

## 一种人脸图象线性变换模型及其识别应用

徐 勇, 张重阳, 杨静宇

(南京理工大学计算机系, 江苏 南京 210094)



**摘 要:** 在不同光照条件下同一个人脸的成像会有较大差异, 这种差异的存在给人脸自动识别带来较大的限制。文中基于合理的假设, 提出一种人脸图象的逐点变换模型。该模型简单易行, 且能有效减少同一人脸在不同光照条件下的成像差异。在 YaleB 人脸图象库与 AR 人脸库上的对比实验表明了该模型的有效性与可行性。

**关键词** 光照变化; 图象正则化; 图象处理; 人脸识别

文章编号: 1004-731X (2005) 04-0846-02 中图分类号: TP391 文献标识码: A

## A Linear Transformation Model on Face Image and Its Application in Recognition

XU Yong, ZHANG Chong-Yang, YANG Jing-Yu

(Department of Computer Science, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Under different illumination conditions, image on an individual may vary dramatically, as a result face recognition becomes more difficult because of this factor. In this paper, a linear transformation model on face image is proposed. The model is feasible, simple and tractable in computing. Moreover, it is very effective to weaken the aftereffect of varying illumination. To illustrate the application on the model, experiments are performed on YaleB and AR face image databases.

**Keywords:** illumination variation; image regulation; image processing; face recognition

## 引 言

不同光照条件下人脸图象的识别是模式识别领域最具挑战性的问题之一。分析表明,光照变化会带来较大的成像变化,照明变化引起的图象差异甚至可能大于不同个体的图象差异<sup>[1]</sup>。如何在光照变化较大的条件下对人脸进行识别或认证的问题吸引了很多研究者的目光<sup>[2-4]</sup>,但是,到目前为止,还没有方法能圆满解决这一问题。人们提出了多种方法,以期能减小或者消除不同光照带来的成像差异。借助直方图均衡化的手段对图象进行变换的方法即是其中一种。该方法对图象进行变换,使其灰度分布均匀,这种处理符合人的视觉效果,非常直观。最近提出的“商图象”方法也属于此类,它也是一种尝试给出复杂光照下人脸正则化图象的方法。对比实验显示,“商图象”方法可取得较好识别效果<sup>[2]</sup>。

这些方法在一定程度上减弱了不同光照条件带来的影响,但是,也存在明显的局限性。其中,直方图均衡化方法是为得到更好的视觉效果而设计,却对图象模型不加考虑。这样的均衡化处理在增强视觉效果的同时,某些图象本来具备的正常明暗特征也可能受到削弱。文献<sup>[2]</sup>提出的“商图象”方法是一类具有较好理论基础和取得了较好实验结果的方法。但是,该方法是基于目标的形状模型固定的假设而提出

的,而且要在已知图象照明条件与商照明的情况下系统才能完成识别。显然,不同人的脸部形状是不一样的,即使同一人的脸部形状也不是固定不变的。此外,在实际识别应用中,一般难以确知人脸成像时的照明条件。

## 1 人脸图象逐点变换模型

将人脸看成一个反射体,成像的明暗程度(即灰度大小)实际上反映了人脸的反射光的强弱,而反射光的强弱直接与光照强弱相关。可以认为,光照越强,得到的人脸图象相应也较亮;光照越弱,人脸图象相应偏暗。如果想将不同光照条件下得到的人脸图象“归一”到相同的固定光照条件,则应考虑光照的强弱影响。可认为人脸图象的像素平均值 $\bar{I}^j$ 与光照强弱相关。

借鉴商图象的思想,假设存在一虚拟的“标准”光照条件,在该标准条件下,人脸图象的像素值分布范围为0-1。将得到该“标准”光照条件下的人脸图象作为图象正则化处理的目标。相应地,可认为已有的灰度分布为0-255之间的人脸图象均是在强于“标准”光照的光照条件下获得的。因此,可假设“标准”照明下的图象为

$$I'_{xy} = I_{xy}^j / (I_{xy}^j + r \times \bar{I}^j) \quad (1)$$

其中, $r$ 为一正系数。假设图象平均值能代表照明强度,而光照越强,像素的灰度值偏离“标准”光照条件下的灰度值的程度越大,为把灰度值校正为“标准”光照下的灰度值,模型(1)中图象平均灰度值出现在分母中有合理性。因为若将(1)式写为 $I'_{xy} = 1 - r / (r + I_{xy}^j / \bar{I}^j)$ 的形式,显然, $\bar{I}^j$ 越大,订正项的值也越大。图1中(a)为在较弱光照下的人脸图象,(b)为较强光

收稿日期: 2004-01-23

修回日期: 2004-10-11

基金项目: 国家自然科学基金(60472060, 60473039)

作者简介: 徐 勇(1972-), 男, 四川人, 讲师, 博士生, 研究方向为模式识别、图象处理; 张重阳(1977-), 男, 江苏盐城人, 博士, 研究方向为模式识别、图象处理; 杨静宇(1941-), 男, 河北人, 教授, 博导, 研究方向为计算机视觉信息融合、模式识别、智能机器人。

照下同一个人的人脸图象,使用(6.5)式对其进行变换后得到(c),(d)。可看出,(c),(d)间的亮度值差异明显小于(a)和(b)间的差异。上述分析和图示在一定程度上表明了模型(6.5)的有效性。

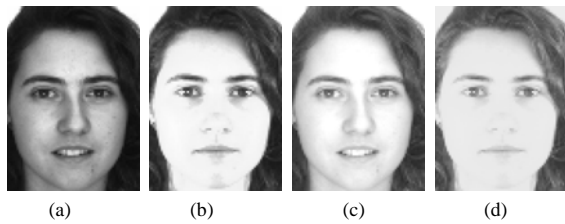


图 1 原图象与变换后的图象,其中(a),(b)为原不同光照强度下的图象,(c),(d)分别为由(a)和(b)经(1)式变换而得的图象( $r=1$ )。



图 2 原光照不均匀图象与变换后的图象。其中(a),(b)为原光照不均匀图象,(c),(d)分别为由(a)和(b)经(6.5)式变换而得的图象( $r=1$ )。

图 2 给出了两幅原图象与经过正则处理的图象,从中可看到,经(1)式处理后原图中的左右部分的明暗差异明显减弱。

## 2 实验结果

### 2.1 Yale B 人脸库实验结果

Yale B 人脸库中既包含光照变化,也包含姿态变化。为了分析光照对人脸识别的影响,我们将每个人前视姿态 00(pose00)的 45 幅图象选出,并根据每幅图象中眼和嘴的位置将其裁剪为  $32 \times 32$  大小,组成一个新的数据库。依据原 Yale B 的标准,按照光源的方位角与高度角的大小,新库仍分为 4 个子集,第一子集由光源方位角与高度角均小于 12 度的图象组成,第二子集中光源方位角与高度角均小于 25 度,且方位角或高度角中至少有一个为 20 度与 25 度之间,第三子集中光源方位角与高度角均小于 50 度,且方位角或高度角中至少有一个为 35 度与 50 度之间。第四子集中光源方位角与高度角均小于 77 度,且方位角或高度角中至少有一个为 60 度与 77 度之间。图 3 给出了库中同一个人的各个子集的人脸图象。我们使用不相关鉴别分析方法<sup>[5]</sup>分别对原图象和经正则化处理的图象进行特征抽取,并使用最小距离分类器进行分类实验。实验中将子集 1 的 70 幅图象作为训练样本,将其余样本作为测试样本,并单独统计各子集的正确率,实验结果显示在表 1 中。基于两类图象的分类显示,对子集 2 的识别率最高,均为 100%,而对子集 4 的识别率最低。在几种参数设置下,对正则化图象的识别正确率均高于对原图象的识别正确率。实验结果说明我们提出的正则化方案对削弱光照变化引起的人脸成像差异是有效的。几种参数设置中, $r=1.0$  时得到的识别正确率最高,在子集 4 上的识别正确率为非正则化处理图象上所取得正确率的 2 倍,在子集 3 上的识别正确率也较非正则化处理图象上的正确率提高 14%。此外,我们还看到,无论是否对图象进行正则化处理,识别正

确率均随光照变化的增大呈明显的下降趋势。

表 1 Yale B 库上使用不相关鉴别分析方法的分类结果

进行正则化处理否		分类正确率		
		子集 2	子集 3	子集 4
否		100%	84%	31%
是	$r=1.0$	100%	98%	62%
是	$r=0.7$	100%	93%	49%
是	$r=0.5$	100%	89%	47%
是	$r=0.3$	100%	92%	46%

### 2.2 AR 库对比实验

AR 人脸库由 120 人,每人 26 幅图象组成。我们从 AR 库中选出无遮挡及无墨镜的人脸图象,组成一个新的图象库。且将库中的每幅图象根据眼和嘴的位置裁剪为  $50 \times 50$  大小。该库中每人有 14 幅图象,其中,图象间存在较大的光照与表情变化。相比 2.1 中使用的图象库而言,该库容量较大,共包含 1680 幅人脸图象。此外,Yale B 人脸库而言,AR 库有两个特点,一是光照变化情况不如 Yale B 复杂,二是 AR 库包含明显的表情变化,而 Yale B 中不包含表情变化。为了对比分析本文正则化方法对光照变化的处理效果,我们大致按照光照的强弱将新库中的人脸图象分为两部分,将其中光照偏强的图象(每人 6 幅)做测试样本,另一部分光照偏弱的图象(每人 8 幅)做训练样本。图 4 给出了我们的新图象库中同一个人的 14 幅人脸图象。表 2 给出了对样本直接使用不相关鉴别分析方法的实验结果,以及对所有训练图象进行正则化处理后的不相关鉴别分析方法分类结果。我们看到,直接对图象使用不相关鉴别分析方法得到的错分样本数为 65;而基于正则化处理得出的错分样本数均少于基于整幅图象的错分样本数,其中, $r=0.3$  时得出的错分样本数仅为 22。该实验也在一定程度上说明了本文方法的有效性。



图 4 我们得到的 AR 新库中一个人的 14 幅人脸图象,其中第一行的 6 幅图象光照偏亮,其余 8 幅图象光照偏暗。

表 2 AR 库上使用不相关鉴别分析方法的分类结果

是否进行正则化处理	错分样本数	
否		65
是	$r=1.0$	43
是	$r=0.7$	29
是	$r=0.5$	29
是	$r=0.3$	22

## 3 结论

本文提出了一种简单易行的正则化模型。模型针对原图象进行点到点的逐点变换,变换只根据单幅人脸图象确定,这种变换重点考虑不同光照对人脸成像的影响,也注重反映不同人脸本身的特征。该模型对光照强度与光照方向变化带来

(下转第 892 页)

行动集改变底层实体集的状态空间,那么,需要将底层实体的状态空间变量进行进一步的融合,进行自底向上、逐步抽象与集成的多要素综合,生成决策者关注的战争层面的状态空间描述(战略态势)。

由于战略行动的实施肯定会直接影响到某些底层实体状态的变化,这些状态的变化又会影响到其它实体状态的变化,这个过程持续进行,并相互关联,最终会影响到战略目标的达成。因此,战略决策行动措施和战争问题之间具有相关性,并通过一系列战略决策行动的实施会直接或者间接、有意或者无意地改变或影响战争问题的演化与发展,而对这些相关性的描述过程(建模过程)就是对战略方案运行结果的评估过程,也是对多种模型/仿真系统运行结果进行多要素综合的过程。

传统的状态空间、系统动力学、计量经济模型、人工神经网络、影响图等数据融合技术都可以在一定条件下实现多要素综合集成,但前提是必须建立战争空间实体之间相互影响的数学模型,如果不能建立合适的数学模型,这些方法的应用就受到了限制。由于战争系统的复杂性,战争空间内实体之间的影响大多是非线性的,难于通过建立数学模型实现多要素综合,还需要借助知识库和专家系统,通过专家咨询的方法来完成。因此,在系统实现机制上,我们设计了态势干预工具,对于难于通过模型服务或者知识服务完成的多要素综合,通过人在回路的专家干预,调整、综合模拟运行的结果,辅助实现多要素的综合集成。

### 3 结论

根据战略决策分析和演练的需求,我们基于 XOD 按需服务的概念,设计了面向决策问题将信息、模型、仿真系统、专家、知识等多种服务进行综合集成的综合模拟引擎系统,在国防大学战略决策教学和某问题危机预测研究中取得了较好的效果。

(上接第 847 页)

的人脸成像的影响有一定的削弱作用。我们对 Yale B 与 AR 人脸库进行的对比实验显示,基于本节的正则化模型的人脸识别取得了较好的实验结果,对光照变化剧烈且基本无表情变化的 Yale B 前视固定姿态人脸图象的识别结果尤其为好。文中正则化模型中包含参数  $r$ ,我们的实验中没有设计专门的参数选择步骤。在实际使用中,可专门设计选择参数  $r$  的方案,如对训练集本身进行分类,将对应较好分类结果的  $r$  值选做模型的参数值。

### 参考文献:

- [1] Y Moses, Y adini, S Ullman. Face recognition: The problem of compensating for changes in illumination direction [A]. In European

当然,要实现综合模拟引擎的设计理念是一条漫长的过程,系统实现了基于过程建模的面向任务的按需仿真服务综合驱动,并通过专家干预实现了仿真结果的多要素综合。但如何实现不同运行机制(基于实体建模的运行机制、基于过程建模的运行机制以及基于 agent 建模的自适应演化机制)仿真服务的综合驱动?如何结合定量模型与定性专家知识,共同实现基于效果积累的多要素集成?都是需要进一步研究的问题,目前,结合下一期系统的开发,我们正在进行相关研究,后续研究成果将另文介绍。

### 参考文献:

- [1] 王文荣,等. 战略学[J]. 北京:国防大学出版社,1999,134.  
 [2] 彭光谦,等. 军事战略学教程[M]. 北京:军事科学出版社,2001,166.  
 [3] 司光亚,胡晓峰. 一个面向战略决策的综合集成研讨环境[J]. 通信学报,1999,(09).  
 [4] 胡晓峰,司光亚,吴琳,黄谦. SDS2000:一个定性定量结合的战略决策综合集成研讨与模拟环境[J]. 系统仿真学报,2000,12(6):595-599.  
 [5] 司光亚,胡晓峰,吴琳. “决胜”系统:构建战争决策综合集成研讨与模拟环境的实践与思考[J]. 系统仿真学报,2003,15(12):1667-1671.  
 [6] 司光亚,胡晓峰. 战略决策模拟环境中 XOD 综合集成机制的研究与实现[J]. 小型微型计算机系统,2002,(1).  
 [7] 杨镜宇,吴琳,司光亚,胡晓峰. 战争系统中面向按需服务的仿真资源综合集成问题研究[J]. 系统仿真学报,2003,15(12):1683-1686.  
 [8] 黄谦. 危机决策对抗模拟及其智能求解框架研究[D]. 博士学位论文,国防大学,2001.  
 [9] 黄教民. 战略决策模拟环境的模拟引擎机制研究[D]. 博士学位论文,国防大学,2002.  
 [10] Francis L Dougherty, Joint Warfare System Conceptual Model of the Mission Space [EB/OL], 1997. <http://www.ditc.mil/jwars>  
 [11] DMSO, Conceptual Models of Mission Space (CMMS) Technical Framework [EB/OL], 1997. <http://www.DMSO.mil/>

Conf. On Computer Vision, pages 286-296, 1994.

- [2] Shiguang Shan, Wen Gao, Bo Cao, DeBin Zhao. Illumination normalization for robust face recognition against varying lighting conditions [A]. Proceedings of the IEEE international Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures (AMFG'03).  
 [3] Peter N Belhumeur, David J Kriegman. What is the set of images of an object under all possible lighting conditions? [A]. In Proc. IEEE Conf. On Computer Vision and Pattern Recognition, pages 270-277, 1996.  
 [4] A Shashua, T Riklin-Raviv. The Quotient Image: Class-Based Rendering and Recognition with Varying Illuminations [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(2): 129-139.  
 [5] Yong Xu, Jing-yu Yang, Zhong Jin. Theory analysis on FSLDA and ULDA [J]. Pattern Recognition, 2003, 36(12): 3031-3033.