

运动监测评价系统设计*

王 玲 易 钢

(湖南中医药大学信息科学与工程学院 长沙 410208)

〔摘要〕 针对体育运动风险提出构建基于物联网技术的运动监测评价系统,介绍系统关键技术,从系统架构、运动生理数据分析、运动处方、适用领域等方面详细阐述系统设计及功能。

〔关键词〕 物联网技术;运动监测;运动负荷评估;预警;运动处方

〔中图分类号〕 R-056 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2020.09.016

Design of the Motion Monitoring and Evaluation System WANG Ling, Yi Gang, School of Informatics, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, China

〔Abstract〕 In view of sports risks, a motion monitoring and evaluation system based on Internet of Things (IoT) technology is proposed. The paper introduces the key technologies of the system, and expounds the design and functions of the system in detail from the aspects of system architecture, motion physiological data analysis, exercise prescription, applicable fields, etc.

〔Keywords〕 Internet of Things (IoT) technology; motion monitoring; exercise load assessment; early warning; exercise prescription

1 引言

1998 年美国麻省理工学院提出“物联网”构想^[1]。2008 年以物联网为依托,融合大数据、云计算、互联网等新型信息技术理念,IBM 提出“智慧城市”愿景,衍生出“智慧体育”、“智慧医疗”、“智能交通”、“智慧农业”等。以嵌入式技术、通信技术为基础的物联网技术可能成为继计算机和互联网技术之后对人类社会产生重大影响的又一新兴技术。“体医融合”(即体育与医疗融合)于 2012 年引入我国。其功能之一是预防疾病、强身健

体。为实现科学健康的锻炼目的,不仅需要通过结合体育运动技能和医学知识开具个性化运动处方,还需要进行相关运动指标实时监控,这与以物联网技术为基础的“智慧体育”理念相合^[2]。“智慧体育”通过传感智能装备与新型信息化技术结合,实现随时随地感知体育,获得个性化、科学化、智慧化的运动体验。而不同运动个体所能承受的运动量和强度不同,因此亟需体育运动智能监测评价系统,提供科学且个性化的运动方案,为预防慢性疾病、营造健康生活方式提供技术支撑。具有全面感知、可靠传输、智能处理特点的物联网技术适用于构建运动监测评价系统。

2 关键技术

2.1 物联网

物联网技术通过信息传感设备实现人与物体、物体与物体间的沟通和对话^[3]。物联网具有 3 层结

〔收稿日期〕 2020-02-26

〔作者简介〕 王玲,硕士研究生;通讯作者:易刚,硕士,副教授。

〔基金项目〕 湖南中医药大学电子科学与技术学科开放基金项目“基于三维邻近图的中医数据传输网络拓扑控制研究”(项目编号:2018DK05)。

构：一是感知层，为最底层，主要实现对“物”的感知和信息获取。二是网络层，为中间层，主要是可靠传输获取数据。三是应用层，为最顶层，主要利用网络层获取数据实现功能或服务。作为一种新技术场景的综合应用，物联网技术与其他相关技术领域紧密结合，例如其感知层涉及自动识别、传感器、射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）、定位等技术，网络层涉及 4G/5G、无线宽带（如 WiFi）、ZigBee、蓝牙等技术。目前物联网技术广泛应用于物流、交通、安防、医疗、家居、零售等行业。

2.2 ZigBee

一种短距离无线通信技术，具有 4 层结构：由 IEEE802.15.4 协议定义的物理层、介质访问控制（Media Access Control, MAC）层，由 Zigbee 联盟定义的网络层、应用层^[4]。ZigBee 节点分为 3 种类型：终端节点、路由节点、个人局域网（Personal Area Network, PAN）协调器节点。路由节点具备路由功能，PAN 协调器节点除路由功能外还承担建立新网络、存储网络信息等任务^[5]。终端节点通过协调器或路由节点向外转发数据。ZigBee 技术具备强大的组网能力，所构成的网络拓扑类型包括星型网、网状（Mesh）网以及由两者结合组成的混合网。此外 ZigBee 具有低功耗、低成本、低速率、短时延、高容量、高安全、免执照频段等优势^[6]。

3 系统设计

3.1 架构

3.1.1 概述 文中设计一个基于物联网技术的运动监测评价系统，提供可靠稳定的心率、血氧饱和度、呼吸频率 3 种运动相关生理参数监测服务，帮助运动者对自身运动强度进行把控。此外该系统具备运动负荷评估与预警功能和运动处方服务，辅助运动者达到最佳锻炼效果。系统架构分为 3 层：感知层、传输层、应用层，见图 1。

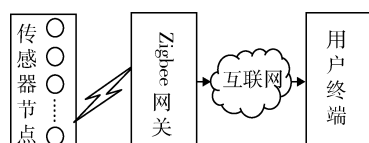


图 1 系统整体架构

3.1.2 感知层 为系统最底层，其构成主体为各类传感器节点。心率反映运动强度^[7]，呼吸频率反映运动者对运动强度的驾驭能力，血氧饱和度有助于运动者掌控运动量。因此感知层主要实现对心率、血氧饱和度、呼吸频率 3 项指标的感知和数据实时采集。值得注意的是该层中各类传感器终端节点间不存在数据或信息传送。

3.1.3 传输层 系统第 2 层，主要功能是实现数据从感知层到应用层的传输。由 ZigBee 协调器和集成全硬件 TCP/IP 协议栈以太网接口芯片（如 W5500 芯片）构成的 ZigBee 网关是该层主体。ZigBee 协调器的主要功能是获取感知层采集数据。获取过程为：首先协调器发起 ZigBee 网络组建，随后信道扫描寻找可用信道，找到后设置网络 ID（identification），待其他节点加入完成即 ZigBee 网络组建成功，ZigBee 协调器可通过 ZigBee 网络协议与网络内传感器节点通信，从而获取感知层中各传感器节点采集的信息，进行信息汇总。ZigBee 网络只能实现短距离通信，要实现与远程客户端的信息交互需要通过网关与高层协议不同网络互连。而 ZigBee 协调器和集成全硬件 TCP/IP 协议栈的以太网接口芯片组合构成的 ZigBee 网关可实现无线 ZigBee 网络接入互联网，使位于应用层的用户终端可通过互联网获取由传感器采集的相关数据或信息。

3.1.4 应用层 系统最高层，应用层的主体为用户终端（如个人电脑、平板电脑、手机或其他移动智能设备）。用户终端所有者可分为 3 类：运动者、医生、体育运动指导员。该层实现的功能或服务包括运动实时监测、运动负荷评估与预警、运动处方服务。其中，运动实时监测功能可实现对运动者运动前、运动中、运动后的心率、血氧饱和度、呼吸频率数据的运动负荷监控。

3.2 运动生理数据分析

3.2.1 概述 运动负荷评估与预警功能可实现对运动者运动强度的准确评估，当评估结果为运动强度过高、运动量不足以及恢复能力不强时系统将及时预警。运动负荷评估涉及 3 项评估指标：呼吸频率、血氧饱和度、心率。

3.2.2 呼吸频率 人在静息状态呼吸频率为 12 ~ 20 次/分，剧烈运动时呼吸频率加快，有时可达 30 ~40 次/分，同时伴有呼吸幅度加深。本系统面向希望通过体育运动增强体质的人群，不适合通过剧烈运动达到健身目标，而是通过呼吸频率变化不大的运动合理锻炼，达到提高心肺功能效果。因此若呼吸频率增加到超过 30 次/分，则系统判定呼吸过快、运动强度过高。

3.2.3 血氧饱和度 人类血氧饱和度值正常范围为 90% ~100%。一般来说科学合理的运动锻炼对血氧饱和度值影响较小，但剧烈运动会使血氧下降造成运动疲劳。因此系统将血氧饱和度值等于 90% 作为评估标准，当血氧饱和度低于 90% 时判定为运动不合理，运动强度过高。

3.2.4 心率 心率评估运动负荷过程为：首先通过遍历所有心率数据获取最小值和最大值，最小值对应静息心率，最大值对应最高心率。由于数据采集是按照一定频率进行的（如 10 秒采集一次），因此将从数据中获取最大值出现后 1 分钟的心率值作为恢复心率，筛选出静息心率、运动时最高心率、恢复心率。其次，采用贮备心率百分比法计算理论靶心率范围，即运动者有效且安全的运动心率范围，计算公式为：靶心率范围 = (L - P) × 贮备心率百分比 + P。其中 L = 220 - 实际年龄，公式中贮备心率百分比依据表 1 中数据选取。L 表示最大心率，P 表示静息心率。最后将最高心率与靶心率范围进行比较，进而评估运动负荷，此外心率数据中包括一项重要评估指标：恢复心率，选取恢复心率 ≥120 次/分为评估标准，见图 2。

表 1 运动强度区间与贮备心率百分比 (%)	
运动强度区间	贮备心率百分比 (%)
E (轻松跑)	59 ~ 74
M (马拉松配速)	74 ~ 84
T (乳酸阈值)	84 ~ 88
A (无氧耐力)	88 ~ 95
I (最大摄氧)	95 ~ 100
R (爆发力训练)	不考虑心率

评估指标	判定类型
最高心率 > 靶心率最大值呼吸频率 ≥30 次/分 血氧饱和度 ≤90%	运动强度过高
靶心率最小值 < 最高心率 < 靶心率最大值呼吸频率 <30 次/分血氧饱和度 >90%	运动适宜
最高心率 < 靶心率最小值	运动量不足
恢复心率 ≥120 次/分	心脏恢复能力弱

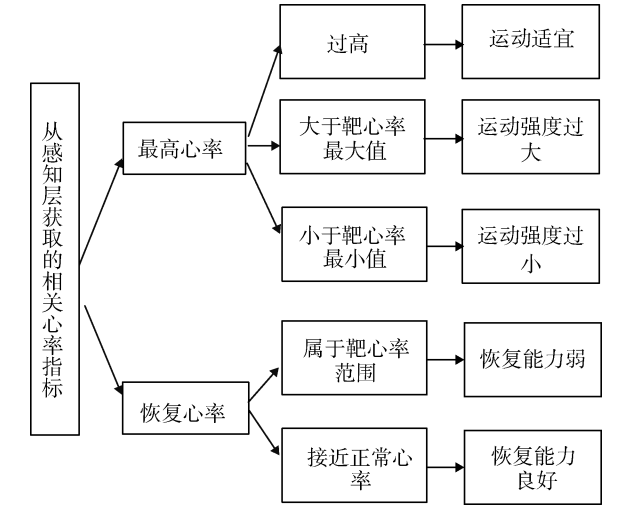


图 2 心率评估运动负荷过程

3.3 运动处方

3.3.1 主要功能 医生端和体育运动指导员端可结合各自专业知识，以运动者生理参数信息为依据提出个性化运动处方服务，辅助运动者达到最佳锻炼效果。运动处方即依据年龄、性别、健康状况等以处方形式规定运动种类、强度、时间、频率及注意事项^[8]。针对不同人群可进行运动种类的合理搭配。运动强度的确定因人而异，需要考虑运动过程中监测获取的相关生理参数信息，其中靶心率是主要反映指标。运动时间、频率的制定除考虑基本参考因素外还需参考运动强度。由于个人健康、体能状况等存在差异，因此运动注意事项需结合个体情况合理制定。

3.3.2 调整 运动强度预警后需进行运动处方调整。需了解各项运动负荷评估指标与其判定类型关

系，见表 2，针对不同判定类型进行运动处方内容调整标准。

调整，见表 3。在注意事项方面因人而异，无固定

表 3 运动处方调整方案

项目	运动强度过高	运动适宜	运动量不足	心脏恢复能力弱
运动种类	适当调整	保持	适当调整	保持，添加恢复性训练运动
运动强度	靶心率降低	靶心率保持	靶心率提高	靶心率保持
运动时间	适当减少	保持或适当增加	保持或适当增加	适当增加
运动频率	适当减少	保持或适当增加	保持或适当增加	适当增加

3.4 适用领域

3.4.1 运动健身 随着慢性疾病、亚健康观念普及，以及不合理运动造成的运动损伤、猝死案例频发，运动健身人群开始重视对运动过程中体能的监测，希望在规避运动风险的前提下达到科学锻炼效果。基于物联网技术的运动监测评价系统能够实时监测心率、血氧、呼吸等生理参数，实现对运动强度的实时监控、预警，有助于运动者及时调整自身运动状态，规避风险。此外通过对体能数据进行评估和分析能够制定科学合理的健身计划，有效辅助运动者健身锻炼。

3.4.2 专业运动 主要面向专业运动员。该领域最受关注的问题是运动强度过高和运动量不足。运动强度过高会引起运动损伤、猝死，而运动量不足则影响训练效果。基于物联网技术的运动监测评价系统可为制定解决方案提供技术支持。教练员通过系统监控、监测运动员各项生理指标、体能，对运动强度进行评估，从而适当调整训练方案，科学有效地提高运动员运动成绩。

3.4.3 智慧养老 主要面向老年人。基于物联网技术的运动监测评价系统能够较好满足养老服务需求。首先可为家属提供老年人实时心率、血氧饱和度、呼吸频率等生理指标数据，方便其监测老人身体健康状况。其次监控端与医疗机构连接，可实现有效的远程医疗监护，而且依据医护人员实时提供的运动锻炼方案，老人可自行提高心肺功能。此外系统具备预警功能，一旦生理指标出现异常能够及时发布预警，有效应对老年人突发疾病情况，降低安全风险，保证生命安全。

4 结语

以物联网技术为支撑的运动监测评价系统通过对心率、血氧、呼吸等生命体征数据进行实时评估，实现对运动过程中身体健康状况的监测，有利于运动者对其自身运动强度的把控。此外该系统运动负荷预警功能和运动处方服务能够辅助运动者达到理想锻炼效果。但系统在数据采集方面对体重、卡路里消耗等影响因素未做考量，无法全面反映运动者运动前后整体状态，尚待进一步完善。

参考文献

1 甘志祥. 物联网的起源和发展背景的研究 [J]. 现代经济信息, 2010 (11): 157 – 158.

2 孙乐琪. 中国首部《健康管理蓝皮书》发布慢性病发病人数约 3 亿 [EB/OL]. [2018 – 04 – 17]. <https://www.cn-healthcare.com/article/20180417/content-502439.html>.

3 郎为民. 大话物联网 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.

4 晏英俊. 基于 ZigBee 无线网络的智能家居系统研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2011.

5 肖良. 基于 Android 的消防监控网关的设计与实现 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.

6 赵博岩. 基于物联网的智能家居系统研究与设计 [D]. 成都: 电子科技大学, 2019.

7 潘世杰. 基于蓝牙 4.0 的运动心率检测系统研究与应用 [D]. 上海: 东华大学, 2018.

8 孙长新. 我国运动处方研究现状分析与思考 [J]. 南京体育学院学报 (自然科学版), 2012, 11 (4): 34 – 37, 88.