

基于传感技术的智能服装的医学应用

智能服装（smart/intelligent clothing）是近年来的一个研究热点，它的理念最早起源于上世纪 70 年代末 80 年代初流行的“可穿戴计算机”，由于小型化技术的进步，人们逐渐可以将原来安装在背包中的沉重的计算机系统植入眼镜或衣服中，并通过互联网技术从系统中获取信息。最早的智能服装在 1993 年诞生于麻省理工学院的媒体实验室。智能服装结合了电子信息技术、传感器技术、纺织科学及材料科学等相关领域的前沿技术，通过两大类方法来实现自身的智能化：一类是运用智能服装材料，包括形状记忆材料、相变材料、变色材料和刺激—反应水凝胶等；第二类是将信息技术和微电子技术引入人们日常穿着的服装中，包括应用导电材料、柔性传感器、无线通讯技术和电源等。

由于人们越来越重视自身的健康，而且智能服装具有探测人体生理参数的极大潜能，因此智能服装在健康监护领域的研究应用也成了近年的重点。本文将简要介绍智能服装在健康监护领域的研究。

1 设计核心问题

智能服装在设计过程中主要受到各种数字传感设备以及人体工程学的限制和引导。设计者首先必须认识到它们与一般医疗器械的不同：

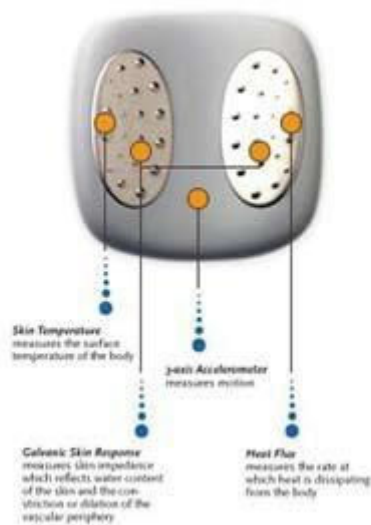
- （1）智能服装需要被病人穿戴在身上；
- （2）它们往往需要与穿着者发生作用才可以进行各种操作；
- （3）它们常常在变化的环境中工作，而且该环境体系很难得到控制。

但这些差异也为智能服装的研究提供了现实的意义，并促使研究者进一步考虑实际应用中存在的各种问题。

（1）生理信息的获取—传感器

传感器可以用来监护生理环境及其变化。健康监护用智能服装主要使用了医学传感器和周边传感器。

医学传感器可以监护生理状态和过程，而且也可以参与记录生理和运动机能的各种参数。周边传感器用来监控外部环境，将信息反馈到主系统中使其相应的改变自身功能，以提高主系统的情境感知能力，使其正确评估医学传感器的工作。它包括温度计、二氧化碳探测器、麦克风甚至数码相机等，可以用来检测气温、湿度、空气质量、音量等环境指标；也可以辅助导航，如 GPS、数码指南针等导航传感器。

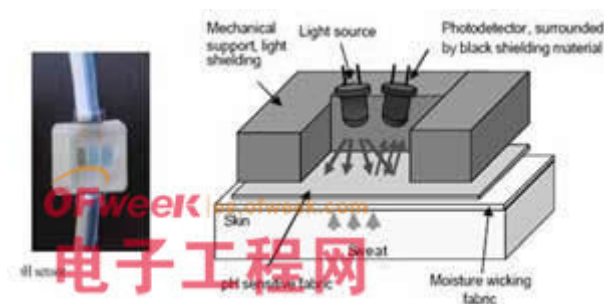


健康监护用智能服装还广泛使用无线传感技术，不仅解决了传感器工作的一系列问题，还使使用者获得很大的自由和舒适。它们的设计集成了无线发射机和自备电源系统。无线智能传感器可以进行数据采集及人体和区域网络的有限信号处理。它一方面可以降低可穿戴处理器的的工作负载，一方面也可以提高评价的速度，因此在实时应用中作用突出。

如图 1 所示智能服装中所用的医学传感器主要用来检测各种生理信号，如：检测心电、肌电、脑电和眼电等信号的体表电极，检测体温的热敏电阻，检测皮肤电导的皮电反应传感器、检测脉搏心率的压电传感器，用光体积测量法检测血压、血氧饱和度和心率的红外发射接收系统。有的传感器系统还包括运动生理学传感器，如检测运动速度的加速度器、检测关节夹角的电子量角器、检测障碍物的近距离传感器和接触传感器等等。医学上，它们也可以用来检测一些与临床病理相关的运动，如步态异常、颤抖、帕金森氏病等，并能引导视力损伤病人的行走，使他们避开障碍物。



以上大都是物理传感器，近来也有研究将重点放在了检测人体 PH 值等参数的化学传感器上。 ShirleyCoyle 等介绍了一种可以检测人体汗液 PH 值的化学传感器（图 2）的工作原理。比色法是该种传感器的主要检测方法。研究者将在对 PH 值灵敏的染料溴百里酚蓝固定在织物基底，使染料直接与汗液接触。同时发光二极管用作光源，并使用光电二极管作探测器。利用该染料对 PH 值在 6.0 至 7.6 范围内有不同的吸光特性，可以通过光电二极管检测到染料放出光的波长，从而确定其 PH 值。

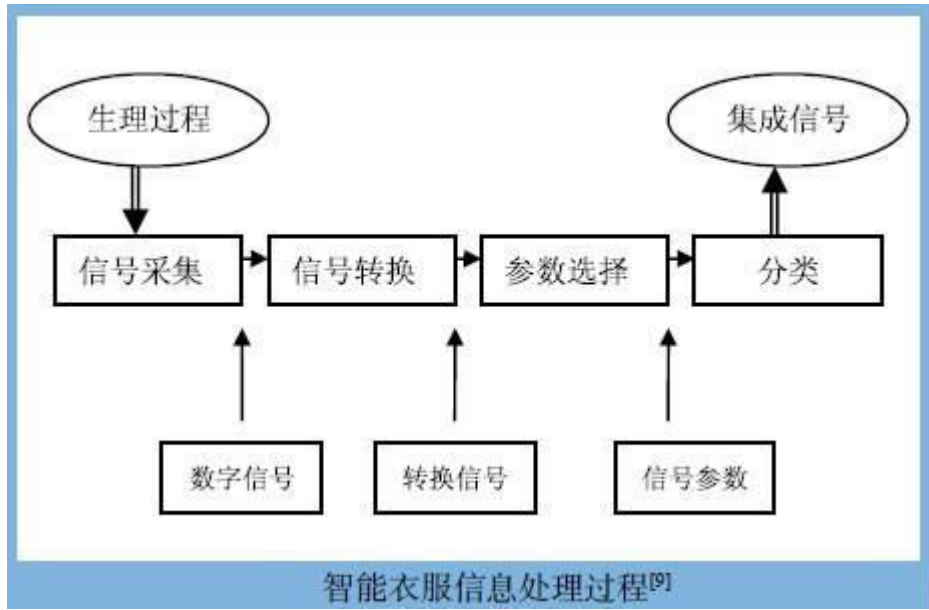


总之，物理传感器和化学传感器目前都在智能衣服的研究中的到了不同程度的应用，如下表所示：

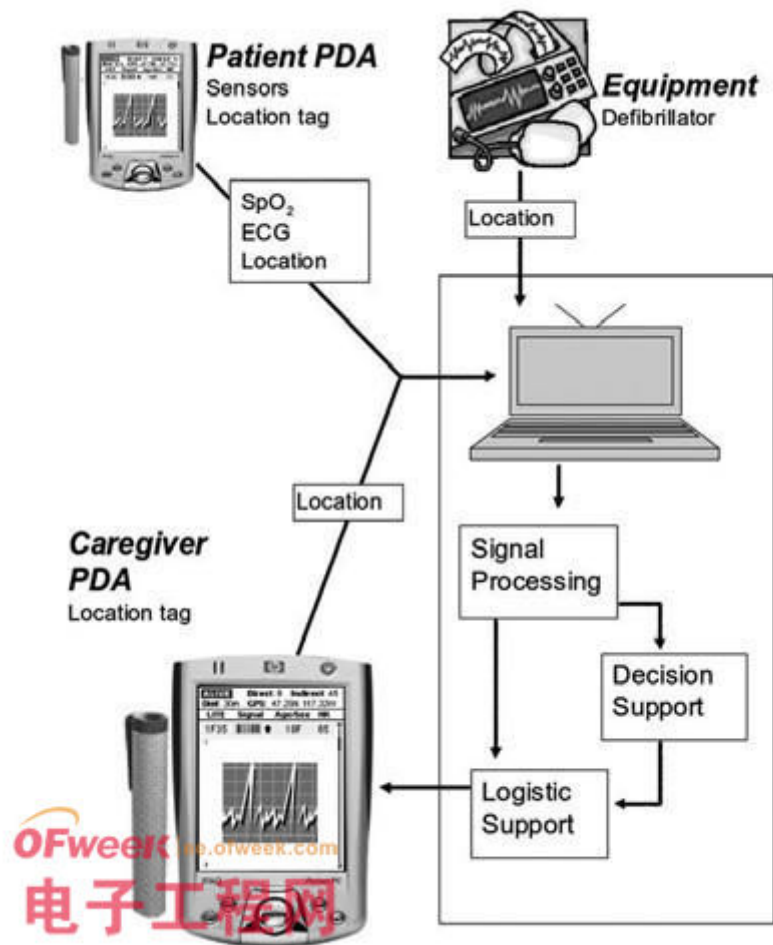
表 1 BIOTEX 计划中所用的传感器 ^[8]			
传感器类型	探测方法	汗液	血液/血浆
光学传感器	光学光谱		非侵入性血氧饱和度
	光学免疫传感器 水凝胶比色法		VEGF细胞因子 C反应蛋白(CRP)
	敏感层表面光学 比色法	PH	
电学传感器	阻抗	导电性	
	阻抗	流汗率	
化学传感器	电化学传感器	电解液 Cl、Na、K等浓度	

(2) 信号处理系统

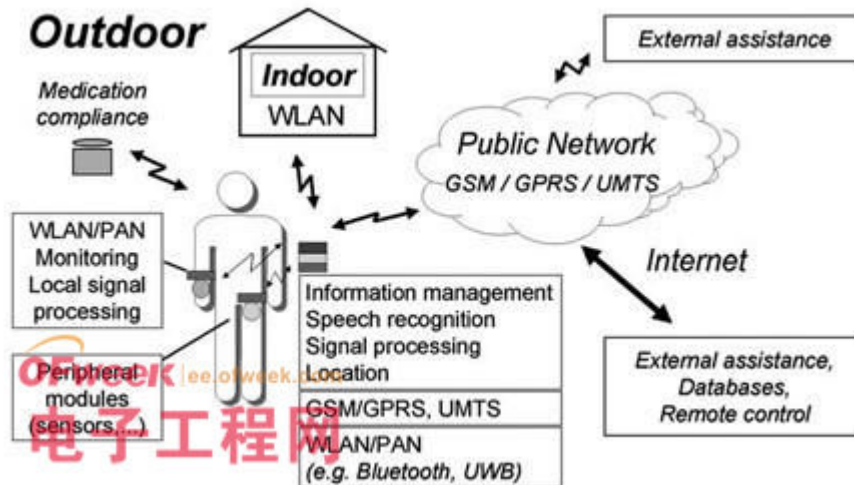
生理信息处理是监护健康用智能服装的核心功能之一，它包括有用生理信号的筛选和处理以及信息的反馈等方面，如图 3 所示。下文将结合几种最新研究结果来介绍生理信息处理的过程。



信号处理过程需要使用信息处理单元，其本质是低版本的计算机，其中掌上电脑和个人数字助理（PDA）是两种最流行的信号处理器，如图 4 所示。微型化处理芯片的广泛使用大大提高了信号处理的效率，存储芯片的使用可以提高信号处理的准确性和可靠性。也有研究致力于开发新的电源，以提高电源的供电效率，包括在衣服上安装太阳电池，在鞋子里内嵌压电陶瓷以及利用体热、呼吸等人类生理活动供能等。



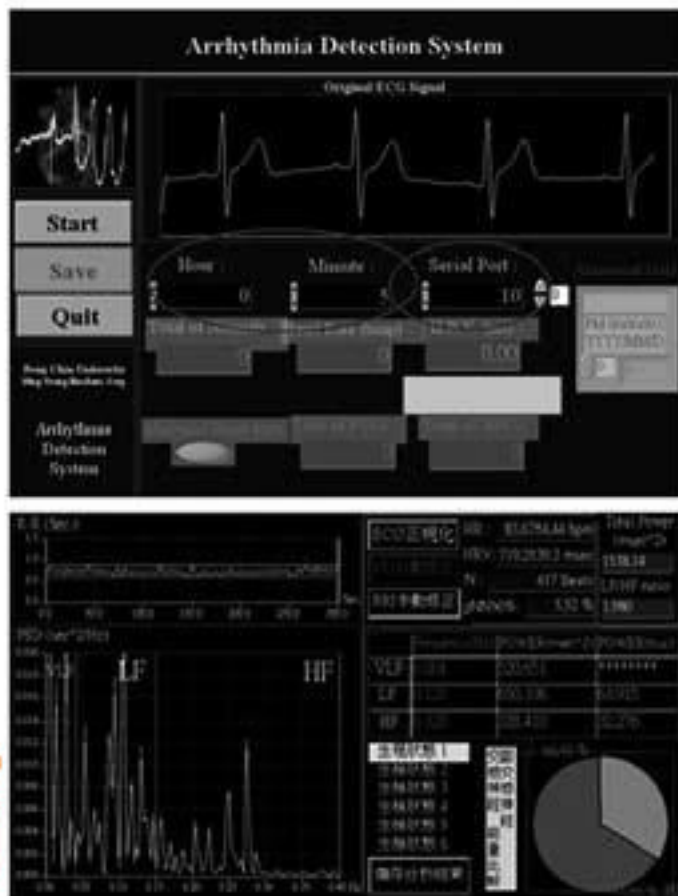
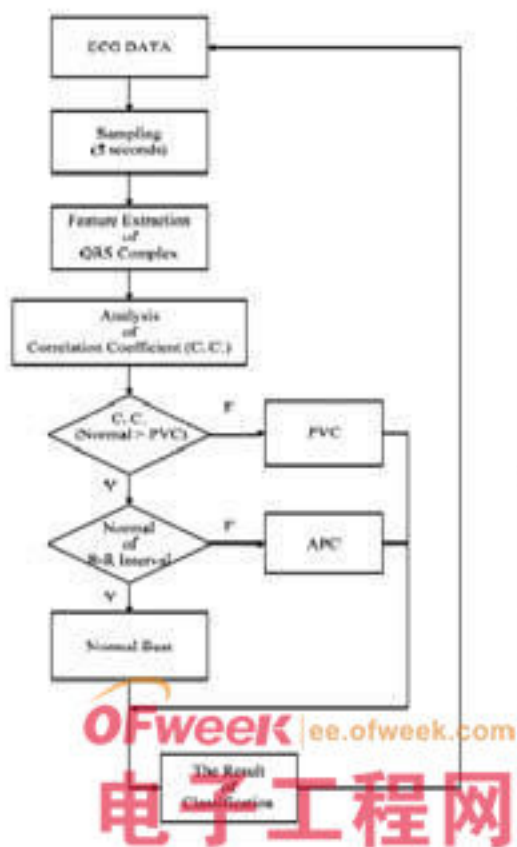
同时也有研究对获得信号的无线远程传输进行了探讨,其根本目标就是使传感器检测到的生理信号统一输入一个信息网络,这样一方面可以使医生远程监护病人,及时地了解到康复中病人的健康状况,并做出准确地判断;还能解决病人使用 PDA 进行信号处理单元的不便之处。如图 5 所示,生理参数的无线传播方式主要有射频电磁波、红外光和声波三种,其中射频电磁波最常用。基于射频电波的无线数据传播主要分为广域网和局域网。广域网采用卫星通信、GSM、CDMA 等,而局域网多采用蓝牙、超宽带、IEEE802.11/a/b/g 等。目前比较具有代表性的无线传输系统有 哈佛大学的 CodeBlue 系统,法国 CENS 研究机构的 MARSIAN 项目, NASA 阿莫斯实验室和斯坦福大学联合开发的 LifeGuard 系统等等。



信号处理过程的第一步是将传感器获得的模拟信号转化为数字信号，整个过程需要符合采样定理，而且实时测量需要时间标记和测量同步，以满足 A/D 转换器不同采样率的要求。第二个阶段是信息转换或预处理阶段，在该阶段多余无用的信息被过滤掉，而有用的信息被提取和保留，如噪声过滤和失真校正等。第三个阶段是参数选择或特征抽取阶段，在这个阶段，信号某些特性，如识别、预测和推断生理状态的辨别能力，将会得到评价。

特征值的提取能提供重要的生理信息如呼吸频率、心律等等。最后是分类阶段，获得的信号参数可以用来指导信号分类，以判断各种症状的类型及康复的程度等等。我国台湾的研究者开发了一种多功能生理参数检测系统 e-Texture，可以用来检测心电、体温、以及穿着者是否摔倒等情况。在心电信号处理过程中，系统先抽取了所检测信号的特征，与此同时，正常 ECG 和被检测 ECG 波形的相关系数被用来评价被测者心跳是否正常。如果检测的心跳波形与心室早期收缩（PVC）相似度高，则系统就判断为 PVC；如果检测的心跳波形与正常心跳波形相似，则系统会初步判断是正常或者心房早期收缩（APC），这是因为 APC 与正常波形相似，所以系统还需进一步分析 RR 间期的时间是否正常。如果时间正常，则系统就会判断心跳正常，否则就判断为 APC。

每隔 5s，系统将取一次样，然后重复该算法，如图 6 所示。



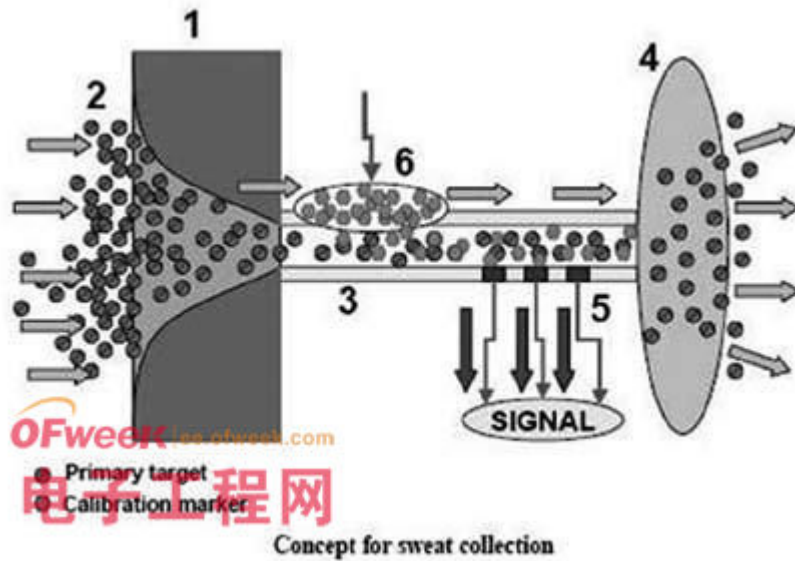
2 智能织物 (smart/intelligent textile) 的研究

健康监护用智能服装最终要解决采集处理生理信号的传感器及其他相关设备与衣服的织物结合的问题。衣服可以给这些设备提供支持,以有效减少直接穿戴它们的不适之处;也能够提供一些工作环境上的保护,使这些设备在合适的温度、湿度或光照等条件下工作;还可以适当调节生理反应,如排汗、运动等,使所获得的信号更加可靠。在汗液 pH 值传感器的研究中,织物就在采集样本这一过程起到了重要的作用。

通过在织物中引入一种本征导电聚合物材料——聚吡咯 (PPy),可以启动一种可逆的离子填充/去填充过程。

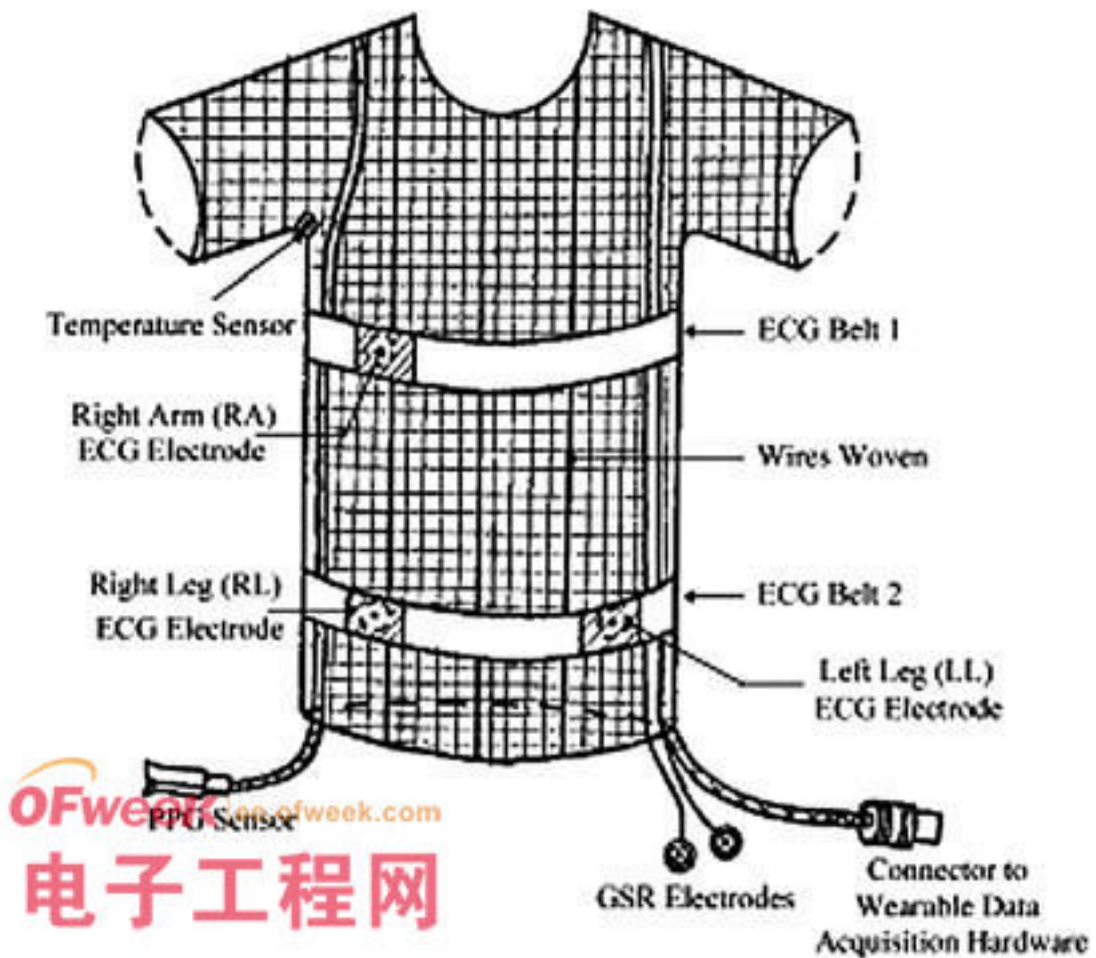
该过程本质是一种微流体泵,是流体处理系统的重要组成部分,它能实现试剂处理、流体控制以及废物储存等功能,而这些功能在汗液采集输送过程十分关键。

下图 7 是微流体泵 TITAN 采集汗液并传递给化学传感器的过程。



计算衣服（computational clothing）指可以处理、储存、传递以及检索信息的服装。通常用两种方式来实现：第一种方法是将电子系统嵌入织物或衣服附件中；另一种则在织物制备过程中结合纺织和电子技术，直接生产出电子织物（e-textiles）。Laxminarayana 等的研究就应用了后一种方法，他们用电纺技术将以碳纳米管为基底的材料与压电聚合物相结合，研制出一种新型的智能织物，并通过结构振动实验评价该织物的应变检测性能，结果证实该织物与单一的压电材料相比，应变检测能力提高了 35 倍之多。

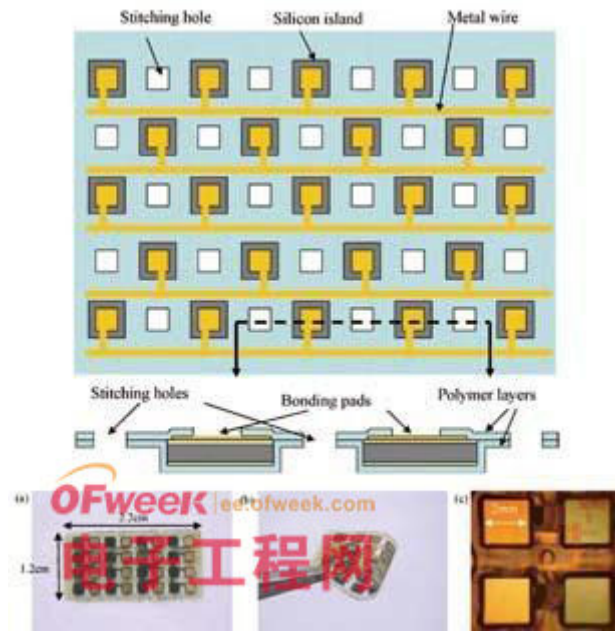
多传感器服装也在健康监护中得到了初步的应用，它的特点是可以整合各种传感器所获得的生理信息，以获得多方位或较全面的生理状态的评价。印度的研究者开发出了一种 SmartVest 智能服装，它将心电、血容、体温、皮电等传感器与织物相结合，从而实现了对多种生理参数的检测，如下图 8 所示。



也有学者在织物本体的改性上做了相应的研究。

织物的柔性和信号检测处理能力往往不可兼得，这是因为智能服装需要很多传感器和其它相关设备才能实现对健康的有效监护，但如果过多的传感器等设备直接嵌入织物中，则会造成穿着者的不适及衣服寿命的降低。Katragadda 等将硅柔性外皮与常规的智能织物相结合，如图 9 所示。该外皮可利用微显微技术制得，它由一系列“硅岛”（siliconislands）组成，每个“硅岛”内有应变计，金属垫、传感器和电路等。将硅外皮缝入智能织物便得这种新型织物的原型。研究者将该原型拉伸、弯曲和扭动，再通过应变计获得各“硅岛”所受的应变。结果发现该柔性外皮与智能织物基底之间的机械连接相对较弱，因而“硅岛”内的传感器和电路并不会受到织物中机械应力的影响……

另外，相变材料也开始和智能织物相结合。相变材料可以在一定温度范围改变自身状态，它们可以在相变发生时的加热过程中吸收能量，或在相变发生时的降温过程中向环境释放热量。常见的相变材料有无机水合盐、长链链烃、聚乙二醇等。相变材料通常是以微胶囊的形式与织物相结合的。由于它可以和人体周围微气候发生作用，亦能感应由人体活动或外部环境改变而导致的体温变化，所以相变材料处理的织物可以用于手术衣、病床材料、绷带和调节病人体温的各种产品等等。而聚乙二醇处理的织物还可以应用于输液和杀菌消毒中，比如外科手术纱布、尿布等。



3 展望

目前健康监护用智能服装主要处于实验室研究阶段，而且很多研究是为了满足军事、宇航等行业的需求。尽管已有部分研究成果进入了市场化阶段，但尚不能撼动人们传统的穿着观念，更没有在人们生活中产生重要影响。该研究领域尚没有一套系统的理论与标准，研究者往往来自不同的领域，有着不同的背景，这就需要相当长的配合时间才可以形成统一的认识规律。而且这种服装作为特殊的医疗器械，其性能、安全性等评价方案不成熟，能否按照一般医疗器械标准评价还需要更多的临床试验才可以确定。从实用性角度看，健康监护用智能服装要结合一般衣服和监护设备的功能，但是如果过多强调监护功能而大量使用监护设备，则势必影响服装作为一般衣物的功能，比如过多的电子传感设备会给衣服的洗涤带来不便，也会影响穿着的舒适和方便。

总之，智能服装从诞生至今只有十几年，却显示出了极大的潜能，在健康监护方面，随着监护治疗设备正在向着便携式、智能化的方向不断地发展，智能衣服更是有着得天独厚的优势。我们也期待健康监护用智能服装在未来的发展中能不断解决其使用推广过程中的一系列问题，成功地应用于健康监护各个领域，为人类造福。