

基于集群滤波器的机会中继协作电磁兼容 控制复杂度优化算法

黎玉玲¹ 王秀玲¹ 周建明²

(内蒙古工业大学信息工程学院 呼和浩特 010049)¹ (北京理工大学计算机学院 北京 100083)²

摘要 移动群智网移动中继机会通信过程中的协作电磁兼容控制的高复杂度和额外资源消耗问题,是影响其通信性能和数据传输效率的关键问题。为此,提出了一种基于集群滤波器的复杂度优化算法。首先,针对移动感知终端、感知群、数据服务群和数据通信群组成的移动群智感知网,建立了移动群智网机会中继电磁兼容复杂度分析模型并验证了该模型的可行性;然后组建了 IIR、FIR 等多类型滤波器集群,并加入了改进的协作电磁兼容控制算法,用于优化基于集群滤波器协作电磁兼容控制的复杂度。实验结果表明:所提算法不仅可以优化协作电磁兼容机会移动中继的复杂度,而且可以降低功耗和 CPU 占用率等,其资源消耗低,能显著提高通信的有效性和可靠性。

关键词 电磁兼容,协作控制,集群滤波器,复杂度优化,移动群智

中图分类号 TP319 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.4.023

Cooperative Electromagnetic Compatibility Control Complexity Optimization Algorithm Based on Cluster Filter for Mobile Crowd Sensing

LI Yu-ling¹ WANG Xiu-ling¹ ZHOU Jian-ming²

(College of Information Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Huhhot 010049, China)¹

(School of Computer Science & Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100083, China)²

Abstract The high complexity and extra resource consumption of cooperative electromagnetic compatibility in mobile communication process in the mobile network are key problems that affect the communication performance and data transmission efficiency. The proposed algorithm is based on the mobile network, which is composed of mobile sensing terminal, perceived group, data service group and data communication group. At first, The model was built up. Then, the IIR, FIR and other multi type filter clusters were formed. The experimental results show that the proposed algorithm can not only optimize the power consumption of the mobile relay and CPU occupancy rate, but also can significantly improve the reliability of communication.

Keywords Electromagnetic compatibility, Cooperative control, Cluster filter, Complexity optimization, Mobile crowd sensing

随着物联网和互联网的快速发展,移动应用类型和规模逐渐增加,移动群智网得到了广泛应用。但是,移动终端、传感器、服务器等设备的电磁兼容性^[1]、运算复杂度问题^[2]、不确定性^[3]、协作控制^[4]和用户接入控制^[5]等严重制约了移动群智网的应用。

文献[6]在研究基于撒丁岛射电望远镜跟踪和指挥电磁兼容特性的基础上,提出了一种用 64 天线宇宙射电源观测位于外层空间射电的天文观测机制。文献[7]提出了基于物理基础的功率转换器驱动电路的建模方法,并开发和分析了功率逆变器的三维有限元模型。文献[8]研究了复杂系统的电磁兼容特性,建立了复杂系统的评价模型和评价策略,提出了用贴近度来确定 ANP 每个指标的权重。文献[9]综述了基于三维电场边界元法的换流阀寄生参数提取算法,并阐述了工程应用表现和计算资源情况。文献[10]研究了在不可测状

态和动态的情况下信号输入非线性多智能体系统的同步问题。

此外,文献[11]为了解决多个小区边缘的移动台无法到达基站的问题,研究了具有直接联系的机密信息不可信中继上行协作控制算法。文献[12]根据过时信道状态信息,提出了采用机会双向中继合作网络的最佳中继选择方案。文献[13]验证了机会车载网络中中继转发效率并提出了基于预测的机会车载网络中继选择策略。文献[14]根据汽车安全的复杂性特征,着重考虑汽车冲压的影响,使用高精度模型作为最优补偿响应的表面模型。

移动群智系统电磁兼容性、控制高复杂度和高资源消耗等问题严重制约了移动群智网的应用,对其电磁兼容控制复杂度的研究具有重要的实际意义。本文建立了移动群智网机会中继电磁兼容复杂度模型,进而提出了一种基于集群滤波器的机会中继协作电磁兼容控制复杂度优化算法。

到稿日期:2015-09-06 返修日期:2015-10-16 本文受内蒙古自然科学基金(2012MS0925),内蒙古工业大学科研项目(ZD201119)资助。

黎玉玲(1974—),女,硕士,副教授,主要研究领域为智能信息处理;王秀玲(1973—),女,硕士,副教授,主要研究领域为信号与信息处理;周建明男,博士,主要研究领域为计算机科学。

1 移动群智网机会中继电磁兼容复杂度模型

移动感知终端、感知群、数据服务群和数据通信群可以组成移动群智感知网。其中,移动感知群由具有数据采集、存储、处理和转发功能的感知终端结合数据服务器群组成。移动应用通过智能感知终端的异构传感器片上协同系统控制数据感知过程,又可以通过如图 1 所示的移动感知中继与感知群实现实时可靠通信从而形成数据通信群,并与数据服务群建立机会协作关系。

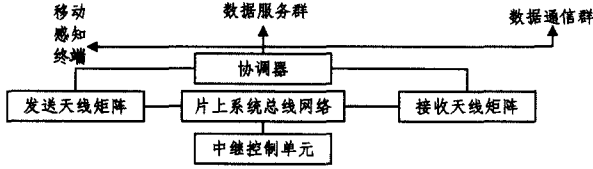


图 1 移动感知中继

移动感知中继的机会协作电磁兼容控制流程如下。

(1)移动感知中继通过协调器与感知终端建立双向通信链路,并将移动应用划分的数据感知与传输进程分布给感知群,通过如式(1)所示的机会方式在感知群中建立任务协作控制驱动的协作进程。

$$\begin{cases} p_{up} = \sum_{i=1}^M \lambda_i \frac{\gamma_i}{M} \sum_{j=1}^K t_j \\ p_{down} = \frac{\sum_{i=1}^K t_j \sum_{i=1}^M \gamma_i}{M} \end{cases} \quad (1)$$

其中, p_{up} 为上行链路信号, p_{down} 为下行链路信号, λ 为每个移动终端机会控制因子, M 为移动感知群规模, γ 为移动中继协作控制驱动权重。

(2)机会中继根据满足移动应用需求的进程资源消耗情况,通过片上系统协作网络进行自身动态调整,为其它感知终端是否参与或激活协作控制进程提供实时依据,如式(2)所示。

$$\begin{cases} s_i = \begin{cases} 0 \\ 1, (R_{SR} > R_{MA}) \cap (CPU_{P_r} > \alpha) \cap (P_{up} > P_{down}) \end{cases} \\ s_i = 1 - \alpha \sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j \\ s_i = \sqrt{\sum_{k=i}^M \gamma_k + \sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j} \\ i=1, 2, 3, \dots, M \end{cases} \quad (2)$$

(3)激活协作控制进程的移动终端和移动机会中继组成动态机会控制网络,为感知群与数据服务群建立可靠信道,既可以平滑协作控制进程高资源消耗造成的节点通信抖动,又可以弱化机会中继对信道资源的占用情况,如式(3)所示。

$$\begin{cases} SNR_{OP} = M \sum_{t \rightarrow \infty} \frac{x_t}{y_t} \\ Jitter = \min\left\{\frac{y_t}{SNR_{OP}} \mid t \rightarrow \infty\right\} \\ R_{RS} = \sum_{i=1}^M \sqrt{\lambda_i \gamma_i} \frac{E[x_t]}{E[y_t]} \end{cases} \quad (3)$$

其中, SNR_{OP} 表示机会控制网络信道, $Jitter$ 表示机会控制网络信号传输抖动, R_{RS} 表示资源利用率, x_t 表示发送信号, y_t 表示接收信号。

(4)当机会控制网络处于高负荷工作状态时,数据通信群成为增大机会中继控制复杂度的核心进程。该进程对机会中

继电磁兼容控制复杂度造成的延迟响应如式(4)所示。

$$D_p = \frac{\sin\left(\frac{3}{4}\pi(x_t - t\gamma)\right)}{\frac{4\alpha\pi}{\lambda} \tan(1 - 4\beta \frac{t}{y_t})} \quad (4)$$

其中, D_p 表示延迟响应, β 为发送信号天线矩阵与接收信号天线矩阵延长线相交后的夹角。

基于式(3),从信道质量、抖动情况和资源利用率等方面综合分析移动群智网机会中继电磁兼容的复杂度,如式(5)所示。

$$\begin{cases} SNR_{OP} = y_t \sin(|\alpha - \beta|) M \sum_{t \rightarrow \infty} \frac{x_t}{t} \\ Jitter = \frac{\min\left\{\frac{y_t}{|h_r|^2} \mid t \rightarrow \infty\right\}}{SNR_{OP}} \\ R_{RS} = \frac{\sum_{i=1}^M \sqrt{\lambda_i \gamma_i} E[x_t]}{\tan(1 - 4\beta \frac{t}{y_t})} \end{cases} \quad (5)$$

因此,移动群智网机会中继电磁兼容控制进程的运算复杂度 OP 和输入输出次数 N_{IO} 可由式(6)计算得到。

$$\begin{cases} OP = x_t N_{signal} \left(\frac{N_{bucket}}{t_{end}}\right) \\ N_{IO} = \frac{\sqrt{\sum_{k=i}^M \gamma_k + \sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j}}{t \sqrt{|\lambda^2 - \gamma^2|}} \end{cases} \quad (6)$$

为了验证上述分析模型精度,根据式(2)、式(5)和式(6)分析移动群智网机会中继电磁兼容控制运算复杂度值,并与实际值进行对比,结果如图 2 所示。可以看出,上述复杂度分析模型的运算复杂度与实际值的最大误差小于 0.5%,因此其可以准确分析控制算法的执行性能。

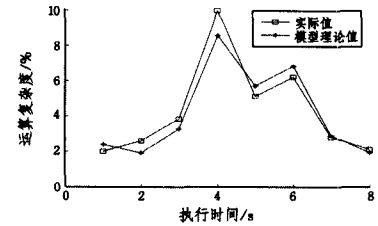


图 2 复杂度模型分析对比

2 基于集群滤波器的协作电磁兼容控制复杂度优化算法

在前文的移动群智网机会中继电磁兼容复杂度模型的基础上,为了进一步优化协作电磁兼容控制复杂度,缩减循环迭代在协作控制中的响应延迟,改善电磁兼容在机会网络中实时通信的健壮性,通过 IIR、FIR 等多类型滤波器集群协作,加入协作电磁兼容控制算法,形成优化复杂度的协作进程。

集群中,IIR 和 FIR 滤波器在时域和频域双向上的函数形式如式(7)所示。时域、频域滤波信号可能产生交叉,为了弱化交叉带来的影响,必须加重协作,因此根据式(8)进行集群组织。

$$\begin{cases} F_{IIR} = \frac{\prod_{i=1}^{N_{IIR}} (a_i - p_{up} z^{-\gamma})}{\prod_{j=1}^{N_{FIR}} b_j p_{down} z^{-\lambda}} \\ F_{FIR} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{FIR}} b_i z^{-\lambda}}{\sum_{j=1}^{N_{IIR}} a_j p_{up} z^{-\gamma}} \end{cases} \quad (7)$$

其中, a 和 b 是用于感应电磁干扰在 IIR 和 FIR 滤波器集群的双向协作控制响应因子, z 是上行和下行双向链路机会控制因子。

$$\begin{cases} C_{filters} |_{z=ab} = \frac{1}{M} \prod_{i=1}^M \sqrt{H_{FIR} H_{IIR}} \\ a = \sum_{i=1}^M \lambda_i \\ b = \rho \sum_{i=1}^M z_i \end{cases} \quad (8)$$

适用于协作电磁兼容控制的集群滤波器机会卷积与编码结构如图 3 所示。在图 3 结构的基础上,从以下几个方面进行复杂度优化:

- (1) 电磁兼容机会信号强度自调谐;
- (2) 移动感知终端设备基于电磁兼容特性的自适应采样和数据处理;
- (3) 集群滤波器的机会卷积效率和延迟响应速度;
- (4) 移动中继机会信号编码后处理与转发;
- (5) 天线矩阵信号发送或接收速率必须与滤波器集群匹配;
- (6) 移动中继内部片上系统协同控制网络所消耗的资源与电磁兼容控制保持一致性。



图 3 集群滤波器结构

基于上述问题,基于集群滤波器的协作电磁兼容控制复杂度优化架构如图 4 所示。协作电磁兼容控制优化算法的频谱特性随频率变化的结果如图 5 所示,图 5 表明该优化算法可以在支持电磁兼容特性的同时与移动中继兼容机会通信和协作控制进程。

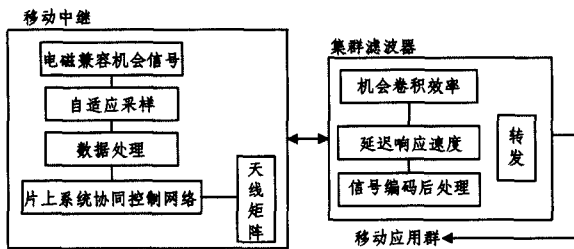


图 4 复杂度优化架构

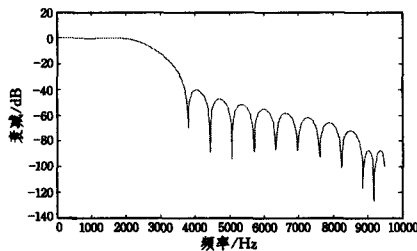


图 5 频谱衰减分析

3 算法性能验证

本文设置了 2 组实验。第一组实验,部署 10 个移动终

端,其中 5 个终端按照概率担任机会中继角色且每次只有 1 个中继终端,统计 CECCF 算法的功耗和中继终端 CPU 占用率情况,参数设置如表 1 所列,实验结果如图 6 和图 7 所示。从图 6 可以看出,随着输出功率的增大,移动中继的功耗明显增大,但输出功率大于 -20dBm 后,功耗开始线性降低,这表明所提出的 CECCF 算法的功耗不会增加移动中继资源的消耗。图 7 表明,CECCF 算法可以显著降低移动中继的电磁兼容协作控制进程的 CPU 占用率,既可以优化算法复杂度又可以改善资源分配与管理情况。

表 1 实验参数

参数	值	参数	值
中继最大功率	26dBm	下行链路损耗	78mW
移动感知终端平均功耗	60mW	上行链路损耗	203mW

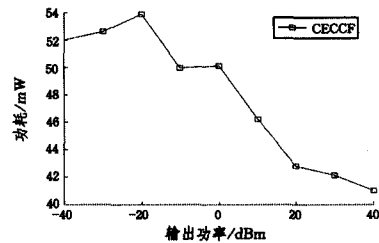


图 6 功耗

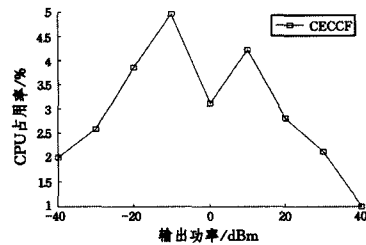


图 7 CPU 占用率

第一组实验证明了 CECCF 算法具有良好的优化效果。在第二组实验中对比具有电磁兼容特性的移动群智网使用 CECCF 优化和未优化时的误比特率,验证获得复杂度优化效果的同时系统的可靠性表现,如图 8 所示。从图 8 可以看出,优化后的移动群智网的误比特率降低了 70% 左右,为数据通信可靠性提供了有效保障。

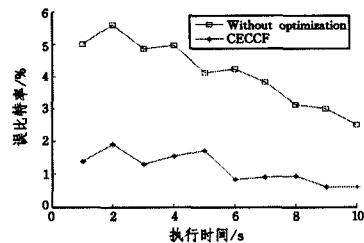


图 8 误比特率

结束语 移动中继在移动群智网机会通信中通过协作电磁兼容控制实现系统执行效率、通信性能和资源消耗等方面的均衡控制与管理,但该算法执行进程的高复杂度以及附加资源消耗等问题亟待优化和解决。因此,本文深入分析了移动群智网的移动感知群、数据处理能力和传输能力,构建了移

(下转第 149 页)

- [11] Zhou Z Y, Liu S J, Wang Z Y, et al. Implementation of a Threshold Encryption Scheme[J]. *Modern Computer*, 2009(11): 41-44(in Chinese)
周振宇,刘少军,王子燕,等.一种门限加密方案的实现[J]. *现代计算机(专业版)*, 2009(11): 41-44
- [12] Xu M, Cao J N, Peng W. Mobile computing technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008: 12-13(in Chinese)
徐明,曹建农,彭伟. *移动计算技术*[M]. 北京:清华大学出版社, 2008: 12-13
- [13] Pu Y Y, Pei Q J, Li H Y. Exploiting the Performance-Energy Tradeoffs for Mobile Datab[J]. *Journal of Universal Computer Science*, 2014, 20(20): 1488-1498
- [14] Lan Li-na, Mao Jing-li, Gou Xue-rong. A Novel Lightweight

Main Memory Database for Telecom Network Performance Management System[J]. *Journal of Networks*, 2012, 7(4): 667-674

- [15] Quan Y, He M. Application and implementation of servers load balance[J]. *Microcomputer Applications*, 2006, 27(4): 433-435 (in Chinese)
全宇,何苗. 服务器负载均衡的应用与实现[J]. *微计算机应用*, 2006, 27(4): 433-435
- [16] Cheng B. Design and Implementation of Load Balancing Scheduling System[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011(in Chinese)
程斌. 负载均衡调度系统的设计与实现[D]. 武汉:华中科技大学, 2011

(上接第 117 页)

动群智网机会中继电磁兼容复杂度模型并验证了该模型的可行性。然后,在移动机会中继上通过协作组建了集群 IIR、FIR 滤波器,设计了协作电磁兼容控制算法。最后,在此基础上,基于集群滤波器提出了优化协作电磁兼容控制复杂度算法。实验结果表明,所提算法在优化协作电磁兼容机会移动中继功耗和 CPU 占用率及复杂度等方面具有良好表现,具有降低资源消耗和提高通信可靠性的能力。

参 考 文 献

- [1] Zhang Xiang-ming, Zhao Zhi-hua, Guo Fei, et al. Electromagnetic Interference Analysis and Its Suppression of EMC Testing System[J]. *Transactions of China Electrotechnical Society*, 2010, 25(10): 14-19(in Chinese)
张向明,赵治华,郭飞,等. 电磁兼容测试系统电磁干扰问题分析与解决[J]. *电工技术学报*, 2010, 25(10): 14-19
- [2] Jiang Long, Xia Guang-qiong, Wu Jia-gui, et al. Optimization Analysis on Complex Degree of Optical Chaos in a Semiconductor Laser with Double Optical Feedback[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2012, 39(12): 1-5(in Chinese)
蒋龙,夏光琼,吴加贵,等. 双光反馈半导体激光混沌高复杂度优化分析[J]. *中国激光*, 2012, 39(12): 1-5
- [3] Lallechere S, Bonnet P, Paladian F. Electrical stochastic modeling of cell for bio-electromagnetic compatibility applications [J]. *Annals of Telecommunications-Annales Des Telecommunications*, 2014, 69(5/6): 295-308
- [4] Perumalraj R, Narayanan K S. Nano silver conductive composite material for electromagnetic compatibility[J]. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2014, 33(11): 1000-1016
- [5] Miyata S, Yamaoka K, Kinoshita H. Optimal Threshold Configuration Methods for Flow Admission Control with Cooperative Users[J]. *IEICE Transactions on Communications*, 2014, 97(12): 2706-2719
- [6] Giannini A, Pelorossi F, Pasian M, et al. The Sardinia Radio Telescope Upgrade to Telemetry, Tracking and Command; Beam Squint and Electromagnetic Compatibility Design[J]. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 2015, 57(1): 177-191
- [7] Barzegaran M R, Nejadpak A, Mohammed O A. Physics-Based Modeling of Power Converter Drive System for Evaluation of Electromagnetic Compatibility [J]. *Applied Computational Elec-*

tromagnetics Society Journal, 2015, 30(6): 660-669

- [8] Tian Jin, Xie Yong-jun, Xin Hong-quan, et al. A Synthetical EMC Evaluation Method for a Complicated System Based on a Novel TOPSIS Approach[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2013, 41(1): 105-109(in Chinese)
田锦,谢拥军,辛红全,等. 复杂系统电磁兼容评估的改进 TOPSIS 方法[J]. *电子学报*, 2013, 41(1): 105-109
- [9] Xi He-xun, Tang Guang-fu, Cao Jun-zheng, et al. Research Progress of Electromagnetic Field and Electromagnetic Compatibility of UHVDC Converter Valves[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2012, 32(22): 1-7(in Chinese)
习贺勋,汤广福,曹均正,等. 特高压直流换流阀电磁场与电磁兼容研究进展[J]. *中国电机工程学报*, 2012, 32(22): 1-7
- [10] Wang W, Wang D, Peng Z H. Cooperative fuzzy adaptive output feedback control for synchronisation of nonlinear multi-agent systems under directed graphs[J]. *International Journal of Systems Science*, 2015, 46(16): 2982-2995
- [11] Feng Wen-jiang, Jiang Wei-heng, Deng Yi-na, et al. Joint power control for untrusted relay cooperation-based confidential communication[J]. *Journal on Communications*, 2014, 35(11): 59-80(in Chinese)
冯文江,蒋卫恒,邓艺娜,等. 基于非信任中继协作的保密通信联合功率控制[J]. *通信学报*, 2014, 35(11): 59-80
- [12] Ou Jing-lan, Wu Hao-wei, Zou Yu-tao, et al. Opportunistic Two-Way Relay Selection Scheme with Outdated Channel State Information[J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2014, 37(6): 44-48(in Chinese)
欧静兰,吴皓威,邹玉涛,等. 过时信道状态下机会双向中继选择算法[J]. *北京邮电大学学报*, 2014, 37(6): 44-48
- [13] Jia Jian-bin, Chen Ying-wen, Xu Ming. Prediction Based Relay Selection Method in Opportunistic Vehicular Networks [J]. *Journal of Software*, 2015, 26(7): 1730-1741(in Chinese)
贾建斌,陈颖文,徐明. 基于预测的机会车载网络中继选择策略研究[J]. *软件学报*, 2015, 26(7): 1730-1741
- [14] Liao Dai-hui, Cheng Ai-guo, Zhong Zhi-hua. Study on Optimization for Automobile Safety and Lightweight Based on Variable Complexity Approximate Model [J]. *China Mechanical Engineering*, 2013, 24(15): 2118-2121(in Chinese)
廖代辉,成艾国,钟志华. 基于变复杂度近似模型的汽车安全性和轻量化优化[J]. *中国机械工程*, 2013, 24(15): 2118-2121