

# 基于红外热像 LBP 的面瘫客观评估方法<sup>\*</sup>

刘旭龙<sup>1△</sup> 洪文学<sup>1</sup> 张 涛<sup>1</sup> 吴振英<sup>2</sup>

1 (燕山大学 电气工程学院 生物医学工程系, 秦皇岛 066004)

2 (秦皇岛市中医医院, 秦皇岛 066004)

**摘 要:** 面瘫是一种多发的面神经疾病, 表现为面部一侧横纹肌运动失调。目前, 尚缺乏一种客观量化的诊断和评估方法。正常人体面部的温度分布双侧对称, 面瘫通常会使得这种温度分布的对称性发生改变。因此, 本文提出利用面部温度分布的不对称度来客观评估面瘫的严重程度, 利用面部红外热像图健康患双侧的局部二值模式(LBP)的直方图距离来表示面部温度分布的不对称度。对面瘫患者和健康人群作对照试验, 结果表明: 此方法的敏感性和特异性平均为 0.86 和 0.89, 不对称度与面瘫的严重程度评分正相关, 平均为 0.657。因此, 红外热像的双侧 LBP 直方图距离是一项有效的用于面瘫的诊断和评估的临床指标。

**关键词:** 面瘫; 温度分布; 红外热像; 局部二值模式

中图分类号 R318.51; TP399 文献标识码 A 文章编号 1001-5515(2013)01-0034-05

## Objective Assessment of Facial Paralysis Using Local Binary Pattern in Infrared Thermography

Liu Xulong<sup>1</sup> Hong Wenxue<sup>1</sup> Zhang Tao<sup>1</sup> Wu Zhenying<sup>2</sup>

1 (Department of Biomedical Engineering, Institute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

2 (Qinhuangdao Chinese Medicine Hospital, Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract:** Facial paralysis is a frequently-occurring disease, which causes the loss of the voluntary muscles on one side of the face due to the damages the facial nerve and results in an inability to close the eye and leads to dropping of the angle of the mouth. There have been few objective methods to quantitatively diagnose it and assess this disease for clinically treating the patients so far. The skin temperature distribution of a healthy human body exhibits a contralateral symmetry. Facial paralysis usually causes an alteration of the temperature distribution of body with the disease. This paper presents the use of the histogram distance of bilateral local binary pattern (LBP) in the facial infrared thermography to measure the asymmetry degree of facial temperature distribution for objective assessing the severity of facial paralysis. Using this new method, we performed a controlled trial to assess the facial nerve function of the healthy subjects and the patients with Bell's palsy respectively. The results showed that the mean sensitivity and specificity of this method are 0.86 and 0.89 respectively. The correlation coefficient between the asymmetry degree of facial temperature distribution and the severity of facial paralysis is an average of 0.657. Therefore, the histogram distance of local binary pattern in the facial infrared thermography is an efficient clinical indicator with respect to the diagnosis and assessment of facial paralysis.

**Key words:** Facial paralysis; Temperature distribution; Infrared thermography; Local binary pattern (LBP)

## 引言

面瘫是一种常见的面神经疾病, 通常由 Bell 麻痹、中耳炎、肿瘤、外伤、Ramsey - Hunt 综合症以

及手术创伤所引起<sup>[1]</sup>。一种客观量化的评估方法对于诊断和治疗面瘫极其重要<sup>[2]</sup>。目前, 临床上最常用的面瘫评估方法是 House-Brackmann(HB)分级系统<sup>[3]</sup>。HB 分级系统规定了一系列面部动作, 医师通过主观观察, 分析患者面部动作时的不对称度, 将面瘫的严重程度分为六级, 从一级(正常)到六级(全瘫)。HB 分级系统的优点是它的易用性, 缺陷在于

<sup>\*</sup> 中医药行业科研专项基金资助项目(200707022); 国家自然科学基金资助项目(61074130)

<sup>△</sup> 通讯作者。E-mail: liuxulong@ysu.edu.cn

它过度依赖主观判断,仅提供一个整体的面神经功能的评价,对局部面神经功能判别不敏感,使评估结果带有显著的组间和组内变异<sup>[4]</sup>。

为了解决上述缺陷,一些文献提出了基于 HB 分级系统的计算机辅助评估面瘫的方法。Wachtman 等人利用视频中不同帧之间的差别来评估面瘫的严重度<sup>[5,6]</sup>,虽然他们的结果与 HB 评分相关,但是这种方法却不能处理患者面部动作不规范这种情况。He 等<sup>[2,7]</sup>利用光流法和纹理分析法成功地改进了这种情况,但是他们的方法对于图像的变换过于敏感。归纳起来,上述这些方法均要求患者完成一系列的规范动作,利用先进的图像处理技术对患者的视频资料进行分析,捕捉面部动作中的不对称程度来衡量面瘫的严重度。因此,患者的主观配合程度、视频采集中的光照和图像中头部的偏转等因素都会影响这些方法的有效性。近期,一些文献指出利用红外热成像分析面瘫患者面部温度的异常分布模式可以有效解决上述问题<sup>[8]</sup>。

正常人体面部的皮肤温度呈左右对称分布,当面部一侧的神经受损时,相应区域的温度调节功能失衡,使面瘫患者的面部温度分布呈现高不对称性。因此,本文提出可以利用面部红外热像图健康患两侧相应区域的局部二值模式(local binary pattern, LBP)<sup>[9]</sup>的直方图距离来表示面部温度分布的不对称度,通过对比正常人和面瘫患者的面部温度分布的不对称度,来客观诊断和评估面瘫。

## 1 研究方法

在本文中,为了对面部局部器官的面神经功能进行评估,首先,我们依据人体测量学的方法<sup>[10]</sup>,利用正面热像图中的瞳距作为比例尺,将正面热像划分为两两对称的 8 个感兴趣区域(region of interest, ROI),如图 1 所示。然后,计算每一个 ROI 的 LBP,最后利用电阻平均距离(resistor-average distance, RAD)<sup>[11]</sup>来表示两个对称分布的 ROI 的不对称度。下面我们将分别介绍 LBP 和 RAD。

### 1.1 局部二值模式

LBP 算子最初被 Ojala 等<sup>[9]</sup>用于纹理分析。由于其计算简单、实时性好、对噪声和干扰具有很强的耐受性,目前,被广泛用于人脸识别<sup>[12]</sup>、红外热像处理<sup>[13]</sup>和视频处理<sup>[2]</sup>等领域。具体算法可用下面两个等式表示,即

$$LBP_{P,R}(x,y) = \sum_{p=0}^P S(I(x+R\cos\frac{2\pi p}{P}, y+\sin\frac{2\pi p}{P}) - I(x,y))2^p, \quad (1)$$

$$-I(x,y))2^p, \quad (1)$$

其中  $P$  表示一个圆形邻域( $x+R\cos(2\pi p/P)$ ,  $y+R\sin(2\pi p/P)$ ),圆心为  $(x,y)$ ,半径为  $R$ 。符号函数  $S$  根据不同邻域之间的差异将  $P$  转换为  $P$  位二进制码。 $2^p$  是一个二项式权值,将符号函数  $S$  得到的二进制码转换为一个惟一的 LBP 码。LBP 围绕中心  $(x,y)$  描绘了局部区域的纹理特征,包括边缘信息、光滑区域和斑点特征。

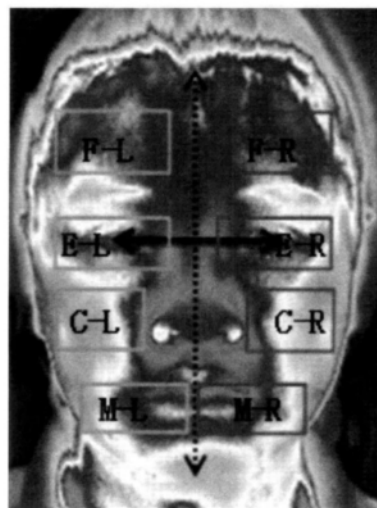


图 1 面部区域的划分

F: 前额;E: 眼睛;C: 脸颊;M: 嘴部;L: 左侧;R: 右侧

Fig. 1 Illustration of facial regions

F: forehead region; E: eye region; C: cheek region; M: mouth region; L: left; R: right

我们可以将红外热像局部区域  $I$  中的温度分布信息用 LBP 表示,即

$$H_i = \sum_{(x,y) \in I} \delta(LBP_{P,R}(x,y), i), \quad (2)$$

其中  $i=1, \dots, N$ ,  $N$  为 LBP 码的种类数,  $\delta$  是脉冲函数,当  $i=j$ ,  $\delta(i,j)=1$ ; 其余情况,  $\delta(i,j)=0$ 。

当将邻域  $P$  中的信息转换为二进制码时,如果只采用 0-1 转换或 1-0 转换,则 LBP 称为统一的局部二值模式,用  $LBP_{P,R}^u$  表示。目前,大多数的 LBP 算子都采用这种统一的模式。

### 1.2 不对称度测量

不对称度也就是两个概率分布之间的相异度,可以假设两种分布是一个高维空间中的两个点,可以用两点间的距离表示两种分布之间的相异度。常用的距离有欧氏距离、相关距离和 RAD 等。不同的距离适用于不同的特征空间,本文选用 RAD 来表示不对称度, RAD 由 Kullback - Leibler (KL) 散度<sup>[14]</sup>推导得出,下面首先介绍 KL 散度。

在信息论中, KL 散度被广泛用于度量两种概率

分布的相异度。假设  $p(x)$  和  $q(x)$  表示一个离散随机变量  $x$  的两种概率分布, 则 KL 散度定义为:

$$D_{KL} = (p \parallel q) = \sum_x p(x) \log\left(\frac{p(x)}{q(x)}\right) \quad (3)$$

当  $p(x)$  和  $q(x)$  属于同一种分布时, KL 散度为 0。KL 散度的物理含义就是当用  $q$  来编码  $p$  中的采样时, 比用  $p$  来编码  $p$  中的采用需要多用的位数。但是 KL 散度并不是一种距离度量单位, 因为 KL 散度不满足三角不等式, 即  $D_{KL}(p \parallel q) \neq D_{KL}(q \parallel p)$ 。为了解决这一问题, Johnson 等人提出了 RAD 其等式为

$$D_{RA}(p, q) = [D_{KL}(p \parallel q)^{-1} + D_{KL}(q \parallel p)^{-1}]^{-1}, \quad (4)$$

其中  $D_{RA}(p, q)$  随着  $p(x)$  与  $q(x)$  的相异度的增加而增大。如果两个分布的 KL 散度在一个方向上明显大于另一个方向, 那么 RAD 近似等于较小的 KL 散度。如果两个方向上的 KL 散度近似相等, 则 RAD 近似等于两个 KL 散度的均值。与 KL 散度相比, RAD 满足距离定义中的对称原则, 并且保持了 KL 散度的可解释性, 它精确地反映了两个分布的相异度。

## 2 实验与结果

### 2.1 资料和方法

从 2010 年 6 月—2011 年 3 月, 我们在秦皇岛市中医医院共收录了面瘫患者 30 例(女性 14 例, 男性 16 例, 平均年龄 37 岁), 这些患者全部是发病 3 d 内就诊的。同期, 我们纳入了 30 名的健康人(男性 15 例, 女性 15 例, 平均年龄 34 岁)作为一个对照组。所有受试者都提交了知情同意书, 这项研究得到了

伦理道德委员会的批准。

大约 85% 的面瘫患者一个月内基本痊愈<sup>[1]</sup>, 因此我们对受试者共进行为期一个月的观察, 每隔 5 d 记录一次红外热像, 共 6 次。我们采用 WP-95 型红外热像仪, 其温度分辨率为 0.05℃, 像素为 256×256, 拍摄环境保持稳定, 室温维持在 23℃左右, 湿度平均为 60%。红外热像拍摄前 1 d 内禁止服用血管收缩剂和扩张剂, 热像采集前, 要求受试者静坐 30 min, 以适应室温。采集时, 受试者距离热像仪 1.5 m 处端坐, 屏住呼吸、睁大眼睛数秒钟, 采集受试者正面的红外热像图。

在完成红外热像的采集后, 我们采用 HB 量表(美国耳鼻喉科-头颈外科学会面神经委员会推荐临床标准)来评估面瘫的严重度。因此, 受试者的每幅红外热像都与一个 HB 评分相联系, 被分为六类, 一类为正常, 六类为完全瘫痪。

### 2.2 实验结果

通常, 医用红外热像图多采用健侧和患侧的 ROI 温差作为临床指标, 温差越大, 则表示病变的严重度越高。本文提出了一种新的基于 LBP 和 RAD 的热像图分析方法, 为了证明新方法的优越性, 首先按照图 1 将红外热像图分为 8 个 ROI, 计算其两侧温差, 然后利用等式(1)、(2)和(4)计算面部温度分布的不对称度, 结果如表 1 所示。从表中可以看出, 无论是温差还是不对称度, 健康人群与面瘫患者之间的差异都比明显, 但是两者之间不对称度的差异更加显著。

表 1 健康人群和面瘫患者的平均温差和不对称度( $\bar{x} \pm s$ )

Tab. 1 Mean temperature difference and asymmetry degree for healthy population and patients with Bell's palsy( $\bar{x} \pm s$ )

区域	例数	温差		不对称度	
		正常人	面瘫患者	正常人	面瘫患者
前额	30	0.14±0.05	30.24±0.061	0.019±0.009	0.046±0.008
眼睛	30	0.15±0.06	10.34±0.108	0.021±0.006	0.053±0.007
脸颊	30	0.22±0.09	00.35±0.071	0.032±0.007	0.049±0.009
嘴部	30	0.19±0.06	40.28±0.089	0.028±0.008	0.061±0.009

一项医学指标的有效性通常利用特异性(specificity)和敏感性(sensitivity)来衡量, 所谓敏感性, 就是指其在诊断疾病时假阳性(不漏诊)的概率, 所谓特异性就是指在诊断某疾病时该指标假阴性(不误诊)的概率。进一步对上述结果进行验证, 对比温差和不对称度的敏感性和特异性(见表 2)。从表中可以看出, 本文提出的方法, 在特异性上提高了 7%,

敏感性上提高了 26%。

利用 HB 量表, 面部功能被分为 6 级, 表 3 分别统计了温差和不对称度与 HB 分值的相关系数, 从中显示, 不对称度与 HB 分值的相关系数平均为 0.657, 温差与 HB 分值的相关系数平均为 0.506, 两者相比, 我们的方法提高了 29%。

表 2 面瘫患者的双侧温差和不对称度的敏感性和特异性

Tab. 2 Sensitivity and specificity values of Mean temperature difference and asymmetry degree for patients with Bell's palsy

区域	例数	温差		不对称度	
		敏感性	特异性	敏感性	特异性
前额	30	0.61	0.78	0.81	0.84
眼睛	30	0.73	0.84	0.87	0.90
脸颊	30	0.64	0.81	0.84	0.87
嘴部	30	0.73	0.87	0.90	0.93
平均	30	0.68	0.83	0.86	0.89

表 3 温差和不对称度与 HB 等级的 Spearman 相关系数

Tab. 3 Spearman correlation coefficients between Mean temperature difference, asymmetry degree and HB Grade

区域	例数	温差	不对称度
前额	30	0.483*	0.609*
眼睛	30	0.511**	0.691**
脸颊	30	0.486*	0.623**
嘴部	30	0.544**	0.703**
平均	30	0.506	0.657

注：\*  $P < 0.05$ ；\*\*  $P < 0.01$

3 讨论

早在 1998 年,由于计算机技术的飞速发展, Jones<sup>[15]</sup>就提出要对医用热像图的应用进行一个新的评估。但是到目前为止,红外热像图的研究进展缓慢,我们惟一所熟知的就是,肿瘤、炎症、感染和神经病变会导致皮肤局部区域的温度分布发生改变,在热像图上呈现出一种不对称的模式。如果我们能够在一个受控的环境下采集红外热像图,那么我们能够利用这种温度分布不对称模式的出现来诊断某种病变的发生。

面瘫发病一侧存在着大面积的面神经功能失调,导致相应区域的皮肤微循环发生改变。这种改变将导致皮肤表层的热辐射异常,利用红外热成像技术可以容易地捕获到这种改变。因此,有效地分析热像图上的信息对诊断和评估面瘫是非常有益的。表 1 中对健康人群和面瘫患者不同区域的温差进行了统计,健康人群面部左右两侧平均温差小于 0.3℃,与面瘫患者有明显的差异。此外,我们还观察和分析了温度分布的统计信息,计算了温度分布的不对称率。从表 2 中可以看出,结合了统计信息的不对称度比温差具有更小的误诊率和漏诊率。

如表 3 所示,面部温度分布的不对称度与面瘫的严重度正相关,随着面瘫的严重度的提高而递增。面瘫的主要症状为口眼歪斜,因此嘴部和眼睛的不对称度与面瘫严重度的相关系数应大于其他两个区域,表 3 的结果证实了这一结论。此外,不对称度与

面瘫严重度的相关系数明显大于温差与面瘫严重度的相关系数,这说明温度分布的不对称度这一统计变量比温差包含更多的病理信息。

4 结论

利用红外热成像技术,可以有效地侦测面瘫所导致的面部温度分布的异常。这种温度分布不对称的程度主要体现在两方面:(1)健侧与患侧的平均温差的大小。(2)温度分布模式的改变。我们提出利用 LBP 和 RAD 计算面部双侧温度分布的不对称度,有效地结合了这两方面的信息,通过实验表明,面瘫患者和正常人群的面部双侧的温度分布模式有着显著差异,面部温度分布的不对称度与面瘫的严重度正相关,有统计学意义。因此利用 LBP 和 RAD 计算面部双侧温度分布的不对称度较其他方法可以更加高效地客观评估面瘫的严重度,红外热成像是一种客观诊断和评估面瘫的有力工具。

参 考 文 献

[1] SULLIVAN F M, SWAN I R, DONNAN P T, et al. Early treatment with prednisolone or acyclovir in Bell's palsy[J]. N Engl J Med, 2007, 357(16): 1598-1607.

[2] HE S, SORAGHAN J J, O'REILLY B F, et al. Quantitative analysis of facial paralysis using local binary patterns in biomedical videos[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2009, 56(7): 1864-1870.

[3] HENSTROM D K, SKILBECK C J, WEINBERG J, et al. Good correlation between original and modified House Brackmann facial grading systems[J]. Laryngoscope, 2011, 121(1): 47-50.

[4] LINSTROM C J. Objective facial motion analysis in patients with facial nerve dysfunction[J]. Laryngoscope, 2002, 112(7 Pt 1): 1129-1147.

[5] WACHTMAN G S, COHN J F, VANSWEARINGEN J M, et al. Automated tracking of facial features in patients with facial neuromuscular dysfunction[J]. Plast Reconstr Surg, 2001, 107(5): 1124-1133.

[6] LIU Y X, SCHMIDT K L, COHN J F, et al. Facial asymmetry quantification for expression invariant human identification[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2003, 91(1-2): 138-159.

[7] HE S, SORAGHAN J J, O'REILLY B F. Biomedical image sequence analysis with application to automatic quantitative assessment of facial paralysis[J]. J Image Video Process, 2007, 2007(3): 2:1-2:11.

[8] 刘旭龙,洪文学,张涛,等.轻中度单侧 Bell 面瘫红外热辐射强度异常分析[J].光谱学与光谱分析,2011,31(5):1266-1269.

[9] OJALA T, PIETIKAINEN M, MAENPAA T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification

- with local binary patterns[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2002, 24(7): 971-987.
- [10] ERSOTELOS N, DONG F. Building highly realistic facial modeling and animation; a survey[J]. The Visual Computer, 2008, 24(1): 13-30.
- [11] SEGHOUEANE A K, AMARI S. The AIC criterion and symmetrizing the Kullback-Leibler divergence[J]. IEEE Trans Neural Netw, 2007, 18(1): 97-106.
- [12] SAVELONAS M A, IAKOVIDIS D K, MAROULIS D. LBP-guided active contours[J]. Pattern Recognit Lett, 2008, 29(9): 1404-1415.
- [13] PAVLIDIS I, EBERHARDT N L, LEVINE J A. Seeing through the face of deception[J]. Nature, 2002, 415(6867): 35-35.
- [14] SEGHOUEANE A K. A Kullback-Leibler divergence approach to blind image restoration[J]. IEEE Trans Image Process, 2011, 20(7): 2078-2083.
- [15] JONES B F. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine[J]. IEEE Trans Med Imaging, 1998, 17(6): 1019-1027.
- (收稿:2011-07-11      修回:2012-02-07)

(上接第33页;Continued from Page 33)

- [M]. 北京:中国医药科技出版社,2007:1-555.
- [15] FISHER B J, DILLON N, CARPENTER T A, et al. Design of a biplanar gradient coil using a genetic algorithm[J]. Magn Reson Imaging, 1997, 15(3): 369-376.
- [16] CAPARELLI E C, TOMASI D, PANEPUCCI H. Shielded biplanar gradient coil design[J]. J Magn Reson Imaging, 1999, 9(5): 725-731.
- [17] FORBES L K, CROZIER S. Novel target-field method for designing shielded biplanar shim and gradient coils[J]. IEEE Trans Magn, 2004, 40(4 D): 1929-1938.
- [18] SANCHEZ H, LIU F, TRAKIC A, et al. Three-dimensional gradient coil structures for magnetic resonance imaging designed using fuzzy membership functions[J]. IEEE Trans Magn, 2007, 43(9): 3558-3566.
- [19] LIU W T, ZU D L, TANG X, et al. Target-field method for MRI biplanar gradient coil design[J]. J Phys D Appl Phys, 2007, 40(15): 4418-4424.
- [20] 谢寰彤. 磁共振成像用的自屏蔽梯度线圈: 中国, CN202189140 U[P]. 2012-04-11.
- (收稿:2011-08-22      修回:2012-01-11)