

# 多导联心电监护服的研究现状及发展趋势

邓咏梅<sup>1</sup>, 关小芳<sup>1,2</sup>, 张 辉<sup>2</sup>

(1.西安工程大学 服装与艺术设计学院, 陕西 西安 710048; 2.浙江纺织服装职业技术学院 纺织学院, 浙江 宁波 315211)

**摘要:** 心电监护服是老龄化社会的必需品,为了达到穿着舒适且心电监测数据精确的目的,多导联心电监护服成为心电监护服的发展趋势。介绍了心电信号监测原理及动态心电图,综述了多导联医疗系统的导联体系与导联选择、心电电极与最佳电极位置的研究现状,并分析了医学导联及家庭常用导联。对现有心电监护服的电极数、导联数及服装设计进行了总结并发现存在的问题,最后展望了发展前景。

**关键词:** 心电信号; 动态心电图; 多导联; 电极位置; 心电监护服

**中图分类号:** TS941.731.93

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-2044(2018)09-0021-05

## Research status and development trend of multi lead electrocardiographic clothing

DENG Yongmei<sup>1</sup>, GUAN Xiaofang<sup>1,2</sup>, ZHANG Hui<sup>2</sup>

(1.Apparel & Art Design College, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

(2.School of Textiles, Zhejiang Textile and Fashion Institute of Technology, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** ECG monitoring clothing is a necessity for the aging society. In order to achieve the goal of accurate wear and ECG monitoring data, multi lead ECG monitoring clothing is an inevitable trend. The ECG and dynamic ECG monitoring principle, research status of data transmission system in multi lead system and medical system, and the best choice lead ECG electrode position, and its lead and lead common family medicine are analyzed. The electrode number, lead number and clothing design of the current ECG monitoring clothing are summarized, and the problems that exist and need to be solved are found. Finally, the development prospect is forecasted.

**Key words:** ECG signal; dynamic electrocardiogram; multi lead; electrode position; ECG monitoring suit

随着生活水平的提高,人们越来越意识到健康的重要性,同时老龄化人口的增长是全球趋势,这就给医疗系统造成了沉重的负担,因此个人或家庭医疗监护将成为未来医疗设备的主体<sup>[1]</sup>。自从心电图监测开始用于可穿戴设备,它的电极数以及在人体上的监测位置就一直备受争议<sup>[2]</sup>。目前标准的12导联心电图(ECG)已被广泛接受,并在临床领域得到应用<sup>[3]</sup>。近年来,人们对移动或心电监测有很大的需求,但需要使用诸如胸带、绷带或贴片等装置,其记录的心电信号并不精准,很难向临床医生传达准确的诊断信息<sup>[4]</sup>。Joleen Duarte Rodriguez等人<sup>[5]</sup>用80导联体表图与12导联心电图做了比较,指出80导联BSM替代标准12导联心电图是不可行的。由此可以看出,标准12导联心电图是监测心电信息比较全面的选择。目前市场上,基于医疗标准的12导联心电监护服监测到的心电信号不足以作为心脏疾病诊断的依据,因此多导联的心电监护服将成为可穿戴心电监测设备的一个发展趋势。

## 1 心电信号的监测原理

### 1.1 心电信号及基本波形特征

心电信号通过信号采集仪器动态采集,单通道和多通道的数据都随时间变化而变化。心电信号采集的通道个数可以反映心脏状态维度,通道数越多,反映信息越全面,目前医院采用的心电图大多是12导联<sup>[6]</sup>。心脏搏动前后,心肌细胞在电激过程中发生生物电变化,从而产生微弱电流,再经过人体组织传导至人体皮肤表面,使皮肤表面发生电位变化,这就产生了心电信号<sup>[7]</sup>。一个完整的心电图可以分为P波、QRS波、T波,每一个波形都代表一定的电位变化,其中QT波段的总时差主要用来判断心律的快慢<sup>[8]</sup>。对于心电监护服,心电信号是最为主要的监测项目,当人体处于动态时,心电监护服也要监测出其稳定的心电信号。

### 1.2 动态心电图

动态心电图又称Holter心电图,1949年,美国的N·J·Holter博士提出了这一概念,1961年,Holter系统首次应用于临床。1987年,Holter从刚开始的2通道增加到3通道,称为3通道动态心电图<sup>[9]</sup>。1992年,美国Mortora设备公司制造出世界第一台12导联(12通道)同步动态心电图仪,可连续24h记录患者在日常生活状态下的心电波形,这样就可以全面准确地反映患者心脏状况,为医学诊断提供精确的数

收稿日期: 2018-04-09

基金项目: 陕西省自然科学基金研究计划(2015JM5167); 西安工程大学研究生创新基金项目(chx201845)

作者简介: 邓咏梅(1969—),女,教授,主要从事智能可穿戴服装的研究。

据<sup>[10]</sup>。Holter 系统出现之后在临床与诊断中广泛应用于心脏有关的各种疾病<sup>[11]</sup>。目前 Holter 系统在临床检查中越来越普遍,动态心电图的自动化诊断技术也已经比较成熟,但其存在的误差也不容忽视,主要是由于非心脏类的活动干扰以及患者在佩戴 Holter 设备的各种不方便和对电极的不适感所导致。

## 2 多导联医疗系统及发展现状

### 2.1 心电导联体系

连接放置电极与心电图的线路就是导联(lead)<sup>[12]</sup>。除了常用的单导联、3导联之外,5导联、12导联甚至更多的导联被称之为多导联。利用电极片在人体表面任何地方都可以采集到心电信号,为了不给医护人员造成诊断干扰,经过长期研究,对这种无规律的导联确定了一种国际通用的标准心电导联体系<sup>[13]</sup>。1904年 Einthoven 提出了标准 I、II、III导联,见图1(a)<sup>[14]</sup>;1940年 Wilson 博士提出 Wilson 中心参考电位<sup>[15]</sup>;1942年 Goldberger 博士建立了12导联标准体系,包括标准 I、II、III导联,单极肢体加压导联 avR、avL、avF 及单极肢体胸导联 V1、V2、V3、V4、V5、V6,共12个导联,见图1(b)、(c)<sup>[12]</sup>。由心电导联体系可以看出,标准12导联心电监测集中在人体胸部位置,监测点在服装上的实现具有一定的难度。胸导联的6个监测位置点比较接近,而面料的拉伸性及服装在人体表面的位移都会影响心电信号的采集。

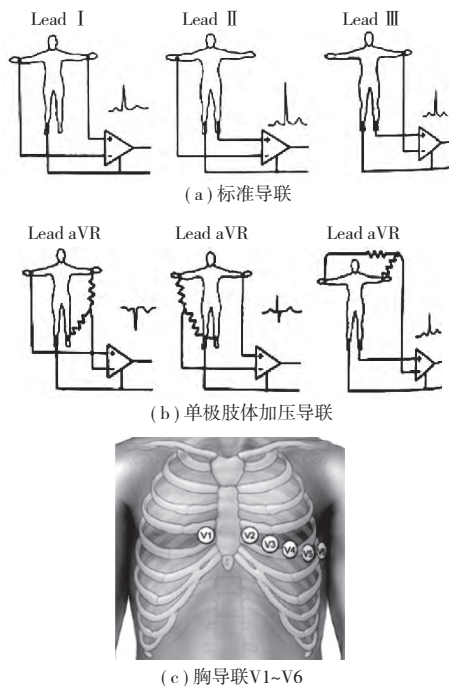


图1 心电导联体系

### 2.2 导联选择

不同的导联可以从不同角度反映体表电极间电位差的变化,心电导联与心脏部位的关系见图2。心脏部位及其相对应的导联名称如下:左心室前壁为 I、aVL,左心室侧壁为 V5、V6,右心室前壁为 V1、V2,心室隔膜为 V3,心室腔为 aVR,左心室后壁为 II、III、aVF<sup>[12]</sup>。

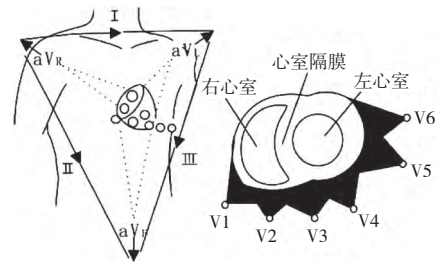
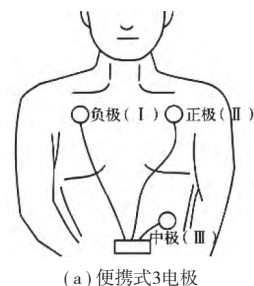


图2 心电导联与心脏部位的关系<sup>[16]</sup>

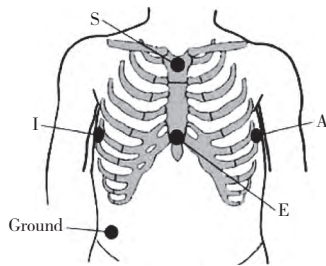
由此可知,不同的心电导联选择不同的心脏部位所监测出来的心电图信息不同,能够得到心脏不同部位的病变症状。医院用的标准12导联是在短时间内得到心电图信息,具有临床意义;心电监护服所监测的心电图信息是长时间实时监测,因此对导联的选择极其重要<sup>[16]</sup>。对于家庭监护服而言,现有的3导联与5导联的监护服只能监测心脏较小部位的心电,要想预防心脏病变还需要增加导联监测更多部位的 cardiac 信息。

### 2.3 心电电极及电极位置

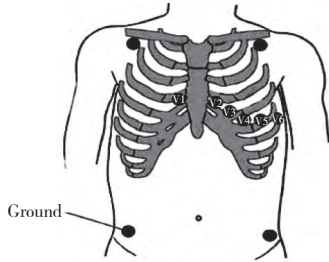
心电电极是一种传感器,可以将皮肤中的离子电流转化为连接到心电机的金属线中的电子电流。现今国内外医疗使用的纺织电极普遍为银-氯化银电极,它利用银粉和氯化银粉混合压制而成,是目前较为理想的心电信号检测电极。由于心电信号是极其微弱的矢量信号,极易受到干扰而产生噪音,从而导致监测的心电图产生误差,因此选择电极的最佳位置极为重要。家庭监护服一般为3电极或5电极的便携式服装,医学上标准12导联选择10电极,见图3<sup>[17-18]</sup>。



(a) 便携式3电极

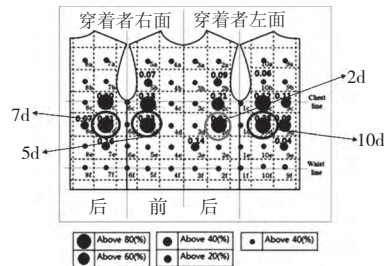


(b) EASI系统5电极

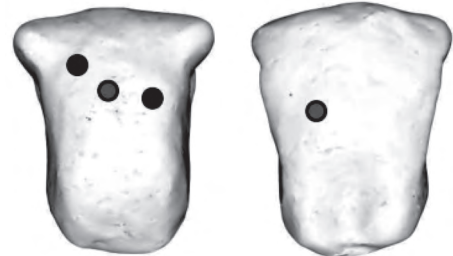


(c) Mason-Likar 12导联10电极

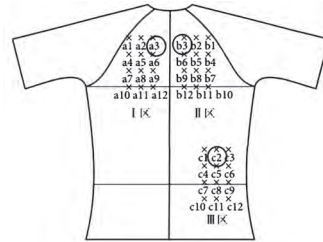
图3 各导联电极位置



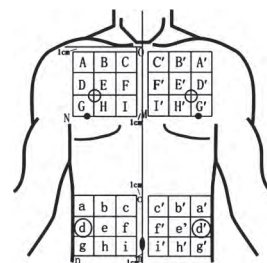
(b) Hakyung Cho电极位置



(c) Y Jiang电极位置 (左前右后)



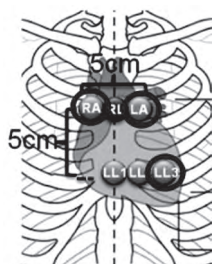
(d) 梁丽君电极位置



(e) 胡艳琼电极位置

图4 电极位置

国内外很多研究者对电极的最佳位置做了研究。Yishan Wang 等人<sup>[18]</sup>为降低肢体电极之间的距离,提出了一种新型3导联电极位置的可穿戴式无线心电监护系统,见图4(a)。Hakyung Cho 等人<sup>[19]</sup>假设在心电监护服中电极在动态状态下的稳定性取决于电极位置,得出了4个电极位置为受穿戴者运动影响最小的位置,见图4(b)。Y Jiang 等人<sup>[20]</sup>基于检测急性心肌梗死的电极位置优化,提出的最佳电极结构包括2对电极,经验证在“无梗死丢失”的情况下,灵敏度可达到98%,见图4(c)。梁丽君等人<sup>[17]</sup>为了减少电极在服装中不适当位置引起的运动伪迹对心电信号测量效果的影响,在人体表面选取了3个电极的最佳位置,见图5(d)<sup>[18]</sup>。胡艳琼<sup>[14]</sup>根据接触压力的变化,在人体确定了4个电极的最佳位置,见图5(e)。由以上研究可以得出,对于最佳电极位置的研究主要是为了减少在心电监测过程中的运动伪影,以及增加心电图信息的准确性,大部分研究者得出的3电极或5电极的最佳位置是在人体胸部或者腹部。目前对于电极位置的研究还处于3电极到5电极的状态中,而对于12导联的10电极的最佳位置还尚待研究。



(a) Yishan Wang电极位置

### 3 多导联心电监护服的设计现状及存在问题

#### 3.1 心电监护服设计现状

心电监护是通过显示屏连续动态监测心脏电活动情况的一种观察病情的方法,其可提供可靠且有价值的心电活动指标,同时进行实时处理<sup>[21]</sup>。2003年,美国Vivo Metrics公司研究出一款生命衫,该心电监护服是3导联服装<sup>[22]</sup>。2009年,vivometrics研究出新的远程监测版本:5电极心电监护服能够监测穿戴者的皮肤温度、呼吸、活动/姿势和心率( ECG )<sup>[23]</sup>。2005年,欧盟多家机构一起研发了一款10电极12导联WEALTHY心电监护服,可以监测体温、皮温、呼吸<sup>[24]</sup>。现有的12导联心电监护服用于医疗心电数据的精确性还有待验证。目前国内心电监护服情况见表1。

表1 目前国内外的心电监护服

名称	测量参数	电极/个	面料	数据传输	服装款式	机构	年份
Smart Shirt	心率、呼吸频率、体温	3	棉质材料	有线传输	背心紧身式	佐治亚理工学院	1996年
Life Shirt	心电、呼吸、血氧、体温、体位	3	高度可拉伸材料	有线传输	背心紧身式	Vivo Metrics	2003年
VTAMN	心电、体温、呼吸	4	—	有线传输	T恤衫和腰带	法国多家机构	2004年
WEALTHY	体温、皮温、呼吸	10	高弹针织面料	蓝牙传输	紧身式	欧盟多家机构	2005年
IZM	心电	3	针织面料	蓝牙传输	T恤式	IAM公司	2006年
VivoMetrics	皮肤温度、呼吸、姿势和心率(ECG)	5	高弹面料	无线传输	背心式	VivoMetrics	2009年
Hexoskin	心率、步数、卡路里、呼吸、睡眠	3	防水、透气高性能材料	蓝牙传输	背心和腰带	Hexoskin公司	2013年
NuMetrex	心率、呼吸、体温、血压	2	智能织物面料	蓝牙传输	胸带式	Textronics	2014年
Hwear	心率、血压	10	标准棉线或合成纤维	蓝牙传输	背心紧身式	Healthwatch公司	2014年
MasterCaution	心电、心率、皮肤温度、呼吸、体位	10	标准棉线或合成纤维	蓝牙传输	背心紧身式	Healthwatch公司	—
Athos	心率、呼吸频率、出汗程度、肌肉形态	2	可洗、重复使用面料	蓝牙传输	紧身式	滑铁卢大学	2015年
Incredible	心率	2	传感织物、莱卡	蓝牙传输	胸带式	维多利亚秘密	2015年
OMSignal	心率、呼吸、心理压力、步数、卡路里	2	特殊纤维	蓝牙传输	胸带式	RalphLaure	2016年
Sensoria	心率	2	Emana纱线材料	蓝牙传输	胸带式	Sensoria公司	2016年
寸草心	心电、心率	2	银和氯化银材料混合面料	蓝牙传输	文胸式	爱邦公司	2016年
SmartVest	心电、心率、体动	10	针织面料	蓝牙传输	T恤式	联想公司	2017年

根据以上研究与表1可以看出,目前国内外大部分的心电监护服还只是单导联和3导联,以运动文胸的贴身款式来监测心电数据,对于老龄化社会而言,这类的服装款式并不适合。而且这种监测心电的电极太单一,只能监测基本的心电、心率数据,无法获取全面的心电信息,医生也无法诊断心脏病变。标准12导联的电极位置可以较全面地监测心电信息,但其在服装上的应用还没有达到很好的效果,需要进一步研究。

### 3.2 存在的问题

随着生活水平的提高,医院的医疗监护已经不能满足消费者的需求,普通家庭医疗监护会成为今后医疗监护发展的主流趋势。心电监护服的设计方向应该以满足用户的需求为基础,并结合人体工效学、医学、电子信息等相关专业来完善设计<sup>[25]</sup>。虽然现在国内外心电监护服已经有了一定的研究基础,但还是存在一些问题:

(1)舒适性。服装的基本要求是舒适性,使穿着者从生理和心理都感觉舒适极为重要。

(2)可穿性。包括服装款式、面料、质量以及穿脱方便性,要满足用户基本的日常生活动作。心电监护服的设计要与普通服装无异,同时消除穿着者自我患病意识的压力。

(3)监测准确性和稳定性。由于动态心电图是实时测量数据的,所以就要求心电监护系统具有长时间监测动态信息的性能。由于多导联监护服电极数增加,监测信息量增大,就需要对监测准确性和稳定性更

加重视。

(4)耐久性。耐久性主要指服装的耐洗涤性、抗拉伸性、耐磨性等服用性能。因为心电监护服对于消费者而言本身是一种特殊服装,所以对服装穿着的服用性能会更加关注。

(5)安全性。心电监护服装是与电子产品相结合的,必须对电子产品的辐射与热量进行测试,要保证服装的安全性。

(6)美观性。美观性即服装的视觉美感,具备一定美感的服装才能被消费者接受。现有心电监护服的美观度还有待提高。

## 4 前景展望

近几年,基于个性化医疗保健的家庭和动态心电监护持续发展。在开始研究和开发心电监护服之前,必须明确用户的最终需求<sup>[22]</sup>。监护服的外观可以结合个性化的穿戴技术进行私人定制,同时可持续性也是需要关注的一个方面,在纺织电极方面可以研发可再生纤维和可回收材料及无毒无害的可持续性电极<sup>[25]</sup>。多导联心电监护服的发展前景如下:

(1)基于用户需求并体现消费者的存在感。商品要基于用户需求,使消费者满意并使用该产品,从而体现消费者存在感。

(2)以人体工效学为基础设计服装原型。柔性传感器以及柔性电极的出现使其与服装能更好地结合。在日常生活中人体会产生肢体移动,柔性电极及传感

器对服装的相对位移及压力就会发生变化,从而影响心电信息的监测。这就需要结合人体工效学对心电监护服的结构款式进行更贴合柔性监测电极的设计,实现服装的舒适性、监测信息的可靠性及医疗用价值。

(3) 电极最佳位置的确定,减少采集心电信号的影响因素。Hakyung Cho 等人<sup>[19]</sup>提出,在心电监护服中电极在动态下的稳定性取决于电极位置,找到最佳的电极位置就可以减少心电监测干扰。从单导联到12导联,随着电极数增加,所监测的心电信号增加,可以提供给医生更多的诊断信息。

(4) 纺织电极与皮肤良好接触,保证心电监测信息的准确性。柔性电极的出现更好地实现了心电监护服的合体度,但对其穿着舒适度以及服装压对于心电监测的准确性还有待进一步的研究。

(5) 可穿戴技术的私人定制并体现服装的可穿性。近几年,“个性化”理念越来越融入生活,同时人们也越来越重视健康,心电监护服为个性化和医疗健康的结合提供了可能。因此,心电监护服会朝着个性化私人定制的方向发展。

(6) 心电传感器与服装的集成技术整合。技术整合程度是人们关注的焦点,可穿戴式传感系统的出现极大地提高了技术集成的程度,心电传感器与服装的集成将顺应这一趋势。随着尖端技术的进一步发展,技术集成的程度将成为智能服装产品的关键问题。



#### 参考文献:

- [1] HYUN-SEUNG C, SU-MIN K, JOOHYEON L. Heart monitoring garments using textile electrodes for healthcare applications [J]. *Med Syst*, 2011 (35): 189-201.
- [2] PARADISO R, LORIGA G, TACCINIM N. A wearable health care system based on knitted integrated sensors [J]. *IEEE*, 2005 (93): 334-337.
- [3] CAO H, LI H, STOCCO L, et al. Wireless three-pad ECG system: Challenges, design, and evaluations [J]. *Journal of Communications and Networks*, 2010, 12(13): 113-124.
- [4] JUI-CHIEN H, HSIU-CHIUNG L. The clinical application of a PACS-dependent 12-lead ECG and image information system in e-medicine and telemedicine [J]. *Journal of Digital Imaging*, 2010, 4(23): 501-513.
- [5] JOLEEN D. Comparative analysis using the 80-lead body surface map and 12-lead ECG with exercise stress echocardiograms [J]. *Journal of Diagnostic Medical Sonography*, 2006, 22(5): 308-316.
- [6] 张志臣. 基于无线传感网络的多导联心电监护系统的研究和设计 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.
- [7] 崔晓琳. 12导联心电信号同步采集系统 [D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [8] WANG Y S, RALF W, STEFAN H. Design and evaluation of a novel wireless reconstructed 3-lead ECG monitoring system [J]. *IEEE*, 2013(3): 362-365.
- [9] 郭继鸿, 张萍. 动态心电图学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003.
- [10] GAO H Q, DUAN X H, GUO X Q. Design and tests of a smartphones-based multi-lead ECG monitoring system [J]. *IEEE*, 2013 (7): 2267-2270.
- [11] 徐现红. 十二导联同步心电信号检测与分析系统研究设计 [D]. 成都: 四川大学, 2004.
- [12] GOMEZ-CLAPERS J, CASANELL R. A fast and easy-to-use ECG acquisition and heart rate monitoring system using a wireless steering wheel [J]. *Sens IEEE*, 2012 (12): 610-616.
- [13] 王亚驰. 基于嵌入式的多导联心电监护系统的信息处理与数据传输 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2013.
- [14] 胡艳琼. 基于用户需求的心电监测服装研究 [D]. 西安: 西安工程大学, 2016.
- [15] XU P J, ZHANG H, TAO X M. Textile-structured electrodes for electrocardiogram [J]. *IEEE*, 2008, 40(4): 183-213.
- [16] 吴建刚, 孙喜文, 孙志辉. 现代医用电子仪器原理与维修 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [17] 梁丽君. 可穿戴心电监控服装的研究及其性能表征 [D]. 天津: 天津工业大学, 2017.
- [18] KIM S, EOM D. Link-state-estimation-based transmission power control in wireless body area networks [J]. *IEEE J-BHI*, 2014(18): 1294-1302.
- [19] HAKYUNG C. A study on the optimal positions of ECG electrodes in a garment for the design of ECG-monitoring clothing for male [J]. *Systems-Level Quality Improvement*, 2015, 39(9): 95-96.
- [20] JIANG Y, QIAN C, HANNA R, et al. Optimization of electrode positions of a wearable ECG monitoring system for efficient and effective detection of acute myocardial infarction [J]. *Computers in Cardiology*, 2009, 36(4): 293-296.
- [21] 张旭. 便携式远程实时动态心电监护系统的研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [22] FRANK H, WILHELM A, MONIQUE C, et al. Continuous electronic data capture of physiology, behavior and experience in real life: Towards ecological momentary assessment of emotion [J]. *Interacting with Computers*, 2006, 18(1): 171-186.
- [23] McAdams, Krupaviciute, Gehin. Wearable electronic systems: Applications to medical diagnostics/monitoring [J]. *Article*, 2011, 11(10): 179-203.
- [24] BOURDON L, COLI S, LORIGA G. First results with the wealthy garment electrocardiogram monitoring system [J]. *IEEE*, 2005, 32(2): 615-618.
- [25] JANE M, RICHARD H, ADAM M. A design process for the development of innovative smart clothing that addresses end-user needs from technical, functional, aesthetic and cultural view point [J]. *IEEE*, 2005, 10(3): 70-77.