

УДК 621.397.7

А.А. Акифьев, Е.В. Зайцева, С.С. Замякин, А.Е. Максимов, И.Н. Пустынский

Исследование и проектирование сглаживающих фильтров в среде Scilab для подавления шумов в изображениях

Представлены возможности использования программного пакета Scilab для расчета характеристик систем активного зрения роботов и разработанные с его помощью функции сглаживающих фильтров для обработки изображений.

Ключевые слова: изображение, шум, зрение роботов, фильтр.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-4-157-160

При построении программно-аппаратного комплекса активного зрения роботов, способных к функционированию в неструктурированных средах в реальном времени, предполагаются разработка и реализация прецизионных высокопроизводительных методов и средств обработки и распознавания изображений. Одним из этапов такой обработки является сглаживание – одна из наиболее распространенных операций, применяемых при обработке и анализе видеoinформации для устранения помех. Большинство методов сглаживания одновременно приводят к размытию контуров в изображении, поэтому задачи поиска фильтров, которые при достаточно хорошем сглаживании обеспечивали бы сохранение контурных перепадов весьма актуальны. Такие исследования требуют использования программных средств моделирования, тестирования и отладки управляющих программ. Важными параметрами таких программ являются функциональные возможности, ресурсные ограничения, стоимость продукта, лицензионные ограничения, доступность литературы.

MatLab – один из старейших, тщательно проработанных и проверенных временем инженерных пакетов. Однако стоимость MatLab такова, что немногие образовательные и исследовательские учреждения могут позволить себе закупать его.

Scilab является некоммерческим аналогом системы автоматизации математических расчетов MatLab и бесплатным продуктом с открытым исходным кодом. Вычислительные возможности Scilab обеспечены приблизительно тысячью встроенных функций и вполне соответствуют системам компьютерной математики профессионального уровня. Scilab имеет схожий с MatLab интерфейс и синтаксис языка. Scilab можно рассматривать как облегченный вариант MatLab, который сохраняет его основные возможности [1, 2]. Пакет поддерживает основные элементарные и множество специальных функций, применяемых в математике и в инженерных расчетах. К примеру, функция Бесселя, которая используется в аналитическом выражении распределения яркости в кружке рассеяния безабберационного объектива.

SIVP является полезным, эффективным и бесплатным инструментом для обработки изображений и видеоданных для академических исследователей и работает как часть Scilab.

В данной статье авторы представляют разработку и исследование сглаживающего биномиально-го фильтра обработки изображений, предлагают аналитическую модель фильтра «степени двух» и его реализацию, а также «метод дополнения» как способ повышения качества фильтрации границ изображений.

Изображения в процессе формирования телевизионными измерительными системами обычно подвергаются воздействию различных случайных помех или шумов [3, 4].

Целью восстановления искаженного изображения является получение из него при помощи некоторой обработки изображения, которое близко к идеальному изображению по заданному критерию (рис. 1).

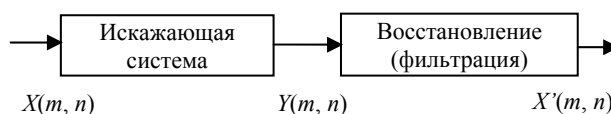


Рис. 1. Схема искажения и фильтрации: $X(m, n)$ – идеальное изображение; $Y(m, n)$ – искаженное изображение; $X'(m, n)$ – восстановленное изображение

Коэффициенты фильтра представляют собой некоторые скалярные значения, на которые умножаются значения цветов пикселей из группы, соответствующей размеру фильтра. Обработка изображения с применением такого рода фильтров описывается следующей формулой [3]:

$$C_{\text{new}}[i][j] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} C_{\text{old}}[i - \frac{m}{2}][j - \frac{n}{2}],$$

где m и n – это константы фильтра, которые задают двумерный размер фильтра; a – коэффициенты фильтра, определяющие тот эффект, который накладывает фильтр.

Обычно фильтр с неотрицательными коэффициентами обладает сглаживающими свойствами [8–13]. Маски различных фильтров отличаются степенью сглаживания шумов. При увеличении степени сглаживания шумов происходит также подавление высокочастотной составляющей полезного изображения, что вызывает исчезновение мелких деталей и размазывание контуров.

В системе SIVP представлена функция реализации фильтра «Гaussиан»:

$$F_{\text{gauss}}(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}\right),$$

где σ – степень размытия изображения.

Функция биномиального фильтра в SIVP отсутствует. Биномиальные фильтры содержат значения дискретного биномиального распределения. Эти фильтры строятся с помощью последовательной свертки эквивалентно вычислительной схеме треугольника Паскаля (таблица) [14].

Схема треугольника Паскаля

R	f	Коэффициенты	σ^2
0	1	1	0
1	1/2	1 1	1/4
2	1/4	1 2 1	1/2
3	1/8	1 3 3 1	3/4
4	1/16	1 4 6 4 1	1

В таблице R – порядок бинома; f – масштабный множитель 2^{-R} ; σ^2 – дисперсия. Авторами реализован данный фильтр с возможностью задания размерности матрицы (алгоритм 1.1).

Алгоритм 1.1. Биномиальный фильтр

Входные параметры: переменная n – размерность матричного фильтра.

Результат функции: матричный фильтр заданной размерности.

Особенности: функция принимает только нечетное значение размерности, не превышающее 11. Коэффициент фильтра связан с размерностью.

Функция binom(n)

Если (~modulo(n,2)) тогда f="error";

Если нет(n<3) тогда f="error";

Если нет(n>11) then f="error";

Иначе

Цикл1 i=1:n

Если(i==1) тогда f(i,1)=1;

Если нет(i==2) then f(i,1)=1; f(i,2)=1;

Иначе

Цикл2 j=1:i

Если(j==1) тогда f(i,1)=1;

Если нет(j==i) тогда f(i,j)=1;

Иначе f(i,j)=(f((i-1),(j-1))+f((i-1),j));

endЕсли

endЦикл2

endИначе

endЦикл1

h=f(n,:);

v=h';

f=v*h;

n=(1/(2^(n-1)))^2;

f=n*f;

endИначе

endФункции

Для оценки работы биномиального фильтра возьмём стандартное изображение из базы SIVP, наложим на него помеху «соль и перец» с помощью стандартного оператора imnose. Обработаем данное изображение биномиальным фильтром размерностью 5×5 .

Для оценки эффективности реализованных фильтров рассчитываем среднеквадратическую ошибку (RMSE):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m,n} (A_{m,n} - B_{m,n})^2},$$

где MN – число пикселей изображения; A – исходное изображение; B – обработанное изображение; m – пиксель по строке; n – номер пикселя по столбцу.

RMSE для изображения, обработанного биномиальным фильтром размерностью 5×5 , получается равным 0,0282.

Также рассчитываем пиковое отношение сигнал/шум (PSNR):

$$\text{PSNR} = 20 \log_{10} \frac{|A_{\text{max}}|}{\text{RMSE}(A, B)},$$

где A_{max} – максимальная яркость пикселя изображения A .

Чем больше величина PSNR, тем лучше качество полученного изображения. PSNR для изображения, обработанного биномиальным фильтром размерностью 5×5 , получается равным 78 дБ, что подтверждает эффективную работу фильтра.

Авторы предлагают модифицировать данный фильтр следующим образом:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \\ 4 & 8 & 16 & 8 & 4 \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

и назвать его фильтром «степени двух» (алгоритм 1.2).

Алгоритм 1.2. Фильтр «степени двух»

Входные параметры: переменная n – размерность матричного фильтра, переменная m – коэффициент фильтра.

Результат функции: матричный фильтр заданной размерности.

Особенности: функция принимает только нечетное значение размерности, не превышающее 21, допускаемое значение коэффициента: от 2(–10) до 20.

Функция index2(n,m)

Если(~modulo(n,2)) then f="error";

Если нет(n<3) then f="error";

Если нет(n>21) then f="error";

Если нет(m<1/1024) then f="error";

Если нет(m>1) then f="error";

Иначе

t=(n+1)/2;

Цикл1 i=1:t;

Цикл2 j=1:t;

f(i,j)=2^(i+j-2);

f(i,(n+1-j))=2^(i+j-2);

f((n+1-i),j)=2^(i+j-2);

f((n+1-i),(n+1-j))=2^(i+j-2);

endЦикл2

endЦикл1

f=m*f;

endИначе

endФункции

Обработаем «зашумленное» изображение фильтром «степени двух» размерностью 5×5 . Для оценки эффективности предложенного фильтра рассчитываем RMSE, которая составила 0,0117, и PSNR = 86 дБ.

Все обработанные изображения получены с применением метода дополнения, который решает проблему граничных условий, которая актуальна для всех матричных фильтров: у верхнего левого пикселя не существует соседнего пикселя справа от него. Эта проблема решается методом дополнения (алгоритм 2), который требует создания промежуточного изображения. Создаётся временное изображение: в центр изображения копируется входная «картинка», а края заполняются крайними пикселями изображения. Размытие применяется к промежуточному буферу, а потом из него извлекается результат.

Алгоритмы 2. Функции реализации метода дополнения

2.1. Определение количества добавляемых строк и столбцов

Входные параметры: матрица m .

Результат функции: количество добавляемых строк и столбцов.

```
function [f]=amount(m)
    f=size(m);
    f=(f(1)-1)/2;
endfunction
```

2.2. Добавление строк и столбцов

Входные параметры: матрица m , переменная s – количество добавляемых строк и столбцов.

Результат функции: обработанная матрица.

Функция add(m,s)

```
t=m(1,:);
Цикл i=1:s
    m=[t,m];
endЦикл
t=m(:,1);
Цикл i=1:s
    m=[t,m];
endЦикл
f=m;
endФункции
```

2.3. Удаление строк и столбцов

Входные параметры: матрица m , переменная s – количество удаляемых строк и столбцов.

Результат функции: обработанная матрица.

Функция del(m,s)

```
Цикл i=1:s
    m(1,:)=[];
    m(:,1)=[];
endЦикл
f=m;
endФункции
```

Для удобства пользователя была реализована основная функция (алгоритм 3), позволяющая выбрать тип фильтра, размерность матрицы, коэффициент фильтра.

Алгоритм 3. Основная функция

Входные параметры: переменная A – коэффициент фильтра; переменная B – размерность матричного фильтра; переменная C – выбор фильтра (1 – «степени двух»; иное – биномиальный фильтр); переменная D – имя файла.

Результат функции: обработанное изображение (вывод на экран и в массив).

Пример задания фильтра:
image(1/32,3,1,'e3.jpg').

Заключение

Изложенные в статье алгоритмы сглаживания изображений показали свою эффективность для подавления шумов изображений. Предложенная модификация биномиального фильтра показала свою эффективность увеличением PSNR, что свидетельствует о повышении качества обработанного изображения. Каждый раз при использовании того или иного фильтра коэффициенты маски фильтра следует подбирать индивидуально исходя из количественных характеристик шума и требований к получаемому изображению. Данные программные реализации позволяют задавать различные коэффициенты фильтрации. Впоследствии полученные модели фильтров и программные реализации планируется использовать на реальных изображениях с системами активного зрения роботов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по проекту № 8.9562.2017/8.9 и РФФИ в рамках научного проекта № 16-47-700939.

Литература

1. Колкер А.Б. Обоснование выбора программного обеспечения для робототехники / А.Б. Колкер, Д.А. Ливенец, А.И. Кошелева // Автоматика и программная инженерия. – 2012. – №1 (1). – С. 51–64.
2. Желтов С.Ю. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. 3-е изд., испр. и доп. / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
4. Гоулд Б. Цифровая обработка сигналов / Б. Гоулд, Ч. Рэйдер; пер. с англ. под ред. А.М. Трахтмана. – М.: Сов. радио, 1973. – 438 с.
5. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. – 2-е изд.; пер. с англ. / Э. Айфичер, Б. Джервис. – М.: Вильямс, 2004. – 992 с.
6. Прэтт У.К. Методы передачи изображений: сокращение избыточности: пер. с англ. / У.К. Прэтт, Д.Д. Сакрисон, Х.Г.Д. Мусманн. – М.: Радио и связь, 1983. – 264 с.
7. Мезенцева О.С. Фильтрация сильно зашумленных изображений / О.С. Мезенцева, А.А. Андреев // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2008. – Т. 15, № 1. – С. 176–178.
8. О математических моделях фильтров для цифровой обработки изображений / Н.И. Червяков, П.А. Ляхов, Д.И. Калита, Н.В. Попова // Основные направления развития научного потенциала в свете современных исследований: теория и практика: матер. XI Междунар. заоч. науч. конф. – Ставрополь, 2017. – С. 238–241.
9. Каменский А.В. Методы повышения четкости телевизионных изображений высокого качества линейными алгоритмами // Доклады ТУСУРа. – 2017. – Т. 20, № 1. – С. 46–49.
10. Капустин В.В. Оценка качества изображений высокого разрешения при внутрикадровом сжатии в стандартах JPEG и JPEG2000 / В.В. Капустин, А.В. Каменский // Доклады ТУСУРа. – 2016. – № 3. – С. 27–31.
11. Дворкович В.П. Цифровые видеотелекоммуникационные системы: теория и практика / В.П. Дворкович, А.В. Дворкович. – М.: Техносфера, 2012. – 1008 с.
12. Malanin M.Yu. Optimization of parameters of twodimensional filters of increase of clearness of television images on contrastly to frequency characteristics / M.Yu. Malanin, A.V. Kamenski, M.I. Kuryachiy // Control and Commu-

nications (SIBCON), IEEE 2015 International Siberian Conference on. – 2015. – P. 1–4.

13. Капустин В.В. Коррекция координатных искажений в телевизионно-вычислительных системах // Доклады Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – № 4 (38). – С. 174–177.

14. Дамьяновски В. ССТV. Библия охранного телевидения: пер. с англ. / В. Дамьяновски. – М.: Ай-Эс-Пресс, 2003. – 344 с.

Замякин Сергей Сергеевич

Магистрант каф. ТУ

Тел.: 8-900-922-22-04

Эл. почта: zsergey18@gmail.com

Максимов Александр Евгеньевич

Магистрант каф. ТУ

Тел.: 8-952-888-90-85

Эл. почта: alexander@maximov.net.ru

Пустынский Иван Николаевич

Д-р техн. наук, профессор каф. ТУ

Тел.: (382-2) 41-34-23, 8-923-410-48-87

Эл. адрес: in@tu.tusur.ru

Акифьев Алексей Александрович

Магистрант каф. телевизионных устройств (ТУ) ТУСУРа

Тел.: 8-999-495-00-62

Эл. почта: AkifyevAlex1@gmail.com

Зайцева Екатерина Викторовна

Канд. техн. наук, ст. преподаватель каф. ТУ

Тел.: (382-2) 70-15-04

Эл. адрес: katerinka_zev@mail.ru

Akifyev A.A., Zaytseva E.V., Zamyakin S.S.,

Maximov A.E., Pustynsky I.N.

Realization of the smoothing filters for noise suppression in the Scilab environment

The review of Scilab software package for robots active vision systems calculation and the functions of the smoothing filters realized with this help for images processing is submitted.

Keywords: image, noise, robots active vision systems, filter.