

С.С. САДЫКОВ

**Алгоритм логического определения кривизны точек дискретной линии**

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
"Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых",  
г. Муром.

*Предложен достаточно простой алгоритм оценки кривизны точек замкнутого дискретного одноточечного контура, не требующий аналитических вычислений.*

В системах технического зрения (СТЗ), которые являются составной частью большинства современных высокоинтеллектуальных робототехнических комплексов. С помощью СТЗ обеспечивается распознавание объектов, с которыми оперирует робот [1-3]. Часто в качестве признаков распознавания в СТЗ используются характеристики линейной структуры изображений объектов [1-4], каковым является контур бинарного изображения объекта [3,4]. В этом плане особое место отводится значениям кривизны контура [1-11], поскольку эта характеристика инвариантна как к переносу, так и к перемещению объекта в поле зрения СТЗ [3,4,9].

Теоретические основы понятия «кривизна» и способы ее вычисления в точках любой незамкнутой кривой для непрерывной области достаточно разработаны [3,4].

До сих пор не существует единого понятия кривизны дискретной кривой в дискретной области [3]. Часто как значение кривизны в некоторой точке дискретной линии используют величину угла смежности, образованного линиями, проходящими через исследуемую точку и выполняющие роль касательных к контуру в выбранной его точке (рис.1). Существуют несколько способов вычисления угла смежности [3].

Поскольку угол  $\beta$  пропорциональна к углу смежности  $\alpha$  величина, то ее можно использовать как значение кривизны в точке контура. Данный угол дополняет угол смежности  $\alpha$  до  $180^\circ$ , поэтому

угол  $\beta$  назовем дополнительным углом. Вычисление дополнительного угла в точке контура А (рис.1) можно производить используя уравнения прямых АВ и АС, проходящих через эту точку [2].

В данной статье предлагается логический алгоритм определения дополнительного угла(кривизну) в точках дискретной кривой, не требующих многократных аналитических вычислений по всем точкам контура. Данный алгоритм назовем  $A_{\text{лог}}$  –алгоритмом.

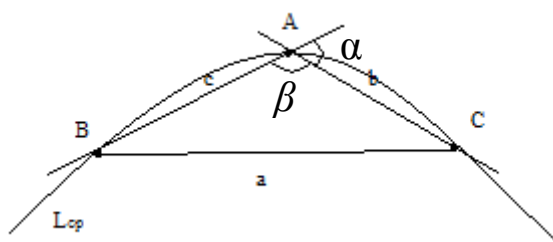


Рис. 1. Схема, используемая для вычисления угла смежности, где:  $L_{\text{op}}$  – непрерывный контур, а А,В,С – его дискретные точки;  $\alpha$  - угол смежности;  $\beta = 180^\circ - \alpha$ .

Особенность данного  $A_{\text{лог}}$  –алгоритма состоит в следующем.

Для получения одноточечных без разрывных контуров бинарных изображений плоских объектов использован алгоритм [2], формирующий дискретную контурную линию из 4-х и D-связных точек[1]. Это значит одноточечный контур состоит из точек, кривизна в которых может принимать всего три значения –  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $135^\circ$ . Поэтому определение значения кривизны в точках такого контура можно осуществить логическим путем с помощью масок.

Для определения значений кривизны в точках одноэлементной дискретной контурной линии(вообще, любой дискретной кривой) достаточно сканировать 16 масками размером  $3 \times 3$  элемента и логически установить величину кривизны в каждой точке контура(рис.3,4,5)

$f_4$	$f_3$	$f_2$
$f_5$	$f_0$	$f_1$
$f_6$	$f_7$	$f_8$

$g_0$

Рис. 2. Обозначения элементов маски  $g_0$  размером  $3 \times 3$ .

0	1	0
0	1	0
0	1	0

$g_1$

0	0	0
1	1	1
0	0	0

$g_2$

0	0	1
0	1	0
1	0	0

$g_3$

1	0	0
0	1	0
0	0	1

$g_4$

Рис. 3. Маски для определения кривизны в  $0^\circ$ .

	0	1
0	1	0
0	0	0

$g_5$

0	0	1
0	1	0
0	0	

$g_6$

0	0	0
0	1	0
1	0	1

$g_7$

1	0	0
0	1	0
1	0	0

$g_8$

Рис. 4. Маски для определения кривизны в  $90^\circ$ .

0	1	0
0	1	0
0	0	1

$g_9$

0	0	1
0	1	0
0	1	0

$g_{10}$

0	0	0
0	1	1
1	0	0

$g_{11}$

0	0	0
1	1	0
0	0	1

$g_{12}$

1	0	
0	1	0
0	1	0

$g_{13}$

0	1	0
0	1	0
1	0	0

$g_{14}$

0	0	1
1	1	0
0	0	0

$g_{15}$

	0	0
0	1	1
0	0	0

$g_{16}$

Рис. 5. Маски для определения кривизны в  $135^\circ$ .

Значение любого элемента  $f_i$  маски  $g_0$  (рис.2) определяется так:

$$f_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, i = 1, 2, \dots, 8, \quad (1)$$

т.е.  $f_i(1) = f_i = 1$ ;  $f_i(0) = \bar{f}_i = 0$ ;  $f_0 = 1$  - точка анализируемого контура.

Представим маски  $g_1, \dots, g_{16}$  (рис.3,4,5) в виде логических булевых функций:

$$g_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, i = 1, 2, \dots, 16 \quad (2)$$

Тогда

$$g_1 = \begin{cases} 1, \text{ при } f_0 f_3 f_7 \overline{f_1 f_2 f_4 f_5 f_6 f_8} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_1 = 1, \text{ то } f_0 = 1 \quad (3)$$

Если  $g_1 = 1$ , то это означает полное совпадение содержимого анализируемого участка дискретной линии с массой  $g_1$ , и центральная точка  $f_0$  текущей маски имеет кривизну равную нулю и значение точки  $f_0=1$  не меняется.

$$g_2 = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_1 f_5 f_2 f_3 f_4 f_6 f_7 f_8} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_2 = 1, \text{ то } f_0 = 1(0^0) \quad (4)$$

$$g_3 = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_2 f_6 f_1 f_3 f_4 f_5 f_7 f_8} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_3 = 1, \text{ то } f_0 = 1(0^0) \quad (5)$$

$$g_4 = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_4 f_8 f_1 f_2 f_3 f_5 f_6 f_7} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_4 = 1, \text{ то } f_0 = 1(0^0) \quad (6)$$

$$g_5 = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_2 f_4 f_1 f_3 f_5 f_6 f_7 f_8} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_5 = 1, \text{ то } f_0 = 90 \quad (7)$$

$$g_6 = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_2 f_8 f_1 f_3 f_4 f_5 f_6 f_7} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_6 = 1, \text{ то } f_0 = 90 \quad (8)$$

$$g_7 = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_6 f_8 f_1 f_2 f_3 f_4 f_5 f_7} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_7 = 1, \text{ то } f_0 = 90 \quad (9)$$

$$g_8 = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_4 f_6 f_1 f_2 f_3 f_5 f_7 f_8} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_8 = 1, \text{ то } f_0 = 90 \quad (10)$$

$$g_9 = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_3 f_8 f_1 f_2 f_4 f_5 f_6 f_7} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_9 = 1, \text{ то } f_0 = 135 \quad (11)$$

$$g_{10} = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_2 f_7 f_1 f_3 f_4 f_5 f_6 f_8} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_{10} = 1, \text{ то } f_0 = 135 \quad (12)$$

$$g_{11} = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_1 f_6 f_2 f_3 f_4 f_5 f_7 f_8} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_{11} = 1, \text{ то } f_0 = 135 \quad (13)$$

$$g_{12} = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_5 f_8 f_1 f_2 f_3 f_4 f_6 f_7} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_{12} = 1, \text{ то } f_0 = 135 \quad (14)$$

$$g_{13} = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_4 f_7 f_1 f_2 f_3 f_5 f_6 f_8} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_{13} = 1, \text{ то } f_0 = 135 \quad (15)$$

$$g_{14} = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_3 f_6 f_1 f_2 f_4 f_5 f_7 f_8} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_{14} = 1, \text{ то } f_0 = 135 \quad (16)$$

$$g_{15} = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_2 f_5 f_1 f_3 f_4 f_6 f_7 f_8} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_{15} = 1, \text{ то } f_0 = 135 \quad (17)$$

$$g_{16} = \begin{cases} 1, \text{ при } \overline{f_0 f_1 f_4 f_2 f_3 f_5 f_6 f_7 f_8} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ если } g_{16} = 1, \text{ то } f_0 = 135 \quad (18)$$

Пусть  $F_1$  – функция обнаружения точки с кривизной  $0^\circ$ ;  $F_2$  – функция обнаружения точки с кривизной  $90^\circ$ ;  $F_3$  – функция обнаружения точки с кривизной  $135^\circ$ .

Тогда

$$F_1 = \begin{cases} 1, \text{ если } g_1 \vee g_2 \vee g_3 \vee g_4 = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ при } F_1 = 1, f_0 = 1(0^0) \quad (19)$$

$$F_2 = \begin{cases} 1, \text{ если } g_5 \vee g_6 \vee g_7 \vee g_8 = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ при } F_2 = 1, f_0 = 90 \quad (20)$$

$$F_3 = \begin{cases} 1, \text{ если } g_9 \vee g_{10} \vee \dots \vee g_{16} = 1 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \text{ при } F_3 = 1, f_0 = 135 \quad (21)$$

где  $\vee$  – знак дизъюнкции.

Проводится анализ окрестности всех точек контура.

Далее осуществляется формирование  $A_{\text{лог}}$ -функции, представляющая собой совокупность значений кривизны в точках контура бинарного изображения при последовательном его обходе от некоторой начальной точки. Значения точек окрестности  $3 \times 3$  каждой точки контура сравниваются со значениями точек всех 16 логических масок и определяются значения функций  $F_1, F_2, F_3$  (19-21). В зависимости от того какая из функций  $F_1, F_2, F_3$  равна единице и устанавливается значение кривизны в данной анализируемой точке, затем оцениваются значения точек окрестности следующей по ходу обхода точки контура и т.д. по всему контуру.

Пусть дан дискретный замкнутый контур бинарного изображения некоторого плоского объекта (рис.6).

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 6. Дискретный одноточечный замкнутый контур

Результат применения данного  $A_{\text{лог}}$ -алгоритма к контуру на рис 6 будет следующим (рис.7):

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	135	1	1	1	0	135	1	135	0	0	0	0
0	0	135	0	0	0	0	90	0	0	0	1	0	0	0
0	0	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0
0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0
0	0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0
0	0	135	135	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0
0	135	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0
0	0	90	0	135	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0
0	0	0	0	135	0	0	135	1	135	0	135	135	0	0
0	0	0	0	0	135	135	0	0	0	90	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 7. Дискретный одноточечный замкнутый контур с указанными значениями кривизны в его точках (точки с значением 1 соответствуют точкам с кривизной в  $0^0$  градусов)

### Заключение

Данный  $A_{\text{лог}}$  – алгоритм отличается от других алгоритмов вычисления кривизны в точках дискретного контура быстротой работы и может быть использован для определения кривизны в точках как замкнутых, так и не замкнутых контуров единичной толщины. Кроме того, предложенный алгоритм может служить хорошим инструментом определения локальных характеристик дискретного контура, например, для выделения его выпуклых, вогнутых и линейных участков[12].

### Литература

1. Системы технического зрения: Справочник/В.И. Сырякин, В.С. Титов, Ю.Г. Якушенков и др. – Томск: МГП «РАСКД», 1992. – 367с.

2. Садыков, С.С. Методика обработки линейчатых образов на дефектоскопических снимках/ С.С. Садыков, А.А. Орлов, А.А. Ермаков// Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 2. С. 11-16.
3. Садыков, С.С. Распознавание отдельных и наложенных плоских объектов: монография// С.С. Садыков, С.В. Савичева. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2012. – 264с.
4. Садыков, С.С. Методы и алгоритмы выделения признаков в системах технического зрения: монография/ С.С. Садыков, Н.Н. Стулов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2005. – 204с.
5. Садыков, С.С. Алгоритм идентификации плоских объектов с использованием минимального числа признаков/ С.С. Садыков, С.В. Савичева// Автоматизация и современные технологии. – 2011. - №7. - С.3-6.
6. Садыков, С.С. Идентификация реальных плоских объектов на основе единственного признака точек их внешних контуров/ С.С. Садыков, С.В. Савичева// Информационные технологии. – 2011.- №8.- С.13-16.
7. Садыков, С.С. Экспериментальное исследование алгоритма идентификации наложенных объектов на основе алгоритмов трансформации контуров и  $\alpha$ -функции/ С.С. Садыков, С.В. Савичева, А.С. Веденин// Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. №19. С.188-196.
8. Садыков, С.С. Сравнение алгоритмов распознавания наложенных объектов на основе  $\alpha$ -функции и на основе особых участков/ С.С. Садыков, С.В. Савичева, В.А. Комков// Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. №19. С.197-202.
9. Садыков, С.С. Идентификация реальных плоских объектов на основе их сигнатуры/ С.С. Садыков, С.В. Савичева// Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. - №1. – С.17-20.
10. Садыков, С.С. Распознавание плоских объектов при их наложении/ С.С. Садыков, С.В. Савичева// Информационные технологии.–2013.- №2.- С.43-46.
11. Садыков, С.С. Алгоритм определения длины и ширины дискретных площадных объектов/ С.С. Садыков, Д.Н. Стародубов// Автоматизация и современные технологии. – 2007. - №10. - С.10-15.
12. Садыков, С.С. Формирование безразмерных коэффициентов формы замкнутого дискретного контура// Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2014. №29. С.91-98.
13. Д.Е. Андрианов, С.В. Еремеев, С.С. Садыков. Теоретические основы описания и анализа плоских пространственно-распределенных объектов в ГИС - Владимир: Изд-во Владимир. гос. ун-та, 2007. -109 с.
14. Еремеев С. В., Андрианов Д. Е., Комков В. А. Алгоритмы формирования графовой модели городской территории в ГИС// Геоинформатика. 2013. № 4. С. 19-24.