис. 3. График распределения по яркостям относительных частот появления пикселей сигнала с остаточным фоном и шумом на второй (а) и последней (б) итерации

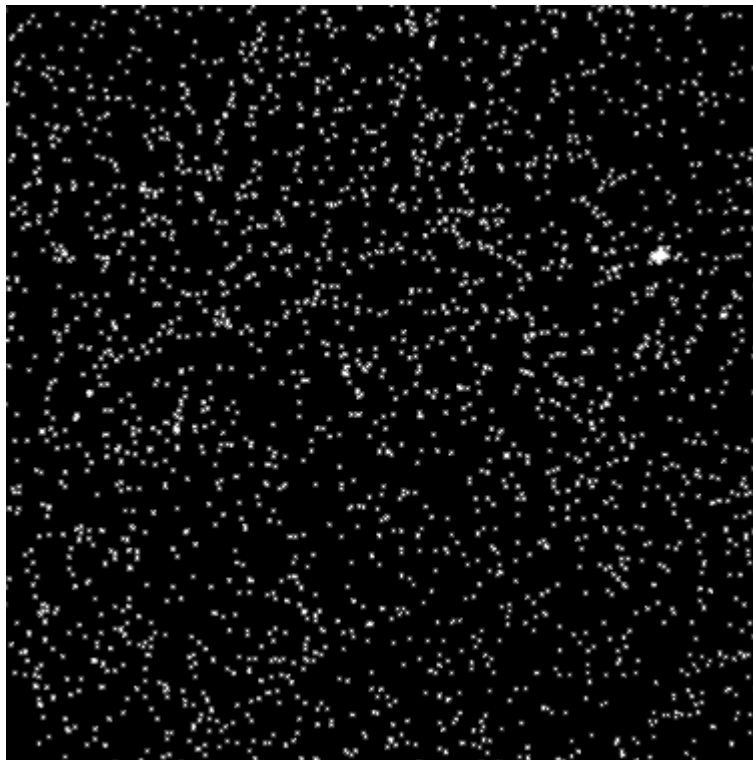


Рис. 4. Фрагмент отфильтрованного трассерного изображения

Выводы

В настоящее время информационные технологии обработки цифровых трассерных изображений используются в таких критических областях как медицина и авиоконструирование. Следовательно, они должны обладать основными свойствами, присущими гарантоспособным систем, одним из которых является надежность.

Довольно часто зашумленность трассерных кадров оказывает негативное влияние на точность компьютерных алгоритмов обработки изображений трассеров, что приводит к уменьшению надежности

информационных технологий, использующих данные алгоритмы. Источники шума могут быть самыми разными и избавиться от них полностью практически невозможно.

Для подавления шума на изображении можно использовать специальные компьютерные алгоритмы. Один из таких алгоритмов представлен в настоящей работе. Идея предложенного метода борьбы с шумом состоит в обнаружении порогового значения интенсивности, т.е. такого значения яркости, которую могут иметь пиксели, равновероятно принадлежащие как шуму, так и трассерам. Данный алгоритм шумоподавления можно использовать даже в тех случаях,

когда сигнальный пик поглощен шумом и диапазоны яркости пикселей, соответствующих фону, шуму и сигналу сильно перекрываются.

Литература

1. Хавахнашева, Е.М. Поля скоростей турбулентных пульсаций при малых добавках к воде высокомолекулярных веществ [Текст] / Е.М. Хавахнашева, Б.В. Перепелица // Инженерный физический журнал. – 1968. – Т 14, № 4. – С. 598.
2. Мочалин, О.Є. Розвиток інформаційних технологій обробки цифрових трасерних зображень [Текст] / О.Є. Мочалин, С.В. Гонтовий // Наукові праці. Сер. Комп'ютерні технології. – 2011. – Вип. 130, Т 143. – С. 88 – 93.
3. Мочалин, А.Е. Информационная технология трасерной визуализации, основанная на оптимизации реконструированного изображения [Текст] / А.Е. Мочалин // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 4. – С. 174 – 178.
4. Particle Image Velocimetry. A practical guide [Text] / M. Raffel, C.E. Willert, S.T. Wereley, J. Kompenhans. – Springer, 2007. – 448 p.
5. Adrian, R.J. Twenty years of particle image velocimetry [Текст] / R.J. Adrian // Exp. Fluids. – 2005. – Vol. 39. – P. 159 – 169.
6. Теслер, Г.С. Концепция построения гарантоспособных вычислительных систем [Текст] / Г.С. Теслер // Математичні машини і системи. – 2006. – № 1. – С. 134 – 145.
7. Харченко, В.С. Парадигмы и принципы гарантоспособных вычислений: состояние и перспективы развития [Текст] / В.С. Харченко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 2. – С. 91 – 100.
8. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing [Text] / A. Avizienis, J.-C. Laprie, B. Randell, C. Landwehr // IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. – 2004. – Vol. 1, №1. – P. 11 – 13.

Поступила в редакцію 2.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. зав. каф. інженерії програмного забезпечення І.Б. Туркин, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБРОБКИ ТРАСЕРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ ПОРОГОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

О.Є. Мочалин

Запропоновано новий метод усунення шуму з цифрових трасерних зображень, заснований на пошуку порогової інтенсивності – такого значення яскравості, яке можуть мати пікселі, що рівномірно належать як шуму, так і часткам. Метод дозволяє значно поліпшити якість трасерних кадрів навіть у тих випадках, коли діапазони яскравості шуму, фону і зображень трасерів перекриваються. Його використання може підвищити надійність комп'ютерних алгоритмів обробки цифрових трасерних кадрів, оскільки їх точність безпосередньо залежить від якості вхідних зображень, які практично завжди містять у собі шум.

Ключові слова: трасерне зображення, надійність, гарантоздатність, шум, закон розподілу, регресія.

INCREASING THE RELIABILITY OF TRACER IMAGES PROCESSING SOFTWARE THROUGH THE USE OF ALGORITHM OF THRESHOLD FILTERING

A.Y. Mochalin

A new method for noise removing from digital tracer images is proposed. It is based on finding the threshold intensity – the brightness value, which may have the same probability of belonging to noise as well as to particles. The method allows one to significantly improve the quality of tracer frames even in cases of overlapping the brightness ranges of noise, background and particle images. Its use can improve the reliability of computer algorithms for processing digital tracer frames, because their accuracy depends on the quality of input images, which almost always contain the noise.

Key words: tracer image, reliability, dependability, noise, the distribution law, the regression.

Мочалин Александр Евгеньевич – аспирант каф. «Специализированные компьютерные системы», Донбасский государственный технический университет, Алчевск, Украина, email: Omigo@i.ua.