

文章编号: 1000-5870(2003) 02-0114-05

一种基于轮廓特征的图像拼接算法设计与实现

俞 辉¹, 侯在克², 何旭莉¹, 吴 炎²

(1. 石油大学计算机与通信工程学院, 山东东营 257061; 2. 北京航空航天大学计算机系, 北京 100083)

摘要:提出了一种新的基于轮廓特征的图像拼接算法。在特征提取阶段, 对卷积图进行增强, 并用区域增长方法进行辅助校正, 能改善轮廓提取效果; 在特征表示方面, 用形状签名代替链码来描述轮廓, 从而提高了计算速度, 降低了由噪声干扰和镜头形变造成的影响。实验结果表明, 该算法在速度上优于基于链码的配准算法, 准确率高, 并且可以适用于未经几何形变校正的图像的配准与拼接。

关键词: 特征提取; 图像轮廓; 图像配准; 图像拼接算法

中图分类号: TP 391.41

文献标识码: A

1 图像拼接

在图像配准和拼接^[1~3]中, 配准的依据是图像之间的相似性, 根据相似性判断标准的不同, 图像配准方法大致可以分为三类^[4]: 基于轮廓特征、基于模板匹配的穷尽搜索和基于频域变换(相位相关)。

模板匹配的穷尽搜索方法是最直接也是最容易实现的方法, 而且与所拼接的图像内容无关, 所以尽管其计算量大、准确率低, 但是目前仍被广泛采用^[5~8]。不过当待拼接图像存在较大的灰度差异和变形时很难获得成功。基于频域变换的方法有准确率和自动化程度高等优点, 但是也有计算量大和受噪声干扰影响大的缺点, 而且不能处理旋转情况^[9]。基于轮廓特征的方法要求待配准的图像中可以提取出明显的轮廓特征, 但是并不要求待配准的图像来自于同样的图像源, 所以轮廓匹配的方法多数被用于纯配准应用中^[10,11]。近来国内也有人将同样的思想用于 CT 图像的配准方面^[12]。然而基于轮廓特征的方法同样也存在易受噪声干扰影响的缺点, 其计算量随着图像中包含轮廓数量的增多而快速增长。

通过分析和比较, 笔者认为在物探地形图片或医学显微图像的拼接领域, 基于轮廓特征的方法是最可取的方法。同时, 通过对轮廓匹配方法的各个环节进行改进, 使之更快速和更健壮, 形成一个完整的基于轮廓特征的图像拼接算法, 完全可以满足图

像拼接应用的需要。算法的基本流程如图 1 所示。

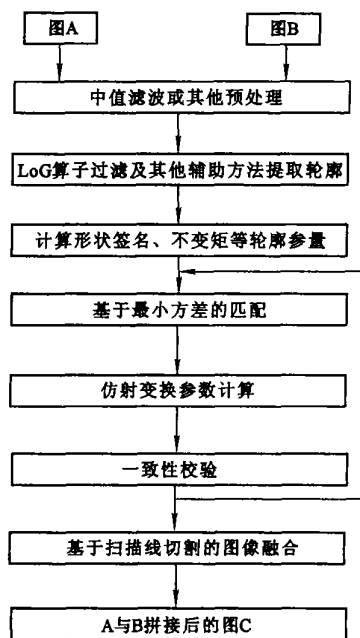


图 1 算法流程图

2 特征提取

图像特征包括像素亮度、景物边缘轮廓、组织(纹理)结构等。图像中景物的形状和轮廓是适合完成图像拼接中图像配准任务的特征量。通常对于灰度图按照灰度近似的连续区域来划分形状。有多种图像分割技术被用来寻找连续区域的边界(轮廓)^[13], 如 Canny 算子、LoG 算子、区域增长、阈值分

收稿日期: 2002-12-08

作者简介: 俞辉(1975-), 男(汉族), 浙江上虞人, 助教, 硕士, 研究方向为图形、图像处理和系统集成。

割等。目前基于轮廓的图像配准领域通常采用 LoG 算子进行图像分割。

LoG 算子实际是 Laplacian 算子和 Gussian 算子的结合。Laplacian 算子可以在灰度变化的边界产生一个陡峭的零交叉, 利于边缘检测, 但由于对噪声过于敏感, 所以通常加上一个 Gussian 算子降低噪声的影响。尽管如此, 噪声仍然会对 LoG 算子的检测效果产生很大的影响, 所以在对图像进行 LoG 算子计算之前, 往往还需要单独的中值滤波器去除噪声以及用直方图均衡化增强对比度等。

具体到实现算法, 可以根据图像本身的特性和要筛选的轮廓本身的特性确定 LoG 算子的离散化模板^[14]。对图像 $f(x, y)$ 用 LoG 算子模板做卷积, 然后分别在垂直和水平两个方向上检测符号变化的点(过零点), 作为边界点。进一步可以为边界点定义强度函数, 并使用双阈值方法对边界点进行过滤和组合, 将相邻的边界点连缀成完整的轮廓曲线^[10]。

这种方法尽管原理比较简单, 但是在具体实现时也存在一定的困难。如图 2 所示, 其中方格对应像素, 虚线是理想化的区域边界, 由于边界线可能不是单像素宽, 导致连通搜索的结果不惟一。在图 2(a)中, 由于 LoG 算子本身的特性, 得到的边界点可能如图中的灰色方格所示。在这种情况下, 使用爬虫法跟踪连续边界的时候, 选择不同的查找顺序就可能得到不同的边界曲线, 不利于轮廓描述的惟一性和相似性判别。

另外, 由于图像本身的特性和噪声的影响, 不可避免地会出现两条轮廓线相交的情况。在图 2(b)中, 两条轮廓线在阴影像素处相交, 形成一个 T 形

连接。此时, 使用爬虫法跟踪连续边界的时候, 遇到 T 形连接点, 就可能出现方向错误而造成错误的轮廓线, 或者由于将交点归于错误的轮廓而造成另一次不连通。

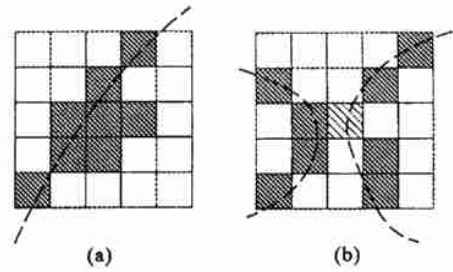


图 2 轮廓提取特征

针对以上问题, 可以通过对过零点增加一些限制条件避免厚边和 T 形连接点的出现^[11]。然而, 附加的限制条件虽然避免了上面的问题, 但在很多情况下也破坏了弱边界上的连通性。对于厚边问题, LoG 算子运算及过零点检测后得到的强度图(以下简称卷积图)也是一种特殊的图像, 也可以对其进行细化操作, 在不破坏连通性的条件下, 去除多余的边界点。有很多求区域骨架的算法可以达到这一目的^[13]。对于 T 形连接点问题, 在卷积图上遇到 T 形连接点时, 可以根据源图像上 T 形连接点周围的像素点灰度来判断正确的前进方向, 并且可以利用在强度图上得到的初始轮廓作为导向, 利用区域增长算法验证轮廓线的正确性和将不封闭的轮廓修补为封闭轮廓。

图 3 为 Dai 算法^[11]与新算法的结果比较。由图 3 可以看出, 加了 Dai 算法限制后, 本应封闭的轮廓线在很多地方出现了断开的情况。

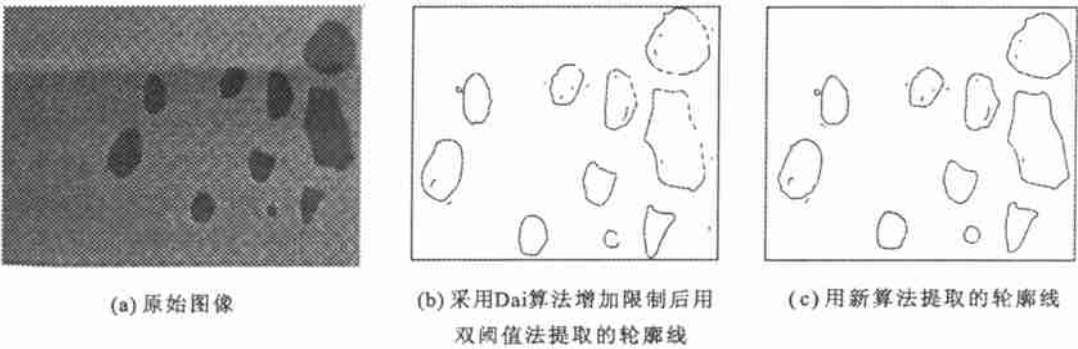


图 3 Dai 算法与新算法的比较

3 轮廓描述

轮廓提取之后, 就需要对其进行量化描述以便

于后面的相似性度量。

3.1 矩与基本描述子

在图像配准应用中, 通常都选择具有 RST(旋

转、比例、平移)不变性的 7 个不变矩的部分或全部作为量化参量,以排除物体自身形状之外的其他任何干扰^[10, 11]。考虑到不变矩的计算量随着阶数的增高而增大,选用一阶和二阶矩^[13, 14]。由于要处理的图像拼接问题中暂时不考虑镜头物距的变化,不存在缩放形变,所以选择了轮廓的周长、质心到边界点的最长距离(半长轴)和最短距离(半短轴)作为辅助参量,其中质心坐标用轮廓上的点的坐标平均值确定。

3.2 链码与形状签名

链码是最直接也是目前最常用的对轮廓细节的描述手段。在使用爬虫法搜索连通边界时,将每一步前进的方向按照一定的量化准则记录下来就是链码^[13]。然而链码本身由于不具备 RST 不变性而并不适合相似性度量,所以在使用链码作为形状描述子时,进行了一系列的改进^[10],试图达到与旋转和缩放无关。尽管如此,改进后的链码仍然存在着诸多缺点。

首先是抗噪声和形变干扰能力太弱。轮廓边缘上的一个毛刺就会导致整个链码的长度改变,进而导致整个波形分布的变化;图像采集时镜头的形变所造成的轻微的形状变化也会造成链码表示的巨大差异。尽管对光学图像的几何畸变校正已经有了很成熟的理论^[15],毕竟造成几何畸变有镜头本身的特性和物距变化造成的投影变换两方面因素,一个校正公式不可能校正所有的几何畸变,所以并不能完全排除镜头畸变的影响。对于这个问题,虽然可以通过加大采样网格的办法^[13]加以解决,但其代价是牺牲轮廓细节,这显然不利于相似性比较。

其次是相似性比较时的计算量太大。由于链码表示的起始点选择不存在固定的标准。所以在比较两个链码是否相似时,就必须以一个链码的长度作为窗口在另一个链码上滑动一周,从中寻找最佳匹配位置。如果链码的周长为 n ,则计算两个链码的最小方差的计算复杂性是 $O(n^2)$ 级。如果待匹配图中的轮廓很多,而且每个轮廓的周长较长,则计算量是惊人的。

因此,选择形状签名来克服这些缺点。最基本的形状签名就是边界点到质心的距离随角度变化的关系^[13]。但是基本的形状签名并不具备 RST 不变性,还需要作一些改进。

(1) 形状签名变化曲线的横坐标是角度值,是从 0 到 2π 连续变化的,为了相似性计算的方便,需要按固定的尺度进行离散化(比如固定为 60 个数值),

所以须对根据轮廓边界点计算得出的采样点进行曲线拟合和重新插值。

(2) 用 $r(\theta)/r_0$ 代替 $r(\theta)$ 作为纵坐标值,其中 r_0 代表边界点到质心的平均距离。

(3) 选择距质心距离最长的边界点作为起始点,以该点的旋转角度为 0。

这样,既保证了缩放不变性,又保证了旋转不变性,同时保证相似性比较时从 0 点开始即可,而不必采用滑动窗口的方式循环搜索。当然,如果形状签名曲线的最大值不惟一或者多个极大值非常接近,那么只从 0 点开始比较有可能发生误匹配。但是此时比较开始位置仍然可以限制在几个极大值处,其计算复杂度仍然为 $O(n)$ 级。

需要注意的是,基本的形状签名是针对凸区域设计的,此时形状签名表现的是距离与角度的函数关系。对于凹区域或者不封闭轮廓,形状签名曲线不是单值的,角度的变化范围也可能只是 $[0, 2\pi]$ 的部分子集。此时可以定义多值的部分取最大值,而无值的部分取 0,从而拓展形状签名的应用范围。

图 4 为链码与形状签名作为轮廓描述子的效果对比。其中,链码表示结果没有使用高斯算子进行平滑过滤。容易看出,由于毛刺和镜头形变,链码表示的结果有较大差异,而形状签名的结果则非常接近。

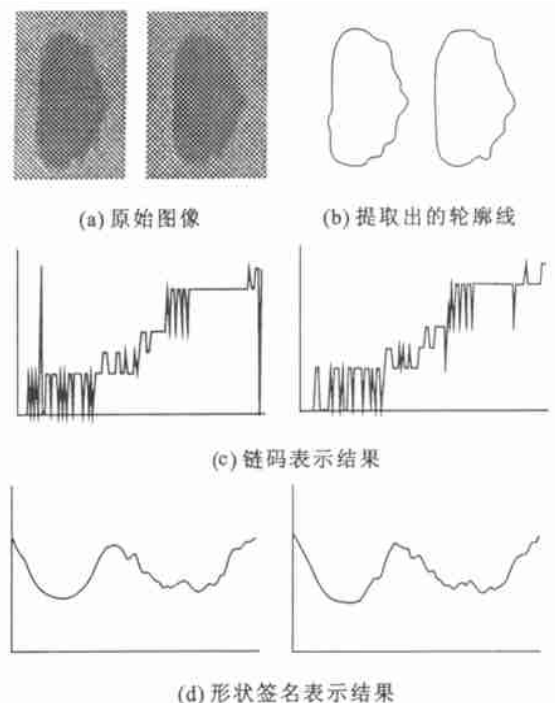


图 4 链码与形状签名表示结果

4 轮廓匹配

经过特征提取和轮廓量化描述,对需要拼接的两幅图像已经获取了各自满足一定筛选条件的区域/轮廓集合及相应的形状描述子。然后使用最短距离(最小方差)准则就可以从中选取可能的匹配组合。

假设待拼接的图 A 中有 n 个轮廓,图 B 中有 m 个轮廓,分别表示为 $\{C_1^a, C_2^a, \dots, C_n^a\}$ 和 $\{C_1^b, C_2^b, \dots, C_m^b\}$ 。对 A 中的每一个轮廓和 B 中的所有轮廓两两计算基本形状描述子(含一、二阶不变矩)的均方差和离散形状签名曲线的均方差,形成两个均方差矩阵,分别为 M_{ij} 和 S_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$)。只有 M_{ij} 小于阈值 T_M 并且 S_{ij} 小于阈值 T_S 时,才认为 C_i^a 和 C_j^b 是一个可能的匹配对。同时根据 $M_{ij}S_{ij}$ (M_{ij} 和 S_{ij} 的对应元素相乘)比较各个匹配对之间的相似程度,从中可以按顺序选出最相似的若干匹配对。根据待拼接图像的具体情况,可能出现一对多的匹配对,为了防止这种情况,可以在选择一个匹配对(对均方差矩阵中元素 (i, j))后将均方差矩阵中的第 i 行和第 j 列删除,在余下的元素中寻找最小值。

找到可能的匹配对后,将匹配轮廓的质心作为控制点,可以得到图像 A 和图像 B 之间的坐标变换公式。假设仿射变换参数分别为 $\{a_0, a_1, a_2\}$ 和 $\{\beta_0, \beta_1, \beta_2\}$, 则

$$X' = [1, X, Y] \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}, \quad Y' = [1, X, Y] \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

其中, (X', Y') 和 (X, Y) 分别代表图像 B 和图像 A 中匹配控制点的坐标。如果将上式看作两个三元一次方程,那么只需要 3 对匹配控制点就可以解出变换参数的数值。如果不考虑镜头畸变,可以挑选 3 个最近似的匹配对解方程,然后将其他匹配对的坐标代入变换公式,求出变换坐标与实际坐标的方差,进行一致性检查。如果考虑一定程度的镜头畸变,可以多选几个匹配对,用最小二乘法求解变换系数^[11],然后根据匹配对距离进行一致性检查^[10]。

5 图像融合

图像拼接的最后一步是根据求出的仿射变换公

式,将两幅待拼接的图像融合为一幅图像。

图像配准应用中,通常将两幅图像区分为源图和参照图,先将参照图根据仿射变换公式求出的旋转角度(不考虑镜头畸变的情况下)进行旋转,然后按位移参数与源图叠合在一起,评估配准的效果^[11]。在图像拼接问题中,这两步可以合并在一起。具体方法如图 5 所示。

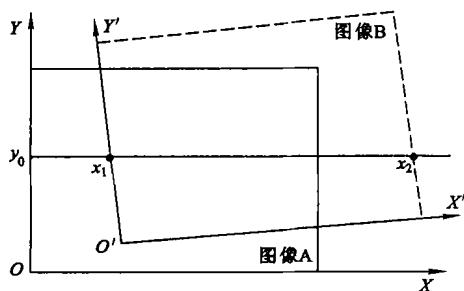


图 5 图像融合算法

XOY 和 $X'O'Y'$ 分别代表图 A 和图 B 的坐标系, XOY 中的一行扫描线可以用直线方程 $Y = y_0$ 表示,同一直线经过公式(1)的仿射变换变换到 $X'O'Y'$ 中就变成如下参数方程:

$$\begin{cases} X' = a_0 + a_1 X + a_2 y_0, \\ Y' = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 y_0. \end{cases} \quad (2)$$

使用图形学中的线段裁剪算法^[16]可以求出落在图像 B 中的线段起点和终点的参数 x_1 和 x_2 , 如此可以方便地求出图像 A 和图像 B 变换后的重叠区域以及点的对应关系。此后可以简单地使用插值方法求出图像 B 变换后的像素颜色。然后使用线性过渡融合两幅图像,或者采用搜索最佳接缝法^[17]将两幅图像融合在一起。

6 实验结果

图 6 中, (a) 和 (b) 为两幅待拼接的粉尘切片显微图像。从图中可以看出有轻微的镜头畸变。图 6 (c) 为未经过镜头畸变校正就直接采用上述拼接算法拼接的结果。为了更清楚地表示出重叠区域,没有使用线性过渡或最佳接缝算法,而是在重叠区域直接用取两图像素平均的方法。图示结果还是比较令人满意的。

实验待拼图像尺寸为 320×240 。排除机器本身性能的差异和其他不确定因素,该算法比同类采用链码表示的基于轮廓的图像配准算法快很多。

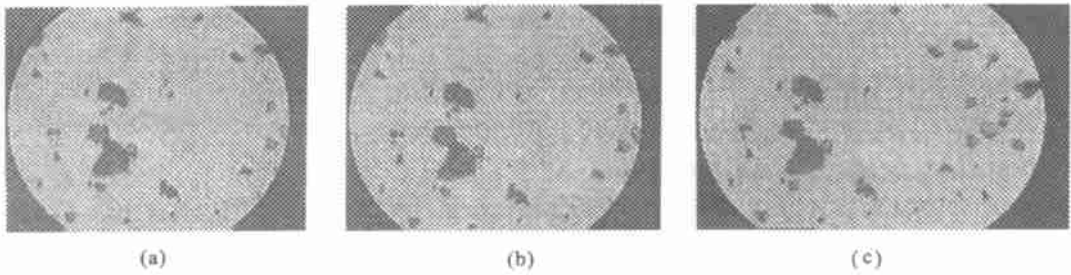


图 6 实验结果

7 结束语

基于区域特征的图像拼接算法在以下两方面进行了改进: (1) 在轮廓提取阶段, 采用细化方法处理卷积图并使用区域增长算法作为辅助校正, 改善轮廓提取的效果。(2) 在轮廓描述阶段, 用形状签名代替链码降低噪声和镜头畸变的影响。实验结果证明, 本算法速度快, 健壮性好, 适于物探地形图片和显微图像的拼接应用。

参考文献:

- [1] WOLF P R. Elements of Photogrammetry 2 EDITION [M]. McGraw-Hill, 1983.
- [2] KOLONIA P. When more is better[J]. Popular Photography, 1994, 58(1): 30- 34.
- [3] [美] ROSENFELD A 著. 数字图像分析[M]. 王昌曜译. 北京: 国防工业出版社, 1991.
- [4] GUMUSTE S K. New methods for the construction of panoramic and plenoptic images with computer vision applications[D]. University of Pittsburgh, Department of Electrical Engineering, 1999. 15- 16.
- [5] 陶波, 于志伟, 郑筱祥. 图像的自动拼接[J]. 中国生物医学工程学报, 1997, 16(4): 21- 25.
- [6] 钟力, 胡晓峰. 重叠图像拼接算法[J]. 中国图像图形学报, 1998, 3(5): 367- 370.
- [7] 丁迎, 洪继光. 图像拼接中伪匹配的判别和消解[J]. 中国图像图形学报, 1999, 4(A3): 886- 890.
- [8] 李跃, 彭宇行, 陈福接. 一种基于模板匹配的电路照片拼接方法[J]. 中国图像图形学报, 2001, 6(A3): 301- 305.
- [9] 许雷, 等. 一种基于相位相关法及数学形态学方法的眼底血管图像自动拼接方法[J]. 生物医学工程杂志, 1998, 15(3): 286- 290.
- [10] HUI L, MANJUNATH B S, MITRA S K. A contour based approach to multisensor image registration[J]. IEEE Trans Image Processing, 1995, (4): 320- 334.
- [11] DAI X, KHORRAM S. A feature-based image registration algorithm using improved chain-code representation combined with invariant moments[J]. IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing. 1999, 5(37): 2351- 2362.
- [12] 洪泉, 陈德强, 黄文浩. 一种基于图像内部信息的轮廓匹配和切片对齐新方法[J]. 中国图像图形学报, 2001, 6(2): 152- 158.
- [13] GONZALEZ C, WOODS R E. Digital Image Processing[M]. Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [14] 郑南宁. 计算机视觉与模式识别[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998. 56- 61.
- [15] 廖士中, 高培焕, 苏艺, 王大鹏. 一种光学镜头摄像机图像几何畸变的修正方法[J]. 中国图像图形学报, 2000, 5(A7): 593- 596.
- [16] 孙家广, 杨长贵. 计算机图形学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995. 200- 206.
- [17] SHIREN Y, LI L, PENG G. Two-dimensional seam-point searching in digital image mosaicing[J]. Photogrammetric Engineering and Remote sensing, 1989, (55): 49- 53.

(责任编辑 刘为清)

spot

DESIGN OF FEATURE-BASED IMAGE MOSAICING ALGORITHM/ YU Hui, HO U Zai-ke, HE Xu-li, et al. *College of Computer and Communication Engineering in the University of Petroleum, China, Dongying 257061/ Shiyou Daxue Xuebao*, 2003, 27(2): 114~ 118

A new feature-based approach to automatic image-to-image mosaicing was presented. In the feature extraction process, the performance of the Laplacian of Gaussian operators was improved after enhancing the resultant convolved image and calibrating with region-growing algorithm. The chain-code was replaced by the shape signature and used to express the contour, improve the speed and decrease the effect of noise and transformation due to camera calibration. Experimental results verified the better robustness and efficiency of the algorithm than chain-code based algorithm. It can be used to image mosaicing without camera calibration.

Key words: feature extraction; image contour; image registration; image mosaicing algorithm

A GENERAL SUPER-MEMORY GRADIENT PROJECTION METHOD FOR NONLINEAR PROGRAMMING WITH NONLINEAR EQUALITY CONSTRAINTS AND INEQUALITY CONSTRAINTS/ SUN Qing-ying and ZHANG Xiu-zhen. *Department of Applied Mathematics in the University of Petroleum, China, Dongying 257061/ Shiyou Daxue Xuebao*, 2003, 27(2): 119~ 123

A general super-memory gradient projection method was generalized to solve the nonlinear programming problems about the nonlinear equality constraints and inequality constraints by using general projection matrix. The global convergence properties of the new method were discussed. The new method is of stability in calculation and demands less number of iterations, shorter computing time, strong convergent properties and weaker conditions for convergence than the original algorithm. The numerical results illustrate that the new method is more effective.

Key words: nonlinear programming; nonlinear equality constraints and inequality constraints; general projection algorithm; super-memory gradient algorithm; convergence

GRAPHIC SOLUTION FOR A TYPE OF INTEGER PROGRAMMING/ TAN Shang-wang and ZHANG De-long. *Department of Applied Mathematics in the University of Petroleum, China, Dongying 257061/ Shiyou Daxue Xuebao*, 2003, 27(2): 124~ 127

Let Γ be a set of all (score) degree sequences of graphs with order n and some property. For $s = (s_1, s_2, \dots, s_n) \in \Gamma$, let $h(s) = a_1 s_1^p + a_2 s_2^p + \dots + a_n s_n^p$, where $p > 1$ is an integer, and $0 < a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_n$. This paper gives the graphic method for solving $\max_{s \in \Gamma} h(s)$.

Key words: score; strong connection; transition

CROSS SECTION MEASUREMENT AND EVALUATION OF SEVERAL (n, 2n) REACTIONS/ ZHANG Feng and KONG Xiang-zhong. *Faculty of Geo-Resource and Information in the University of Petroleum, China, Dongying 257061/ Shiyou Daxue Xuebao*, 2003, 27(2): 128~ 131

Cross sections for (n, 2n) reactions were measured with the activation method and evaluated by the code HFTT. The excitation function curves were made out. The features of cross sections changing with the neutron energies were analyzed and compared with the literature values.

Key words: cross section; measurement; (n, 2n) reactions; excitation function curves; evaluation

INFLUENCE FACTORS FOR DIRECTION OF UNIDIRECTIONAL HYDROPHONE/ LI Shu-guang, ZHANG Jun and HU Song-qing. *Department of Applied Physics in the University of Petroleum, China, Dongying 257061/ Shiyou Daxue Xuebao*, 2003, 27(2): 132~ 133

Some factors influencing the direction of unidirectional hydrophone formed in array of two elements with electric phase-shift were theoretically discussed, and some results were tested. The conclusions may be that the amplitude change of output signal of two array elements or the shift of phase angle of signal will have some influence on the performance of unidirectional hydrophone.

Key words: hydrophone; array; element; directional index; unidirectivity