

基于 Bayesian 网的无线传感器网络人体 ADL 实时监护设计方法研究

孙颖

(沈阳大学 信息工程学院, 辽宁 沈阳 110044)

摘要: 针对康复中心及养老院老人身体状态实时监护问题, 提出了一种基于物联网的人体 ADL (activity of daily living) 实时监护系统设计方法。为提高监护系统数据传输的实时性, 提出了一种基于 Bayesian 网的数据传输算法, 并给出了在 Bayesian 网下的传感器分布模型及算法实现。此方法可以在节点拥堵时大幅度降低传输轮回时间, 提高系统的实时性及顽健性, 并可以快速地检测异常状况, 实际应用意义重大。最后对 Bayesian 网参数训练及算法的有效性进行了实验验证。

关键词: Bayesian 网; 无线传感器网络; ADL

中图分类号: TN 929.5

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X (2011)9A-0118-05

Research on wireless sensor network human ADL real-time care system design method based on Bayesian network

SUN Ying

(Information Engineering Institute, Shenyang University, Shenyang 110044, China)

Abstract: According to elderly people body real-time care problem in rehabilitation centers and nursing homes, a human-body ADL real-time care system design method based on Internet of things was proposed. In order to improve data transmission real-time performance of the system, a new data transmission algorithm based on Bayesian network was presented, and the sensor under the Bayesian network distribution model and algorithm were built. Cycle time was reduced significantly and the system's real-time and robustness were improved by using this algorithm. Abnormal conditions detecting quickly and its practical application significance were benefits of this method. Finally, the parameters of Bayesian network and the effectiveness of this method were verified by experiments.

Key words: Bayesian network; wireless sensor network; ADL

1 引言

随着经济发展和医疗技术的进步, 我国人口结构逐渐从年轻型向老年型转变。截止到 2010 年, 我国超过 65 岁的人口为 1.73 亿并且老年人口的数量逐年增加, 特别是 80 岁以上的高龄老人及部分失能老人数量, 以年均 100 万的增长速度增加^[1]。人口老龄化问题, 已经成为全社会关注的焦点之一。随着年龄的增长, 人的身体机能逐渐减退, 一些学者引入 ADL 即日常生活能力概念来评价老人

的自理能力^[2,3]。在物联网构架下及时、有效地实时监控人体 ADL 数据的方法, 不但可以了解老年人身体变化的趋势, 为康复医生提供老人身体机能数据, 还可以实现对一名或多名老人身体状况的远程实时监控, 减轻医生负担, 节约医疗资源。论文采用 MEMS 器件作为人体姿态采集传感器, 采用微型电信号传感器采集人体脉搏、体温等参数, 采用基于 ZigBee 协议的无线传感器网络及 GPRS 协议作为人体姿态及人体生物学参数数据传输手段, 并将无线传感器基站与 Internet 连接实现物联网功能。

在网络子节点数目不确定的情况下,系统对重症患者及发生意外患者的 ADL 数据传输的实时性作为评价此监护系统的重要指标之一。本系统设计的应用场所为养老院等,同一基站下的子节点数目具有不确定性。在路由节点繁忙时,及时有效地传输人体 ADL 状态,对及时救治出现症状的病人有着重要意义。传统的设计方法,子节点与路由节点传输的最长时间为 T 。随着子节点增加 T 也变大,显然不利于对重症病人的状态或突发事件的及时反应。论文提出了一种基于 Bayesian 网的无线传感器网络人体 ADL 信息实时监护设计方法,利用 3 层 Bayesian 网络对节点建模。每一个节点对应一个 3 层 Bayesian 网络,将节点内传感器数据信息提取成为人体当前状态特征集合,并且根据这个特征状态得出一个当前基站的响应级别。对于总站采用分级巡查方式,即先查询节点的响应级别,但级别低于设定阈值则放弃进一步信息交互,如果超过阈值则做进一步信息交互。本文的创新之处在于:首次将贝叶斯网理论引入基于无线传感器网络的人体 ADL 监护系统中,并解决了传统网络在网络拥挤时对重症病人监视延时过大的问题,减少了系统传输延时对病人及时救治有重要意义。

本文安排如下:第 2 节基于物联网的人体 ADL 信息实时监护系统设计,主要包含系统总体框架以及组网时存在问题;第 3 节详细描述了 Bayesian 网优化方法,包含 Bayesian 网的节点建模与 Bayesian 网络的参数学习;第 4 节通过实验分析此方案对系统性能的改进;第 5 节是本文的结束语。

2 基于物联网的人体 ADL 实时监护系统设计

2.1 系统总体框架

物联网的核心是实现事物(包含人)之间的互联,从而能够实现所有事物之间的主动信息交换和通信。物体的信息通过网络传输到信息处理中心后可实现各种信息服务和应用^[4,5]。基于物联网构架人体系统,如图 1 所示。

由 ZigBee 无线传感器网络^[6,7],WLAN 总线数据传输网络,监控中心服务器及用户终端 3 部分组成。ZigBee 网络由低功耗低成本的人体 ADL 信号检测传感器及无线路由节点组成,每个检测节点负责采集人体 ADL 信号数据及传感器设备控制及参数设置指令并且对人体状态进行评估,与路由节点进行人体生物信号数据交换。路由节点完成与检测

节点与监控中心服务器的数据交换,收集融合 ZigBee 网络传输的数据并传输到监控中心,或接受远程控制指令转发到 ZigBee 网络节点。监控中心服务器负责监视并采集每一个患者的 ADL 数据,并进行报警提示。用户可以采用 PC 作为客户端接入 Internet 对指定患者进行生物数据实时监视。也可以利用手机通过 GPRS 或 CDMA 网络以 Web 方式访问监控中心进行生物数据检测。

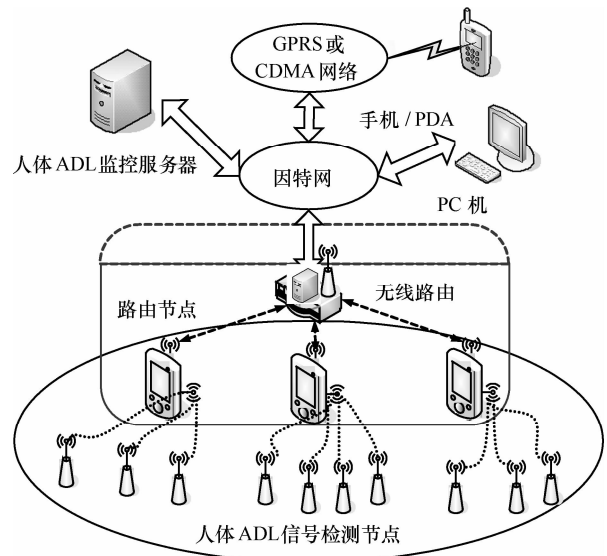


图 1 基于物联网构架人体 ADL 信号采集系统

可穿戴式传感器分布如图 2 所示,主要完成人体姿态检测,脉搏及体温检测。由设计的可穿戴式传感器组成,此检测系统由电池供电。其中,人体姿态检测由 5 个 MEMS 器件完成,使用时需要固定在如图 2 所示的位置上,选用 MMA7260QT 芯片。脉搏传感器人体脉搏及体温信号分别用 PVDF 压电传感器及 DS18B20 温度传感器作为检测器件。其中,在对脉搏信号进行测量时,需要将脉搏传感器感面贴在脉搏最强处用松紧带固定。一般人体脉搏跳动最强处在手腕外侧桡动脉处。

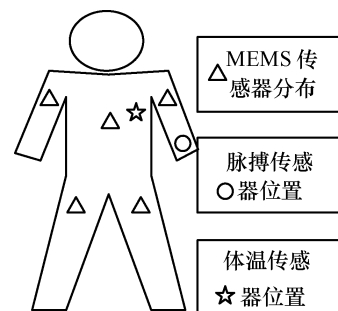


图 2 基于物联网构架人体 ADL 信号采集系统

2.2 基于 Zigbee 无线传感器网络 ADL 信号数据传输时存在的问题

将人体 ADL 技术与物联网技术相结合有重大意义，目前的康复医师陪同陪护的方法照看老人会消耗大量的医疗资源，并且无法实现对患者身体状态的定量采集，无法对患者身体康复趋势进行分析。本文提出的物联网的人体 ADL 信息实时监护采集系统具有成本低、可靠性高并且传感器体积小易于佩戴等特点，可以节约医疗资源，减轻医生负担，有效地量化并采集人体日常生活信息，探索人体健康变化趋势，并且加快患者发生意外时的反映速度，实现对发生意外的患者及时救助。

系统需要实时采集人体数据，并且需要及时进行人体生物信号异常信号报警（如心跳、脉搏异常或检测到跌倒状态）。Zigbee 网络具有低成本的传输速度、低复杂度、低功耗等优点，也具有低数据速率的不足。设每个节点扫描周期为 30ms，针对本文研究的 Zigbee 网络，检测与路由节点数据扫描周期为 T，可表示为

$$T = 30(1 + 2 + 3 + \dots + n) \tag{1}$$

其中，n 为节点个数。可见扫描周期为 T 随着节点数目的增加而变长，假设节点数目为 20 个，传输周期为 40s，并且此周期随节点数目的增加显著增大。在实际应用中，患者会在室内运动，节点数目具有不确定性。如进行开会等聚集性活动，会使网络负担加剧，传输周期变长，不利于发生意外时的及时检测。为了提高系统在多节点时的实时性，保证数据传输速率，本文提出了一种基于 Bayesian 网的网络节点优化方法。

3 基于 Bayesian 网的优化方法

对于含有众多检测基站的无线传感器网络，节点与总站交互的实时性是整个网络性能的重要因素。当基站数量过多以及交互信息过多时会出现交互拥挤。因此很可能出现如下情况：总站与节点 A 交互过程中，节点 B 发生观测异常，在 B 站异常发生 T 时间后总站才与 B 站交互。对于病人监护问题发生如上情况是非常危险的。因此合理的检测节点状态是监护型无线传感网络的重要问题。本文利用 3 层 Bayesian 网络对节点建模。每一个节点对应一个 3 层 Bayesian 网络，将节点内传感器数据信息提

取成为人体当前状态特征集合，并且根据这个特征状态得出一个当前基站的响应级别。对于总站采用分级巡查方式，即先查询节点的响应级别，级别低于设定阈值，则放弃进一步信息交互，如果超过阈值，则做进一步信息交互。

3.1 基于 Bayesian 网的人体姿态特征提取建模

贝叶斯网表示 n 个随机变量 $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ 的联合概率分布，BNs 可以表示为一个二元组 $\langle G, q \rangle$ ，其中 G 是一个有向无环图，其节点对应于 X 中的随机变量 X_1, \dots, X_n ，有向弧表示因果关系及节点间的条件独立关系，q 代表用于量化网络的参数集合， $q = \{P(X_i | p_i), 1 \leq i \leq n\}$ (p_i 为节点 X_i 的父节点集)， q_i 为 X_i 的条件概率表 (conditional probability table)。

G 是对联合概率分布的定性表示，表明随机变量之间的条件独立关系；q 是对联合概率分布的定量表示，表明在已知 p_i 的情况下 X_i 发生的条件概率。利用 BNs 所表示的条件独立关系和条件概率，可以将联合概率分布表示为

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | p_i) \tag{2}$$

对于一个分基站网络 i 的 Bayesian 网络 BN_i 模型如下： $BN_i = \langle G_i, \theta_i \rangle$ ，其中， $G_i = \langle S_i, F_i, RD_i \rangle$ ， S_i 为节点 i 的传感器数据节点集合， F_i 为节点数据的特征节点集合， RD_i 为节点 i 的响应级别节点集合。并且特征节点的父节点集合为全部传感器节点集合，响应级别节点的父节点集合为全部特征节点集合，即， $p_j(F_j) = S_i, p_k(RD_k) = F_j$ 。图 3 为含有 N 个节点的 3 层 Bayesian 网络结构。传感器数据 N_1 为第 N 个节点内由第 1 个传感器采集的人体姿态传感器数据，第 2 层定义的姿态特征信息（如重心变化，身体倾斜角度），第 3 层为评价等级，定义为使用者当前的身体健康程度。通过此 3 层 Bayesian 网络结构建立了传感器与患者当前状态之间的关系。通过无线传感器网络传输当前评价等级到监控服务器中。服务器根据设定的节点阈值，监控最有可能发生意外的病人，从而减少了网络扫描时间，达到快速的检测状态异常的目的。

3.2 节点 Bayesian 网络的参数学习

由于节点 Bayesian 网络的拓扑结构已经确定，因此可以采用 EM (expectation maximization) 算法

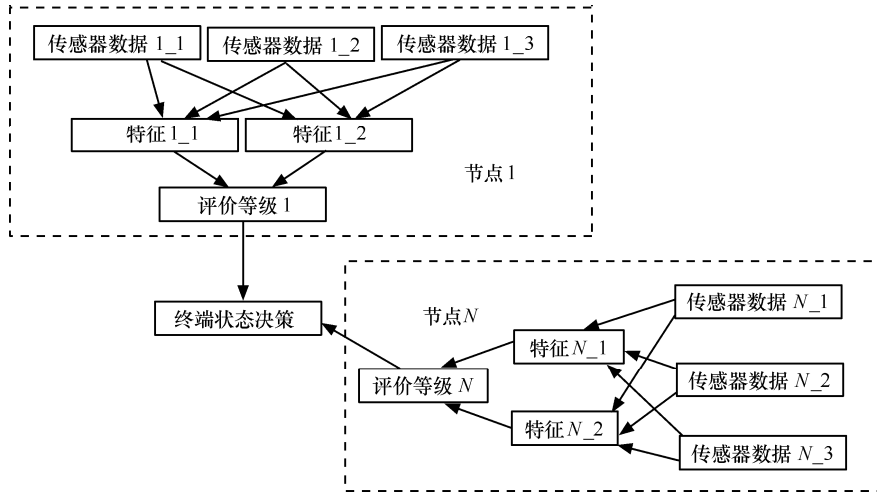


图 3 含有 2 个节点的 3 层 Bayesian 网络结构

计算网络内部参数（如概率，设定的人体状态参数等）。并且该算法对与缺值样本集的参数学习也具有良好的性能，增加了整个传感网络的顽健性。定义期望对数似然函数为 $Q(q|q^t)$ ，当 q 按如下公式变化时，使得对数似然函数最大：

$$q_{ijk}^{t+1} = \begin{cases} \frac{m_{ijk}^t}{\sum_{k=1}^{\pi_i} m_{ijk}^t}, & \sum_{k=1}^{\pi_i} m_{ijk}^t > 0 \\ \frac{1}{r_i}, & \sum_{k=1}^{\pi_i} m_{ijk}^t \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

其中， m_{ijk}^t 为

$$m_{ijk}^t = \sum_{l=1}^m P(X_i = k, p(X_i = j | D_1, q^t)) \quad (4)$$

其中， D_1 为碎权样本。

定义前一时刻变量为 old，当前时刻变量为 new。迭代算法如图 4 所示，其中， D 为 q 的期望对数似然函数，在算法迭代的过程中 D 是不变的。在 $t=0$ 时设定 q^0 随机值，前一时刻变量 old 为 $l(q^t | D)$ 。在进行第 t 次迭代的过程中，首先通过 E 算法计算对数似然函数 $Q(q|q^t)$ ，然后通过 M 算法求得 $Q(q|q^t)$ 达到 q 最大的取值，即使得 $q^{t+1} = \arg \sup_q Q(q|q^t)$ ，得到 q^{t+1} 。

考虑到实时性以及整个网络的功能，采用 MCMC (Markov chain Monte Carlo) 算法来推理当前节点的响应级别，MCMC 算法是一种近似推理算法具有良好的实时性，并且能够满足需要的推理精度。

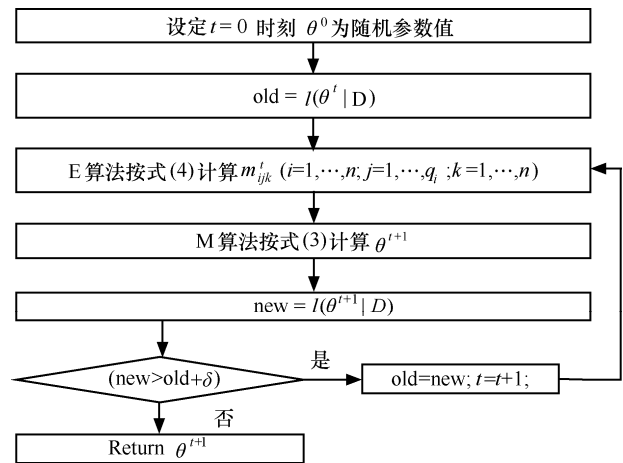


图 4 Bayesian 网络参数学习 EM 算法

4 分析与实验

在本节中，将前文所提出的数据存储方案在设计检测节点及路由节点进行试验。其中，人体 ADL 信号检测节点分为传感器检测/控制模块、射频通信模块和微处理器模块 3 部分。微处理器模块采用了 TI 公司的 8bit 低功耗单片机 MS430，射频通信模块采用符合 2.4 GHz IEEE 802.15.4 标准的射频收发器 CC2420^[8]，可通过 SPI 与处理器连接完成设置和数据收发任务。路由节点选择基于 ARM 920T、外设资源丰富、成本较低的 SOC 芯片 S3C2410 构成主控子系统，负责 WLAN 网络接入、响应远程控制和参数设置。

在某康复中心进行布网实验，实验前需要对 Bayesian 网进行训练，网络性能与样本数与直接关系。图 5 为 EM 算法样本数与 Bayesian 网参数

姿态识别误差对应关系。横坐标为训练样本数，纵坐标为所对应的人体识别的误差率。从图中可以看出在训练样本为 200 时，误差率收敛在 95.8%。因此在实际网络中约 200 的训练样本可以满足贝叶斯网参数学习的要求。算法对比实验结果如图 6 所示。实验中模拟某路由节点繁忙，测试对采用 Bayesian 网优化算法及未采用此算法的情况进行比较。在同一路由节点下，小于 20 个检测节点时，2 种算法的性能相差无几，但随着检测节点数的增加，采用 Bayesian 网优化算法性能提升明显。在节点数为 100 时，其轮回时间仅为未使用此种方法的 12%，验证了 Bayesian 网优化算法的有效性。

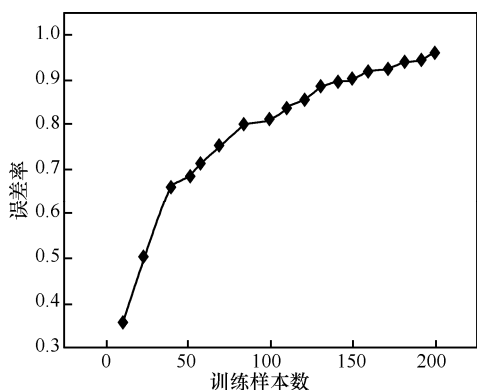


图 5 EM 算法样本数与姿态识别误差对应关系

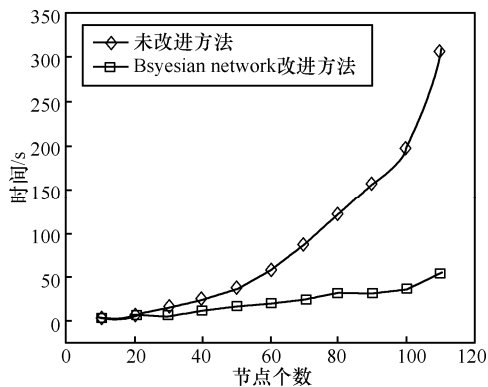


图 6 算法对比实验结果

5 结束语

实验给出了 Bayesian 网参数训练样本数与人体姿态特征误差的关系，并且验证了提出的基于 Bayesian 网的无线传感器网络人体 ADL 信息实时监护设计方法的有效性。此方案以物联网技术为依托，有效地解决了康复中心及敬老院远程（或近程）

的人体生物信号采集、检测、查询问题。并且针对在检测节点数目不确定的情况下，可能发生网络拥堵问题，提出了一种基于 Bayesian 网的优化方法，通过建立的 Bayesian 网下传感器模型及算法证明了此方法的可行性。

参考文献:

- [1] 雷继元.人口老龄化背景下构建为老服务体系的探讨[J].襄樊学院学报,2009,30(9):37-41.
LEI J Y .Study on establishm ent of the service system for the old in an aged society [J].Journal of X iangfan U niversity, 2009,30(9):37-41.
- [2] LIN C L, CHANG H H, LIN C F. Design a telecare e-m arketplace system for elder people in elderly center[A]. Proc of IEEE IC EBBE [C]. C hina, 2007. 435-441.
- [3] 化前珍. 老年护理学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2006.
HUA Q Z. Elderly Nursing [M]. B eijing: People's H ealth Press, 2006.
- [4] ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things[R]. 2005
- [5] 朱洪波, 杨龙祥, 于全. 物联网的技术思想与应用策略研究[J]. 通信学报, 2010, 31(11):2-9.
ZHU H B, YANG L X, YU Q . Investigation of technical thought and application strategy for the internet of things[J]. Journal on Com m unications, 2010, 31(11):2-9.
- [6] 瞿雷, 刘盛德, 胡咸斌. ZigBee 技术及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
QU L, LIU S D, HU X B. ZigBee Technology and Application [M]. B eijing: B eijing A erospace U niversity Press, 2007.
- [7] 吴金娇, 谢胜东, 李振. 基于 Zigbee 标准的两级树模型及路由算法[J]. 通信学报, 2011, 32(4):109-111.
WU J J, XIE S D, LI Z. Two-level tree architecture of based on zigbee and its routing algorithm [J]. Journal on Com m unications, 2011, 32(4):109-111.
- [8] 石雷, 韩江洪, 魏振春. 多包接收无线传感器网络的跨层优化策略研究[J]. 电信科学, 2011, 27(3):47-53.
SHI L, HAN J H, WEI Z C. M axim izing throughput for wireless sensor network w ith m ulti-packet reception [J]. Telecom m unications Science, 2011, 27(3):47-53.

作者简介:



孙颖 (1969-), 女, 辽宁沈阳人, 硕士, 沈阳大学副教授, 主要研究方向为物联网技术、云计算和分布式监控。