

利于目标识别的高光谱影像波段选择方法

张海涛¹ 孟祥瑞¹ 陈虹宇¹ 张 晔²

(辽宁工程技术大学软件学院 葫芦岛 125105)¹ (哈尔滨工业大学 哈尔滨 150000)²

摘要 遥感图像数据量大、波段数目多、信息冗余多等特点给图像的进一步解译带来了困难。为了解决这个问题,在使用相邻波段间的互信息量与全部波段间的相关系数矩阵相结合的方法对波段进行分组的基础上,运用波段指数和光谱角制图算法,提出了针对某个感兴趣目标的波段选择方法。首先对校正后的全部有效波段进行分组(划分子空间),然后提取出各个子空间中指数最大的波段,最后依据地物光谱可分性选取最佳的波段组合。通过试验及与常见的波段选择方法进行比较的结果显示,所提方法目标提取效果明显。

关键词 高光谱影像,互信息量,相关系数,波段指数,光谱角制图

中图分类号 TP753 文献标识码 A

Target Recognition of Hyperspectral Images Band Selection Method

ZHANG Hai-*tao*¹ MENG Xiang-yu¹ CHEN Hong-yu¹ ZHANG Ye²

(College of Software, Liaoning Engineering Technology University, Huludao 125105, China)¹

(Harbin Industrial University, Harbin 150000, China)²

Abstract The large amount of data for remote sensing image, more band number and more information redundancy bring difficulties to the further interpretation of the image. To solve this problem, using mutual information between adjacent bands and correlation coefficient matrix between the entire band to group the band, and using the band index and spectral angle mapping algorithm, band selection method for a specific region of interest was proposed. First corrected all of the valid band was grouped and divided in to subspace, and then the index of the biggest bands in the various subspace was removed. Finally, based on surface features the spectral separability select the best band combination. The trial and the comparison with the common band selection method compares show that the method proposed in this paper has the obvious object extraction effect.

Keywords Hyperspectral image, Mutual information, Correlation coefficient, Band index, Spectral angle mapping

对高光谱影像的处理已经成为现阶段国内外遥感领域专家及学者的研究热点^[1]。由于高光谱影像具有数据量大、波段多而窄、波段间相关性强、信息冗余多等特点,必须对高光谱影像进行“降维”操作。因此如何在保留重要信息的前提下有效地去除高光谱影像数据冗余、提取出能够代表高光谱影像感兴趣信息的有效波段组合就成为了难点。

现有的降维方法有两种:一种是基于特征提取的方法,另一种是基于特征选择的方法,但前者对图像变换后改变了其原有的物理特性,因此本文选择了基于特征选择的方法。本文采用波段选择方法进行“降维”能够减少波段间的数据冗余,提高分类精度及效率,因此有一定应用价值。

本文针对高光谱影像的感兴趣区域进行波段选择,利用波段相关系数矩阵的“成块”特点得到粗略分组,再通过求解相邻波段间互信息量的局部极小值对之前得到的分组进行细化得到精确波段分组,然后在各个子空间内求解波段指数,获得各子空间内的最大指数波段,再通过求光谱角得到最佳波段组合。对最佳波段组合得到的假彩色图像与常用方法得到的假彩色图像进行对比,得出了此方法对于目标识别的效果

较好,在高光谱影像分类和识别领域具有很大的应用前景。

1 高光谱影像波段选择准则及算法

由于高光谱影像波段数多,使得 Hughes 现象成为抑制高光谱影像分类精度的重要原因。为解决此问题,必须采用较好的波段选择方法,主要采用基于波段指数的方法。

1.1 波段选择准则

波段选择具有三点准则^[2,3]:一是从信息论角度出发,选取信息量最大的波段或波段组合;二是从统计角度出发,所选波段的相关性应最小,从而保证各个波段的独立性和有效性^[16];三是从光谱特征角度出发,所选波段光谱特征差异应最大,以提高地物的可分性^[17]。

1.2 波段选择算法

本文针对高光谱影像感兴趣区域的波段选择采用以下方法对波段相关系数矩阵进行分块处理,基于互信息量的波段进行精确分组,求最大指数波段及光谱角制图等。

(1)高光谱影像子空间^[12]划分往往先要求得各个波段间的相关系数,使其成为相关系数矩阵,从而具有可视化“成块”

到稿日期:2012-12-05 返修日期:2013-03-03 本文受国家自然科学基金(60972143)资助。

张海涛(1974—),男,副教授,硕士生导师,主要研究方向为图形图像处理、嵌入式系统;孟祥瑞(1987—),男,硕士生,主要研究方向为高光谱遥感图像降维及压缩技术, E-mail: 1021768023@qq.com;张 晔(1960—),男,博士生导师,主要研究方向为小波变换技术、数据融合技术等。

特点^[5],也是进一步分组的前提。任意两波段间的相关系数计算公式如下,即算法 1:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (V_{ik} - \bar{V}_i)(V_{jk} - \bar{V}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (V_{ik} - \bar{V}_i)^2 \sum_{k=1}^n (V_{jk} - \bar{V}_j)^2}} \quad (1)$$

式中, V_i 是一个构造好的波段光谱矢量, n 代表某一个波段的像素总数目, V_{ik} 表示的是第 i 个波段的第 k 个像素。其中 \bar{V}_i 和 \bar{V}_j 分别是 V_i 和 V_j 的均值矢量。

(2) 基于互信息量的波段分组方法

波段分组方法在遥感影像分类中已经有所研究,孙立新和高文^[6]提出通过模糊集理论对原始波段进行分组。谷延锋、张晔^[5,15]根据原始波段的相关系数矩阵将全部波段划分为若干个连续的子空间以达到分组的目的。通过对以往的分组方法的研究发现,不一定所有和分类目标相关度高的波段组合就一定能取得最高的分类精度。因此本文采用了在求得波段间相关系数矩阵“成块”的基础上运用互信息量^[14]来衡量图像之间相似性的方法进行波段分组操作。计算互信息量的基本方法如下^[4]:

波段 A 和 B 用向量 X 和 Y 表示, $X = [x_1, \dots, x_i, \dots, x_I]$; $Y = [y_1, \dots, y_i, \dots, y_I]$, x_i 是 A 波段第 i 个像素值, y_i 是 B 波段第 i 个像素值。波段 A 和 B 的互信息量即算法 2:

$$I(A, B) = -\sum_{i=1}^I p(x_i) \log_2(p(x_i)) - \sum_{i=1}^I p(y_i) \log_2(p(y_i)) + \sum_{i=1}^I \sum_{i=1}^I p(x_i, y_i) \log_2(p(x_i, y_i)) \quad (2)$$

式中, $p(x_i)$ 为灰度值 x_i 在波段 A 中出现的概率, $p(y_i)$ 为灰度值 y_i 在波段 B 中出现的概率, $p(x_i, y_i)$ 为两者的联合概率。

对求得的互信息量所组成的一维向量在算法 1 的基础上对一些特殊区域计算其局部极小值,以确定分组的波段位置,达到对连续波段进行分组的目的。

(3) 波段指数

刘春红^[7]提出的自适应波段降维方法,考虑了高光谱影像的空间和谱间相关性,通过计算各波段指数来得到信息量大且波段相关性小的波段。

从信息论及统计角度考虑,第 i 波段影像的指数通过下式计算:

$$I_i = \frac{\delta_i}{(R_{i-1,i} + R_{i+1,i})/2} \quad (3)$$

式中, δ_i 为第 i 波段的标准差; $R_{i-1,i}$ 和 $R_{i+1,i}$ 是第 i 波段与其前后两波段的相关系数。相关系数越小表示独立性越好,冗余越小;指数越大表明信息量越大,有效信息越多。

(4) 光谱角度制图法

利用光谱角度制图法可以对候选波段精确分类,可以通过反射光谱的形状来识别地物特征。它通过计算测试光谱与参考光谱的角度来确定两者之间的相似性^[9],本文的参考光谱选用的是高光谱影像上提取的像元光谱。光谱角计算公式如下:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{k=1}^n \omega_{ik} \omega_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \omega_{ik}^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n \omega_{jk}^2}} \right) \quad (4)$$

式中, n 为全部 N 个波段中通过互信息量分组得到的子波段数, ω_{ik} 为第 i 类地物在第 k 个波段的辐射亮度值,角度越大说明两类地物可分性越好。因此,高光谱影像波段选择的最佳

波段组合即为光谱角最大的波段组合。

对高光谱影像来说,由于波段数目多,可能的波段组合就有多种,利用传统的波段选择方法如联合熵^[9]、最佳指数(OIF)^[10]、最大熵,计算量十分巨大,同时也未完全考虑波段选择的三条准则。

2 最佳波段选择算法

依据波段选择三条准则,且通过试验得出了较好的目标识别效果。算法的思路为:

(1) 依据高光谱影像各个波段间的相关系数可得到相关系数矩阵,且矩阵具有“分块”特点,由矩阵具有的可视化形式可以确定矩阵划分的子空间数目,且可初步知道波段划分的局部范围,以便下一步详细划分。

(2) 利用(1)的方法得到波段划分的范围,再通过求解各个相邻波段间的互信息量确定精确的子空间划分位置。利用 matlab 软件对此互信息量得到的一维向量局部可能的分组边界范围求其局部极小值,并同时得到极小值所在的位置,针对位置坐标对向量进行分组,得到划分的子空间。此分组算法较以前的自动子空间划分^[13]方法操作更简单、时间复杂度更低。

(3) 对思路(2)中得到的子空间分别求出各子空间内的最大指数波段,并将其作为候选波段进行组合。通过此方法所选出的波段具有弱相关性、大信息量且信息冗余小。

(4) 对思路(3)得出的所有候选波段组合,依据光谱角度制图法求光谱角度,得到最大夹角的波段组合即最佳波段组合。波段选择过程如图 1 所示。

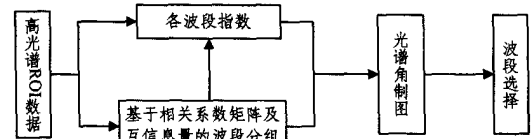


图 1 最佳波段选择算法流程

3 实验与分析

3.1 实验数据描述

本文所选用的数据是美国圣地亚哥海军基地飞机场的高光谱影像,共 224 个波段且为 AVIRIS 高光谱影像,整个影像大小是 400×400 像素。利用 ENVI 遥感软件对整个高光谱影像进行预处理,包括图像坐标配准、大气校正、几何校正等。通过预处理去除了坏波段,保留了其中的 189 个有效波段。但由于高光谱影像数据量大且感兴趣目标(飞机)只在一定范围内存在,因此截取了整幅影像中包含感兴趣目标的部分区域作为实验数据,截取方法采用 matlab 数据处理软件中自带函数 imcrop 进行截取。剪裁后的影像大小为 100×100 像素,识别目标为飞机。图 2 为第 10 波段灰度影像。

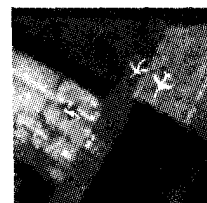


图 2 第 10 波段灰度图像

3.2 实验步骤

实验将本算法对飞机目标的提取效果与常用的波段选择方法进行对比,常用的波段选择方法有联合熵、最佳指数法(OIF)、最大熵算法等,其中选择三波段组合进行设计。

(1)将通过计算得到的各波段间的相关系数组合成相关系数矩阵,该矩阵包括 189×189 个元素,图 3 为矩阵的可视化形式,该图具有特征矩阵的“分块”特性。通过观察灰度图像的色彩变化对成块矩阵进行确定分块,依据图 3 可以将波段划分为 7 个子块。再利用可视化形式将 7 个子块的波段划分位置初步确定出来,大体上的划分范围是 $8 \sim 12$; $20 \sim 27$; $60 \sim 65$; $95 \sim 100$; $133 \sim 136$; $137 \sim 142$ 。利用算法 2 对波段划分的大体位置进行精确化。图 4 为相邻波段间互信息量与对应波段号坐标图,依据对图 3 得到的大体范围求取各个子空间的局部极小值来确定分组位置。得到的 7 个子空间是: $1 \sim 11$; $12 \sim 24$; $25 \sim 63$; $64 \sim 96$; $97 \sim 135$; $136 \sim 138$; $139 \sim 189$ 。分组位置及归一化后的互信息量见表 1。

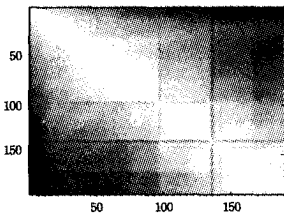


图 3 相关系数矩阵灰度图

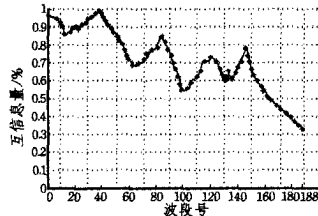


图 4 相邻波段互信息量

表 1 子空间划分及局部极小值点互信息量

级别	1	2	3	4	5	6	7
波段范围	1~11	12~24	25~63	64~96	97~135	136~138	139~189
互信息量	0.8057	0.9041	0.6900	0.5406	0.6013	0.6066	

(2)分组完成后,根据式(3)提取各个子空间指数最大的波段,见表 2。

表 2 各子空间指数最大波段

子空间	1	2	3	4	5	6	7
最大指数波段	11	15	27	96	127	136	151
指数值	1545. 2518	1559. 4754	1524. 4658	1109. 6432	1163. 2137	1124. 2223	1265. 4610

(3)根据地物可分性理论,选择目标飞机与较为明显的 3 个背景:屋顶、机场、草地做光谱角,找出可分性最好的波段组合。分别对目标及背景进行采样,用各类地物样本均值作为地物标准光谱。从表 2 中任意选择三波段组合,分别计算光谱角(所选择的阈值为 0.9995),并选择目标与每类背景地物光谱角最大的前 3 个波段组合,见表 3。

表 3 最佳波段选择算法光谱角统计

飞机/背景	波段组合	光谱角		
		飞机	屋顶	草地
飞机/屋顶	11,15,136	0.9998	0.9997	0.9996
	27,127,136	0.9997	0.9997	0.9996
飞机/机场	15,27,96	0.9992	0.9985	0.9929
	11,15,96	0.9992	0.9985	0.9929
飞机/草地	127,136,151	0.9896	0.9763	0.9625
	96,136,151	0.9896	0.9763	0.9625

表 4 为经过统计表 3 得到的人选次数最多波段的前三波段组合的最佳波段组合。

表 4 最佳波段选择算法结果

波段	11	15	27	96	127	136	151
次数	3	5	4	3	4	6	2
最佳波段组合	(15,27,136);(15,127,136)						

虽然由表 4 知道最佳波段组合有两组,但通过图像融合^[11]得到了两幅 RGB 图像。(15,27,136)三波段融合图像信息熵为 11.3087,而(15,127,136)三波段融合图像信息熵为 11.4266。通过信息熵上的对比得知波段组合(15,127,136)对目标的提取效果更好一些,并且在两幅融合图像清晰度的计算上(15,127,136)的清晰度更佳。所以本文选择的最佳波段组合是(15,127,136)的波段组合。同时为了说明本文算法在高光谱影像目标识别方面的优越性,与常用的波段选择算法作了对比,波段组合均为三波段的波段组合。

3.3 实验结果与分析

通过与常用的波段选择方法对比知道,通过以往的波段选择方法得到的假彩色图像基本呈黑白状态,对目标的分辨率较低,并没有完全考虑到波段选择三条准则。通过联合熵算法得到的最佳波段组合为(31,33,42),其三波段组合都集中在第 1 子空间,并没有考虑到相关性问题。通过最佳指数算法得到的三波段组合为(15,16,17),三波段主要集中在第 1 子空间,也没有考虑到相关性的问题。通过求取各个波段的熵值得到的最大熵三波段组合(27,28,29)也没考虑到相关性问题,所以也非最优组合。

利用本文算法得到的最佳波段组合(15,127,136)完全满足波段选择的三条准则,通过对图 5 假彩色图像的观察与对比,可以得出本文方法较以往常用的波段选择方法具有更好的目标识别效果。

在客观评价上,本文方法在信息熵上也较常用方法有显著提高,见表 5。

表 5 常用波段选择算法信息熵对比结果

联合熵	波段指数	最大熵	最佳波段指数
10.4622	10.6354	10.0376	11.4266

基于最佳波段选择的方法在时间复杂度上也较最大熵、最佳波段指数方法、联合熵方法具有更低的时间复杂度。本文时间复杂度为 $O(n)$,而最大熵为 $O(n^2)$,最佳指数算法和联合熵算法的时间复杂度都为 $n \log n$ 。

在可靠性方面,本文算法较常见波段选择方法在目标识别方面有更为精确的目标识别效果,具有较高的图像识别能力。

重现性是指不同实验室的不同分析人员用相同分析对同一被测对象测定结果之间的相对标准偏差。本文算法的重现性是通过各个波段指数求平均值,再通过计算相对标准偏差得到的,与其他人得到的相对标准偏差相比,本文的相对标准偏差较小,因此具有很好的重现性。

稳定性需要求解变异系数得到,标准差与平均数的比值称为变异系数。本文的变异系数较其他人在其他环境下的变异系数小,因此具有较强的稳定性。

图 5 中(a)~(d)分别是联合熵、波段指数、最大熵组合及最佳波段选择方法得到的假彩色图像。图 5 中的(e)~(h)是利用 ENVI 遥感软件与以上假彩色图像分别对应的目标(飞机)提取的结果(黑色为飞机)。通过对比可以看出利用本文方法得到的假彩色图像具有更好的分辨率且得到的目标分割

影像具有更好的识别效果,能够更好地为高光谱影像的进一步处理提供方便,具有十分可观的应用前景。

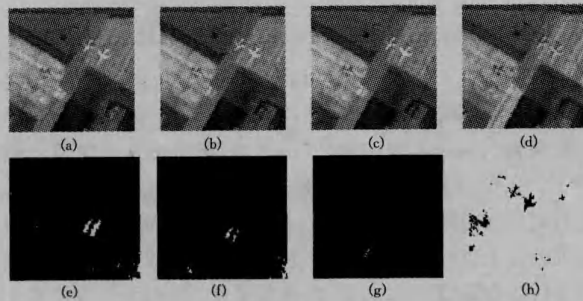


图5 4种方法的波段选择及目标识别结果

结束语 针对以往常见的波段选择方法的缺点和不足,提出了一种基于感兴趣区域的遥感影像的高效、精确的波段选择方法。利用波段间相关系数矩阵“成块”的特点与求取局部互信息量的局部极小值来划分波段子空间,提取出波段子空间指数最大的波段,然后利用夹角余弦公式求得最大光谱角且选择出地物可分性最好的波段组合。该方法充分考虑了波段选择的三条准则,并且通过实验验证得出,此方法得到的波段组合对目标的提取效果良好,具有较好的应用价值。

参考文献

[1] 浦瑞良,宫鹏. 高光谱遥感与应用[M]. 北京:高等教育出版社, 2003

[2] Sheffield C. Selecting Band Combinations from Multispectral Data[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1985, 51(6): 681-687

[3] 刘建平,赵英时,孙淑玲,等. 高光谱遥感数据最佳波段选择方法试验研究[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(1): 7-13

[4] Novovicova J, Somol P, Haindl M, et al. Conditional mutual information based feature selection for classification task[C] // LNCS 4756; 12th Iberoamericann Congress on Pattern Recognition(CIARP2007). Valparaiso, Chile, November 2007: 417-426

(上接第 291 页)

[3] 徐从富,陈健松,潘彦鹤,等. 基于 NPR 的 3 维模型线绘算法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 12(4): 707-712

[4] 钱小燕,肖亮,吴慧中,等. 基于多分辨率的非真实感绘制[J]. 南京理工大学学报:自然科学版, 2012, 30(3): 348-351

[5] 杨衡. 基于图形卡的通用计算[D]. 上海:上海交通大学, 2012

[6] Wu X. An efficient antialiasing technique[C] // Proceedings of SIGGRAPH 2011. 2011: 143-152

[7] 闫文. 基于 GPU 实时非真实感渲染的研究与实现[D]. 杭州:浙江大学, 2012

[8] 黄炳乐,姚剑敏. 一种二维视频转换为三维视频的新方法[J]. 光电子技术, 2011, 31(2): 137-140

[9] 陈俊涛,肖明,郑永兰,等. 用 OpenGL 开发地下结构工程三维有限元图形系统[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 25(5): 1015-1020

[10] 贾运宁,赵峰. Bresenham 直线光栅化算法的硬件实现方法研究[J]. 信息技术, 2011, 32(9): 132-134, 137

[11] 唐兵. GPU 优化的 3D 游戏室外大场景的渲染[D]. 金华:浙江师范大学, 2011

[12] 张强,郭宝龙. 一种基于非采样 Contourlet 变换红外图像与可见

[5] 谷延峰,张晔. 基于自动子空间划分的高光谱数据特征提取[J]. 遥感技术与应用, 2008, 18(6): 384-387

[6] 孙立新,高文. 基于粗糙集的遥感优化分类波段选择[J]. 模式识别与人工智能, 2000, 13(2): 181-186

[7] 刘春红,赵春晖,张凌雁. 一种新的高光谱遥感图像降维方法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(2): 218-222

[8] Keshava N. Best bands selection for detection in hyperspectral processing [A] // Proc IEEE International Conference on Acoustics, Speech, Signal Processing[C]. 2001(5): 3149-3152

[9] 苏红军,盛业华,杜培军. 自动子空间划分在高光谱影像波段选择中的应用[J]. 地球信息科学, 2007, 9(4): 123-127

[10] Chavez P S, Berlin G L, Sowers L B. Statistical method for selecting landsat MSS ratios[J]. Journal of Applied Photographic Engineering, 1982(8): 23-30

[11] Haq Ihsan ul, Xu Xiao-jian, Aamir S. Band clustering and selection and decision fusion for target detection in decision fusion for target detection in hyperspectral imagery [C] // ICASSP. 2009: 1101-1104

[12] Bioucas-Dias J M, Nascimento J M P. Hyperspectral subspace identification [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2008, 46(8): 2435-2445

[13] He Ming-yi, Bai Lin, Dai Yu-chao, et al. Hyperspectral Image Lossless Compression Algorithm Based on Adaptive Band Re-grouping[C] // MProc. SPIE Volume 7455 Satellite Data Compression, Communication and Processing V. San Diego(USA), 2009

[14] 吴昊,李士进,林林,等. 多策略结合的高光谱图像波段选择新方法[J]. 计算机科学与探索, 2010, 4(5): 464-469

[15] 刘颖,谷延峰,张晔,等. 一种高光谱图像波段选择的快速混合搜索算法[J]. 光学技术, 2007(27)

[16] 杨金红,尹球,周宁. 一种改进的高光谱数据自适应波段选择[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(4): 513-519

[17] 李行,毛定山,张莲蓬. 高光谱遥感影像波段选择算法评价方法研究[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(6): 34-37

[13] 光图像融合算法[J]. 红外与毫米波学报, 2012, 26(6): 476-480

[13] Kalnins R D, Davidson P L, Markosian L, et al. Coherent stylized silhouettes[J]. ACM Trans. Graph., 2011, 22(3): 856-861

[14] 刘保权,刘学慧,吴恩华,等. 基于 GPU 的实时深度图像前向映射绘制算法[J]. 软件学报, 2012, 18(6): 1531-1542

[15] Cole F, Finkelstein A. Partial visibility for stylized lines[C] // Proceedings of NPAR 2011. 2011: 9-13

[16] Zhao Hua, Lu Yan-chou, Chen Jie, et al. Fine grain IRSL and GLSL dating of late Quaternary sediments from North China [J]. 科学通报:英文版, 2010, 46(4): 334-337

[17] Cole F, DeCarlo D, Finkelstein A, et al. Directing gaze in 3D models with stylized focus[C] // Proceedings of Eurographics Symposium on Rendering 2006. 2006: 377-387

[18] 郑利平,陈斌,王文平,等. 基于分布式渲染架构的远程可视化研究[J]. 计算机研究与发展, 2012, 49(7): 1438-1449

[19] 吉成德. 嵌入式 Linux 下 3D 渲染技术的研究与实现[D]. 武汉:华中科技大学, 2011

[20] 唐兆,邬平波. 三维实时云建模与渲染在工业仿真中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 19(8): 1051-1055

[21] 熊黎丽,王国胤,龚勋. 基于三维重建的人脸姿态估计[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2010, 22(3): 375-380