

Практические аспекты двумерной дискретной фильтрации изображений

М. А. Пантюхин, email: ol-max@mail.ru
Я. В. Шарыгин, email: jasha3131@gmail.com
Д. А. Куракин

ВУНЦ ВВС ВВА «г. Воронеж»

***Аннотация.** В работе рассматриваются особенности двумерной дискретной фильтрации в ходе предварительной обработки изображений при решении задач обнаружения и распознавания объектов с использованием изображений прототипов.*

***Ключевые слова:** прототипы объектов, двумерная дискретная фильтрация изображений, структуры данных.*

Введение

В работе [1] на основе анализа результатов обработки простейших тестовых изображений сформулированы ключевые положения, касающиеся двумерной дискретной фильтрации изображений. К таким положениям относятся:

- зависимость апертуры двумерного дискретного фильтра (ДДФ) от размеров образа объекта интереса, а также от размеров изображения прототипа;
- необходимость раздельной обработки отсчетов положительной и отрицательной полярности при обнаружении/распознавании объектов соответствующей контрастности;
- необходимость использования прототипа большего размера, чем размеры образа искомого объекта.

Целью настоящей работы является практическое применение сформулированных положений и выявление особенностей их использования, а также потенциальных ограничений в практике обработки изображений реальных сцен.

1. Апертура дискретного двумерного фильтра

Импульсная характеристика (ИХ) ДДФ определяется путем решения системы линейных алгебраических уравнений [2]:

$$\sum_{v=-a}^b \sum_{w=-c}^d s_{i-v, j-w} h_{v,w} = s_{i,j}^0, \quad v \in [-a, b], \quad w \in [-c, d], \quad (1)$$

где $\mathbf{h} = (h_{v,w})$ – искомые отсчеты ИХ ДДФ с апертурой $(a + b + 1) \times (c + d + 1)$, $s_{i,j}^0 = (E_{\text{вх}})^{-1} \sum_{k_0=-m}^m \sum_{l_0=-n}^n x_{k_0,l_0} x_{k_0+i,l_0+j}$, $k_0, k_0 + i \in [-m, m]$, $l_0, l_0 + j \in [-n, n]$, $\mathbf{X} = (x_{k_0,l_0})$ – матрица изображения прототипа размера $(2m + 1)$ строк и $(2n + 1)$ столбцов, $s_{p,q} = (E_{\text{вх}})^{-1} \times \sum_{k=-M}^M \sum_{l=-N}^N f_{k,l} f_{k+p,l+q}$, $k, k + p \in [-M, M]$, $l, l + q \in [-N, N]$, $\mathbf{F} = (f_{i,j})$ – матрица входного изображения (ВИ) размера $(2M + 1)$ строк и $(2N + 1)$ столбцов, $E_{\text{вх}} = \sum_{k=-M}^M \sum_{l=-N}^N f_{k,l}^2$.

Вместе с тем, апертура ДДФ определяется с учетом размеров искомого объекта и его прототипа, при этом существуют наборы предпочтительных апертур [1]. Оценка размеров образа искомого объекта может осуществляться, например, на основе алгоритма [3].

С целью практической иллюстрации сформулированных положений рассмотрим в качестве исходных данных изображение, представленное на рис. 1 [4]. Вместе с тем в качестве прототипа автомобиля будем использовать изображение, содержащее прямоугольник максимальной яркости, длина и ширина которого составляют 20 и 8 пикселей соответственно.



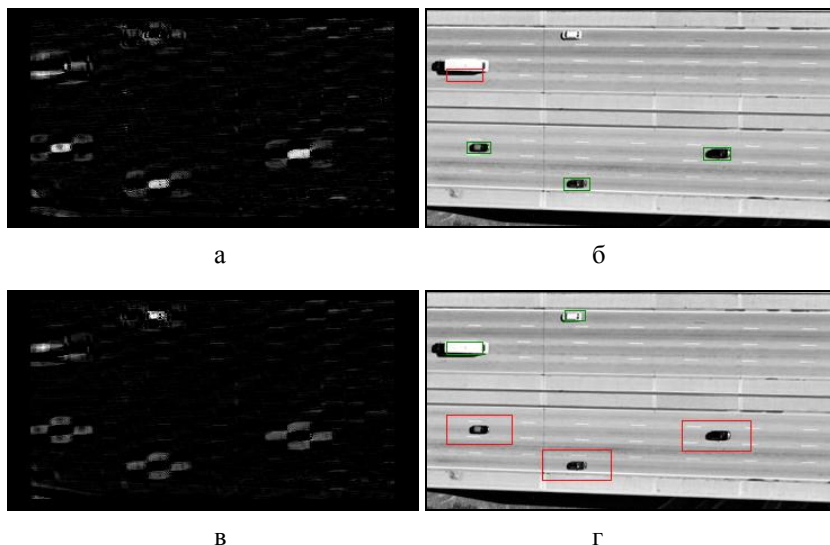
Рис. 1. Фрагмент входного изображения

Тогда для определения отсчетов ДДФ с апертурой $(20 + 1) \times (8 + 1)$ потребуется расчет различных значений 349 отсчетов автокорреляции ВИ, формирующих 35721 элемент системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), и 85 отсчетов автокорреляции изображения

прототипа, формирующих 189 элементов вектора свободных членов СЛАУ, а для апертуры $(40+1) \times (16+1)$ потребуется расчет 1337, участвующих в формировании 485809 элементов СЛАУ, и 349 отсчетов, формирующих 697 элементов вектора свободных членов СЛАУ, соответственно, что, очевидно, является значительно более вычислительно затратным.

2. Объекты положительного и отрицательного контраста

На рис. 2 представлены результаты обработки ВИ ДДФ меньшей апертуры раздельно для отсчетов положительной и отрицательной полярности. Так на рис. 2,а показано изображение-поле отсчетов отрицательной полярности (ПООП), на рис. 2,б результаты обработки этого поля в виде выделенных областей (зелеными цветом показаны правильно обнаруженные области, красным – ложно), а на рис. 2,в и рис. 2,г подобные результаты для поля отсчетов положительной полярности (ПОПП). Вместе с тем для отображения поля отсчетов отрицательной полярности предварительно получены их абсолютные значения.



а – визуализация ПООП, б – результат локализации объекта по ПООП, в – визуализация ПОПП, г – результат локализации объекта по ПОПП

Рис. 2. Результат обработки ВИ

Так, из рис. 2 следует, что если заранее неизвестен контраст образа объекта, то может возникнуть ситуация перепутывания объекта, сопряженная с ложным обнаружением/распознаванием совместно с пропуском истинного объекта. В тоже время подобные случаи могут быть исключены на этапе верификации результата обработки, так как структура выявленного артефакта закономерна и выражается в наличии фантомных «одинаковых» объектах вокруг истинной области.

3. Использование упрощенных прототипов при двумерной дискретной фильтрации

Структура используемого прототипа такова, что яркость его элементов максимальна на нулевом фоне. В качестве ВИ рассмотрим изображение стоянки самолетов (рис. 3), которые и выступают искомыми объектами интереса [5]. Предварительно произведена процедура аннотирования ВИ, подразумевающая определение координат (относительно поля изображения) прямоугольников, содержащих образы самолетов, а также значений углов поворота линии крыльев относительно горизонтального направления.



Рис. 3. Входное изображение стоянки самолетов

Аннотированные сведения об изображении представлены табл. 1. При этом осуществлено дополнение нулями слева значений, число символов которых меньше 3 цифр, для улучшения восприятия.

В качестве прототипа образа крыльев самолета рассмотрим прямоугольник, характеризующийся некоторой шириной и углом поворота. Рассмотрим интервал изменения угла поворота от -45° до 45° . Для каждого прототипа произведен синтез ДДФ и осуществлена

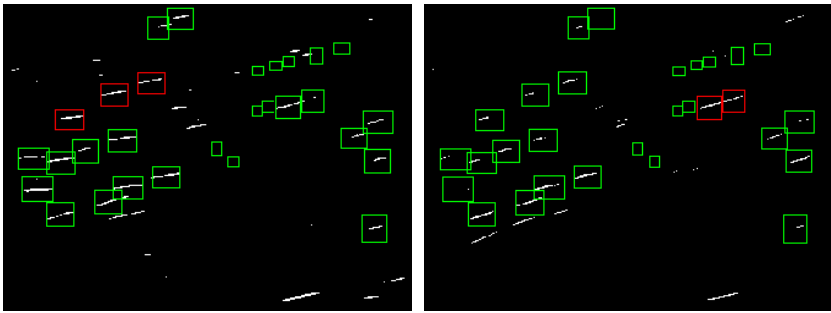
обработка ВИ. При этом эффективность ДДФ измерена по числу найденных точек в областях ВИ, содержащих искомые объекты.

Таблица 1

Аннотация входного изображения

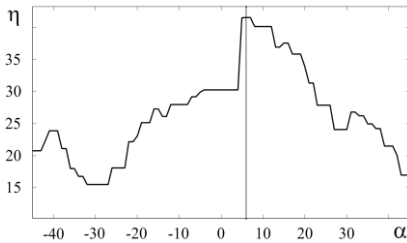
№ п/п	координаты окаяймляющего объект прямоугольника	угол повороты объекта α	толщина линии
1	133 013 150 031	20	3
2	151 005 173 022	8	2
3	048 097 072 114	6	2
4	090 074 113 092	6	2
5	124 063 147 081	6	2
6	015 133 041 150	0	3
7	040 136 065 154	8	3
8	064 125 086 144	16	3
9	097 115 121 134	14	3
10	018 159 044 179	0	2
11	041 182 064 202	-160	2
12	085 171 108 191	-160	3
13	102 158 127 144	8	2
14	138 149 161 167	8	2
15	251 085 271 104	19	3
16	274 079 293 098	19	3
17	310 114 332 131	21	3
18	331 099 356 117	12	3
19	332 134 354 153	21	2
20	330 193 350 217	-78	3
21	229 058 238 064	-160	1
22	245 053 254 059	-160	1
23	257 049 266 056	-160	1
24	282 041 292 054	57	2
25	304 037 316 045	-160	1
26	192 127 199 137	-70	1
27	207 140 215 148	-70	1
28	229 094 236 101	22	1
29	238 090 247 098	22	1

На рис. 4 представлены результаты обработки.

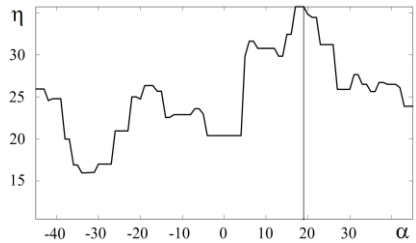


а

б



в



г

а – результат обработки ВИ при использовании прототипа ($\alpha = 6^\circ$),
 б – результат обработки ВИ при использовании прототипа ($\alpha = 19^\circ$),
 в – зависимость эффективности обработки η от угла α поворота
 прототипа в области объекта ($\alpha = 6^\circ$), г – зависимость
 эффективности обработки $\eta = \eta(\alpha)$ в области объекта ($\alpha = 19^\circ$)

Рис. 4. Результаты обработки изображения стоянки самолетов

Так на рис. 4 отображены случаи прослеживания результатов обработки в областях двух объектов: рис. 4,а – фрагмент обработанного ВИ, содержащий объект с углом поворота $\alpha = 6^\circ$ (выделен красным прямоугольником); рис. 4,б – фрагмент обработанного ВИ, содержащий объект с углом поворота $\alpha = 19^\circ$; рис. 4,в,г – значения выбранного показателя эффективности в соответствующих областях объектов в зависимости от угла поворота прототипа. Как видно из рис. 4а наибольший отклик при обработке ВИ ДДФ достигается в случаях соответствия угла поворота прототипа и объекта (максимумы зависимостей на рис. 4,в,г). Указанные области отмечены красными

прямоугольниками, также на рис. 4 видно, что наблюдаются отклики в прочих областях, содержащих объекты с небольшими вариациями углов поворота объектов, при этом по виду зависимостей $\eta = \eta(\alpha)$ интервал приемлемых углов составляет $(-18^\circ, 18^\circ)$.

4. Особенности хранения данных

Реализация вычислительных процедур двумерной дискретной фильтрации изображений, как правило, связаны с хранением и обработкой многомерной информации, в частности, двумерных массивов. Однако хранение в оперативной памяти массивов больших размеров является трудоемкой операцией. Вместо этого, целесообразно использовать другие структуры данных, например, контейнеры.

В табл. 2 приведены результаты измерения времени наиболее затратных самостоятельных процедур: определения отсчетов автокорреляции ВИ и формирования системы линейных алгебраических уравнений при использовании указанных структур данных в пакете инженерных вычислений Matlab R2013a на лабораторной ПЭВМ с процессором Intel (R) Core(TM) i3-6100 CPU @ 3.70 ГГц и установленной оперативной памятью объемом 4.0 Гб.

Таблица 2

Время определения выполнения самостоятельных процедур при ДДФ в случаях использования различных структур данных

апертура ДДФ	время выполнения процедур, с			
	определение отчетов автокорреляции ВИ		синтез ДДФ	
	массивы	контейнеры	массивы	контейнеры
$(20 + 1) \times (8 + 1)$	0.35	0.41	1.42	2.50
$(40 + 1) \times (16 + 1)$	1.07	1.01	7 64.4	32.46

Как видно из табл. 2 для малых апертур предпочтительнее использовать двумерные массивы, в то время с возрастанием сложности задачи (увеличением апертуры ДДФ) преимущества контейнеров становятся заметнее. Вместе с тем, следует отметить, что подход, связанный с синтезом двумерного фильтра, уникального для каждой пары входное изображение-прототип является весьма затратным по количеству временных данных, а также по времени выполнения отдельных процедур, что обуславливает дальнейший поиск эффективных его реализаций.

Заключение

Таким образом, переход от обработки простейших тестовых изображений к реальным сопряжен с рядом затруднений, основными из которых являются возрастание вычислительных затрат при реализации пространственной обработки с использованием больших апертур двумерных дискретных фильтров, а также использовании эффективных процедур хранения промежуточных данных. К более существенным требованиям относится необходимость априорных сведений о контрасте объектов, что может быть компенсировано дополнительными процедурами постобработки и верификации результатов.

Список литературы

1. Пантюхин, М. А. Двумерная дискретная фильтрация тестовых изображений / М. А. Пантюхин, А. В. Богословский, И. В. Жигулина // Радиотехника. – 2020. – № 3(5). – С. 64-72.
2. Обработка многомерных сигналов. В 2-х книгах. Кн.1. Линейная многомерная дискретная обработка сигналов. Методы анализа и синтеза / Под ред. А.В. Богословского. – М.: Радиотехника, 2013. – 168 с.
3. Пантюхин, М. А. Алгоритм определения размеров эталонов для распознавания образов объектов на изображениях при надирной съемке / М. А. Пантюхин, Ф. А. Росляков, Ю. В. Писарев // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения : материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC-2018», (Москва, 19–23 ноября 2018 г.). – М.: Галлея-Принт, 2018, часть 4. – С. 993-996.
4. Фотография автомобильной развязки. Режим доступа : <https://www.motorists.org/wp-content/uploads/2015/09/DN-thumbnail-high-five-interchange.jpg> (дата обращения: 11.01.2021).
5. Стоянка самолетов на аэродроме. Режим доступа : https://imgprx.livejournal.net/036e387ea105bda128dbbf7fee2785d472aa2acf/bHJEoq-8iXx9nN0Qiw780qghhbxp7NkxJ2g4VJqYbp_CQOt3EmKRM_jVSUyGo3huX2Bm05BdCqlBhHKsWxdyU0bFY2XA5pu299VwtEOtNNp4k-K4pg5KPz98MnDOssxQc8Nmwpshkq5WtHbtPd0fRXXZU34tSvYwuIoDf4pJabges8PLGeTxDpAKh-ng75cUWIpzRy6TfyzdN5IL_1GFfw (дата обращения: 11.01.2021).