# 自由曲面对象族研究\*

丁 博<sup>a,b</sup>,于晓洋<sup>b</sup>,孙立镌<sup>a</sup>

(哈尔滨理工大学 a. 计算机科学与技术学院; b. 测控技术与通信工程学院, 哈尔滨 150080)

摘 要:传统的边界表示方式导致自由曲面特征仅包含几何信息,很显然这种表达方式是很低效的。为此提出 了一种有效描述自由曲面特征的新方法,该方法基于陈述式的对象族模型构建自由曲面对象族,使自由曲面具 有高层次的语义信息,可以保证自由曲面特征无缝地融合到模型中去,同时满足自由曲面特征与其他特征间的 约束关系。通过约束定义自由曲面特征具有的语义信息,在建模过程中功能属性被很好地维护,实现了对自由 曲面特征在参数化层次上的描述,并证明了其可行性。

关键词:自由曲面特征;陈述式的对象族模型;自由曲面对象族;语义信息
中图分类号:TP391 文献标志码:A 文章编号:1001-3695(2012)11-4394-04
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.11.102

## Research on family of blend object

DING Bo<sup>a,b</sup>, YU Xiao-yang<sup>b</sup>, SUN Li-juan<sup>a</sup>

(a. College of Computer Science & Technology, b. College of Measure-control Technology & Communication Engineering, Harbin University of Science & Technology, Harbin 150080, China)

**Abstract**: The blend features contained only geometric information on conventional Breps is inefficient. This paper proposed a new method to describe blend features, which built family of blend object based on declarative family of object model. The blend features, based on high-level semantic information, could be added to a model containing relations between all features in the model. It defined constraints to specify important semantic information, and maintained the semantic information during the whole modeling process. Experiments implement describing blend features at a parameterized level and demonstrate its feasibility.

Key words: blend feature; declarative family of object model; family of blend object; semantic information

## 0 引言

CAD 技术是产品设计和开发的重要支撑,当前 CAD 技术 以特征造型技术为主导<sup>[1]</sup>。随着语义特征建模技术的日趋成 熟,设计人员可以方便地提取模型中规则特征的几何和功能信 息,但对于不规则特征,如自由曲面特征的语义信息则很难获 取。自由曲面特征是一个或多个特征面的过渡,对多个特征面 相交的边界起到平滑的作用,有了自由曲面特征,可以使整个 造型变得更加美观。但是由于自由曲面特征的复杂性,CAD 系统难以提供完整的语义信息和完善的模型维护机制。随着 工业设计模型的越来越复杂,自由曲面特征的应用越来越广 泛,在客观上要求 CAD 系统提供比过程式参数化特征造型技 术更加灵活、更加快速地构建自由曲面特征的方法,同时提供 良好的自由曲面特征维护机制<sup>[2]</sup>。

近年来,对象族模型技术引起了学术界的高度关注。本文 构建了一种陈述式的对象族模型。陈述式的对象族模型建立 在特征模型的基础之上,它是与历史无关的造型技术中的一个 分支<sup>[3]</sup>。陈述式的对象族造型的基本元素是变量和约束,它 是一种以约束驱动产品变形设计的方式。在对象族造型中,一 个造型通过改变参数可以获得一组对象的集合,这一组对象称 为一个对象族,族中的每一个对象称为族成员<sup>[4]</sup>。本文基于 陈述式的对象族模型构建自由曲面对象族,采用特征实体描述 模型的通用形状,特征实体具有明确的形状特征,因此,可以准 确地描述自由曲面特征的形状。

## 1 相关知识介绍

## 1.1 对象族模型

对象族模型提供了产品的功能要素,直接体现了设计者的 设计意图,设计人员的操作对象不再是原始的线条和体素,而 是具有语义信息的功能模型<sup>[5]</sup>。目前,对于对象族模型主要 有两个方面的应用:a)构造一系列相似的产品,如不同尺寸的 工具;b)重用某模型作为一个大型 CAD 模型的一个部件,为该 模型赋予适当的值。因此,对象族建模不仅可以提高设计生产 效率,而且可以降低设计成本<sup>[6]</sup>。对象族模型支持约束驱动 的产品变形设计,实现了约束表达、维护和求解的一致性,使产 品的设计过程不再基于历史,实现了产品设计的可编译性和易 编译性。

### 1.2 自由曲面特征

目前的商业化建模系统无法在参数化层面上描述自由曲

**收稿日期:** 2012-03-30; 修回日期: 2012-05-27 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60173055)

作者简介:丁博(1983-),女,河北人,讲师,博士(后),主要研究方向为计算机图形学、对象族造型(dingbo@hrbust.edu.cn);于晓洋(1962-), 男,黑龙江人,教授,博导,博士,主要研究方向为三维视觉检测;孙立镌(1944-),男,黑龙江人,教授,博导,硕士,主要研究方向为计算机图形学与 CAD.

面特征具有的功能属性,缺乏有效信息准确地描述自由曲面, 尤其是很难维护自由曲面特征所具有的语义信息<sup>[7]</sup>。一旦模 型中加入了自由曲面特征,通常采用边界表达的方式描述自由 曲面特征,这样使自由曲面特征无法完全与造型融为一体。当 修改某一特征时,依附其上的自由曲面特征也要作相应的修 改。但由于自由曲面特征只具有几何信息,而不具有语义信 息,从而容易产生语义冲突<sup>[8]</sup>。总之,传统的以宏操作的方式 构建自由曲面特征,无法有效地维护自由曲面特征的语义信 息。本文采用以陈述式的对象族模型为基础,构建自由曲面对 象族,使自由曲面具有语义信息,将自由曲面与造型融为一体, 实现设计者在语义层面上对造型进行操作。

## 2 陈述式的对象族模型

陈述式的对象族模型技术旨在实现模型设计的可编译性 和易编译性。陈述式的对象族模型由三部分组成:高层次的对 象族模型、处于中间层的特征模型和低层次的细胞元模型。

#### 2.1 细胞元模型

细胞元模型(cellular model, CM)将特征实体描述成半分 离的细胞元集合。细胞在细胞元模型中是最小的单位,每个细 胞都是一个独立的实体,并且具有分裂和融合的功能。一旦多 个细胞发生重叠,细胞之间就会彼此驱动,发生分裂或融合。 通过细胞元模型检测由模型操作引起的非法特征相交情况并 进行处理。

CM 采用所有者列表(cell owner list,COL)标志每个细胞 和细胞面属于哪个形状特征,细胞面是否在零件的边界上。有 两个基本的修改细胞元模型的操作,即特征的插入和删除。特 征的插入和删除过程就是在 COL 中插入和删除细胞的过程。 这两个操作不仅要更新特征依赖图,同时对细胞元模型也有双 重影响:a)改变了细胞元模型的拓扑结构;b)描述细胞元模型 体素的 COL 被更新一次。细胞元模型是实现产品设计与历程 无关的基础,便于设计人员对模型进行变形设计。图1的陈述 式对象族模型的 COL 如表1所示。

	表1 所有者列表
序号	对象模型描述
1	$\langle  \mathrm{block}  \rangle$
2	$\langle{\rm block},{\rm step1}\rangle$
3	$\langle  \mathrm{block}  ,  \mathrm{blend}  \rangle$
4	$\langle  {\rm block}  ,  {\rm step2}  \rangle$
5	$\langle {\rm step1}, {\rm blindSlotLeft1}\rangle$
6	$\langle$ step1 , blindSlotRight1 $\rangle$
7	$\langle {\rm step2}, {\rm blindSlotLeft2}\rangle$
8	$\langle$ step2, blindSlotRight2 $\rangle$

#### 2.2 特征模型

特征模型被进一步分成特征依赖图和特征形状两部分。 特征依赖图有效地表达了 CAD 模型中特征间的层次关系。特 征形状可以实现自由曲面特征的高层次描述。

## 2.2.1 特征依赖图

特征依赖图(feature dependency graph, FDG)包含了模型 中的所有特征以及特征间的依赖关系,提供了模型的高层结 构。特征依赖图由节点和有向边两部分组成,是一个非循环的 有向图,其中节点表示特征,有向边表示约束关系。有向边的 终点(即箭头所指方向)是子特征(客特征),始点是父特征(主 特征),有向边代表了一种依存关系。设计人员可以对 CAD 模 型施加添加、修改和删除三个基本的操作。每当执行一个特征操作,只会影响到依赖于该特征的特征,而不会影响到其他特征,通过 FDG 可以确定特征的影响范围和强度。每一次特征操作 FDG 被更新一次,无须重构整个 CAD 模型。图1的 FDG 如图2所示。



2.2.2 特征形状

现有的建模系统只提供了有限的形状集合,即规则形状和 简单的自由形体。自由曲面特征是一个或多个特征面的过渡, 对多个特征面相交的边界起到平滑的作用。传统的描述自由 曲面的方法是采用边界表达的方式,仅包含自由曲面的几何信 息,自由曲面特征应该在更高的语义层面上被描述。

陈述式的对象族模型将特征模型扩展为两层结构,目的就 是要有效地描述自由曲面特征。特征形状可以实现自由曲面 特征的高层次语义表达。在对象族模型中,形状的全部几何信 息统称为特征实体,为了准确地描述自由曲面特征,特征实体 又被进一步分为特征几何实体和特征拓扑实体。特征几何实 体类型包括顶点、轮廓和区域。特征拓扑实体类型包括点、边 和面。特征几何实体详细说明了对象族模型的几何属性,可以 有效描述自由曲面的形状,特征拓扑实体详细说明了对象族模 型的拓扑属性,可以有效描述自由曲面特征形状的边界。这种 表示方式可以使设计者以陈述的方式详细说明所有的对象族。 自由曲面特征是一个或多个特征面的交汇部分,所以形状各 异,但特征的形状还是来源于通用特征的。本文把具有各自特 点的自由曲面称为自由特征形状。自由特征形状独立于内核 提供的几何表达式,它提供了一个不变的结构为以后的模型操 作。特征形状为定义自由曲面提供了一个准确的接口,如同其 他特征一样,曲面的体积和表面积可以被准确测量,完整的几 何和拓扑信息被提供。自由曲面特征的形状描述如图3所示。 自由曲面特征的特征几何实体包括两条相交轮廓、一个自由曲 面区域和两个终止区域;特征拓扑实体包括一个自由特征面、 两条曲线特征边、两条相交特征边、两个支撑面和两个终止特 征面。

#### 2.3 对象族型

陈述式的对象族模型建立在特征模型基础之上,具有更高的抽象层次。本文采用面向对象的设计思想构建对象族模型, 参数、约束和特征实体作为特征类的成员变量,特征实体描述 特征具有的通用形状,参数和约束确定特征实体的具体细节。 2.3.1 参数

参数和约束用来描述特征的形状,其中参数是存在于所有 对象中的元素,而约束是通过施加参数间的某种关系声明不变 的属性。在特征类中,参数定义了特征的形状和大小,参数的 类型和数量取决于特征的类型,如一个长方体由长、宽、高组 成,需要用户给出三个参数。而正方形三边相等,用户只需给 出一个参数。

#### 2.3.2 约束

约束是附加在参数之上的,是有效说明特征类的重要组成

部分。约束主要分为参数约束和形状约束。参数约束又分为 数值约束和代数约束。数值约束限制了参数的取值范围,如一 个盲孔的直径最好限制在2~20 cm之间。代数约束指明了参 数之间应该满足一定的比例关系。形状约束又分为几何约束、 附加约束和相交约束等。几何约束表明拓扑元素之间必须满 足的几何关系。例如平行关系、垂直关系等。附加约束是一种 共面的几何约束。例如,一个盲孔的顶面和它所在基体的顶面 共面。相交约束是指在构建模型的过程中,有很多操作会引起 特征相交,指明哪些交互类型是合法的,而哪些是非法的。

#### 2.3.3 特征实体

在对象族模型中,采用特征类定义特征的通用形状,形状 的全部几何信息统称为特征实体。由于采用特征类定义特征 实体,模型具有明确的形状特征,因此,对象族模型可以准确地 描述自由曲面特征。一个特征类包含任意多个特征实体。特 征实体具有两个主要的属性:a)特征实体一旦被实例化,不允 许被任意合并、分裂和删除,如果给定了参数和约束,特征实体 就具有了一个不变的结构;b)一个特征实体可以被一个或多 个特征形状表示描述,定义一个特征实体的结构改变时就可 以动态镜表的形式被封装,这样当特征实体的结构改变时就可 以动态分配特征形状。

## 3 自由曲面对象族

简单的自由曲面特征包括圆角和倒角等。描述自由曲面 特征需要脊柱曲线、支撑面、曲线边和终止边四个要素。脊柱 曲线指的是滚筒的中心,支撑面是支撑自由曲面的侧面,曲线 边是自由曲面和支撑面之间的相交线,终止边用来连接两个支 撑面。自由曲面的几何描述如图4所示。



#### 3.1 半径和相交分支距离

对于一个滚筒状的自由曲面特征,自由曲面的半径指的就 是滚筒的半径,半径既可以是常量,也可以是变量。常量化的 半径,只需给定一个参数。而变量化的半径,需要给定多个参 数。基于变量化半径的自由曲面特征给定的每一个半径参数 与曲线边的相交分支距离相关。相交分支距离定义了沿着同 一条曲线轮廓的相交曲线边的距离,给定的参数叫做相交分支 参数。如图5 所示,*R*<sub>1</sub>、*R*<sub>2</sub>、*R*<sub>3</sub>、*R*<sub>4</sub> 的半径值与相交分支距离 *C*<sub>1</sub>、*C*<sub>2</sub>、*C*<sub>3</sub> 相关。

#### 3.2 曲线偏移量和弹性权重

不同类型的自由曲面特征所需要的参数类型也不同,有的 自由曲面特征的确定需要给出曲线偏移量和弹性权重的值。 曲线偏移量定义了沿着曲线轮廓的支撑面的延伸背面的范围, 指出了曲线轮廓到曲面轮廓的距离。图 6 给出了两个曲线偏 移量参数  $d_1$  和  $d_2$ 。如果  $d_1$  和  $d_2$  相等,那么自由曲面具有对 称的相交轮廓,否则相交轮廓不对称。弹性权重定义了相交轮 廓与相交区域的接近程度。弹性权重值越大,相交轮廓离相交 区域越近。



图5 半径和曲线边的相交分支距离 图6 曲线偏移量和弹性权重

#### 3.3 自由曲面对象族的架构

特征本身不能表示一个实体的对象族,但是特征可以看做 是一个对象族。为了通过数值参数定义自由曲面的形状,本文 构建了自由曲面对象族,通过自由曲面对象族可以实现从数值 参数到几何的映射,准确描述自由曲面特征具有的语义信息。 图7给出了自由曲面对象族的架构。



图7 自由曲面对象族架构

## 3.4 数值参数与几何元素的映射关系

规则的形状,如基体、圆柱的特征可直接通过设置它们的 长、宽、高或半径的方法创建,设计者通过尺寸参数标志形状的 方法比较直观,因此不必在特征表示的底层操作特征的几何元 素,如边、顶点的坐标等。自由曲面特征形状复杂,虽然每一个 自由曲面特征具有各自的自由特征形状,但个性化的自由特征 形状来源于自由曲面特征类中定义的通用形状。本文为数值 参数的集合与特征表示的底层操作特征的几何元素之间建立 了良好的映射关系。

为了将数值参数的集合映射到自由曲面特征中,必须给定 形状内元素的代数和几何关系。几何关系通过面、边和顶点之 间的距离和角度影响最终模型形状的几何形态。本文定义自 由曲面定义点(blend definition point,BDP),通过二维空间或三 维空间中的 BDP 定义自由曲面特征元素,即两个 BDP 之间距 离的约束、三个 BDP 之间的角度约束和确定一个 BDP 位置的 约束。

定义1 BDP 的距离约束 $(P_a, P_b \in \mathbb{R}^3)$ 

$$\| P_a - P_b \| = d_{ab} \qquad d_{ab} \in \mathbf{R}^+$$

其中:dab是变量,有确定的值。

定义 2 BDP 的角度约束 $(P_a, P_b, P_c \in \mathbb{R}^3)$ 

定义 3 BDP 的具体位置约束 $(P_a \in \mathbb{R}^3)$  $P_a \in P_{\text{fixed}}$ 

其中:*P*<sub>fixed</sub> ∈ R<sup>3</sup> 是一个确定的位置。位置约束设定 BDP 的位置,即定位 BDP。例如,利用这些位置约束将一个 BDP 定位在 模型中已存在的几何体上。通过在 BDP 的详细设定中标志几 个位置约束,准确定义一些距离约束和角度约束,减少所需定 义约束的个数。

在自由曲面对象族中,特征几何实体中定义的顶点、轮廓 和区域对应内核中抽象的点、曲线和曲面。类似地,特征拓扑 实体中定义的点、边和面对应内核中抽象的点、边和面。在内 核层次上,每一个拓扑元素与一个几何元素相对应,如图 8 所示。



#### 图8 自由曲面特征与内核实体

## 4 自由曲面对象族实例化

一旦数值参数值和附加信息给定后,自由曲面对象族就被 实例化为一个自由曲面特征实例。自由曲面对象族中定义了 实例化所需的信息,如支撑面和自由曲面半径等信息;另一部 分所需的信息来源于 CAD 模型中的其他特征,如依附特征面。 实例化过程如下:

a)确定自由曲面特征的父特征,给出自由曲面特征和其 父特征应该满足的约束关系。明确自由曲面特征所依附的特 征面,将该面定义为支撑面。

b)给出参数值。根据自由曲面特征类型的不同,需要给 出不同的参数值。给出的参数值确定了自由曲面的形状。

c)将父特征与自由曲面特征应该满足的依赖关系和依附 关系添加到特征依赖图中。

d)将自由曲面特征插入到细胞元模型中,更新细胞元

(上接第4380页)

- [9] TSAI C C, LIN Heng-yi, TAUR J, et al. Iris recognition using possibilistic fuzzy matching on local features [J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 2012, 42(1);150-162.
- [10] ROY K, BHATTACHARYA P, SUEN C Y. Iris segmentation using variational level set method[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2011,49(4):578-588.
- [11] HE Zhen-yu, YOU Xin-ge, TANG Yuan-yan, et al. Texture image retrieval using novel non-separable filter banks based on centrally symmetric matrices [C]//Proc of the 18th International Conference on

模型。

以图 5 的自由曲面特征为例,给出构建该特征所需的所有 参数信息。该自由曲面特征的半径是变量化的,而且自由曲面 的相交轮廓是不对称的,因此,需要给出 4 个半径值,3 个相交 分支参数值,4 个曲线偏移量值和 2 个弹性权重值,如表 2 所示。

表2 自由曲面特征的参数值				
半径/mm	相交分支参数/mm	曲线偏移量/mm	弹性权重	
$R_1 = 26$	$C_1 = 24$	$S_{11} = 8$	$W_1 = 0.5$	
$R_2 = 24$	$C_2 = 13$	$S_{12} = 12$	$W_2 = 0.7$	
$R_3 = 25$	$C_3 = 43$	$S_{21} = 7$		
$R_4 = 27$		$S_{22} = 11$		

#### 5 结束语

本文基于陈述式的对象族模型构建自由曲面对象族,采用 面向对象的设计思想构建自由曲面对象族模型,参数、约束和 特征实体作为特征类的成员变量。采用特征实体描述特征具 有的通用形状,明确定义自由曲面特征应满足的几何约束和拓 扑约束,使自由曲面具有高层次的语义信息,将自由曲面与造 型融为一体,使设计者在参数化层面上操作自由曲面特征。

### 参考文献:

- [1] ROBINSON T T, ARMSTRONG C G, FAIPEY R. Automated mixed dimensional modeling from 2D and 3D CAD model[J]. Finite Elements in Analysis and Design,2011,47(2):151-165.
- [2] Der BERG E V, BRONSVOORT W F. Validity maintenance for freeform feature modeling[J]. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 2010, 10(1):1-14.
- [3] BRONSVOORT W F, BIDARRA R, NYIRENDA P J. Developments in feature modeling[J]. Computer-Aided Design and Application, 2006,3(5):655-664.
- [4] BRONSVOORT W F, BIDARRA R, MEIDEN H A V D, et al. The increasing role of semantics in object modeling [J]. Computer-Aided Design and Applications, 2010, 7(3):431-440.
- [5] Van der MEIDEN H A, BRONSVOORT W F. Solving topological constraints for declarative family of objects [J]. Computer Aided Design, 2007, 39(8):652-662.
- [6] 刘宪国,孙立镌,王其华,等.语义特征造型中对象族模型研究
   [J].计算机科学,2011,38(3):286-289.
- [7] 赵伟,高曙明.基于层次 B 样条的自由形状特征重用[J].计算机 辅助设计与图形学学报,2008,20(1):6-9.
- [8] NYIRENDA P J, BRONSVOORT W F. Numeric and curve parameters for freeform surface feature models [ J]. Computer-Aided Design, 2008,40(8):839-851.

Pattern Recognition. Washington DC: IEEE Computer Society, 2006: 161-164.

- [12] LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant features [C]//Proc of the 7th IEEE International Conference on Computer Vision. Washington DC: IEEE Computer Society, 1999:1150-1157.
- [13] DO M N, VETTERLI M. Wavelet-based texture retrieval using generalized Gaussian density and Kullback-Leibler distance [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2002, 11(2): 146-158.
- [14] Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. CASIA iris image database (ver 1.0) [EB/OL]. http://biometrics.idealtest. org/dbDetailFor-User. do? id = 1.

$$d(p(\cdot;\alpha_1,\beta_1) || p(\cdot;\alpha_2,\beta_2)) =$$

$$\log\left(\frac{\alpha_2\beta_1\Gamma(1/\beta_2)}{\alpha_1\beta_2\Gamma(1/\beta_1)}\right) + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^{\beta_2}\frac{\Gamma((\beta_2+1)/\beta_1)}{\Gamma(1/\beta_1)} - 1/\beta_1 \qquad (4)$$

虹膜的局部特征,采用两向量间的内积来衡量其相似度, 两向量  $f_1 = f_2$ 之间的相似度 s 可由式(5)得到:

$$s = \frac{\langle f_1, f_2 \rangle}{\parallel f_1 \parallel \cdot \parallel f_2 \parallel}$$
(5)

先将得到的每一特征点的 128 维向量进行归一化,再对得 到的两个虹膜局部特征矩阵  $A_i(m_i \times 128)$  和  $B_i(n_i \times 128)$ 进行 转置相乘  $C_{i(m_i \times n_i)} = A_i B_i^{T}$ ,得到向量集之间交叉比较的相似 度。用  $s_i$  表示虹膜第 i 个子区域的相似度,定义  $s_i$  为

$$s_i = \max(C_{xx})$$
  $1 \le x \le m_i; 1 \le y \le n_i; i = 1, 2, 3$  (6)

对三个子区域的相似度,赋予相同的权值,可以得到两虹 膜之间局部特征的相似度 d<sub>i</sub> 为

$$d_l = \frac{1}{3} \sum_{i}^{3} s_i^{2}$$
(7)

综上,两虹膜图像间总的相似度就是全局特征和局部特征 的相似度距离分别归一化后的线性组合,定义为

$$d = \lambda_1 d_h + \lambda_2 d_l \tag{8}$$

其中: $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 分别为全局特征和局部特征的距离权值, 且 $\lambda_1$  +  $\lambda_2$  = 1。

## 5 实验

实验在 Pentium IV 1.73 GHz、CPU 1 GB、MATLAB 7.0 编 程环境的 PC 机上进行,采用 CASIA 虹膜图像数据库进行测 试。CASIA 虹膜图像数据库(1.0 版)<sup>[14]</sup>包括 108 人的图像, 每人 7 幅,共 756 幅图像,分辨率为 320 × 280。选取图像数据 库中的所有 108 个类样本进行仿真实验,对每幅预处理后的虹 膜图像进行局部及全局特征提取,并采用式(8)进行类内、类 间分类测试。实验中,式(8) 中 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 分别取 0.65、0.35。实 验总共进行了  $C_{756}^2$  = 285 390 次比较,其中类内比较  $C_{108}^1 × C_7^2$  = 2 268 次,类间比较 283 122 次。图 4 是得到的训练样本的类 内、类间直方图,类内均值为 0.967 4、类间均值为 0.825 2,类 内、类间均值明显被分开,说明本文方法分类是可行的。当阈 值取为 0.913 时,正确识别率为 99.566%,错误接收率(FAR) 为 3.48%,错误拒绝率(FRR)为 0.41%。当等错误率(EER) 为 0.935% 时,识别率为 99.065%。



为了评价本文方法的性能,对上述数据库虹膜图像只采用 SIFT 提取虹膜局部特征及非张量积小波提取全局特征,并进 行相似性测度,然后将采用 SIFT 提取虹膜局部特征的方法和 采用非张量积小波提取全局特征方法与本文所提方法进行比 较,并与几种经典的虹膜识别方法进行比较,从等错误率 (EER)、正确识别率、特征提取及匹配的平均耗时三方面对比

实验,如表1所示。

表1 几种方法性能比较

方法	EER/%	识别率/%	平均耗时/ms
Daugman <sup>[1]</sup> 方法	0.08	100	702
Wildes <sup>[2]</sup> 方法	1.731	98.262	634
Boles <sup>[3]</sup> 方法	8.314	91.686	181
局部特征方法	7.262	92.738	306
全局特征方法	2.674	97.294	217
本文方法	0.935	99.065	512

从表1可以看出,与采用局部特征的虹膜识别方法或采用 全局特征的虹膜识别方法相比较,采用本文局部与全局特征融 合的虹膜识别方法降低了等错误率,提高了虹膜识别正确率。 与经典的虹膜识别方法相比,本文方法的等错误率比 Daugman 方法高,识别率比 Daugman 方法略低,但本文方法耗时短;与 其他两种经典的方法相比,本文方法的正确率更高且耗时短。 本文方法在等错误率为 0.935% 时,正确识别率达到了 99.065%,说明不对虹膜进行归一化,直接在虹膜图像上提取 虹膜特征,也能达到很好的识别率。

## 6 结束语

本文提出了一种融合局部与全局特征提取的虹膜识别方 法。无须对预处理后的虹膜图像进行归一化,对分割出的虹膜 图像直接进行非张量积小波分解,提取分解后的高频子带的 GGD 拟合参数作为虹膜全局特征;然后对选定区域采用 SIFT 方法,提取不同尺度空间的稳定的局部特征点,并采用特征点 的邻域信息对特征点进行特征描述,得到虹膜局部特征;再结 合局部及全局特征对虹膜图像进行识别。对 CASIA 虹膜图像 数据库(1.0版)中的图像进行相似性测试,结果达到了很高的 识别率。本文直接对虹膜图像进行特征提取,没有对虹膜图像 进行归一化处理,提取的特征具有旋转不变性,与传统的方法 相比,降低了识别系统的复杂性。

## 参考文献:

- DAUGMAN J. How iris recognition works [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2004,14(1):21-30.
- [2] BOLES W W, BOASHASH B. A human identification technique using images of the iris and wavelet transform [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1998, 46(4):1185-1188.
- [3] WILDES R P. Iris recognition: an emerging biometric technology [J].
   Proceedings of the IEEE, 1997, 85(9):1348-1363.
- [4] 刘新亮,李星野.基于 Radon 変換的多尺度虹膜特征提取算法
   [J].光电子・激光,2008,19(4):532-536.
- [5] MA Li, TAN Tie-niu, WANG Yun-hong, et al. Efficient iris recognition by characterizing key local variations [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2004, 13(6):739-750.
- [6] MONRO D M, RAKSHIT S, DEXIN Z. DCT-based iris recognition
   [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007,29(4):586-595.
- [7] BABU N T N, VAIDEHI V. Fuzzy based IRIS recognition system (FIRS) for person identification [C]//Proc of International Conference on Recent Trends in Information Technology. 2011:1005-1011.
- [8] HUANG Jing, YOU Xin-ge, YUAN Yuan, et al. Rotation invariant iris feature extraction using Gaussian Markov random fields with non-separable wavelet[J]. Neurocomputing, 2010, 73(4-6):883-894.