

基于轮廓和链码表示的高效形状编码

朱仲杰¹, 王玉儿¹, 蒋刚毅²

(1. 浙江万里学院 宁波市 DSP 重点实验室, 浙江 宁波 315100; 2. 宁波大学 电路与系统研究所, 浙江 宁波 315211)

摘 要: 提出一种基于轮廓和链码表示的高效无损形状编码方法。首先提取对象轮廓并细化成单像素宽度; 然后将其转换成链码表示并基于方向相关性分割成若干子段, 使每个子段最多包含 2 个基本方向码, 同时结合线性检测, 分离出对象轮廓中的长线性子段; 最后对线性子段和非线性子段结合链码的空域相关性进行差异化编码以获得最佳编码性能。实验结果显示, 所提算法的性能优于现有的常用方法, 与最新的同类方法相比能平均提高压缩效率 36.5%左右。

关键词: 视觉对象; 形状编码; 无损编码; 链码

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)08-0008-07

High efficient shape coding based on the representation of contour and chain code

ZHU Zhong-jie¹, WANG Yu-er¹, JIANG Gang-yi²

(1. Ningbo Key Lab. of DSP, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China;

2. Institute of Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: A high efficient lossless shape coding scheme was proposed based on the representation of contour and chain code. The object contours are firstly extracted and thinned to be single-pixel width. Then the object contours are transformed into chain-code-based representation and divided into different sub-segments based on link directions to make each sub-segment consist of up to two types of links. Thirdly, straightness detection is performed and long straight-line segments within contours are separated. Finally, different schemes are proposed to encode the straight-line sub-segments and ordinary curve sub-segments by employing the spatial correlations among contours aiming to acquire high coding performance. Experiments are conducted and the results show that the proposed scheme outperforms the existing techniques and can improve the compression efficiency by 36.5% on average compared with the state-of-the-art method.

Key words: visual objects; shape coding; lossless coding; chain code

1 引言

对象基处理技术由于具有较好的语义理解、表达和交互性, 在图像与视频应用领域中越来越受到广泛关注, 如对象基编码、对象基检索与交互等^[1]。与传统技术相比, 对象基处理技术能获得更高的性能和更好地满足应用需求。例如, 与传统的块基编码方法相比, 对象基编码能将图像分割成具有不同

视觉兴趣的对象, 可以视觉对象为编码单元, 根据不同对象的视觉感知重要性进行差异化码率分配和编码, 从而提高在给定码率下编码后重构图像的主观视觉效果。

形状是视觉对象的一个重要特征, 形状信息是进行视觉对象定义、表示与处理的关键信息。因此, 形状编码是对象基图像与视频编码中的一个关键技术, 也是当前国内外图像处理领域的一个研究热

收稿日期: 2013-05-07; 修回日期: 2014-03-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60902066, 60872094, 60832003); 浙江省自然科学基金资助项目 (LY14F01006); 人社部留学人员科技活动择优基金资助项目 (2013-277); 宁波市自然科学基金资助项目 (2012A610040)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (60902066, 60872094, 60832003); The Natural Science Foundation of Zhejiang Province (LY14F01006); Technology Foundation for Selected Overseas Chinese Scholar, MOHRSS of China (2013-277); The Natural Science Foundation of Ningbo (2012A610040)

点^[2]。形状编码方法一般可以分为 2 类：基于位图的方法和基于轮廓的方法。基于位图的方法将对象形状表示为一个二值图像，然后采用二值图像编码方法进行编码，如 JBIG、JBIG2、MPEG-4 的基于上下文的算术编码（CAE）等^[3-7]。基于轮廓的方法首先提取视觉对象的轮廓曲线，然后对轮廓曲线进行编码，常用的方法有基于链码的方法和基于多边形、样条等曲线拟合的方法^[8-10]。一般来说，曲线拟合的方法能获得更高的编码效率，但其一般用于有损编码而不能用于无损编码。目前，国际上有很多学者正从事形状编码方法研究，新的技术和算法不断涌现。例如，Liu 等人研究提出了一种基于 H.264 标准的形状编码方法^[11]。Wulandhari 等人对传统链码进行了拓展，提出一种称为顶点链码的形状编码方法^[12]。Lai 等人研究了基于 B 样条拟合形状编码中的质量评价与失真估计等问题，提出了结合视觉感知特性的失真度测量方法^[13]。文献[14]提出了一种基于上下文算术编码的二值图像形状编码方法。它利用了图像和视频目标轮廓中存在的局部线性边缘特征，将其应用到算术编码的上下文建模中，以提高上下文的准确性和精度，从而最终提高编码效率。实验结果显示，其编码性能高于 JBIG、JBIG2、MPEG-4 CAE 等传统方法。文献[15]提出了一种基于图像相关性的形状表示与编码方法。它将对象的形状编解码与图像数据本身相关联，充分利用了图像内容和对象形状之间的相关性，可以大幅提高编码效率。然而，该方法也是一种有损编码方法，不能应用于无损领域。

由于形状信息的重要性，许多实际应用领域，如高精度对象基视频检索与识别、高效对象基视频编码等领域，往往要求视觉对象的形状信息尽可能准确，对形状信息的编码要求低失真甚至是无损编码。因此，高效的无损形状编码是对象基图像与视频处理中的关键技术，需要进一步深入研究。为此，本文提出一种基于轮廓和链码表示的高效无损形状编码算法，其总体框图如图 1 所示，主要分为轮廓提取与分割、编码与压缩 2 个主要步骤。算法首先提取对象轮廓并细化成单像素宽度。然后将其转换成链码表示并基于链码的方向相关性将目标轮廓曲线分割成若干子段，使每个子段仅包含 2 个基本方向码。接下来对每个轮廓子段进行线性检测并将其分为普通子段和含直线段子段。最后对每个子段分别编码其长度、类型和方向码序列，对直线段

部分进行行程编码。由于每个子段内只有 2 个基本方向码，每个方向码仅需一个比特编码表示，因此可以获得高的编码效率。

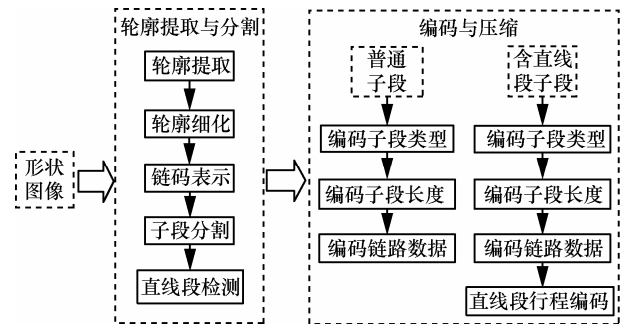


图 1 算法总体

2 轮廓提取与分割

对于给定的原始二值形状图像，首先提取所有对象的轮廓。一般来说，提取的对象轮廓往往不是单像素宽度，这样不利于后续进行高效编码压缩。为此，对提取的轮廓进一步进行细化处理，将其细化成基于 8-邻接的单像素宽度。即除了起始点和轮廓交叉点外，对于对象轮廓上的每个边缘点，在其 8-邻域内存在且只存在 2 个相邻的轮廓边缘点。例如，图 2(a)中的一段对象轮廓就不是符合要求的基于 8-邻接的单像素宽度，必须将其处理成图 2(b)或 2(c)所示的结果。

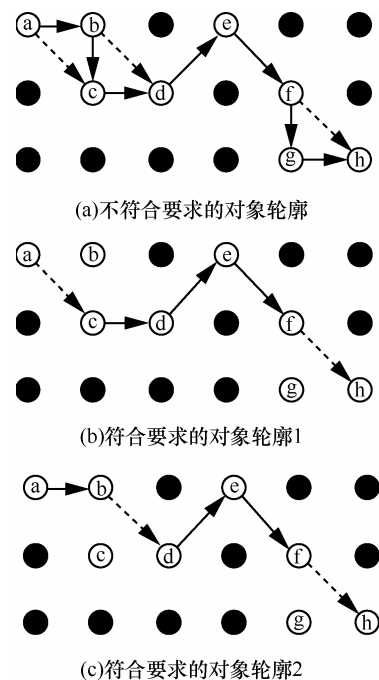


图 2 轮廓细化示例

提起目标轮廓并细化处理后,进一步将其转换成链码表示。链码是一种有效的边缘表示与编码方法。常用的链码按照中心像素点邻接方向个数的不同,可以分为 4 方向链码和 8 方向链码。4 方向链码的邻接点有 4 个,分别在中心像素点的上、下、左、右。8 方向链码比 4 方向链码增加了 4 个对角方向。由于 8 方向链码正好与图像中像素点的实际邻接情况相符,能够准确地描述中心像素点与其邻接点的信息,因此在实际应用中广泛使用。本文也使用经典的 8 方向 Freeman 链码,其对应的 8 个方向如图 3 所示。

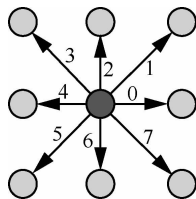


图 3 8 方向 Freeman 链码

一般来说,经过细化处理后轮廓曲线上的每个边缘点,在其 8-邻域内存在且只存在 2 个相邻的轮廓边缘点。但如果有对象相交或者某个对象与图像边界相交,则交叉点在其 8-邻域内会存在一个或者 2 个以上相邻的轮廓边缘点。为此,为了进行形状的高效表示与编码,将轮廓交叉点选为特征点。基于特征点将整个轮廓曲线分成若干段,使每段轮廓边缘存在零个或 2 个特征点。如果某段对象轮廓是条封闭曲线则其不存在特征点,否则包含 2 个作为端点的特征点。对于每段轮廓边缘,其链码表示的方向码序列中会存在很强的相关性。在编码时如果能利用此相关性将有可能提高编码效率。为此,对每段轮廓边缘进一步基于方向码的种类将其分割成若干子段,使每个子段内最多存在两类方向码。这样对子段内的任一方向码在编码时仅需一个比特即可编码表示。与原始链码中的每个方向码需要 3 bit 相比,可以有效提高压缩效率。对于 8 方向链码,由于存在 8 个基本的方向码,根据上述分割原则理论上共存在 28 种类型的子段。但由于轮廓细化对前后链路之间的方向进行了限制,实际的子段类型会大幅度减少。例如,如果当前链路所对应的方向码为 0,则下一链路只可能是 0,1 或 7。类似地,链码中所有链路之间的方向约束特性如表 1 所示。基于表 1,所有可能的链路类型可以分为 8 类,如表 2 所示。

表 1 链码中前后链路之间的约束特性

当前链路	下一链路	当前链路	下一链路
0	7	4	3
	0		4
	1		5
1	0	5	4
	1		5
	2		6
	7		3
	3		7
2	1	6	5
	2		6
	3		7
3	2	7	6
	3		7
	4		0
	1		5
	5		1

表 2 子段类型

子段类型	所含链路	子段类型	所含链路
0	0	4	4
	1		5
1	1	5	5
	2		6
2	2	6	6
	3		7
3	3	7	7
	4		0

以上分割后的轮廓子段内可能会存在直线段,为了提高编码效率,进一步检查轮廓中直线段的长度,如果存在长直线段,将其分离并独立编码。轮廓提取与分割的主要步骤简述如下。

1) 提取所有目标轮廓并将其细化成单像素宽度。设 $C(x, y)$ 表示提起的二值形状图像, (x, y) 表示像素的坐标。 $C(x, y)$ 取值为 0 或者 255。如果 $C(x, y) = 0$ 表示像素 (x, y) 为目标轮廓点。设 P 表示所有的轮廓点的集合。

2) 从 P 检测并提取特征轮廓点,令 P_K 表示所有的特征点集合。

3) 基于 P_K 将轮廓曲线分割成若干段。令 $S = \{s_j\}$ 表示所有的轮廓曲线段集合, $p_{s_j S}$ 和 $p_{s_j E}$ 表示

曲线段 s_j 的 2 个端点。

4) 基于 8 方向链码, 将每一个曲线段 s_j 转换成链码表示, 得到一个方向码序列 L_j 。

5) 对每个 L_j , 基于方向码的相关性和表 2 将其分割成若干子段 L_{jn} ($n=0,1,\dots,N_j-1$), L_{jn} 表示分割后的第 n 个子段, N_j 表示 L_j 中分割后的子段的数量。为了后续编码方便 2 个子段之间保留一个长度为 1 的方向码作为分割码, 设 D_{jn} 表示 L_{jn} 所对应的分割符。

6) 对每个 L_j , 检测所有 L_{jn} 的长度并记录最长子段的长度 LM_j 。

7) 检查每个子段中的轮廓直线段并判断是否将其分离进行独立编码。设某直线段的长度为 K , 如果 $K > 1 + 2lbLM_j$, 则对其进行分离和单独编码, 否则不进行分离操作。对于含有可以分离直线段的子段将其标记为特殊子段, 对分离出来的直线段分别编码其起始地址和长度。

8) 重复步骤 4), 直到完成所有曲线段的分割。

3 高效编码与压缩

对分割后轮廓段中的每个子段, 如果是直线段, 则进行行程编码, 分别编码其起始点和长度。如果是非直线段, 则需要分别编码子段类型、子段长度和子段内每个链路的方向码。轮廓段和子段的码流结构如图 4 所示。其中 C_S 表示段的类型。如果 $C_S = 0$ 表示该段轮廓不是封闭曲线, 有 2 个端点, 在编码时该 2 个端点坐标都需要编码。否则, 如果 $C_S = 1$ 表示该段轮廓是条封闭曲线, 只需要编码一个端点即可。 Q_{EP} 表示端点坐标的二进制编码表示。 N_{SL} 表示编码子段长度所需要的比特数。 C_T 表示子段的编码模式, 如果 $C_T = 1$ 表示该子段是直线段, 对其进行行程编码, L_S 表示直线段的起始地址, L_T 表示直线段的长度。在一个子段中可能存在多个可分离直线段, 为此在每个可分离直线段后面添加一个标识符 L_E 用以标识后续是否存在其他可分离直线段。如果 $L_E = 0$ 则表示后续存在分离直线段, 否则不存在。 S_L 表示子段的长度, S_T 表示如表 2 所示的子段类型。

由于最多存在 8 个不同的轮廓子段, 因此对子段类型可以使用 3 bit 固定长度编码。而子段内最多只有 2 种不同的链路, 因此对每个链路只需采用 1 bit

进行编码表示。子段类型和链路的码表如表 3 所示。对于子段长度, 可以采用固定长度编码或变长编码。变长编码要建立并传输码表, 其编码效率取决于码表的准确性和具体的编码数据。一般来说如果编码数据量较大可以提高编码效率, 但如果编码数据较少, 则很可能降低编码效率。对于形状编码来说, 一张图像的形状轮廓数据往往较少。因此, 本文采用固定长度编码, 编码位数由 N_{SL} 指定。其中, $N_{SL} = lbLM_j$, LM_j 表示第 j 段对象轮廓 L_j 中最长子段的长度。对于分隔符, 可以基于方向码进行 3 比特/分隔符的定长编码。但由于链路之前的相关性, 可以利用前一子段的类型与其最后一个方向码之间的相关性进行变长编码以提高编码效率。例如, 如果前一子段是非直线段, 则其编码码表如表 4 所示。

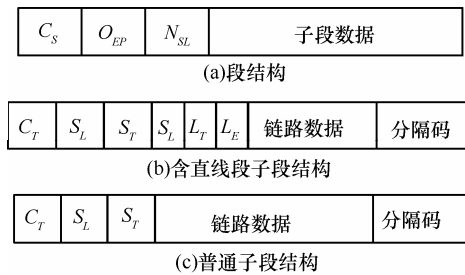


图 4 段和子段的码流数据结构

子段类型	子段类型码	链路	链路码
0	000	0	0
		1	1
1	001	1	0
		2	1
2	010	2	0
		3	1
3	011	3	0
		4	1
4	100	4	0
		5	1
5	101	5	0
		6	1
6	110	6	0
		7	1
7	111	7	0
		0	1

表 4 分隔符编码

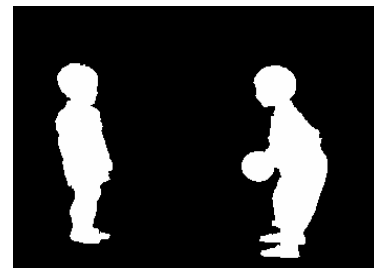
子段类型	最后链路	分隔符	码字
0	0	7	/
	1	2	0
		7	10
1	1	3	11
		0	0
	7	10	
2	2	3	/
	3	1	/
		4	0
3	3	1	10
		5	11
	4	5	/
4	4	3	/
		6	0
	5	3	10
5	5	7	11
		4	0
	6	7	/
6	6	5	/
		0	0
	7	1	10
7	7	5	11
		6	0
	0	1	/

4 实验结果

为了检验所提算法的性能，进行了实验仿真。实验中使用了 kids、weather 和 stefan 3 个 MPEG-4 标准形状测试序列，如图 5 所示。测试序列的原始图像是二值形状掩模图像。为此，首先对每张图像提取对象的轮廓并对其进行细化。然后将对象轮廓转换成链码表示并基于表 3 将其分割成若干子段，

使每个子段仅包含 2 个基本方向码。接下来，对每个子段进行直线段检查并分离出符合条件的线性子段。最后，基于图 4 的语法结构分别对线性子段和非线性子段采用差异化编码策略进行编码。

图 6 给出了提取的 3 个测试序列第一帧的对象轮廓图像。其中图 6 (a) 是直接提取但没有进行细化处理的轮廓图像，图 6 (b) 是进行细化处理后的对象轮廓。从图 6 可以看出，直接提取的对象轮廓不一定完全是单像素宽度，即对于轮廓上的某个点，在其 8-邻域内可能存在 2 个以上的相邻轮廓边缘点，这样不利于后续的高效编码。而经过细化处理后，除了端点和交叉点外，轮廓曲线上的每个边缘点在其 8-邻域内存在且只存在 2 个相邻的轮廓边缘点。



(a) kids



(b) stefan



(c) weather

图 5 测试序列

表 5 和表 6 给出了本文算法与现有主要无损形状编码方法的对比实验结果，主要包括 JBIG、

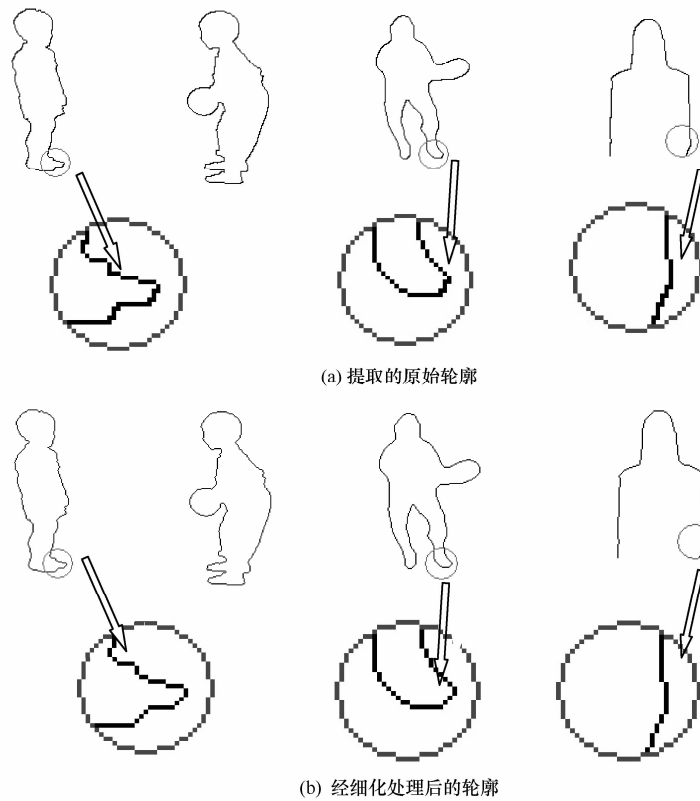


图 6 3 个序列第一帧对象轮廓提取及细化结果

表 5 与现有方法的对比实验结果

测试序列			JBIG	JBIG2	MPEG-4 CAE	DSLSC ₂	本文算法
名称	帧	格式					
weather	0~100	QCIF	864	736	520	480	304
kids	0~100	SIF	2 432	2 256	2 040	1 792	1 047
stefan	0~100	SIF	1 136	984	744	672	462

表 6 所提方法与现有方法的 γ 值

测试序列			JBIG	JBIG2	MPEG-4 CAE	DSLSC ₂
名称	帧	格式				
weather	0~100	QCIF	35.2%	41.3%	58.5%	63.3%
kids	0~100	SIF	43.1%	46.4%	51.3%	58.4%
stefan	0~100	SIF	40.7%	47.0%	62.1%	68.8%

JBIG2、MPEG-4 CAE 和文献 DSLSC₂ 算法等。据笔者所知，DSLSC₂ 算法是目前已有文献中压缩性能最好的无损形状编码方法。从表 1 实验结果可以看出，与现有方法相比，所提算法能获得更高的压缩性能。

为了定量考察所提算法与已有方法的相对压缩性能，给出相对压缩比特率的定义

$$\gamma = \frac{C_p}{C_i} = \frac{L_p}{L_i},$$

$$i \in \{\text{DSLSC}_2, \text{JBIG}, \text{JBIG2}, \text{MPEG-4CAE}\} \quad (1)$$

其中， γ 表示相对压缩比特率， C_p 和 C_i 分别表示所提算法与现有方法编码压缩后的比特率，单位

为比特每像素。 L_p 和 L_i 分别表示本文算法和现有算法编码某个序列后平均每帧图像所需的比特数, 单位为比特每帧。表 6 给出了本文算法对比上述 4 种方法的 γ 值。表 6 结果显示, 与现有方法相比, 本文算法能大幅降低形状图像编码压缩后的平均比特率, 分别是 JBIG 的 39.7%、JBIG2 的 44.9%、MPEG-4 CAE 的 57.3%。即使与最新的 DSLSC₂ 方法相比, 本文算法的压缩效率也能提高 36.5%。

5 结束语

形状是视觉对象的重要特征, 高效的形状编码是对象基图像与视频处理中的关键技术。本文提出了一种基于轮廓和链码表示的高效无损形状编码方法。首先利用对象轮廓链码间的空域相关性将目标轮廓分割成若干子段, 使每个子段仅包含 2 个基本方向码。对每个基本方向码仅需一个比特编码表示, 可以有效提高压缩效率。同时检测和分离出对象轮廓中的长线性子段, 对其进行独立行程编码, 可以进一步提高压缩效率。实验结果显示, 所提算法优于现有的常用方法, 与最新同类方法相比能提高压缩效率 36.5% 左右。所提算法能广泛应用于对象基编码、对象基检索以及对象交互等图像和视频应用领域。

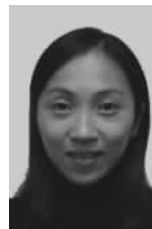
参考文献:

- [1] ZHU Z J, WANG Y E, JIANG G Y. On multi-view video segmentation for object-based coding[J]. Digital Signal Processing, 2012, 22(6): 954-960.
- [2] BANDYOPADHYAY S K, KONDI L P. Optimal bit allocation for joint texture-aware contour-based shape coding and shape-adaptive texture coding[J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 2008, 18(6): 840-844.
- [3] KATSAGGELOS A K, KONDI L P, MEIER F W, et al. MPEG-4 and rate-distortion-based shape-coding techniques[A]. Proc IEEE[C]. 1998. 1126-1154.
- [4] ISO/IEC/JTC1/SC29. 11544: Information Technology-Coded Representation of Picture and Audio Information-Progressive Bi-Level Image Compression[S]. Geneva: ISO/IEC, 1993.
- [5] ISO/IEC/JTC1/SC29. 14492: Information Technology-Coded Representation of Picture and Audio Information-Lossy/Lossless Coding of Bi-Level Images (JBIG2) [S]. Geneva: ISO/IEC, 2001.
- [6] ISO/IEC/JTC1/SC29. 14496-2: Information Technology-Coding of Audio-Visual Objects-Part 2: Visual[S]. Geneva: ISO/IEC, 2004.
- [7] MARTIN K, LUKAC R, PLATANIOTIS K N. SPIHT-based coding of the shape and texture of arbitrarily shaped visual objects[J]. IEEE Trans. Circuits Syst Video Technol, 2006, 16(10): 1196-1208.
- [8] SCHUSTER G M, KATSAGGELOS A K. An optimal polygonal boundary encoding scheme in the rate distortion sense[J]. IEEE Trans Image Process, 1998, 7(1): 13-26.
- [9] KIM K J, SUH J Y, KANG M G. Generalized interframe vertexbased shape encoding scheme for video sequences[J]. IEEE Trans Image Process, 2000, 9(10): 1667-1676.
- [10] NUNES P, MARQUEHS F, PEREIRA F, et al. A contour-based approach to binary shape coding using a multiple grid chain code[J]. Signal Processing: Image Communication, 2000, 15(7): 585-599.
- [11] LIU Q, NGAN K N. Arbitrarily shaped object coding based on H.264/AVC[A]. Proceedings of the International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems[C]. 2009. 343-346.
- [12] WULANDHARI L A, HARON H. Characteristic of rectangular vertex chain code for shapes with hole[A]. Proceedings of the International Conference on Information Management and Engineering[C]. 2009. 648-650.
- [13] LAI Z, ZUO Z, WANG Z, et al. Accurate distortion measurement for B-spline-based shape coding[A]. Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing[C]. 2011. 225-228.
- [14] AGHITO S M, FORCHHAMMER S. Context-based coding of bilevel images enhanced by digital straight line analysis[J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 2006, 15(8): 2120-2130.
- [15] LUO H T. Image-dependent shape coding and representation[J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 2005, 15(3): 345-354.

作者简介:



朱仲杰 (1976-), 男, 安徽安庆人, 博士, 浙江万里学院教授, 宁波市 DSP 重点实验室主任, 主要研究方向为 2D 与 3D 视频编码与传输、视频语义分析与理解等。



王玉儿 (1979-), 女, 浙江宁波人, 浙江万里学院助理研究员, 主要研究方向为图像与视频信号处理。



蒋刚毅 (1964-), 男, 浙江绍兴人, 宁波大学教授、博士生导师, 主要研究方向为视频编码与通信。