

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ СЛЕЖЕНИЯ И НОРМАЛИЗАЦИИ

к.т.н. А.В. Липанов

(представил д.т.н., проф. О.Н. Фоменко)

В статье рассматриваются особенности использования численных методов вычисления интегральных функционалов при реализации алгоритмов нормализации и слежения. Необходимость доработки известных численных методов вызвана невозможностью непосредственного применения известных численных методов, так как они не позволяют вычислить интегральные функционалы внутри следящей рамки в реальном времени.

Одной из основных задач, возникающих при реализации алгоритмов слежения и нормализации [1], является вычисление моментов различного порядка на базе интегральных функционалов вида

$$\iint_{\mathbf{D}} \mathbf{B}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \cdot x^a \cdot y^b dx dy,$$

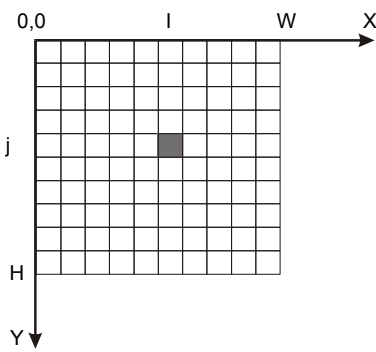
где \mathbf{D} – область следящей рамки.

Для решения этой задачи за основу взят метод трапеций [2]. Выбор данного метода объясняется тем, что он прост в реализации на ЭВМ, дает достаточно точные результаты при счете и работает с высокой скоростью. В качестве альтернативных рассматривались метод прямоугольников и метод Гаусса. Анализ их работы на ЭВМ показал, что метод прямоугольников недостаточно точен, а метод Гаусса дает высокую точность, но работает медленнее. Функция $\mathbf{B}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ – это функция распределения яркости изображения, заданная таблицей размером $\mathbf{W} \times \mathbf{H}$, т.е. имеет размеры рамки слежения в пикселах. Нумерация пикселов в рамке начинается с верхнего левого угла, т.е. при вычислении интегралов изображение окажется в четвертой четверти декартовой системы координат (рис 1 а). Такое расположение системы координат неприемлемо, поскольку оно не позволит вычислять углы поворота изображения. Поэтому целесообразно поместить систему координат в центр изображения (рис. 1. б). При этом постоянные пределы интегрирования установлены вдоль осей и равны $(-1, 1)$. Это позволяет вычислять интегралы независимо от размеров исходного изображения. При таких условиях шаг вдоль оси \mathbf{X} будет равным $\Delta x = 2/\mathbf{W}$, а вдоль оси \mathbf{Y} – $\Delta y = 2/\mathbf{H}$, где \mathbf{W} – ширина обрабатываемого изображения, \mathbf{H} – его высота (размеры следящей рамки).

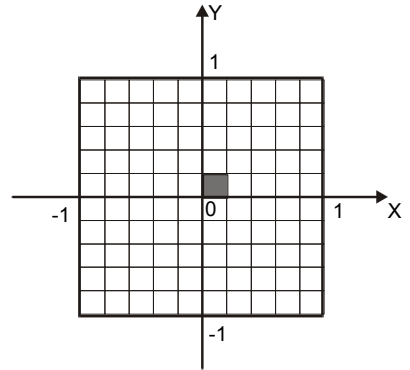
В нашем случае необходимо вычислять двойные интегралы. Для этого, используя известные формулы вычисления интеграла, получим выражения для вычисления двойного интеграла. Сначала заменяем интеграл по переменной x его выражением через сумму по формуле метода трапеций, подставляя пределы интегрирования

$$\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 B(x,y)x^a y^b dx dy =$$

$$= \int_{-1}^1 y^b \left[\frac{1}{W} \left(B(-1,y)(-1)^a + B(1,y)1^a + 2 \sum_{i=1}^{W-1} B\left(-1 + \frac{2i}{W}, y\right) \left(-1 + \frac{2i}{W}\right)^a \right) \right] dy.$$



а)



б)

Рис. 1. Расположение систем координат: а) при получении значений функции $B(x,y)$; б) при вычислении интегралов

Далее для этого интеграла записываем его представление по методу трапеций и после преобразований получаем

$$\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 B(x,y)x^a y^b dx dy =$$

$$= \frac{1}{WH} \left\{ (-1)^a (-1)^b B(-1,1) + 1^a (-1)^b B(1,-1) + (-1)^a 1^b B(-1,1) + 1^b 1^a B(1,1) \right\} +$$

$$+ \frac{1}{WH} \left\{ 2 \sum_{i=1}^{W-1} (-1)^b B\left(-1 + \frac{2i}{W}, -1\right) \left(-1 + \frac{2i}{W}\right)^a + 2 \sum_{i=1}^{W-1} 1^b B\left(-1 + \frac{2i}{W}, 1\right) \left(-1 + \frac{2i}{W}\right)^a \right\} +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{WH} \left\{ 2 \sum_{j=1}^{H-1} (-1)^a B \left(-1, -1 + \frac{2j}{H} \right) \left(-1 + \frac{2j}{H} \right)^b + 2 \sum_{j=1}^{H-1} 1^a B \left(1, -1 + \frac{2j}{H} \right) \left(-1 + \frac{2j}{H} \right)^b \right\} + \\
& + \frac{1}{WH} \left\{ 4 \sum_{i=1}^{W-1} \sum_{j=1}^{H-1} B \left(-1 + \frac{2i}{W}, -1 + \frac{2j}{H} \right) \left(-1 + \frac{2i}{W} \right)^a \left(-1 + \frac{2j}{H} \right)^b \right\}.
\end{aligned}$$

Параметры \mathbf{a} и \mathbf{b} позволяют записать общую вычислительную формулу: каждый из них принимает целочисленные значения от 0 до 2, и подставляя эти значения, можно получить вычислительные формулы для моментов любого порядка. Учтем, что при переносе системы координат в центр изображения (рис. 1 б) необходимо изменить координаты, по которым идет выбор значений функции $\mathbf{B}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$. Координаты совпадают с индексами в таблице, задающей функцию $\mathbf{B}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$, а координатам точки $\left(-1 + \frac{2i}{W}, -1 + \frac{2j}{H} \right)$ в центральной системе координат соответствует точка $(\mathbf{i}, \mathbf{H}-\mathbf{j})$ в исходной системе координат. Учитывая эти замечания, запишем вычислительную формулу моментов, пригодную для компьютерной реализации

$$\begin{aligned}
& \int_{-1-1}^1 \int_{-1-1}^1 \mathbf{B}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) x^a y^b dx dy = \frac{1}{WH} \left\{ (-1)^a (-1)^b \mathbf{B}(\mathbf{0}, \mathbf{H}) + 1^a (-1)^b \mathbf{B}(\mathbf{W}, \mathbf{H}) + \right. \\
& \quad \left. + (-1)^a 1^b \mathbf{B}(\mathbf{0}, \mathbf{0}) + 1^b 1^a \mathbf{B}(\mathbf{W}, \mathbf{0}) \right\} + \\
& + \frac{1}{WH} \left\{ 2 \sum_{i=1}^{W-1} (-1)^b \mathbf{B}(\mathbf{i}, \mathbf{H}) \left(-1 + \frac{2i}{W} \right)^a + 2 \sum_{i=1}^{W-1} 1^b \mathbf{B}(\mathbf{i}, \mathbf{0}) \left(-1 + \frac{2i}{W} \right)^a \right\} + \\
& + \frac{1}{WH} \left\{ 2 \sum_{j=1}^{H-1} (-1)^a \mathbf{B}(\mathbf{0}, \mathbf{H}-\mathbf{j}) \cdot \left(-1 + \frac{2j}{H} \right)^b + 2 \sum_{j=1}^{H-1} 1^a \mathbf{B}(\mathbf{W}, \mathbf{H}-\mathbf{j}) \cdot \left(-1 + \frac{2j}{H} \right)^b \right\} + \\
& + \frac{1}{WH} \left\{ 4 \sum_{i=1}^{W-1} \sum_{j=1}^{H-1} \mathbf{B}(\mathbf{i}, \mathbf{H}-\mathbf{j}) \cdot \left(-1 + \frac{2i}{W} \right)^a \left(-1 + \frac{2j}{H} \right)^b \right\}.
\end{aligned}$$

Далее, присваивая соответствующие значения параметрам \mathbf{a} и \mathbf{b} , в пределах от 0 до 2, запишем вычислительные формулы для моментов:

1) при $\mathbf{a} = \mathbf{0}$, $\mathbf{b} = \mathbf{0}$

$$\mu_{00} = \frac{1}{WH} \left\{ B(0, H) + B(W, H) + B(0, 0) + B(W, 0) + 2 \sum_{i=1}^{W-1} B(i, H) + 2 \sum_{i=1}^{W-1} B(i, 0) \right\} +$$

$$+ \frac{1}{WH} \left\{ 2 \sum_{j=1}^{H-1} B(0, H-j) + 2 \sum_{j=1}^{H-1} B(W, H-j) + 4 \sum_{i=1}^{W-1} \sum_{j=1}^{H-1} B(i, H-j) \right\};$$

2) при $\mathbf{a} = \mathbf{0}$, $\mathbf{b} = \mathbf{1}$

$$\mu_{01} = \frac{1}{WH} \left\{ B(0, 0) + B(W, 0) - B(0, H) - B(W, H) + 2 \sum_{i=1}^{W-1} (-1)B(i, H) + 2 \sum_{i=1}^{W-1} B(i, 0) \right\} +$$

$$+ \frac{1}{WH} \left\{ 2 \sum_{j=1}^{H-1} B(0, H-j) \left(-1 + \frac{2j}{H} \right) + 2 \sum_{j=1}^{H-1} B(W, H-j) \left(-1 + \frac{2j}{H} \right) \right\} +$$

$$+ \frac{1}{WH} \left\{ 4 \sum_{i=1}^{W-1} \sum_{j=1}^{H-1} B(i, H-j) \left(-1 + \frac{2j}{H} \right) \right\};$$

3) при $\mathbf{a} = \mathbf{0}$, $\mathbf{b} = \mathbf{2}$

$$\mu_{02} = \frac{1}{WH} \left\{ B(0, H) + B(W, H) + B(0, 0) + B(W, 0) + 2 \sum_{i=1}^{W-1} B(i, H) + 2 \sum_{i=1}^{W-1} B(i, 0) \right\} +$$

$$+ \frac{1}{WH} \left\{ 2 \sum_{j=1}^{H-1} B(0, H-j) \left(-1 + \frac{2j}{H} \right)^2 + 2 \sum_{j=1}^{H-1} B(W, H-j) \left(-1 + \frac{2j}{H} \right)^2 \right\} +$$

$$+ \frac{1}{WH} \left\{ 4 \sum_{i=1}^{W-1} \sum_{j=1}^{H-1} B(i, H-j) \left(-1 + \frac{2j}{H} \right)^2 \right\};$$

4) при $\mathbf{a} = \mathbf{1}$, $\mathbf{b} = \mathbf{0}$

$$\mu_{10} = \frac{1}{WH} \left\{ -B(0, H) + B(W, H) - B(0, 0) + B(W, 0) \right\} +$$

$$+ \frac{\left\{ 2 \sum_{i=1}^{W-1} B(i, H) \left(-1 + \frac{2i}{W} \right) + 2 \sum_{i=1}^{W-1} B(i, 0) \left(-1 + \frac{2i}{W} \right) + 2 \sum_{j=1}^{H-1} -B(0, H-j) + 2 \sum_{j=1}^{H-1} B(W, H-j) \right\}}{WH} +$$

$$+ \frac{1}{WH} \left\{ 4 \sum_{i=1}^{W-1} \sum_{j=1}^{H-1} B(i, H-j) \left(-1 + \frac{2i}{W} \right) \right\}.$$

5) при $a = 1, b = 1$

$$\mu_{11} = \frac{1}{WH} \left\{ B(0, H) - B(W, H) - B(0, 0) + B(W, 0) + 2 \sum_{i=1}^{W-1} (-1) B(i, H) \left(-1 + \frac{2i}{W} \right) + 2 \sum_{i=1}^{W-1} B(i, 0) \left(-1 + \frac{2i}{W} \right) \right\} +$$

$$+ \frac{1}{WH} \left\{ 2 \sum_{j=1}^{H-1} (-1) B(0, H-j) \left(-1 + \frac{2j}{H} \right) + 2 \sum_{j=1}^{H-1} B(W, H-j) \left(-1 + \frac{2j}{H} \right) \right\} +$$

$$+ \frac{1}{WH} \left\{ 4 \sum_{i=1}^{W-1} \sum_{j=1}^{H-1} B(i, H-j) \left(-1 + \frac{2i}{W} \right) \left(-1 + \frac{2j}{H} \right) \right\}.$$

Аналогично записывается вычислительная формула для набора параметров $a = 2, b = 0$, а также и для других комбинаций параметров a и b . Приведенные формулы используются при реализации алгоритмов параллельной нормализации изображений и при слежении за объектом для определения изменений величин смещений, масштаба, поворота [3]. Заметим, что вычисления в крайних точках и вдоль краев изображения можно не проводить, поскольку эти значения вносят незначительный вклад в результаты вычислений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Путятин Е.П., Липанов А.В., Прокопенко Д.О. Теоретические предпосылки слежения за протяженными объектами // Системы обработки информации. – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1998. – С. 80 - 84.
2. Бахвалов Н.С. Численные методы. – М.: Наука, 1973. – 415 с.
3. Путятин Е.П., Липанов А.В. Построение алгоритмов нормализации следящей рамки // Ракетно - космічна техніка. – Харків: ХВУ. – 1999. – Вип. 1. – С. 189 - 193.

Поступила в редколлегию 15.12.2000