

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)10-1465-06

索引信息: 于国防, 王莉. 压缩型顶点链码的研究[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(10): 1465-1470

压缩型顶点链码的研究

于国防, 王莉

(中国矿业大学信电学院, 徐州 221116)

摘要: 提出了两种新的压缩型顶点链码的编码方法。根据图像边界的顶点链码中通常包含大量的两个顶点的连续编号的特点, 用0和9分别代替常规顶点链码的1和3, 而用1到8这8个数字直接表示连续出现率最高的编号2及其数量, 研究了一种动态顶点链码。将链码顶点分为1、2、3和1与3的组合4种类型, 用一个字节的高位区和低位区分别表示链码编号及其连续数量, 研究了一种压缩型顶点链码。结合一种编码综合效率评价方法, 通过与现有的链码进行比较, 结果表明本文所研究的链码不仅具有50%~70%的编码压缩比, 而且编码或解码的效率也提高了10%~40%, 即具有更好的实时性。

关键词: 顶点链码; 动态顶点链码; 压缩型链码; 综合效率

Research on compression-type vertex chain code

YU Guofang, WANG Li

(College of Information and Electronic Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116)

Abstract: Two kinds of compression-type vertex chain code are proposed. According to the characteristic that massive continuous two-vertex numbers are usually contained in an image boundary's vertex chain code, in actual coding process, 1 and 3 are replaced by 0 and 9 separately, and 1 to 8 are used to express 2, a new dynamic vertex chain code is presented. The edge's vertex numbers of a figure are divided into four types: 1, 2, 3 and the combination of 1 and 3, based on which the top bit area and the low bit area of one byte are used to express the number and its continuous quantity of the code separately, a new compression type chain code is studied. Compared with the current vertex chain codes based on an efficiency-evaluation method, the results indicate that the new vertex chain codes not only have 50%~70% coding compression-ratio, moreover their coding or decoding efficiency is enhanced by 10%~40%, namely, their decoding real-time is better.

Keywords: vertex chain code; dynamic vertex chain code; compression-type chain code; comprehensive efficiency

0 引言

虽然边界在图像中所占比例较小, 却是图像特征的一个有效描述, 在模式识别、图像处理以及计算机视觉等研究领域具有十分重要的作用, 因此, 人们对图像边界的表示进行了大量研究, 提出了许多方法, 如链码、Fourier级数以及有向图等, 其中, 链码

因其能以较少的数据量存储图形中的位置以及形状信息, 减少了计算量、降低了信息冗余, 从而成为图像边界表示的重要方法之一^[1-4]。

链码最初是由Freeman在1961年提出来的^[5-6], 该算法是将图像中像素间的相对位置关系用确定的数值来表示。Freeman链码可分为4向链码和8向链码两种, 分别如图1所示。链码的编号可由数字集 $\{i | i = 0, 1, 2, \dots, n\}$ 表示, 对于4向链码

收稿日期: 2009-04-20; 改回日期: 2009-07-15

第一作者简介: 于国防(1965—), 男, 副教授。2007年于中国矿业大学获控制理论与控制工程专业博士学位。主要研究方向为图像处理与模式识别、多媒体技术。E-mail: gfyu85@126.com。

$n = 4$, 对于 8 向链码 $n = 8$ 。编号 i 与 X 轴正向成 $\frac{1}{4} \times 45^\circ \times i \times n$ 夹角。

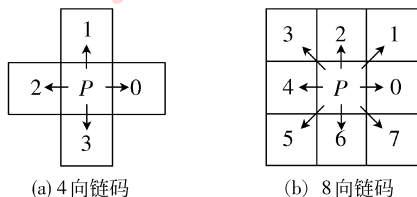


图 1 链码值与方向编号之间的关系

Fig. 1 Relationship between value of chain code and direction

1999 年, Bribiesca^[7] 又提出了一种新的链码编码方法来表示区域的形状, 称之为“顶点链码”(vertex chain code), 如图 2 所示, 顶点链码是以数字 1、2 和 3 分别表示图像边界像素块(点)的凸角转向、水平或垂直方向的像素延续和凹角转向。

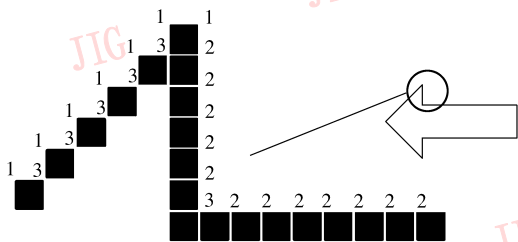


图 2 顶点链码示例

Fig. 2 Sample of vertex chain code

通过对 Freeman 链码和顶点链码的比较, 研究二者之间的关系与特点, 在此基础上提出一种改进的顶点链码, 并且研究了一种具有较高压缩比和解码效率的压缩链码。

1 Freeman 链码与顶点链码的关系特点

通过 4 向链码、8 向链码和顶点链码的比较, 不难发现这 3 种链码之间存在如下关系和特点:

1) 顶点链码共需 3 种编号, 4 向链码共需 4 种编号, 而 8 向链码共需 8 种编号。并且, 当用二进制数表示编号时, 顶点链码和 4 向链码最多需要两位, 而 8 向链码最多需要 3 位。

2) 当需要表示水平或垂直方向的连续点时, 3 种链码都只需一个编号, 但是, 顶点链码用 2 这一种编号表示, 4 向链码用 0、1、2、3 这 4 种编号之一表

示, 8 向链码用 0、2、4、6 这 4 种编号之一表示。

3) 当需要表示斜向点走向时, 顶点链码用 3 这一种编号表示, 8 向链码用 1、3、5、7 这 4 种编号之一表示, 而 4 向链码则需用 0、1、2、3 这 4 种编号之二来表示, 所以当图像边界的斜向走点较多时, 4 向链码的编码长度就会大于 8 向链码; 另外, 顶点链码需要对每个像素的两个顶点进行表示, 所以当图像边界的斜向走点较多时, 顶点链码的编码长度也会大于 8 向链码。如图 2 所示的一段边界表示(最左边的一个点为编码起点), 4 向链码为 010101010133333300000000, 编码长度为 24; 顶点链码为 3131313131222223222222, 编码长度为 25; 而 8 向链码为 1111166666600000000, 编码长度为 19。

4) 由于 4 向链码是以折线来代替斜线, 所以其斜线的线形不如 8 向链码和顶点链码。

综合上述分析可知, 8 向链码和顶点链码比 4 向链码具有更好的实用性。而顶点链码同比 8 向链码虽然要长些, 但其编号类型少, 因而为顶点链码的进一步研究奠定了基础。

2 顶点链码的改进与压缩

2.1 顶点链码的改进

无论是 8 向链码还是顶点链码, 它们都是逐像素点或顶点编码, 但是, 对应用中的大量各种数字曲线和区域边界统计表明, Freeman 链码编号连续一致的出现概率高达 43% 以上, 顶点链码编号 2 连续一致的出现概率更高达 65.7%, 编号连续一致就是一种规律的表现, 充分利用这种规律必然会提高编码的综合性能或效率。于是, 许多压缩或改进的链码被提出^[8-11]。但这些压缩型链码虽然提高了压缩比, 却降低了编、解码的执行效率和应用灵活性。本文首先研究一种改进的顶点链码, 并称之为“动态顶点链码”。

常规顶点链码虽然能直观地以数字 1、2、3 分别表示一个顶点、两个邻近顶点和 3 个邻近顶点的图像边界, 其实, 我们未必一定要用具有实际数量意义的数字来表示 3 种类型的顶点, 例如, 以 0 (或 9) 表示第 1 种类型的顶点, 以 9 (或 0) 表示第 3 种类型的顶点, 以 1—8 动态地分别表示 1—8 个连续的第 2 种类型的顶点。动态顶点链码与常规顶点链码的编号对应关系如表 1 所示。

表 1 动态顶点链码与常规顶点链码的编号对应关系

Tab.1 The number relationship between the dynamic vertex chain code and the conventional chain code

常规顶点链码	动态顶点链码
1	0(或9)
2	1、2、3、4、5、6、7或8
3	9(或0)

这样,对于连续出现概率最高的编号,仍然用 1 位数字却能表示最多达到 8 个的连续顶点的编码,如果连续点超过了 8 个,可以另起一个连续编码。显然,这种改进的顶点链码在不增加编码复杂度和存储空间的条件 下,却在很大程度上提高了编码的效率。

以图 2 所示的箭头图形为例,其(部分放大的)边界的动态顶点链码的编码方法如下:

1) 任选编码的起始像素点,记录其坐标 $(x_0, y_0) = (60, 28)$,并以字符串变量 C 表示全局边界链码,以整数型变量 C_i 表示局部边界的动态顶点链码,以字符变量 N_i 表示局部边界的常规顶点链码。

2) 如果全图扫描已结束,则输出编码结果,否则,逆时针扫描边界,判断顶点类型:如果 $N_i = 2$,并且此时 $C_i < 9$,则 C_i++ ;继续扫描,如果 $N_{i+1} = N_i$,并且此时 $C_i < 9$,则 $N++$,否则,将 C_i 转换为字符串类型,使 $C = C \& C_i$, (本例中,此时 $C = 7$) 转至下步。

3) 判断顶点类型:如果 $N_i = 3$,则 $C_i = 9$,继续扫描,如果 $N_{i+1} = N_i$,则, $C = C \& C_i$ (本例中,此时 $C = 79$);否则,转至下步。

4) 判断顶点类型:如果 $N_i = 1$,则 $C_i = 0$,继续扫描,如果 $N_{i+1} = N_i$,则, $C = C \& C_i$;否则,转至第 2) 步。

于是得到图 2 最终的一段动态顶点链码为 795009090909090。

显然,动态顶点链码实际上也是一种具有局部压缩能力的压缩型链码。

定义编码的压缩比为

$$P_r = \frac{L_s - L_d}{L_s}$$

(1)

式中 L_s 源代码长度, L_d 压缩后的代码长度。

于是,图 2 所示一段边界的动态顶点链码的编码长度为 15,压缩比为

$$P_r = \frac{1}{25} \times (25 - 15) = 0.4$$

2.2 压缩链码 II

编码理论追求的目标是使被编成码的结构化信息最小化。刘勇奎等人^[9-10]提出了一种基于 Huffman 编码的压缩链码,其基本思想是将连续出现概率最高的第 2 种类型的顶点编号 2 用 1 位二进制数 0 表示,将连续出现概率次高的第 1 种和第 3 种类型的顶点编号(1,3 组合)用两位二进制数 10 表示,将连续出现概率次高的第 3 种和第 1 种类型的顶点编号(3,1 组合)用 3 位二进制数 110 表示,而将连续出现概率最低的第 1 种和第 3 种类型的顶点编号(1,3)分别用 4 位二进制数 1110 和 1111 表示,由于这种压缩链码是以 bit(位)位最小存储单位,因而具有很高的压缩,实验测试表明其压缩比可达 80%以上。但是,这种链码采用不定长的编码,且以 bit 为单位,所以不利于编码信息的实时分析处理和数据库存储。为此,本文研究一种以二进制表示的压缩型顶点链码(为了便于描述,在此将文献[9]研究的压缩链码称之为“压缩链码 I”,而将本文研究的压缩链码称之为“压缩链码 II”),但采用定长编码方式,且以 Byte(字节)为单位进行信息存储,能够在提高编码效率的同时提高编码的压缩比。

压缩链码 II 的基本原理是以二元组 (n, m) 的方式来表示图像边缘的链码^[8],即将一个字节拆分为高字节单元区 n 和低字节单元区 m 两部分, n 是两位的二进制数,表示链码编号, m 是 6 位的二进制数,表示连续出现的链码编号 n 的个数。 m 的十进制数值范围是 0 ~ 63,实际应用时以 $m + 1$ 计数,即 m 的计数范围是 1 ~ 64,如果连续编码数量超过 64,则可重新开始一个二元组。

另外,根据顶点链码的编码方法可知,除了在水平或垂直方向会出现连续的同编号外,在斜线方向出现的则是以 1 和 3 组合方式出现的连续编号组,所以,最大限度地压缩链码,还需将这种连续编号组进行相应的编号^[9]。压缩链码 II 与常规顶点链码的编号对应关系如表 2 所示。

可见,压缩链码 II 仅用一个字节就可以表示高达 64 个的连续同向编号或编号组,使得编码长度得以大幅度的缩短,从而达到链码压缩的目的。

于是,图 2 所示的一段边界采用压缩链码 II,以二进制数表示为 110000000000010101000000100001011100000010000111,编码长度为 6(字节),压缩比为

$$P_r = \frac{1}{25} \times (25 - 6) = 0.76$$

表 2 压缩链码 II 与常规顶点链码的编号对应关系
Tab.2 Number relationship between the compressed chain code II and the conventional chain code

常规顶点链码(十进制数)	压缩链码 II (8 位二进制数)
1	01B ₃₂ B ₁₆ B ₈ B ₄ B ₂ B ₁
2	10B ₃₂ B ₁₆ B ₈ B ₄ B ₂ B ₁
3	11B ₃₂ B ₁₆ B ₈ B ₄ B ₂ B ₁
1、3 组合	00B ₃₂ B ₁₆ B ₈ B ₄ B ₂ B ₁

注:表中的 B₃₂、B₁₆、B₈、B₄、B₂、B₁ 分别是模为 32、16、8、4、2、1 的二进制数值。

3 链码的评价方法

目前通常根据“平均码长”或者“码值平均表达能力”来评价一种链码的效率,而在实际应用中任何一种编码无外乎编码、解码、传输和保存这几个方面,但不同的应用环境,这几方面的要求或侧重点可能有所不同,例如,当需要对大量实时快速掠过的图像进行边界提取并编码时,就要求有高效的编码效率;当需要根据条件参数迅速从数据库的大量编码

中查询并还原图像边界时,就要求有高效的解码效率;而当需要在网络中大量、频繁地传输编码信息时,可能就需要有高效的编码压缩比和容错能力。

本文从应用中编码和解码的实时性考虑,探讨一种综合评价链码效率的方法,公式如下:

$$E = \alpha \times \frac{1}{T_c} + \beta \times \frac{1}{T_d} + \gamma \times P_r \tag{2}$$

式中的 T_c、T_d 和 P_r 分别表示编码相对耗时、解码相对耗时解码和平均压缩比(统计值);α、β 和 γ 分别表示编码评价项目的权重,可根据实际应用中某项指标的侧重度自行设置。

4 实验与比较

4.1 典型图像测试

选择图 3 所示不同形状、不同尺寸的 3 幅图像作为实验测试目标,图 3(a)、(b)和(c)的尺寸(像素)分别为 186 × 58、199 × 84 和 335 × 114。图 3(a)包含约 50% 的连续同向走线,图 3(b)包含少量连续同向走线,图 3(c)包含大量连续同向走线。

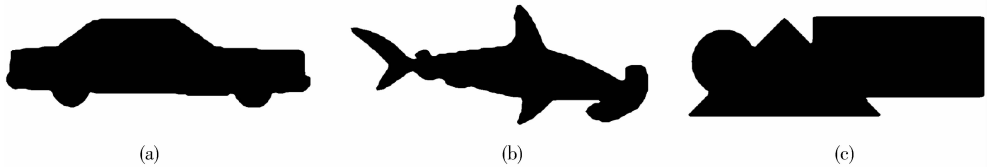


图 3 测试图像
Fig. 3 Tested image

提取 3 幅图像的边界的同时,将其编排为不同类型的链码,计算出相应的编码长度,并以常规顶点链码为参考,计算出两种压缩链码和改进链码的相对压缩比如表 3 所示。

表 3 编码长度及压缩比

Tab.3 Length and compression ratio of the code

编码类型	编码长度(图 3)			压缩比(图 3)		
	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
4 向链码	734	479	1 055	-	-	-
8 向链码	536	399	887	-	-	-
顶点链码	742	511	957	0	0	0
压缩链码 I	132	93	132	0.822	0.818	0.862
压缩链码 II	331	159	112	0.554	0.689	0.781
改进链码	551	269	355	0.474	0.257	0.629

表 3 的数据表明,压缩链码 I 具有稳定高效的编码压缩比,而压缩链码 II 和改进链码的压缩比随图像形状的变化而变化,图像中包含的连续同向走线越多,压缩比就越高。

另外,从表 3 的数据也可以看出,常规型顶点链码的编码效率比 8 向链码要低很多,与 4 向链码基本相等,这进一步说明了对常规型顶点链码进行改进的必要性。

4.2 批量图像测试

选择了以直线边界占主导部分、曲线边界占主导部分及此两类边界所占比例近似的生物体、建筑物体及自然景观对象等不同表现类型的(50 ~ 1 024) × (50 ~ 1 024)(像素)不同尺寸的 160 幅二值化图像,利用一个基于 Visual C# 2005 和 SQL Server 2005 的图像边界编码和解码测试程序,分别

对它们进行顶点链码、压缩链码Ⅰ、压缩链码Ⅱ和改进链码的边界编码和解码,存储或查询于数据库,同时记录相应的运行耗时和编码长度,并以常规型顶点链码为参考,分别计算出相应的相对耗时和平均压缩比,并在此基础上计算出相应的综合效率,结果如表 4 所示。

结合表 4 的数据,可以对几种链码的编码和解码效率以及综合效率分别加以分析。

1) 编码效率

(1) 压缩链码Ⅰ共有 5 种顶点编码方式,并且其中的“1-3”或“3-1”连续顶点编号还需要再进行判断区分,所以其编码耗时要大于常规的顶点链码,增加了 13%;

表 4 相对耗时及平均压缩比

Tab. 4 Relative time-consuming and average compression ratio

编码 类型	相对耗时		平均	综合	综合
	编码	解码	压缩比	效率 1	效率 2
顶点链码	1	1	0	0.3	0.8
压缩链码Ⅰ	1.13	1.14	0.83	0.85	0.87
压缩链码Ⅱ	1.27	0.90	0.72	0.77	0.92
改进链码	1.06	0.62	0.48	0.72	1.12

注:综合效率 1 的 α 、 β 和 γ 取值分别为 0.15、0.15 和 0.7;综合效率 2 的 α 、 β 和 γ 取值分别为 0.4、0.4 和 0.2。

(2) 压缩链码Ⅱ在编码过程中,不仅需要在链码编号确定之前临时存储和记录连续编号的数量,而且还需要进行十进制向二进制的数值转换,所以耗时最大,增加了 27%;

(3) 改进链码类似于常规顶点链码,只采用了 3 种顶点编码方式,只是在链码编号确定之前还需要临时存储和记录连续编号的数量,直到下一个新的编号开始时或者连续编号数量超过 8 时才最终确定和存储该编号,所以,改进链码的相对耗时略大于常规的顶点链码,耗时仅增加 6%。

2) 解码效率

(1) 压缩链码Ⅰ采用了不定长编码,共有 4 种编码长度,在解码过程中需要以二进制的比特位进行 4 种位长的编码提取,但是,利用数据库对编码进行管理时,相应的字段通常以字节为单位对编码信息进行存储,这样,在编码提取时需要进行相应的与运算和位移操作,而且,对于所有的连续的两像素相邻顶点的编号仍需逐一提取,所以其解码速度比常规顶点链码、压缩链码以及改进链码都要慢,解码效

率降低 14%;

(2) 压缩链码Ⅱ解码时虽然在位运算和二进制向十进制转换时比较耗时,但是当连续同向编码数量很大时,总的耗时就仅占较少的部分,所以这种链码仍然具有较高的解码效率,解码效率提高了 10%;

(3) 改进链码在解码过程中直接以单字节的方式按字符顺序读取每一位的链码编号,特别是对于连续的两像素相邻顶点的编号可以直接根据其数值一次性解码析出,无需字节拆分和判断,所以其解码速度最快,解码效率提高了近 40%。

3) 综合效率

如果特别注重编码的压缩比,则可采用具有较高压缩比的压缩链码Ⅰ;如果更注重编码和解码的效率,则改进链码当为首选;而如果在要求较高效率的解码效率的同时,还希望压缩比尽可能高,则宜选择压缩链码Ⅱ。

本文采用 Visual C#和 SQL Server 开发了相应的测试系统,如果采用其他测试方法或开发工具,得到的结果的定量值可能会有所不同,但定性的结论应该与本文上述的分析一致。

5 结 论

本文提出的一种改进顶点链码不仅具有较高的编码和解码效率,而且还具有近 50%的编码压缩比。所研究的一种压缩链码虽然编码效率不高,但其解码效率和编码压缩比都比较高。但是,无论哪种编码都不可能在所有性能指标上达到最优,实际应用时具体选用哪种编码,应以期望指标为参考,鉴于此,本文从编码和解码的实时性和压缩比 3 个重要方面考虑,尝试性地提出了一种综合效率评价方法。下一步将在本文改进顶点链码的基础上,结合压缩编码技术,研究运动目标轮廓的实时提取及其数据存储。

参考文献 (References)

[1] Koplowitz J,Plante S. Corner detection of chain code curves[J]. Pattern Recognition,1995,28 (6) : 843-852.

[2] Yuan J,Suen C Y. An optimal $O(n)$ algorithm for identifying line segment s from a sequence of chain codes[J]. Pattern Recognition,1995,28 (5) : 635-645.

[3] Wang Xiaoling,Xie Kanglin. A novel direction chain code-based image retrieval [C] //Proceedings of the 4th International

- Conference on Computer and Information Technology, Now York: IEEE, 2004; 190-193.
- [4] Sun Junding, Wu Xiaosheng. Chain code distribution-based image retrieval [C] // Proceedings of IHH-MSP ' 06 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Pasadena, California, USA: California Institute of Technology, 2006; 139-142.
- [5] Freeman H. Boundary Encoding and Processing, Picture Processing and Psychopictorics [M]. Lipkin B, Rosenfeld A. New York: Academic Press, 1971.
- [6] Saghri J A, Freeman H. Analysis of the precision of the generalized chain codes for the representation of planar curves [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1981, 3 (5) : 533-539.
- [7] Bribiesca E. A new chain code [J]. Pattern Recognition, 1999, 32 (2) : 235-251.
- [8] Tang Zhenjun, Zhang Xianquan. Research on chain code expression of image boundary [J]. Image Pressing, 2005, 11 (03) : 105-107. [唐振军, 张显全. 图像边界的链码表示研究 [J]. 图像处理, 2005, 11 (03) : 105-107.]
- [9] Liu Yongkui. Research on compressed chain code [J]. Chinese Journal of Computers. 2007, 30 (2) : 281-287. [刘勇奎. 压缩链码的研究 [J]. 计算机学报, 2007, 30 (2) : 281-287.]
- [10] Liu Y K, Zalik B. An efficient chain code with Huffman coding [J]. Pattern Recognition, 2005, 38 (4) : 553-557.
- [11] Lele Zhou, Zahir S. A new efficient context-based relative-directional chain coding [C] // Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, Vancouver, Canada: The University of British Columbia, 2006; 787-790.