

基于骨架树的线性骨架拓扑相似性度量算法*

宋婷, 刘文予, 刘俊涛

(华中科技大学 电子与信息工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要:将骨架映射到一种骨架树结构中, 树的层次和节点间的连接关系反映了骨架的拓扑特性; 构造骨架树邻接矩阵并给出拓扑标记向量的定义, 用拓扑标记向量之差的二范数作为两个骨架树匹配节点对的距离; 将骨架的拓扑距离函数定义为骨架树的匹配距离, 即建立最佳匹配关系的节点对距离之和。给出了一种用骨架树进行线性骨架拓扑相似性度量的算法, 在计算复杂度和时间复杂度较低的情况下, 对一般二维图形取得了较好的实验结果。

关键词:骨架; 骨架树; 相似性度量; 拓扑标记向量

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)01-0074-06

Method of linear skeleton topological similarity measurement based on skeleton tree*

SONG Ting, LIU Wen-yu, LIU Jun-tao

(Electronics & Information Engineering Department, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Transform the skeleton of objects into a skeleton tree model in which the hierarchy of the tree and the connection relations of the nodes reflect the skeleton's topological characteristics. Construct the skeleton tree's adjacency matrix, then define a Topology Signature Vector and compute the distance of matching node pair by the difference of the TSV. The topological distance function of skeletons is defined by the matching distance of skeleton trees, which is the sum of the distance of the best-matched node pairs. A linear skeleton topology similarity measure algorithm using skeleton tree is presented in this paper. This algorithm achieved good experimental results for the general planar graphics in low computing and time complexity.

Key words: Skeleton; Skeleton tree; Similarity measurement; TSV

0 引言

骨架又称中轴, 是图形几何形态的一种重要拓扑描述^[1,2], 是一种居于图形的对称中心的线型几何体, 有着与图形完全相同的拓扑结构, 并可保留图形的形

状信息。骨架的线型结构减少了图形的冗余信息, 方便对图形进行相似性度量和匹配, 是图形描述、图形识别和检索的一种重要方法。基于骨架的目标表示和识别技术是近年来计算机视觉领域的重要研究内容。该领域的关键技术是骨架的提取以及寻找一种能较

收稿日期: 2004-01-08; 修订日期: 2004-02-28

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60273099)

作者简介: 宋婷(1978-)女, 湖北广水人, 硕士生, 主要研究方向为图像处理与分析、计算机视觉等。

好度量骨架之间距离的函数,实现对骨架进行快速准确的相似性度量算法。

自 1967 年 Blum 首先用骨架进行图形匹配以来,骨架就广泛应用于物体识别,先把骨架转化为特征关系图,然后对特征关系图进行匹配。H.Sundar 等人把物体的骨架用最小生成树的方法转化为骨架图^[3],再对其进行匹配。参考文献[4]、[5]则使用编辑距离来度量奇点图的相似度,而使用编辑距离来度量图的相似度则需要解决编辑操作的完备性问题,参考文献[4]和[5]并没有给出相关证明。D.Geiger 等人则提出用中轴线树(SA-tree)^[6,7]进行物体的匹配,此种方法不能保持各节点所在边的有序性,从而造成无法保留形状匹配结果的一致性。图的匹配是一个 NPC 问题,基于以上特征关系图的匹配计算复杂度很高。

K.Siddiqi 等人提出了一种著名的形状描述符奇点图 Shock Graph^[8-11],Shock Graph 实际上是赋有半径变化方向和速度的中轴。在奇点图的匹配中整合了物体形状和拓扑的信息,较好地处理了边界噪声的影响。但由于奇点语法的复杂性,奇点图的生成相对复杂,用奇点图进行物体匹配是一个计算复杂度很高的过程。对于多个物体之间的匹配,如何降低匹配时间成为该方法需解决的问题。

本文的骨架匹配算法采取了一种新的思路:将骨架映射到一种骨架树中,骨架树的层次和节点间的连接关系反映骨架的拓扑特征。构造骨架树的邻接矩阵并给出拓扑标记向量的定义,用拓扑标记向量之差的二范数作为匹配节点对的距离;将建立最佳匹配关系的骨架树匹配节点对的距离之和作为实现骨架之间的拓扑相似性度量。

此外,骨架树的骨架枝代表了物体某个部分的形状特征,在骨架提取中计算出骨架点的特征信息(如骨架点的分支数、最大半径等),使骨架树的节点包含形状的信息,还可以进行骨架的形状相似性度量。这种将骨架映射到骨架树的方法,易于将骨架的拓扑和形状相似性度量分离,通过拓扑相似性的比较淘汰差异较大的骨架,以便于对剩下的骨架进行形状相似性的比较,提高骨架匹配的效率和精度。本文的工作正是基于这种分层匹配方案的前半部分内容,即骨架的拓扑相似性度量,将作为下一步形状匹配的基础,从

而达到最优的匹配效果。

1 骨架树模型的建立

图形的骨架包含了图形的拓扑和形状特性,形状特性由图形的轮廓来表达,拓扑特性可认为是图形各部分间的连接关系。将骨架的拓扑特性映射到一种由特定连接关系和层次的节点组成的树状结构中,称之为“骨架树”。

为了建立骨架树,将骨架上的点分为:分叉点、端点和连接点。仅有一个邻接点的骨架点称为端点;有两个以上邻接点的骨架点称为分叉点;骨架上除分叉点和端点外的点称为连接点。如果两个骨架点之间仅含有连接点则称这两个点是直接相连的。直接相连的两个骨架点之间的所有连接点的集合称为骨架枝。

图 1 中骨架 A、D 为分叉点,B、C、E、F 为端点,其他的点为连接点。AB、AC、AD 及 DE、DF 之间是直接相连的,它们之间的骨架点组成一段骨架枝。

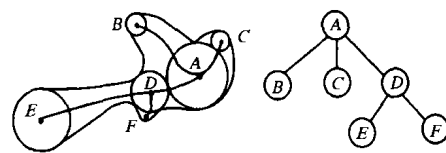


图 1 线性骨架及其骨架树

Fig.1 Linear skeleton and skeleton tree

构建骨架树的重要问题之一是如何选取根节点。对于大部分放射状物体,把最大内切圆半径和靠近物体重心的骨架点作为根节点。这样,根节点尽量位于物体的中心且代表了最重要的形状信息。

图 1 给出了一个二维图形的线性骨架和对应的骨架树,选择点 A 为骨架树的根节点。确定根节点后,把与根节点直接相连的分叉点或端点作为根节点的子节点。之后,对每个子节点用同样的方法找到各自的子节点,直到骨架上所有的分叉点和端点都在骨架树中。此时,如不考虑骨架有环的情况,骨架则转化为一个骨架树。可以看到,骨架树中的非叶子节点为骨架上的分叉点,叶子节点为骨架的端点,骨架树中的边对应一个骨架枝。

此处没有考虑同一分叉点的各个子节点的相对位置关系,如图 1 中节点 B、C、D 的相对位置关系。这

是因为在后文的骨架树匹配中,由 B 、 C 、 D 的相对位置改变所带来的邻接矩阵的变化,不会引起拓扑标记向量的改变,因而不会影响匹配的结果。

骨架树的层次和节点间的连接关系反映了骨架的拓扑特性,对骨架树的匹配可以很好地实现对物体拓扑相似性的度量。此外,骨架枝代表了物体某个部分的形状特征,在骨架提取中计算出骨架点的特征信息(如骨架点的分支数、最大半径等),使骨架树的节点包含形状的信息,还可以进行物体形状相似性的度量。有文献提出了一种基于距离变换的连通骨架算法,可以连续提取有关特征信息的骨架点,为骨架树的建立奠定了基础。

2 基于骨架树的线性拓扑相似性度量算法

图形识别是计算机视觉的重要组成部分,图形的识别匹配过程就是将目标图形的描述与模型库中模型描述进行相似性度量,通过数值化的差值决定匹配结果的过程。图形识别系统中用于匹配的方法很多,主要由图形描述的方法来决定。骨架是图形描述和识别的一种有力手段,基于骨架的目标表示和识别技术已成为计算机视觉领域的一个研究热点。寻找一种能较好度量骨架之间距离的函数,实现对骨架进行快速准确的相似性度量是该研究课题的关键技术。另一方面,对骨架进行直接匹配相当困难,不可能由两个物体的骨架直接导出它们之间的相似性度量。近年来,基于几何特征的树结构匹配方法得到了极大的发展,此类方法用于图形描述时几何特征尤其是基本的拓扑特征表达,并且简单易操作,在识别系统的应用中有着得天独厚的优势,为骨架的相似性度量开辟了新的思路 and 空间。在建立骨架树的基础上,本节实现了一种用骨架树进行线性骨架拓扑相似性度量的算法,定义了一种基于拓扑标记向量的骨架树匹配距离函数,并用该函数表示了骨架之间的拓扑距离。

2.1 邻接矩阵的构造

给定一个骨架树 $T=(V,E)$, 其中 V 是该树的节点集, $n=|V|$ 表示节点的总数, E 是边的集合。骨架树 T 的邻接矩阵 A 是一个 $n \times n$ 的对称 $\{0,1\}$ 矩阵。如果 $(i,j) \in E$, 则记矩阵 A 的第 (i,j) 项值为 1, 否则记为 0。图 2 给出了一个骨架树和其对应的邻接矩阵。

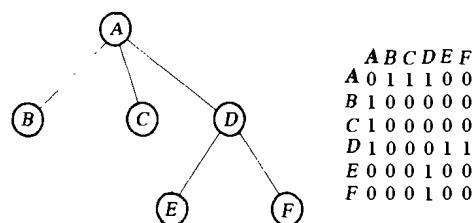


图 2 骨架树和其对应的邻接矩阵

Fig.2 Skeleton tree and adjacency matrix

依此规则构造骨架树的邻接矩阵,则其任何子树都对应此邻接矩阵的一个子矩阵。对于任一给定子树,其对应子矩阵的特征值之和在任何相似变换下都不变,即对子树的任何连续重排都不会改变特征值的总和。两个子矩阵特征值之和的近似程度反映了其对应子树的相似程度,特征值之和越接近的两个子矩阵,其对应的子树拓扑结构越相似。

对于骨架中任意分叉点,以它为根节点的子树都对应着邻接矩阵的一个子矩阵,该分叉点引出的同层子节点在骨架树中的不同位置关系将会对应于不同的子矩阵。显然,这些同层子节点的不同排序所产生的不同子矩阵之间是一种相似变换,即其中任一子矩阵都可以由同一矩阵经某种相似变换而得。那么,由同一分叉点引出的同层子节点的不同排序将不会改变子树所对应的子矩阵的特征值和。

在第 1 节骨架树的构建中,没考虑同一分叉点的各个子节点的相对位置关系,对于由同一分叉点引出的各个子节点任意选择一种排序,如图 1 骨架树中,第二层节点任意选择一种从左至右依次为 B 、 C 、 D 的情况。若选择其他任何一种排序(例如 B 、 D 、 C 或 C 、 D 、 B 等),由此构造的子树所对应的子矩阵的特征值之和都是一定的,这一特性将为下节中基于由特征值和定义的拓扑标记向量匹配算法的结果提供一致性的保证。

2.2 拓扑标记向量的定义

拓扑标记向量是用于骨架树拓扑相似性度量的一个重要参数,其定义为^[9]:骨架树 T 中的任一节点 p , 记 $\delta(p)$ 为 p 的度,表示节点 p 的子节点数。 $\delta(T)$ 为 T 中所有节点的度的最大值。对 T 的每个节点 u , 其度为 $\delta(u)$, 通过如下方法定义 $R^{\delta(T)-1}$ 空间中的一个向量 $\chi(u)$: 对节点 u 的任一子节点 v , 建立根节点在 v 的

子树所对应的邻接矩阵 A_v , $\lambda_i(A_v)$ 表示其特征向量, 记 $\lambda_v = \lambda_1(A_v) + \dots + \lambda_{\delta(v)}(A_v)$, 则向量 $\chi(u)$ 记为 $(\lambda_{v_1}, \dots, \lambda_{v_{\delta(u)}})$, 其中 $\lambda_{v_1} \geq \dots \geq \lambda_{v_{\delta(u)}}$ 。当 $\delta(u) < \delta(T)$ 时, 通过补 0 将 $\chi(u)$ 扩展到 $R^{\delta(T)-1}$ 空间中, 并称扩展后的向量为拓扑标记向量(TSV)。由该定义可知, 节点 p 的 TSV 是由以 p 的各子节点为根节点的子树所对应的子矩阵特征值和按从大到小的顺序组合而成。

骨架树 T_1 中节点 u 对应的拓扑标记向量 $\chi(u)$ 和骨架树 T_2 中节点 v 对应的拓扑标记向量 $\chi(v)$ 之间的接近程度, 反映了以 u 和 v 为根节点的两个子树的拓扑近似程度。通过比较 $\chi(u)$ 和 $\chi(v)$, 可以得到以 u 和 v 为根节点的两个子树的拓扑距离。

通过大量的演算结果发现, 对于大多数的二维图形, 由线性骨架所构建的骨架树中, 拓扑越接近的两个子树, 其根节点的拓扑标记向量之差的二范数越小。据此, 用二范数 $\|\chi(u) - \chi(v)\|_2$ 作为两个骨架树匹配节点对 u 和 v 的距离函数, 即 $d(u, v) = \|\chi(u) - \chi(v)\|_2$ 。

用两个子树根节点 u 和 v 的匹配距离函数值 $\|\chi(u) - \chi(v)\|_2$ 来度量这两个子树的拓扑相似度, $\|\chi(u) - \chi(v)\|_2$ 的数值越小, 说明以 u 和 v 为根节点的两个子树之间的拓扑相似性越大, 拓扑越相近。

由拓扑标记向量的定义可以看出, 节点 p 的 TSV 的各个元素是由以 p 的各子节点为根节点的子树所对应的子矩阵特征值和, 因此, 上节中所提到的骨架树中同一分叉点引出的各个子节点的任意排序, 将不会影响该分叉点对应的拓扑标记向量, 即各子节点的任何一种排序所生成的拓扑标记向量是相同的, 拓扑距离函数也是一定的, 从而确保了不同排序下匹配结果的一致性。因此, 在第 1 节骨架树的构建中, 没有考虑同一分叉点的各个子节点的相对位置关系, 这样既不会影响基于骨架树的匹配结果, 也简化了骨架树的构建过程。

2.3 骨架树匹配距离的定义和求解

设 $T_1 = \{u_i \mid i=1, \dots, m\}$ 和 $T_2 = \{v_j \mid j=1, \dots, n\}$ 是待匹配的两个骨架树。 u_i, v_j 分别表示其节点的集合, m 和 n 分别是其节点总数。对任意的节点 u_i, v_j , 计算其匹配距离 $d(i, j) = \|\chi(u_i) - \chi(v_j)\|_2$, 则所有的 $d(i,$

$j)$ 构成一个 $m \times n$ 的距离矩阵 $D = \{d(i, j)\}_{m \times n}$ 。

记一个 0-1 的匹配矩阵为 $M = \{m_{ij}\}_{m \times n}$, 如果 $m_{ij} = 1$, 则 u_i 和 v_j 之间建立了匹配关系; 如果 $m_{ij} = 0$, 则 u_i 和 v_j 之间没有匹配关系。设 D 和 M 的第 i 行向量分别是 D_i, M_i , 则两个骨架树 T_1 和 T_2 之间的匹配距离是: $D(T_1, T_2) = \sum_i D_i \times M_i$ 。问题等价于构造两个骨架树节点之间的最佳匹配关系, 骨架树的匹配距离为建立最佳匹配关系的节点对的匹配距离之和。

最佳匹配是所有可能的匹配中使 $D(T_1, T_2)$ 最小的那个匹配。对于匹配矩阵 M , 还要求对于 T_1 中的每个节点, 在 T_2 中至多有一个节点与之匹配, 反之对 T_2 中的节点也有同样的要求。据此, 目标函数和约束条件如下:

$$\begin{aligned} & \min \sum_i D_i \times M_i \\ & 0 \leq \sum_{j=1}^n m_{ij} \leq 1, \quad i=1, \dots, m \\ & 0 \leq \sum_{i=1}^m m_{ij} \leq 1, \quad j=1, \dots, n \end{aligned}$$

这是一个有约束的 0-1 规划, 采用以下算法可求取该规划的初始可行解:

- (1) 选择距离矩阵 D 中的最小的元素 $d(i, j)$, 将 m_{ij} 置 1;
- (2) 将 D 的第 i 行、第 j 列的元素置为无穷大, 返回 1, 直到 D 中所有的元素都为无穷大;
- (3) 对 M 中所有和为 0 的行或列, 选择 D 中该行或该列的最小元素 $d(s, t)$, 将 m_{st} 置 1。

其中, 算法(1)、(2)步选出距离最小的匹配节点对, 第(3)步保证了得到的解满足约束条件。得到匹配矩阵 M 以后, 用 $D(T_1, T_2) = \sum_i D_i \times M_i$ 来计算骨架树 T_1 和 T_2 的匹配距离。

骨架树是由骨架点建立的反映骨架拓扑连接关系的节点集合, 骨架树表达了骨架的拓扑特征。因此, 骨架之间的拓扑距离可由骨架树的匹配距离来表示, 即将骨架树 T_1 和 T_2 所对应的两个骨架之间的拓扑距离定义为由上述算法得到的匹配距离 $D(T_1, T_2) = \sum_i D_i \times$

M_i , 并用该拓扑距离表示这两个骨架的拓扑相似度。通过比较该距离的大小来度量两个骨架之间的拓扑相似性。 $D(T_1, T_2)$ 的数值越小, 说明骨架树 T_1 和 T_2 所代表的两个骨架之间的拓扑相似性越大, 拓扑越相近。

















与 Shock Graph 相比, 该算法在计算复杂度和时间复杂度上大有改进。设 $n > m$, 该有约束的 0-1 规划求解算法的复杂度为 $O(n)$, 此外, 特征向量 $\chi(n)$ 的建立需要 $O(n\sqrt{n}L)$ 的时间 ($L=d-1$), 其中 $d=\max(\delta(T_1), \delta(T_2))$, 即 T_1 和 T_2 中所有节点的最大度。这样, 整个算法的复杂度是 $\max(O(n), O(n\sqrt{n}L))$ 。而 Shock Graph 匹配算法的复杂度为 $\max(O(n^2\sqrt{n\log\log n}), O(n\sqrt{n}L))$, 因此, 本文算法的复杂度远低于 Shock Graph。

3 实验结果

在 MATLAB6.5 中实现了本算法, 表 1 是用骨架树对八个二维图形的骨架进行拓扑相似性度量的实验结果。

表 1 拓扑匹配实验结果 1

Tab.1 Experiment 1 of topological similarity between shapes

								
	0	8.1716	41.93	21.041	41.93	8.8284	18.041	14.041
	8.1716	0	40.923	34.423	40.923	2	25.85	23.85
	41.93	40.923	0	5	0	41.93	10.828	10.828
	21.041	34.423	5	0	5	27.041	7.4374	9
	41.93	40.923	0	5	0	41.93	10.828	10.828
	8.8284	2	41.93	27.041	41.93	0	24.041	18.041
	18.041	25.85	10.828	7.4374	10.828	24.041	0	4
	14.041	23.85	10.828	9	10.828	18.041	4	0

表中的每一个数据表示其所在行、列两个图形的骨架之间的拓扑距离 $D(T_1, T_2) = \sum_i D_i \times M_i$, 该值由上节中的算法得到。用该数据来表示其所在行、列两个图形的拓扑相似度, 数值越小, 说明其拓扑相似度越大, 拓扑结构越相似。数值为 0 表示该图形与其本身

















匹配。带下划线的数值是该行图形中除去本身相匹配之外最小的相似度数值, 即与拓扑最相似物体的相似度。

一般二维图形的匹配中, 只要拓扑骨架的提取足够精确, 基于骨架树的拓扑相似性度量就能对物体进行有效的拓扑分类, 可作为下一步形状匹配的基础。

对于拓扑相同而形状不同的物体, 用该算法所得的拓扑相似度均为零。表 2 给出了三组这样的物体, 表中的数值出现三个零区域, 每个零区域所在行、列的一组物体拓扑完全相同, 仅仅形状上有所差异。这说明, 仅仅对其进行拓扑匹配还无法区分拓扑相同的物体, 需要进一步的形状匹配, 骨架的形状匹配将在后续的工作中进一步研究。若将拓扑和形状相似性度量有机地结合起来, 则能实现更优的匹配效果, 这正是今后研究工作的一个重要方向。

表 2 几组拓扑相同的图形实验结果 2

Tab.2 Experiment 2 of topological similarity between shapes with the same topology

								
	0	0	2	2	2	2	2	2
	0	0	2	2	2	2	2	2
	2	2	0	0	0	0	0	4
	2	2	0	0	0	0	0	4
	2	2	0	0	0	0	0	4
	2	2	0	0	0	0	0	4
	2	2	4	4	4	4	4	0
	2	2	4	4	4	4	4	0

4 结论

本文建立了一种骨架树模型, 将骨架之间的拓扑相似性度量问题转化为骨架树之间的匹配距离求解过程, 实现了一种用骨架树进行线性骨架拓扑相似性度量的算法。

现有的方法大多采用物体的形状轮廓曲线或点集等模型, 没有利用骨架这一图形拓扑和形状描述的有力手段。本文通过骨架树的匹配运算实现了线性骨架拓扑相似性的度量, 为骨架相似性度量这一难题的解决开辟了新的方向。由于此研究工作尚处于起步阶段, 与 Shock Graph 等较为成熟的匹配方法相比, 算法的精度和适用范围还有限, 但其计算复杂度和时间复

杂度大大低于 Shock Graph。并且 Shock Graph 由直接曲面演化生成,其二维的生成规则已相当复杂,推广至三维则更困难,而骨架树的生成规则相对简单,便于推广至三维空间。

骨架树可以良好地反映骨架所代表物体的拓扑和形状特征,本身又具有便于描述和匹配的优势,因此,是一种十分有效和有发展前途的匹配方法。

参考文献:

- [1] Blum H.A Transformation for Extracting New Descriptors of Shape Models for the Perception of Speech and Visual Form[M].Cambridge Massachusetts:MIT Press, 1967.
- [2] Golland P, Grimson W E L.Fixed topology skeletons[A]. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. 2000, 1.10-17.
- [3] Sundar H, Silver D, Gagvani N, et al. Dickinson skeleton based shape matching and retrieval[A]. Proceedings of the Shape Modeling International[C].2003.130-290.
- [4] Srikanta Tirthapura, Daniel Sharvit, Philip Klein, et al. Indexing based on edit-distance matching of shape graphs[A]. Proceeding of SPIE's Multimedia Storage and Archiving System II [C].1998, 3527.25-36.
- [5] Benjamin B Kimia.Recognition of shapes by editing shock graphs [A].ICCV[C]. 2001.1.755-762.
- [6] Davi Geiger, Tyng-Luh Liu,Robert V Kohn. Representation and self-similarity of shapes[J]. IEEE Trans on PAMI, 2003, 25(1): 86-99.
- [7] Tyngluh Liu, Davi Geiger. Approximate tree matching and shape similarity[A]. ICCV[C]. 1999. 456-462.
- [8] Kaleem Siddiqi,Benjamin B Kimia.A shock grammar for recognition[A].IEEE Computer Society Conference on CVPR[C].1996. 507-513.
- [9] Kaleem Siddiqi,Ali Shokoufandeh,Sven J Dickinson,et al.Shock graph and shape matching[A].Proceedings of 6th ICCV[C].1998. 222-229.
- [10] Marcella Pelillo, Kaleem Siddiqi, Steven W Zucker. Matching hierarchical structures using association graphs[J].IEEE Transactions on PAMI, 1999, 21(11): 1105-1120.
- [11] Diego Macrini, Ali Shokoufandeh, Sven Dickinson,et al. View-based 3-D object recognition using shock graphs[A]. Proceedings of 16th ICPR[C].2002,3.24-28.

《红外与激光工程》征稿简则

《红外与激光工程》系中国宇航学会光电技术专业委员会会刊,由中国航天科工集团公司主管。双月刊,国内外公开发行。本刊主要报导国内外红外与激光技术在航天、卫星和战术导弹武器系统中应用的学术论文、科研报告,各类新的光电技术实验方法和成果,新工艺、新材料等,也报导国内领先的光电技术在民用方面的最新科研成果。本刊也刊登英文稿件,欢迎广大读者踊跃投稿。来稿要求及注意事项如下:

- 1 投稿须论点明确,数据可靠,文字简炼,逻辑严谨,一般 5000 字为宜,凡属国家自然科学基金资助的重点科研项目,请予以注明。
- 2 来稿请用 A4 纸按标准格式打印,版心为 174 mm×246 mm,公式、图表中量符号的大小写及上、下角标须标清楚。
- 3 来稿要有中、英文对照的摘要,中文摘要 200~300 字,英文摘要不得少于 100 个单词,中、英文关键词 3~6 个;按中国图书馆分类法(第四版)对投稿分类,并给出中图分类号。
- 4 来稿中的图表均不超过 8 个。中文稿须有中、英文对照的图题及表题,图表中的文字须译成英文,或用相应的符号表示。
- 5 参考文献应择最主要的列出,应是国内外公开发表过的文献,欢迎引用本刊同行发表的文章,在正文中按引用顺序用上角标标出。
- 6 文稿不应涉及保密内容及他人利益,文责自负。
- 7 请勿一稿多投。文稿一旦录用,编辑部发录用通知单。编辑部有权删改录用稿件。来稿录用与否,3 个月内通知作者。
- 8 文稿一经发表,按规定支付稿酬,并赠送本期刊物两本。

欢迎使用电子邮件投稿,Email:irla@vip.sina.com。邮寄请寄天津 225 信箱 32 分箱《红外与激光工程》编辑部收,邮编 300192。