

## 2017 年中国科学院深圳先进技术研究院在 信息处理技术方面的一些研究进展

(中国科学院深圳先进技术研究院实时监测与传输技术中心、人机控制研究室、《集成技术》编辑部)

**关键词** 行为识别; 能源受限网络; D2D 中继通信; 波束成形; 深度序列; 移动图像标记; 相位解缠; 情感认知; 协作质量感知; 移动物联网

**中国科学院深圳先进技术研究院实时监测与传输技术研究中心黄晓霞研究员及其团队主导的研究<sup>[1]</sup>**在非视距的情况下基于无线信号对行为识别方面取得进展(基于无线电信号的室内无设备行为识别)。该研究提出了一种无设备移动识别的方法——利用非视距环境中的链路状态信息进行人的移动识别。其中, 链路状态信息在网络层易获取, 且相对于单独的接收信号强度指示信号, 它包含更多的物理成分。当信号被监测环境中移动的人阻隔或反射将使信号传播路径产生动态变化时, 引起慢衰落和信道特性的波动。作为链路状态信息的度量, 接收数据包的包传输率和时间间隔可被用作移动识别。通过对这些接收数据包的接收状态和到达时间序列信息进行特征提取和分类, 可对监测范围内人的不同行为进行区分。结果显示, 通过从接收数据包中提取特征来分辨不同的移动方向和速度, 能够对人的行为提供高精度的识别, 甚至辨别出人的不同身高; 与基于固定采样的 RSSI 类方法相比, 该方法对行走速度的平均识别率提高了 44%, 对移动目标高度的平均识别率达 76.6%。在非视距环境中, 该方法具有相对高的精确度且无附加部署成本, 可将其便利地部署到真实室内场景中的商业 AP 内用于移动识别。

**中国科学院深圳先进技术研究院实时监测与传输技术研究中心黄晓霞研究员及其团队主导的研究<sup>[2]</sup>**在能量受限无线网络能量供应方面取得进

展(对采用时间切换机制的 OFDM 无线功率中继传输进行子载波配对的资源优化)。该文研究了正交频分复用中继传输的联合资源优化, 将联合资源分配问题阐述为一个通常难以解决的非线性混合整数规划问题。首先, 对这个问题设置了一个可行的条件, 基于该条件, 证明有序的时间切换是最优的, 因此时间切换和剩余的资源分配问题(RRAP)被各自独立地求出最优解。然后, 提出了一种查找算法用于寻找 RRAP 问题的最优解。为提高效率, 提出了一种缩小查找包含最优解区域的方法, 将 RRAP 转换为了一个目标函数为凹函数差的等效问题, 以进一步降低计算复杂度。最后, 利用其局部凸的结构, 提出了一种有效且快速的算法。仿真结果显示, 所提方法将时间切换因子查找区域减少 19% 以上; 凹函数差算法在获得全局最优结果的同时运行时间比全局最优算法显著降低了 3 个数量级。该成果可应用在无线信息与能量传输技术上, 为解决能源受限网络, 如无线传感器网络的能源供应问题, 延长设备使用寿命提供了现实可行的途径。

**中国科学院深圳先进技术研究院实时监测与传输技术研究中心黄晓霞研究员及其团队主导的研究<sup>[3]</sup>**在 D2D 中继网中分布式鲁棒性波束成形方面取得进展(具有干扰约束的 D2D 中继网络中分布式的鲁棒协同波束成形)。该研究提出了两步法来解决 D2D 中继网中分布式鲁棒性波束成形问题。首先, 针对中继节点到目的节点跳的

信道不确定性, 设计了鲁棒性波束成形方案。该方案在满足中继节点能量限制和蜂窝用户 (CUE) 干扰限制的同时, 最大化 D2D 用户之间的信噪比。通过实际观察, 假设中继节点到目的节点跳的随机信道服从单峰分布, 并由此提出一种新的单峰分布鲁棒性模型 (UDR) 来追踪信道的不确定性。然后, 对该定义进行扩展, 使源节点到中继节点跳在最坏的鲁棒性模型中也能有效抵御信道的不确定性。最后, 设计了一个迭代算法, 该算法基于半定规划求解来找到一个近似解。结果发现, 一定条件下, 相比于仅依赖于信道瞬间信息的传统鲁棒模型, 该鲁棒模型能有效地提升 D2D 中继通信的吞吐量, 性能提升接近 50%; 同时, 该模型也优于对信道进行高斯分布假设的 Bernstein 类不等式模型的凸优化近似。

**中国科学院深圳先进技术研究院人机控制研究室程俊研究员及其团队参与的研究**<sup>[4]</sup>在人体动作识别方面取得进展 (基于深度序列的人类行为识别的空间拉普拉斯和时间能量金字塔表示)。该研究提出了一种用深度相机捕获的深度序列对人体动作进行识别的有效方法, 对 5 个公共基准数据集 (MSRAction3D、MSRGesture3D、MSRActionPairs、MSRDailyActivity3D 和 NTU RGB+D) 进行了实验, 并对所提算法和几种最先进的基于深度序列的人类动作识别方法进行了比较。在所有实验中, 拉普拉斯、能量金字塔等级均设置为 3; 词典学习选择了 10 个视觉词, 并且使用参数  $\mu=0.5$  来控制向量  $V$  和  $H$  权重的权衡。结果发现, 在 5 个公共基准数据集中, 由于前 4 个数据集是从一个固定摄像头位置的前视图中捕获, 最后一个是基于多视角捕获, 且 MSRAction3D、MSRGesture3D、MSRActionPairs、NTU RGB+D 涉及人体四肢在空间中的明显移动, 而 MSRDailyActivity3D 关注人与对象的交互复杂背景。基于实验测试结果可以看到, 该文所提方法对单一视点的动作识别

更为准确, 且在体感交互 (如手势和虚拟体育) 中进行动作识别效果更优, 在平均计算速度上比现有的方法更快且可在线使用。

**中国科学院深圳先进技术研究院人机控制研究室程俊研究员及其团队参与的研究**<sup>[5]</sup>在云端标记移动图像方面取得进展 (云端移动图像标签的鲁棒稀疏编码)。该研究基于 PASCAL VOC'07 数据集进行移动图像标记实验来验证提出的最大相关熵图像标记 (McMil) 框架的有效性。数据集由从 20 个共同实体收集的 9 963 个样本组成, 系统性能采用每个类别的平均精度 (AP) 标准和所有类别的平均精度 (mAP) 来衡量。为了演示 McMil 框架, 实验提取了两种不同的视觉描述符, 即 GIST 描述符和 SIFT 描述符。此外, 还通过对 McMil 与 4 个代表性算法 (PCA、NMF、MahNMF 和 SCC) 进行了对比实验来评估其性能。结果发现, 该研究提出的最大相关熵图像标记方法比平方损失、绝对损失、柯西损失及许多其他基于鲁棒损失函数的稀疏编码方法要更加鲁棒; 与其他算法相比, McMil 可获得更多的语义表示。另外, 所提方法可以很好地解决移动图像标签任务的两大问题: (1) 移动设备中的计算资源有限; (2) 从用户或社会网络中收集的训练图像通常受噪声影响而可能包含许多异常值。

**中国科学院深圳先进技术研究院人机控制研究室程俊研究员及其团队主导的研究**<sup>[6]</sup>在使用三个空间频率边缘来增强绝对相位图方面取得进展 (多色通道中三个选定空间频率边缘的绝对相位图恢复)。该研究提出了一种基于三色通道的三频边缘图像投影的相位解缠方案, 实现了多色投影实验, 评估了白色参考平面并补偿了彩色通道之间的串扰, 对被包裹相位的最大误差在白色参考平面上进行了测量, 还将三色通道上的选定空间频率的边缘投影到被测物体上进行了三维重建。结果发现, 通过该文提出的时间相位解缠方案, 可观察到测试对象的绝对相位被正确恢复且

可被精确重建。测量中最大相位误差为 0.167 5, 最大高度误差为 0.013 mm。该方案可通过适当的空间频率选择, 来提高边缘恢复的可靠性和避免色差引起的频率畸变效应, 适用于时间高效和准确的测量, 可用于高速准确的三维数据采集。

**中国科学院深圳先进技术研究院人机控制研究室胡希平副研究员及其团队主导的研究**<sup>[7]</sup>在情绪感知计算方面取得进展(多信道认知无线电自组织网络中的情感认知系统)。该研究开发了一个称为 iSmile 的原型移动应用程序, 以演示情绪感知系统为日常生活中的良好睡眠提供情绪感知服务的功能。实验征集了 20 名用户(男性、女性用户各 10 名, 年龄在 20~30 岁)在一周内进行测试, 并基于智能手机(三星 Galaxy S6 edge+ 和小米)平台来评估 iSmile 对用户的有效性。结果发现, 情绪认知系统的应用开销经济实用, 其 CPU 占用率为 0.57%, RAM 为 47 MB, 电池消耗平均为 68 mAh/h; 当应用任务经协作通信和计算在本地自组织网络进行处理时, iSmile 的网络开销会相应减少; 通过推荐的智能闹钟和建议, 用户的积极情绪可以提升约 10%。相比于传统基于手机的情绪感知方法对数据采集规模的限制和对高带宽多媒体通信支持的图像/视频分析需求, 在 mCRAHN 中建立的情绪感知计算应用具有多维的数据处理方式, 并可以支持不同分布式动态网络环境中的情绪感知应用。该系统不仅适用于大规模的紧急应用场景, 在未来移动通信网络中也将具有更多潜在的应用价值。

**中国科学院深圳先进技术研究院人机控制研究室胡希平副研究员及其团队参与的研究**<sup>[8]</sup>在车载社交网络(SIoV)中的协作质量感知服务方面取得进展(车载社交网络中的协作质量感知服务访问系统)。该研究模拟了 3 km×3 km 的街道场景, 其中, 两条街道之间的距离为 500 m, 分别分布 3 种交叉方式, 即十字形交叉路口、T 交叉路口和 L 交叉路口, 街道中有 1 000 辆车随机

运行。基于以上实验场景, 对车载网络中的平均接入质量, 平均包到达数量及网络连通率等性能进行了评估。结果发现, 该研究验证了 SIoV 的有效性; 相比于已有方案, 协作质量感知服务访问(CQS)系统可以提高平均服务质量、单次访问发送的数据包数量和网络连通率, 三者分别约为 25%、20% 和 5%。本研究提出的协作质量感知服务访问系统可有效满足多用户对网络服务可靠和安全的信息访问及服务的需求, 对实现智能城市中的城市道路安全保障, 提高交通运输效率和改善车辆驾驶具有巨大的应用潜力。

**中国科学院深圳先进技术研究院人机控制研究室胡希平副研究员及其团队**<sup>[9]</sup>对移动网络物理系统方面的进展进行总结(移动网络物理系统: 当前的挑战和未来的网络应用)。该文介绍了移动物联网的应用、主要挑战和技术, 并将其与传统的物联网进行区分。该文认为, 在未来, 为了提高移动物联网应用的效率, 增强其功能性和智能性, 还有许多问题需要研究。其中一个方向是考虑移动用户隐私, 这是保护用户个人信息的基础, 从而与用户进行良好的互动与合作。将来对绿色物联网和新兴应用的云端移动机器人系统的研究可以进一步扩大现有移动物联网的应用。

## 参 考 文 献

- [1] Huang XX, Dai MW. Indoor device-free activity recognition based on radio signal [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2017, 66(6): 5316-5329.
- [2] Shen YY, Huang XX, Kwak KS, Yang B, Wang SQ. Subcarrier-pairing-based resource optimization for OFDM wireless powered relay transmissions with time switching scheme [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2017, 65(5): 1130-1145.
- [3] Gong SM, Wu SX, So MC, Huang XX. Distributionally robust collaborative beamforming

- in D2D relay networks with interference constraints [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2017, 16(8): 5048-5060.
- [4] Ji XP, Cheng J, Tao DP, Wu XY, Feng W. The spatial laplacian and temporal energy pyramid representation for human action recognition using depth sequences [J]. Knowledge-Based Systems, 2017, 122(C): 64-74.
- [5] Tao DP, Cheng J, Gao XB, Li XL, Deng C. Robust sparse coding for mobile image labeling on the cloud [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2017, 27(1): 62-72.
- [6] Ding Y, Xi JT, Yu YG, Deng FQ, Cheng J. Recovering the absolute phase maps of three selected spatial-frequency fringes with multi-color channels [J]. Neurocomputing, 2017, 252(C): 17-23.
- [7] Hu XP, Cheng J, Zhou MC, Hu B, Jiang X, Guo Y, Kun Bai, Wang F. Emotion-aware cognitive system in multi-channel cognitive radio ad hoc networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2018, 56(14): 180-187.
- [8] Ning ZL, Hu XP, Chen ZK, Zhou MC, Hu B, Cheng J, Obaidat MS. A cooperative quality-aware service access system for social internet of vehicles [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2017, doi: 10.1109/JIOT.2017.2764259.
- [9] Guo YX, Hu XP, Hu B, Cheng J, Zhou MC, Kwok RYK. Mobile cyber physical systems: current challenges and future networking applications [J]. IEEE Access, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2782881.