

基于软件定义智能的睡眠动作识别

汪成亮, 郑 诚, 曾 卓

(重庆大学计算机学院, 重庆 400044)

摘 要: 基于软件定义智能层次化模型设计了一种睡眠动作识别系统, 该系统可通过规则推理来应对智能环境中的各种变化因素. 设计了一种时间队列实时提取动作特征来训练模型, 提出了一种规则提取算法从该模型中提取系统所需规则. 该系统基于这些规则可识别 9 种睡眠动作, 每种动作的识别精确率均可达到 96% 以上, 总识别准确率达到 98.9%, 且比其它系统适应性更强. 实验结果表明, 该系统通过更新规则可快速应对节点位置、节点数量和用户需求的变化.

关键词: 智能环境; 软件定义智能; 睡眠动作识别; 规则推理

中图分类号: TP181 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2021)01-0085-05

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.12263/DZXB.20200069

Sleep Action Recognition Based on Software-Defined Intelligence

WANG Cheng-liang, ZHENG Cheng, ZENG Zhuo

(College of Computer Science and Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Based on the hierarchical model of SDI (Software-Defined Intelligence), a system for action recognition during sleep is designed to deal with various changing factors in smart environment through rule-based reasoning. A time queue is designed to extract the characteristics of actions in real-time to train the model, and a rule extraction algorithm is proposed to extract the rules required by the system from the model. Depending on these rules, the proposed system can recognize nine types of sleep actions; the recognition precision of each type can exceed 96%; the total recognition accuracy can reach 98.9%. Importantly, it has more robust adaptability than other systems. Experimental results show that the system can update rules for quickly adapting to changes in node position, the number of nodes, and user requirements.

Key words: smart environment; software-defined intelligence; sleep action recognition; rule-based reasoning

1 引言

智能环境是通过算法来实现各种智能化服务, 如在家庭、工作、公共场所等地方布置智能传感器来进行活动识别^[1]、睡眠监测^[2]、呼吸监测^[3]、摔倒监测^[4]等. 智能环境中由于需求不同导致的变化因素, 单纯通过算法来适应这些变化, 致使系统适应能力较差, 导致在当前环境下智能环境难以得到广泛的应用和推广.

智能环境变化因素众多, 主要包括两个方面: 智能环境部署的差异性、用户需求的广泛性, 单纯通过算法试错成本过高, 若充分利用规则的灵活性可以适应各种变化的特点, 通过规则推理^[5]的方法可以快速高效地部署智能环境. 软件定义智能将支撑智能特性实现的通用要素

分离出来, 成为预装在节点设备上的智能层, 再把变化因素归纳为规则, 智能层通过更新规则的方式适应各种变化所导致的适应性差的问题. 本文以智能环境中的睡眠动作识别作为切入点, 基于软件定义智能层次化模型设计了睡眠动作识别系统框架, 把睡眠动作识别的物理层和应用层相分离, 根据节点布局变化和用户需求的变化更新相应规则, 从而快速应对各种变化因素, 促进了睡眠动作识别系统的应用和推广.

2 睡眠动作识别系统

基于软件定义智能层次化模型, 本文设计了可快速适应各种变化因素的睡眠动作识别系统, 如图 1 所示, 该系统主要由数据采集模块、数据处理模块、特征提

取模块、工作引擎模块组成,其中工作引擎为软件定义智能用于规则推理的核心组件,该引擎基于规则更新的方式来应对各种变化因素,从而提高睡眠动作识别系统的适应性.

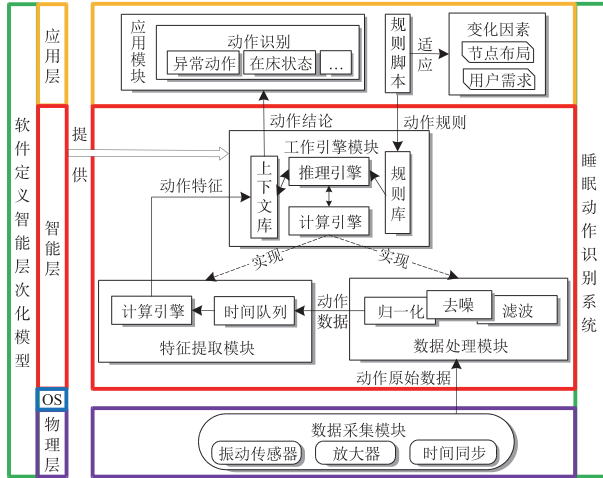


图1 睡眠动作识别系统框架

基于该睡眠动作识别系统框架实现多个智能节点的推理,如图2所示为智能节点的工作流程,图中主智能节点中的数字表示其执行步骤.

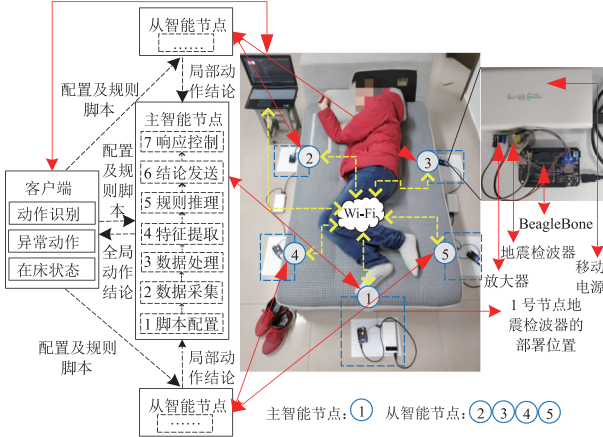


图2 睡眠动作识别系统的工作流程

3 识别系统详细设计

3.1 数据采集模块

采集的设备如图2右上角所示,采集的数据为3种类型共9种常见的睡眠动作,如表1所示,表中还定义了动作的相关编号(动作标签).

表1 常见的睡眠动作及其动作编号

动作类型	动作名称(动作编号 action_num)
大动作	翻身(0)、腿部伸展(1)、手部伸展(2)
小动作	头部轻微移动(3)、脚部轻微移动(4)、手部轻微移动(5)
异常动作	踢腿(6)、腿部抖动(7)、手部抖动(8)

3.2 数据处理模块

由于原始数据包含环境中的随机噪声和节点设备本身产生的高频噪声,所以动作特征提取前,需对数据进行预处理,数据处理过程如图3所示.

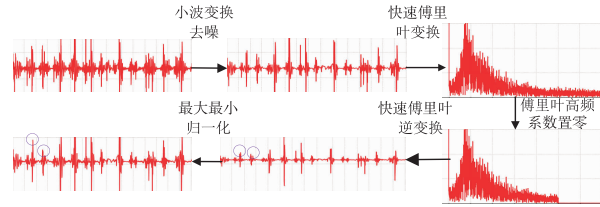


图3 数据处理过程

3.3 特征提取模块

根据不同动作特点,总结了六种特征:极差、均值、标准差、能量、频域熵、均方根. 本文设计了时间队列用于提取这些特征,该队列包含两个属性:时间窗口(记为 t)和时间步长(记为 T_0). 时间窗口表示该队列可以存储多长时间的数据,时间步长表示窗口每次移动的距离,即该队列每次计算后需要丢弃多长时间的数据. 特征提取过程如图4所示,将实时产生的动作数据通过时间队列存储起来,当队列存储满指定时间窗口的数据时,计算引擎计算队列中数据的特征,计算完毕后丢弃前 T_0 时间的数据,添加新数据,重新计算队列中的特征,这样就能实时计算出当前时间点下的动作特征.

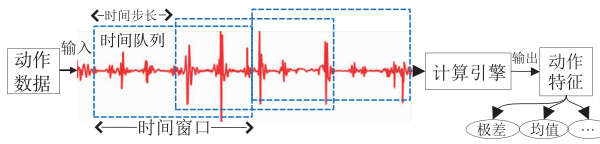


图4 特征提取过程

3.4 工作引擎模块

为了提取工作引擎模块所需规则,如图5所示,首先利用分类回归树算法来训练决策树模型,得到不同特征的特征重要性参数,通过指定阈值筛选出重要特征,把重要特征替换原有特征后再重新训练出新的决策树模型,然后对新模型进行剪枝来防止过拟合,最后基于剪枝后的决策树模型提出了一种规则提取算法,该算法对每条从根节点到叶子节点的路径进行遍历,每条路径的非叶子节点表示动作条件、叶子节点表示动作结论,并计算叶子节点中对应类的样例数占总样例数的比例得到该动作的概率,每条路径都对应一条动作规则. 动作规则如图5中的规则1、规则2所示,其中 SD 表示标准差特征、 $Mean$ 表示均值特征, $action_num$ 表示识别的动作编号, $action_proba$ 表示识别的动作概率.

规则推理过程如图6所示,首先脚本解释器解析动作规则,得到规则前件和规则后件,每条规则前件中包

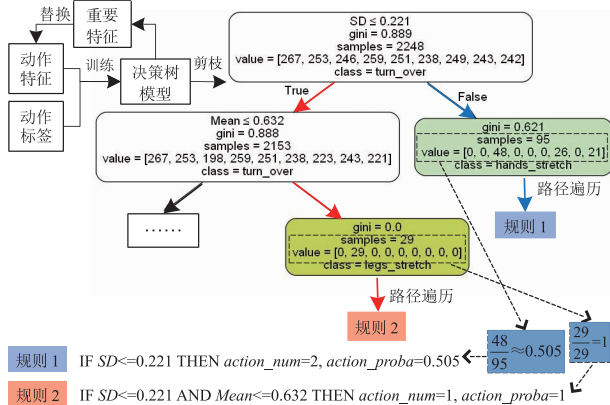


图5 规则提取过程

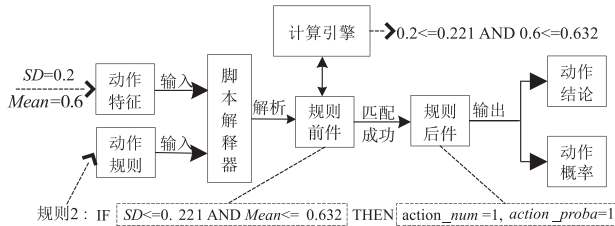


图6 规则推理过程

含动作特征相关的计算操作,前件中变量替换为动作特征的值,计算引擎计算每条规则的前件,若计算结果为 true 则表示规则匹配成功,给相应的规则后件中的变量赋值,得到动作结论及其相应的动作概率.例如,输入动作特征数据 $SD = 0.2$ 、 $Mean = 0.6$,与其匹配成功的规则为规则 2,因此把该规则对应后件中的变量 $action_num$ 赋值为 1, $action_proba$ 赋值为 1,此时通过 $action_num$ 得到动作的编号,通过 $action_proba$ 得到动作的概率.

4 实验验证与结果分析

4.1 实验准备

数据采集参数:设置地震检波器的采样频率 $f = 70\text{Hz}$,放大器放大倍数 $m = 2$. 数据处理参数:根据噪声的大小,设置小波变换的去噪阈值 $Tn_0 = 0.08$,设置低通滤波频率阈值 $Tf_0 = 25\text{Hz}$. 特征提取参数:由于人的大部分睡眠动作都在 2s 时间间隔内,因此设置时间队列的时间窗口 $t = 2\text{s}$,而相邻窗口的重叠率通常为 50%,这一比例已有研究工作^[6]证明有效,所以本文设置时间步长 $T_0 = 1\text{s}$. 规则提取参数:设置特征重要性参数的筛选阈值 $Ti_0 = 0.1$.

参加实验的志愿者共有 10 人,年龄在 22 ~ 28 岁之间,其中 7 名男性,3 名女性. 实验要求每位志愿者模拟自然睡觉情况下表 1 中的睡眠动作,每个动作持续时间为 30 秒,将其中 8 位志愿者采集的数据用于规则的提取,其余 2 位采集的数据用于推理引擎的测试. 通过规

则提取得到不同位置节点设备的规则集,基于规则通过推理引擎推理出动作结论,根据结论和对应动作标签计算动作识别的准确率和精确率,所有结果保留 1 位小数.

4.2 应对节点位置变化

本节实验用于验证通过更新规则集可提高节点在不同位置上的适应性. 节点设备位置如图 2 所示,在不同规则方案下进行实验,计算不同位置推理得到的总识别准确率,实验结果如图 7 所示.

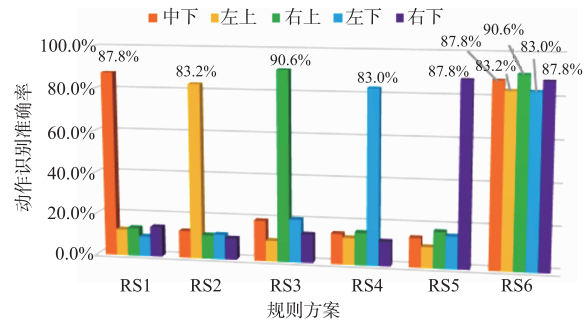


图7 不同节点位置在不同规则方案下的推理结果

根据上图实验结果显示,前 5 组方案下的动作识别准确率中,使用了对应位置的规则集时准确率超过 80%,其它位置的准确率不超过 20%;第 6 组方案中每个位置的动作识别准确率均达到了前 5 组方案中所有位置的最大值,因此不同位置使用相同的规则集得到的结果往往是不理想的. 另外,不同位置的局部动作识别准确率不同,主要是因为不同位置离震源的远近导致动作产生的振动幅度不同.

由上述实验可得,不同节点位置若使用同一套规则,结果将会受到极大影响. 如果不通过软件定义智能的方式,将需要对每个位置分别进行嵌入式开发,而不同位置均包含通用部分,重复开发将增加不必要工作量,而利用规则的灵活性,通过更新规则方案,可快速适应不同位置的变化,不需要重新编写新的代码,方便调试且不易产生故障.

4.3 应对节点数量变化

本节实验用于验证通过更新规则集的方式可提高系统在不同节点数量上的适应性. 使用两种不同的推理规则策略,第一种是把不同节点的局部动作结论中动作概率最大的动作结论作为全局结论(DR1),第二种是把不同节点的局部动作结论中动作概率总和最大的动作结论作为全局结论(DR2),按照节点编号的顺序添加新的节点设备,节点数量从 1 增加到 5,每个节点导入对应规则集 R1 ~ R5,计算不同节点数量在两种规则下推理得到的总识别准确率,实验结果如图 8 所示.

根据上图实验结果显示,在应用规则 DR1 时,动作识别准确率随节点数量增加而上升,从 1 个节点增加到

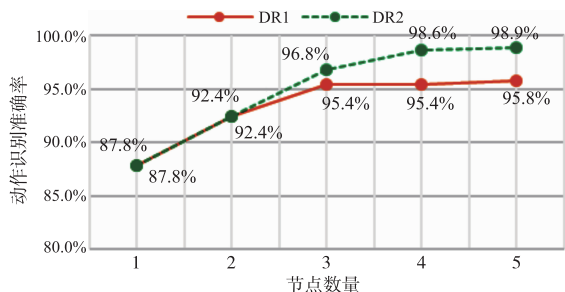


图8 不同节点数量在不同规则下的推理结果

5个节点时准确率增加了8%；在应用规则DR2时，动作识别准确率也随节点设备数量增加而上升，从1个节点增加到5个节点时准确率增加了11.1%；当节点数量超过2个时，应用规则DR2的动作识别准确率均高于应用规则DR1时的识别准确率，在节点数量为5时，两种规则识别准确率相差3.1%；在应用规则DR2和节点数量为5时，识别率为98.9%。

由上述实验可得，由于节点数量增加可得到更多位置的振动信息，因此当节点数量增加时，系统动作识别的准确率也随之提高。通过比较在应用规则DR1和DR2时的动作识别准确率，可发现一个动作在多个节点概率相加的最大值比单个节点动作概率的最大值更加有效，可更好的体现出动作发生时的整体性。

4.4 应对用户需求变化

本节实验用于验证通过更新规则的方式可提高系统在不同用户需求上的适应性。假设用户增加新的需求：识别上床和下床动作，该系统只需要导入上床和下床规则就可识别这两种新动作，计算上下床动作规则添加后的动作识别精确率，实验结果如图9所示。

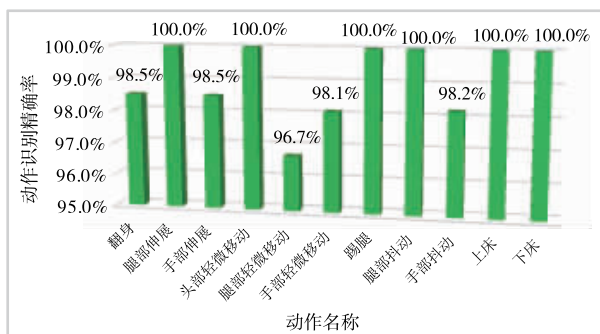


图9 添加上下床动作规则后的推理结果

根据上图实验结果显示，除了腿部轻微移动以外只涉及到腿部的动作的识别精确率都最高，而只涉及到手部的所有动作的识别精确率都趋于中间，猜测可能的原因是手部某些动作有些许相似，导致它们的识别精确率没有腿部动作的识别精确率更高。总的来说，不同动作的识别精确率差异并不大，当用户需要识别新动作时，只需要增加相应动作的规则，这种规则更新

的方式可以快速适应用户的新需求，提高了系统的适应性。

4.5 与引文中系统的对比

本节实验与引文中的系统进行对比，对比系统睡眠动作识别总的准确率、平均识别精确率及其适应性的三个维度。本节使用的数据集为1号节点设备采集的数据，其中8人数据用于训练其余2人用于测试，不同系统的对比结果如表2所示，由表可知本文方法与其它方法动作识别的准确率和精确率都相差不多，但是适应性明显强于其它系统。另外，本文的重点不在于准确率的提高，准确率只是体现适应性的一个方面，是可以使用更复杂的模型提取规则来保证更高的准确率。

表2 不同系统的对比结果

	使用方法	总的准确率	平均精确率	可扩展	可调整	可通用
文献[7]	Bi-RNN	90.8%	90.7%	×	×	×
文献[8]	KNN	88.7%	88.7%	×	×	×
本文	SDI	87.8%	88.0%	√	√	√

5 结论

本文基于软件定义智能层次化模型设计了睡眠动作识别系统，通过软件定义智能提供的工作引擎实现了数据处理、特征提取、规则推理，并且提出了一种基于决策树模型的规则提取算法。为了获取更丰富的数据信息和实现更广泛的用户需求，需增加智能节点和功能模块，这将使节点设备的分布方式和功能应用发生变化，而该系统利用规则的灵活性可以适应这种变化的特点，通过更新规则的方式来适应不同变化场景，可以促进智能环境中睡眠动作识别系统更灵活高效地应用和推广。

参考文献

- [1] 汪成亮,王小均. 基于三轴传感器的老年人日常活动识别[J]. 电子学报,2017,45(3):570-576.
WANG Cheng-liang, WANG Xiao-jun. Daily activity recognition based on triaxial accelerometer of elderly people [J]. Acta Electronica Sinica,2017,45(3):570-576. (in Chinese)
- [2] Long X,Fonseca P,Haakma R,et al. Actigraphy-based sleep/wake detection for insomniacs[A]. International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN) [C]. Eindhoven:IEEE,2017.1-4.
- [3] Liu J J,Huang M C,Xu W,et al. Breathsens: A continuous on-bed respiratory monitoring system with torso localization using an unobtrusive pressure sensing array[J]. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics,2014,19(5):

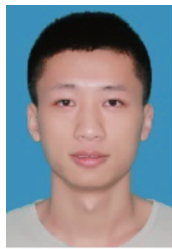
1682 – 1688.

- [4] Wang H, Zhang D, Wang Y, et al. RT-fall: A real-time and contactless fall detection system with commodity WiFi devices[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2016, 16(2): 511 – 526.
- [5] 马森, 赵文, 袁崇义, 等. 基于规则推理的语义检索若干关键技术研究[J]. 电子学报, 2013, 41(5): 977 – 981.
- MA Sen, ZHAO Wen, YUAN Chong-yi, et al. Research on critical technologies of semantic retrieval based on rule reasoning[J]. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(5): 977 – 981. (in Chinese)
- [6] Xue Y, Jin L. Discrimination between upstairs and downstairs based on accelerometer[J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2011, 94(6): 1173 – 1177.
- [7] Cao Y, Wang F, Lu X, et al. Contactless body movement recognition during sleep via WiFi signals[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2020, 7(3): 2028 – 2037.
- [8] Zahradka N, cheol Jeong I, Searson P C. Distinguishing positions and movements in bed from load cell signals[J]. Physiological Measurement, 2018, 39(12): 125001.

作者简介



汪成亮 (通信作者) 男, 1975 年 5 月出生, 四川资阳人. 博士, 现为重庆大学计算机学院教授, 博士生导师. 主要研究领域为复杂系统智能控制、无线网络及 RFID 研究与应用等.
E-mail: wangcl@cqu.edu.cn



郑 诚 男, 1995 年 4 月出生, 江西南昌人. 重庆大学在读硕士研究生, 主要研究方向为智能环境、物联网.
E-mail: zhengchengy@qq.com