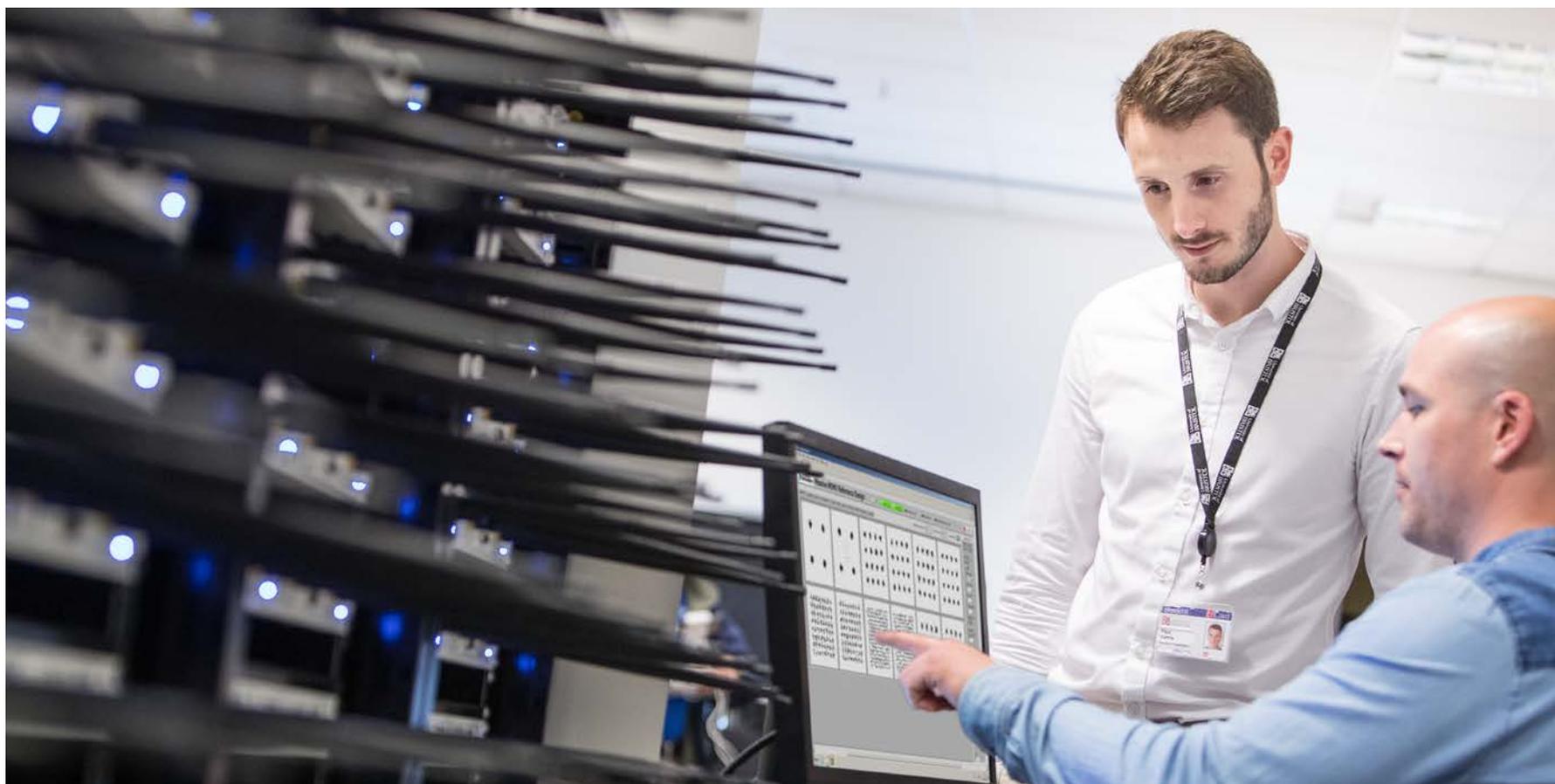


无线研究手册：第3版

使用软件无线电构建5G无线网络和系统





JAMES KIMERY | NI SDR和无线研究营销总监

NI软件无线电解决方案集成了硬件和软件,可帮助科学家和工程师快速构建高性能无线系统。NI与世界各地的研究人员展开合作,推进了无线研究的发展,这些应用案例非常振奋人心,让人深受启发。本手册精选了一些令人耳目一新的案例,旨在介绍研究人员如何将创新的无线研究观点转变成真正可运行的原型。

我要感谢来自世界各地的所有NI领先用户不断激励我们开发和完善我们的平台——是你们不断突破,勇攀新高峰,最终帮助更多的研究人员更快速地创新!

有关这些应用案例和加速创新方法的更多信息,请随时联系我,更多信息还可查看ni.com/sdr。

james.kimery@ni.com

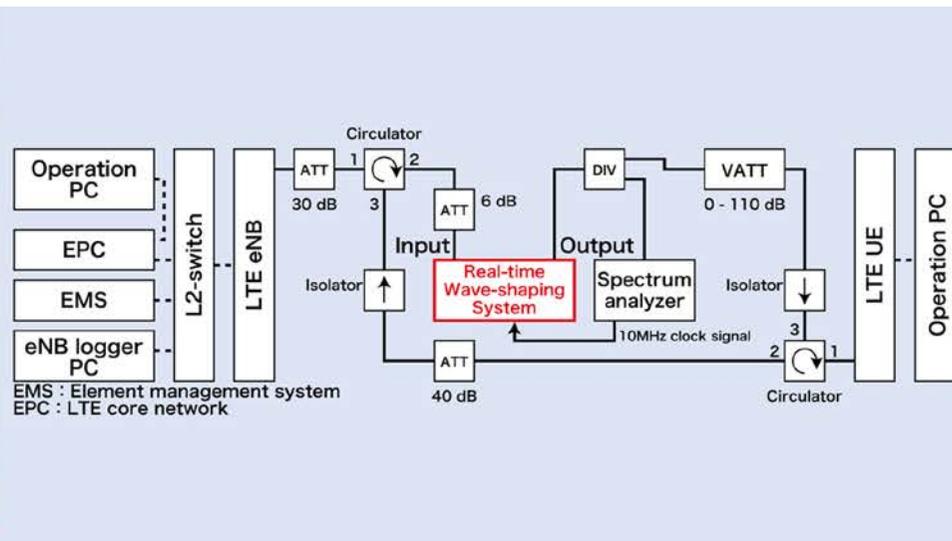
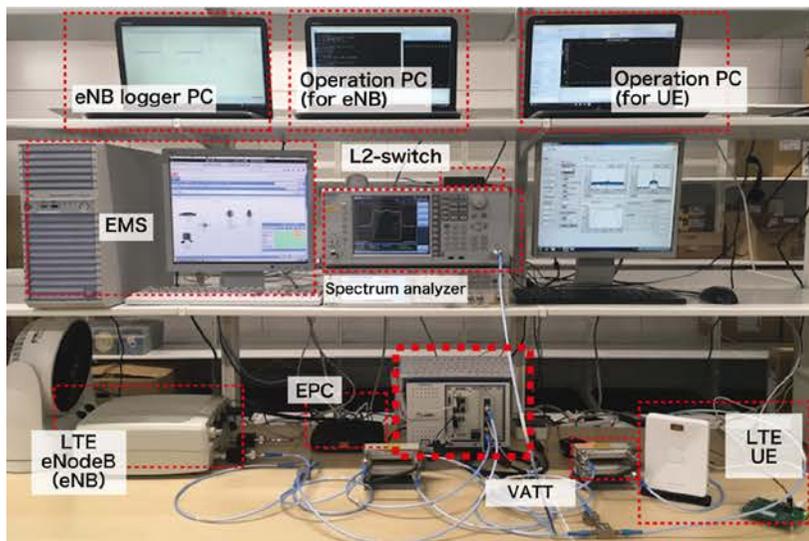
关于SDR和无线研究团队

为了实现从理论到原型的快速过渡,NI建立了领先用户计划,旨在加速控制、机电一体化、机器人和无线通信方面的下一代研究。无线通信领先用户计划成立于2010年,囊括众多研究高级无线系统概念的研究机构。世界各地的许多研究人员正在基于领先用户计划完成的基础工作进行标准化和商业化,为推进无线技术的发展做出重大贡献。

目录

关于SDR和无线研究团队.....	2
PHY/MAC层研究	
针对5G及未来应用的基于UTW-OFDM的灵活波形方案.....	4
针对混合服务场景的灵活实时波形发生器.....	6
NI全双工软件无线电方案(具有MAC层冲突检测功能).....	8
带宽压缩的高频谱效率通信系统.....	10
大规模MIMO	
世界领先的并行信道探测仪平台方案.....	12
分布式大规模MIMO:TDD互易校准算法.....	14
设备到设备通信	
基于宽带/机会传输的全双工无线电.....	16
5G D2D通信实验SDR平台.....	18
雷达	
基于雷达应用的宽带多通道信号系统.....	20
无源和有源雷达成像系统.....	22
测向	
基于多天线技术的可靠无线通信系统.....	24
物联网	
基于工业物联网未来工厂的无线电传播分析系统.....	26
软件通信资源共享中心.....	28





针对5G及未来应用的基于UTW-OFDM的灵活波形方案

缓解从4G系统到5G及未来系统的过渡

京都大学通信与计算机工程系, 数字通信实验室



KYOTO UNIVERSITY

www.dco.cce.i.kyoto-u.ac.jp/en/

阅读完整的应用案例

用户资料



Keiichi Mizutani博士是京都大学信息学研究生院的助理教授。他于2012年获得东京工业大学电气和电气工程博士学位。Mizutani研究的领域是5G及未来系统中的物理层技术、白空间通信、动态频谱接入和无线智能公用事业网络。他还参与了IEEE 802的标准化活动。



Takeshi Matsumura博士是京都大学信息学研究生院的副教授，也是国家信息通信技术研究所(NICT)无线系统实验室的高级研究员。他于2010年获得东北大学的纳米力学工程博士学位。Matsumura的研究兴趣包括白色空间通信、无线广域网和5G移动通信。



Hiroshi Harada博士是京都大学信息学研究生院教授，也是NICT社会ICT研究中心的执行研究主任。他研究的领域包括软件无线电、认知无线电、动态频谱接入、无线智能公用事业网络和宽带无线接入系统。Matsumura是Dynamic Spectrum、Wi-SUN和WhiteSpace联盟的董事会成员，也是《移动通信仿真和软件无线电》(Simulation and Software Radio for Mobile Communications)的作者。



挑战

我们需要开发一个综合评估系统,在实际LTE系统中实现我们提出的通用时域窗口OFDM (UTW-OFDM),以证明其可行性和实用性。实现UTW-OFDM需要修改和/或定制调制解调器IC,这不仅昂贵而且耗时。此外,我们在评估期间需要针对各种条件优化参数,而基于IC的方法限制了实验评估的灵活性。

解决方案

我们使用现成NI LTE应用框架开发了图2所示的实时波形整形系统。使用该系统,我们成功地演示了世界上第一个基于UTW-OFDM的LTE系统。我们提出的UTW-OFDM可以在通道边缘将OOBE降低约20 dB,而不会降低吞吐量。我们的结果还表明,UTW-OFDM与传统的CP-OFDM高度兼容,因为我们在不修改接收器的情况下建立了通信链路。总而言之,我们提出的UTW-OFDM可以帮助4G系统平稳过渡到5G及未来系统。

实时波形整形系统包含RF收发器单元、基带信号处理单元和控制单元,该系统可以使用NI平台和解决方案轻松设计和实现。我们将图形化系统设计工具LabVIEW软件与FlexRIO硬件相结合,构建了一个系统性的软件无线电开发平台。我们的开发成本降低了90%以上,开发期仅为3个月。

下一步

我们正在使用衰落仿真仪来模拟真实的通信环境,以评估系统性能。接下来我们会将天线连接到基于UTW OFDM的LTE系统,进行现场实验,发射无线电波。

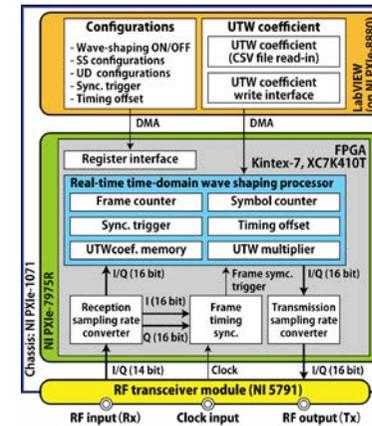


图1.实时波形整形系统的框图

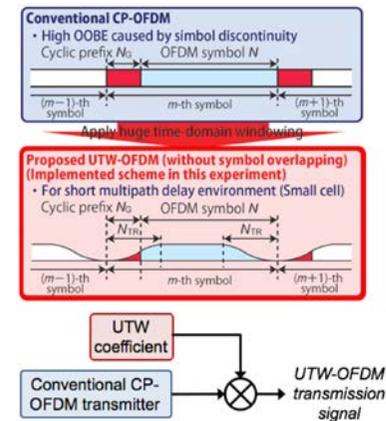


图2.我们提议的UTW-OFDM传输信号的生成

“由于NI平台集成了软件和硬件解决方案,我们成功开发了一种仿真系统,即使在大学实验室也能以合理的成本开发出实时波形整形。我们演示了我们提出的基于LTE系统的UTW-OFDM。这一成就证明,输入信号处理技术的实时仿真不再是梦想,而变成了现实。”

Hiroshi Harada博士,京都大学



针对混合服务场景的灵活实时波形发生器

为动态可重构波形生成提供统一的FPGA实现

Martin Danneberg; Ahmad Nimr; Maximilian Matthe; Shahab Ehsan Far; Ana-Belen Martinez; 林志涛; Gerhard Fettweis
博士, Vodafone Chair for Mobile Communications Systems, 德累斯顿工业大学电气工程与信息技术学院



owl.ifn.et.tu-dresden.de/GFDM

阅读完整的应用案例

用户资料



Martin Danneberg于2013年获得德累斯顿工业大学电气工程硕士学位。自2013年9月起,他负责领导欧盟项目CREW、eWINE和ORCA的研究活动,成为沃达丰项目的成员。他的专业兴趣包括未来通信系统的非正交波形,尤其是基于FPGA的灵活多载波调制原型开发。



Gerhard P. Fettweis教授于1990年获得亚琛工业大学博士学位。自1994年以来,他一直担任德累斯顿工业大学沃达丰项目的首席教授,来自亚洲、欧洲和美国的20家公司赞助他的无线传输研究和芯片设计。在德累斯顿工业大学,他已经分拆了11家初创公司,并设立了资助项目,产生了近5亿欧元的效益。



挑战

在未许可频段, 由于多个无线电技术共享一个频率资源, 难免会发生跨技术干扰, 从而影响无线网络的正常运行。但是, 要连接所有应用, 必须在工业应用中支持各种技术。解决这些挑战的一个步骤是使用统一的灵活物理层 (PHY) 芯片组, 并将其与多个芯片组连接, 以将不同的无线节点相互连接。由于使用的是单个灵活芯片组, 因此其信号处理参数必须能够快速进行重新配置, 才能模拟不同的无线电接入技术。

解决方案

德累斯顿工业大学沃达丰移动通信系统集团使用NI快速原型SDR工具和LabVIEW通信系统设计套件, 开发基于实时FPGA处理的灵活PHY发送器。该原型支持各种系统的波形生成, 如WiFi、蓝牙和ZigBee、LTE和5G。此外, 该方案在运行时可配置, 这意味着帧与帧之间的结构可以任意改变而不会导致正在进行的传输发生延迟。在不同波形之间切换时, 如果要最佳地使用可用时频资源, 需要在时间和频率上对齐不同服务, 而且不能有延迟, 因此这种灵活性是必不可少的。

下一步

我们将验证实际应用中的实现, 例如在流式传输和低延迟服务之间无缝切换。此外, 我们将统一FPGA接口实现来简化主机端配置。

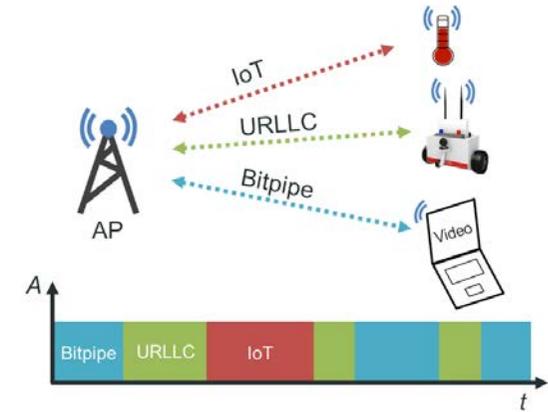


图1. 灵活的PHY发射器服务

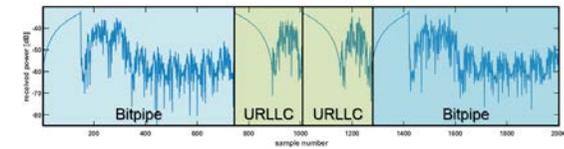


图2. Bitpipe和URLLC的发射信号

“该原型支持各种系统的波形生成, 如WiFi、蓝牙和ZigBee、LTE和5G。此外, 该方案在运行时可配置, 这意味着帧与帧之间的结构可以任意改变而不会导致正在进行的传输发生延迟。”-

Martin Danneberg, Gerhard Fettweis, 德累斯顿工业大学



M全双工软件定义无线电方案 (具有MAC层冲突检测功能)



www.esat.kuleuven.be/telemic/research/NetworkedSystems

阅读完整的应用案例

Sofie Pollin博士, 教授; Tom Vermeulen博士, 解决方案工程师; Seyed Ali Hassani, 博士研究生, Networked Systems Group, KU Leuven

用户资料



Tom Vermeulen博士获得了比利时鲁汶大学的电子工程学士和硕士学位。他在网络系统组Sofie Pollin博士的指导下研究带内全双工SDR。2016年,他作为加州大学洛杉矶分校的访问学者,主要研究同步传输和冲突检测。他于2017年获得了博士学位,并加入Proximus。



Seyed Ali Hassani于2008年获得伊朗阿拉克Arak Azad大学的电气工程学士学位。随后,他参加工作,担任研发工程师,获得相应的专业经验。Hassani于2016年获得芬兰坦佩雷理工大学信息技术/信号处理硕士学位。他现在是鲁汶大学的在读博士,专注于研究车辆网络。



Sofie Pollin博士于2006年获得鲁汶大学的博士学位。2008年,她回到imec成为绿色无线电团队的首席科学家。2012年,她成为KU Leuven电气工程系的助理教授。Pollin主要研究更密集、异构、电池供电且频谱受限的网络锡系统。



挑战

由于过去一年中无线设备的数量迅速增加，因此需要超高效的协议来公平有效地共享频谱。无线网络还必须满足延迟约束并尽可能降低能耗。

解决方案

我们利用带内全双工无线电的双向能力来检测信号冲突和干扰。一旦确定MAC帧错误，就会中止帧传输，从而节省频谱和能源。一般来说，全双工技术可使无线电在同一信道中同时发送和接收。我们可以使用这一listen-while-transmit功能，在传输时对信道进行评估。在本案例研究中，我们基于对接收信号的统计评估开发了实时冲突检测器。我们具有冲突检测功能的全双工载波侦听多路访问 (FD CSMA/CD) MAC 可以将网络吞吐量提高五倍，并将能耗降低50%，这一点我们在2016年IEEE消费者通信网络会议上的“密集网络的带内全双工冲突和干扰检测性能分析”也进行介绍。在原型验证方面，我们使用NI USRP设备和LabVIEW通信系统设计套件来加速原型开发。

下一步

我们正在研究如何使用深度学习来提高冲突检测器的灵敏度。我们希望对具有五个全双工节点的网络进行实验，以支持室外场景。

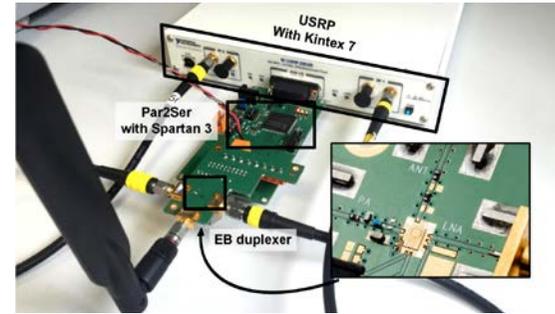


图1.全双工SDR设备集成了来自imec的模拟干扰消除解决方案

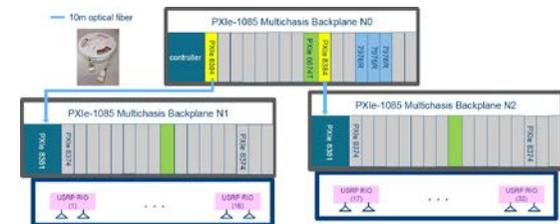


图2.使用LabVIEW通信系统设计套件开发的原型

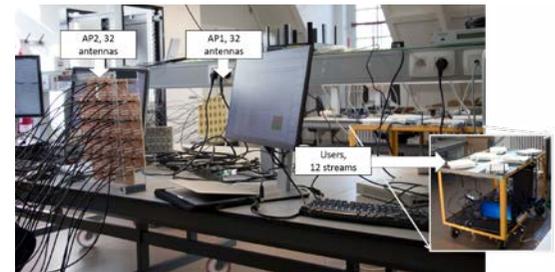
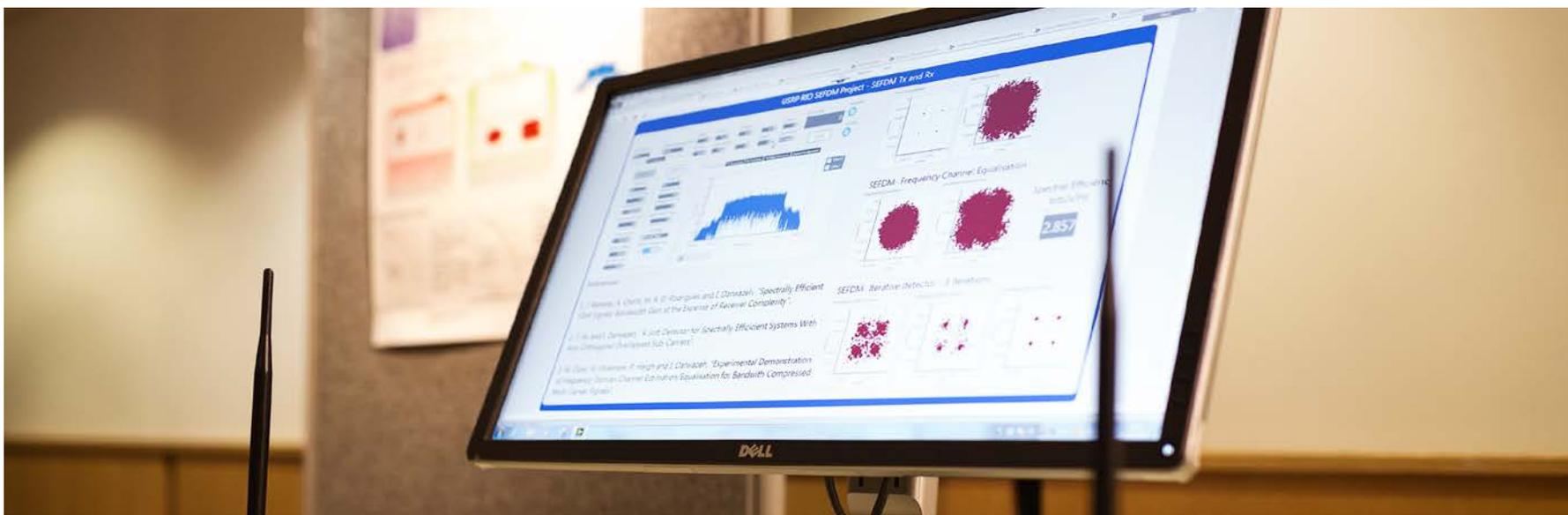


图3.使用全新的冲突检测方法，网络吞吐量增加了2倍以上。

“鲁汶大学是最早开发带内全双工测试平台的研究机构之一。除了利用这项技术让链路吞吐量翻倍外，研究人员还致力于提高无线网络的可靠性。”

Sofie Pollin博士, 鲁汶大学网络系统组





带宽压缩的高频谱效率通信系统

针对高频谱效率频分复用 (SEFDM) 信号的软件无线电设计和无线传输

Waseem Ozan, Ryan Grammenos博士, Hedaia Ghannam博士, Paul Anthony Haigh博士, Tongyang Xu博士和Izzat Darwazeh教授, 伦敦大学电子与电气工程系通信与连接系统研究所



www.ucl.ac.uk/iccs/
www.ee.ucl.ac.uk

阅读完整的应用案例

用户资料



Waseem Ozan于2015年获得伦敦大学学院 (UCL) 电子与电气工程系的无线与光学通信硕士学位。他于2016年1月重新进入伦敦大学学院, 作为伦敦大学学院资助的博士生, 主要研究由伦敦大学学院和普林斯顿大学联合开发的新信号制式。



Ryan Grammenos博士是伦敦大学学院电子与电气工程系的高级教学研究员。他于2013年毕业于伦敦大学学院, 获得工程博士学位, 专注于新型通信收发器的数学建模和硬件实现。Grammenos的研究兴趣是通信、软件无线电和物联网的信号处理。



Izzat Darwazeh教授是通信工程系系主任, 也是伦敦大学学院通信与连接系统研究所所长。他从事通信电路和系统的教学和研究已有三十多年, 并在这些领域发表了大量文章。他担任了全球许多行业、政府和法律组织的顾问。



挑战

根据物联网 (IoT) 愿景, 不久将会由数十亿设备连接到互联网。这意味着5G必须高效利用无线频谱。高频谱效率频分复用 (SEFDM) 可通过压缩带宽来更好地利用频谱, 但代价是干扰增加。高频谱效率频分复用 (SEFDM) 可通过压缩带宽来更好地利用频谱, 但代价是干扰增加。我们面临的挑战是在常用的平台上创建一个实时测试平台, 以便对SEFDM进行广泛的研究。

解决方案

我们演示了世界上第一个基于USRP RIO和LabVIEW通信系统设计套件的实时SEFDM系统。该系统的主要创新在于部署了一种新颖的实时信道估计和均衡算法, 并结合了实时迭代检测器。与当前通信系统中使用的多载波信号相比, 我们的系统可将传输信号带宽压缩高达60%, 从而显著节省带宽。通过使用各种调制方式, 该系统对5G场景中进行测试。我们使用了两个USRP设备, 一个用于发射器, 另一个用于接收器。我们使用LabVIEW对发射器和接收器进行编程, 然后直接对FPGA进行编程, 以提高速度和灵活性。我们使用天线实现了无线测试, 并使用信道仿真器完成了更苛刻的测试。

下一步

构建多天线系统, 提高带宽以在更高的频率 (mmWave) 下进行传输, 并将其部署到具有多媒体信号的真实场景。这样我们就能够将系统与现有的无线标准系统进行比较, 并展示其优势。

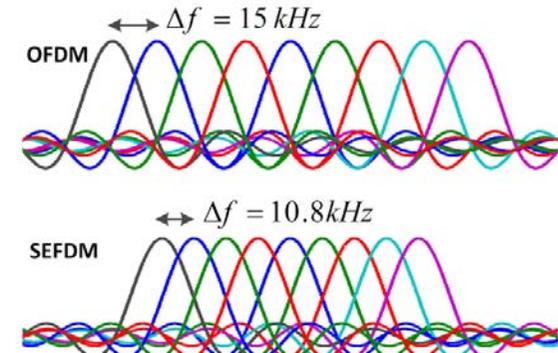


图1.在较小带宽内压缩OFDM数据

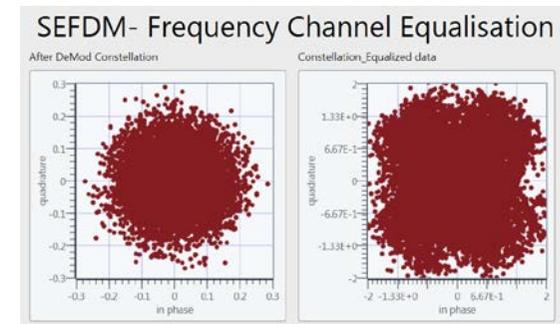


图2.通道均衡之前和之后的符号解码

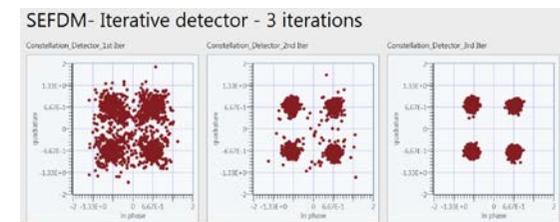


图3.迭代检测后的符号解码

“十多年来, 我们一直在开发SEFDM通信系统。USRP设备的灵活性和易用性以及和NI的合作使我们能够在现实环境中研究SEFDM并展示世界上第一个空中传输。我们的设计和软件可提供给NI用户进行试验, 希望他们能基于这些信号进行创新。”

Izzat Darwazeh教授, 伦敦大学荷兰通信与连接系统研究所所长, 英国伦敦



世界领先的并行信道探测仪平台方案

利用NI PXI模块化仪器和后期处理软件, 构建基于CDMA方法的64x64 MIMO并行信道探测硬件

王浩文和杨旸博士, 上海无线通信研究中心



www.wise.sh
www.sim.ac.cn

用户资料



王浩文是上海无线通信研究中心(WiCO)的高级工程师。他获得了上海复旦大学的计算机和软件学士和硕士学位。作为一名LabVIEW Champion, 他拥有超过13年的LabVIEW开发经验。他的研究兴趣包括RF数据采集、信道测量以及验证和测试解决方案。



桂云松是上海微系统与信息技术研究院(中国科学院)的高级系统工程师。他曾在华为担任高级基带算法工程师多年。他在无线通信系统设计方面拥有15年的经验。近年来, 他的研究主要集中在SDR平台设计5G通信演示系统。

挑战

随着发射和接收天线数量的增加,我们必须捕获动态信道特性并开发真实的信道模型,以在未来的无线网络中实现频谱和能效设计 (SEED) 目标。这项艰巨的任务包括:

- 多通道皮秒级同步
- 实时存储多个原始测量数据通道
- 高速并行校准方法,以补偿非理想的通道响应
- 基于混叠MIMO信道信号的高精度信道参数估计

解决方案

我们使用NI产品开发了针对低于6 GHz频谱和毫米波的并行信道探测器平台。该平台支持8x8路径,且可扩展至64x64,在低于6 GHz频段下支持200 MHz/ch带宽,在毫米波频段下支持2x2和2 GHz/ch带宽。我们的平台通过以下方法解决了上述挑战:

- **皮秒级同步** - 为了实现准确的AoA/DoA估计,我们设计了一种同步方法,将所有TX/RX通道之间的偏差限制在大约30 ps的参考值,如NI-TCIik技术。
- **51.2 Gbps并行数据流** - 我们基于DMA-FIFO的数据流方法可以利用背板总线的巨大带宽,并使用零拷贝技术通过避免额外的拷贝和状态转换来有效地减少延迟。
- **高速校准方法** - 与传统方法不同,我们的MIMO校准可以通过MIMO耦合器发送PN序列来快速实现MIMO RF信道的响应, MIMO耦合器的频率响只需在接收器端分离时进行一次测量即可。
- www.wise.sh - 我们建立了一个在线共享开放式信道测量数据库来方便研究。该数据库包含了并行信道探测器平台测量的所有数据。

下一步

在软件方面,我们将通过比较测量结果和射线追踪软件来完成估计结果的验证。在探测器平台方面,对于低于6GHz的频段,我们将系统扩展到64x64通道,而在毫米波频段,我们将系统扩展为110 GHz信道探测器。



图1. MIMO并行信道探测器平台

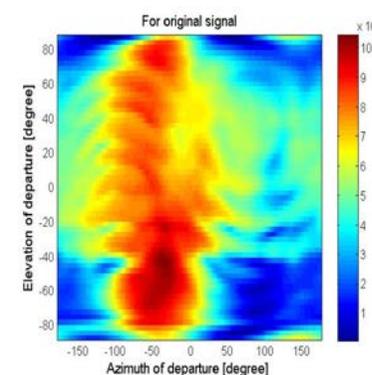
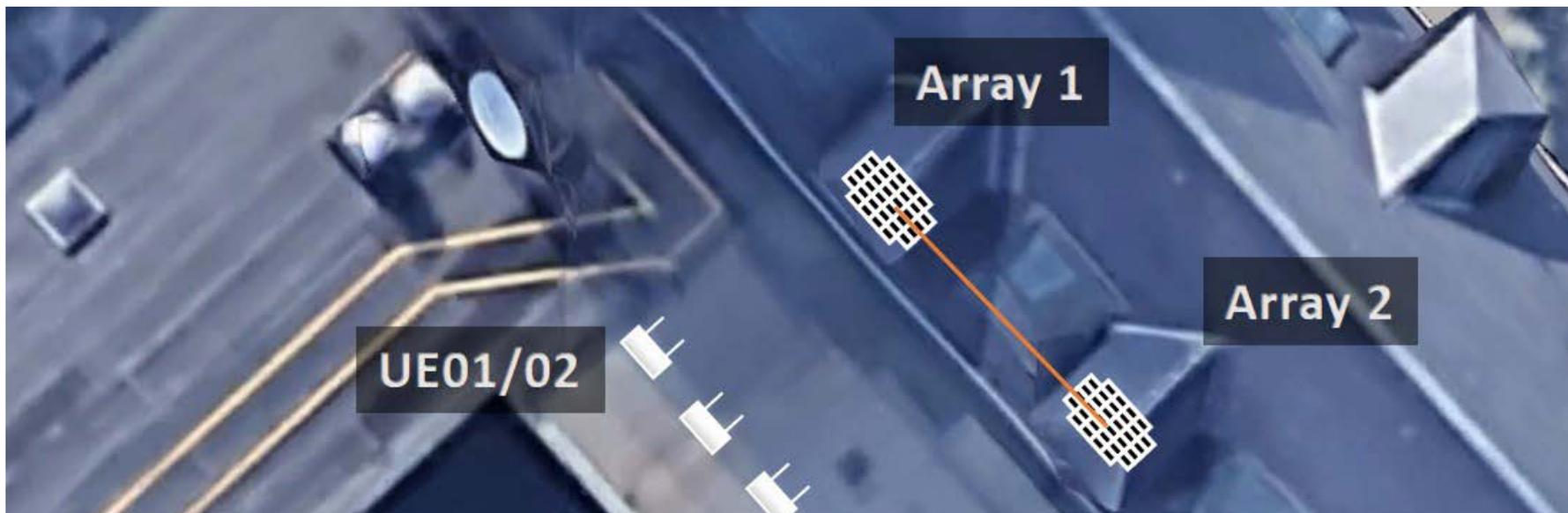


图2.空间域并行SAGE算法的校准验证



分布式大规模MIMO:TDD互易校准算法

Liesbet Van der Perre, Guy A. E. Vandenbosch和Sofie Pollin, 教授;陈成明和Andrea P. Guevara, 博士研究生;Vladimir Volskiy, 博士后研究员, 鲁汶大学网络系统组



www.esat.kuleuven.be/telemic/research/NetworkedSystems

阅读完整的应用案例

用户资料



陈成明于2006年获得国立台湾大学GICE的硕士学位。他曾在ITRI担任WiMAX和LTE基带设计工程师,在BRCM担任高级系统设计工程师,主要负责Wi-Fi接收器性能验证。他是鲁汶大学的在读博士生,专注于使用NI测试平台研究分布式大规模MIMO的实际传播特性。



Sofie Pollin博士于2006年获得鲁汶大学的博士学位。2008年,她回到imec成为绿色无线电团队的首席科学家。2012年,她成为KU Leuven电气工程的助理教授。Pollin主要研究更密集、异构、电池供电且频谱受限的网络锡系统。

挑战

我们需要一个大型大规模MIMO信道模型。我们知道分布式大规模MIMO可以更有效地利用分集,并且可能提供更高的覆盖概率,但我们仍然面临回程、同步和时分双工(TDD)互易性校准等挑战。我们的工作重点是开发一种算法来改善均匀分布的并置阵列的TDD互易性校准。

解决方案

我们使用NI USRP RIO、LabVIEW通信系统设计套件和MIMO应用程序框架,通过10米光缆将两个32天线测试台连接到主机箱,构成了一个分布式系统。我们可以使用基于层次的校准方法来解决子阵列内部的信道增益和子阵列之间的信道增益之间存在超高动态范围的问题。为了在集群间校准期间增加分集和阵列增益,我们可以应用最大比率组合和最大比率传输。因此,与传统方法不同,我们可以在集群间校准期间一次性采集所有多输入单输出(MISO)增益,并使用分布式天线阵列来帮助消除Linux和NLoS场景中位置靠近的用户之间的相关性。

下一步

我们希望使用两个共享频谱的小区来模拟导频污染的影响。基于信道特性,我们可以有效地在两个虚拟小区中分配导频并减少导频污染。我们还可以通过修改框架结构来减少导频污染。借助这个虚拟双小区测试平台,我们可以评估真实应用中的性能。

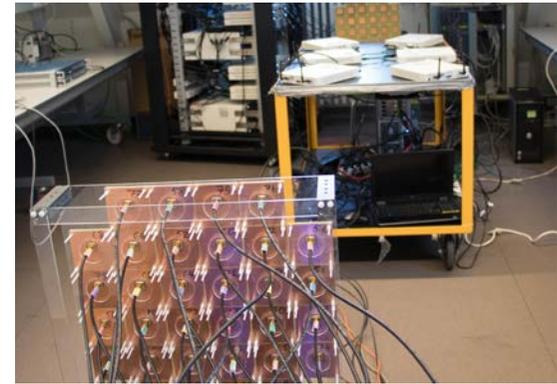


图1.使用分布式大规模MIMO研究位置邻近的用户的室内信道特性

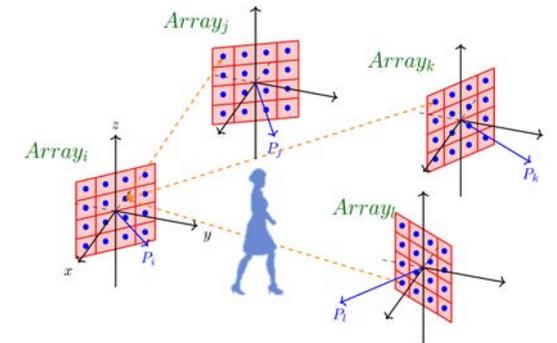
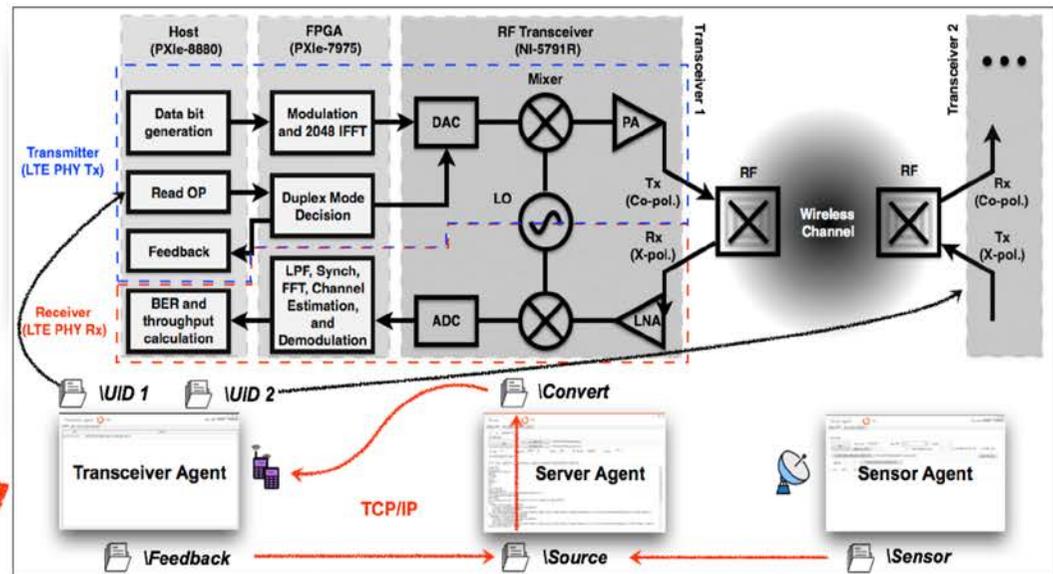
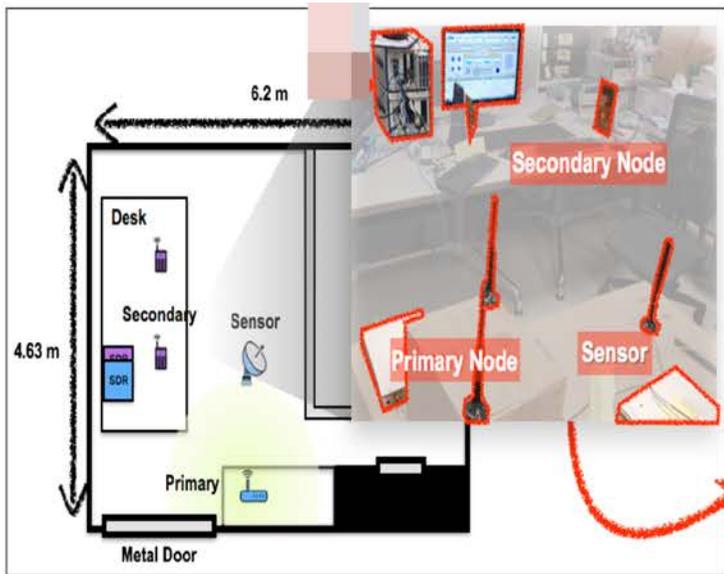


图2.分布式大规模MIMO TDD互易性校准:小区内和小区间的衰落、阴影和增益差异

“鲁汶大学是第一个开发出真实大规模MIMO测试平台的研究机构。基于该平台,研究人员能够使用分布式系统来提高系统容量,从而挖掘宏分集增益所带来的潜力。”

— Sofie Pollin博士,鲁汶大学网络系统组



基于宽带/机会传输的全双工无线电

在网络共享中使用基于频谱/空间感应的宽带全双工无线电和基于机会传输的灵活混合双工系统

Soo-Min Kim, Seong-Lyun Kim博士和Chan-Byoung Chae博士, 韩国延世大学



www.cbchae.org

阅读完整的应用案例

用户资料



Soo-Min Kim是韩国首尔延世大学的博士生。他的研究兴趣是原型算法和下一代无线通信网络的实时软件无线电架构。Kim获得了韩国科学资讯通信技术和未来规划部(Ministry of Science, ICT and Future Planning, MSIP)的全额奖学金。



Seong-Lyun Kim博士是延世大学电气与工程学院的无线网络教授。他负责管理无线电资源管理和优化实验室以及灵活无线电中心。他是瑞典斯德哥尔摩皇家技术研究所信号、传感器和系统部无线电通信系统的助理教授。



Chan-Byoung Chae博士是延世大学的“安德伍德杰出教授”。他于2017年担任斯坦福大学客座副教授。在加入延世之前，他于2009年至2011年就职于阿尔卡特朗讯贝尔实验室。他于2008年获得德克萨斯大学奥斯汀分校电子和计算机工程专业的博士学位，并于2008年至2009年获得哈佛博士后研究员资格。



*此案例与延世大学的Seong-Lyun Kim博士共同编写。

挑战

我们试图通过消除自干扰、优化导频模式和同步以及基于机会传输 (OP MAP) 定义正确的决策来缓解频谱危机。

解决方案

我们在传感器辅助认知无线网络中首次实现了基于OP MAP的灵活混合双工系统, 最大限度提高了系统吞吐量和频谱效率。该系统使用LabVIEW Communications LTE应用程序框架实现基于LTE的全双工和半双工无线电, 提供了基于随机几何的OP MAP计算。

系统场景

该系统具有传感器辅助模式, 专门用于基于设备到设备 (D2D) 通信的物联网 (IoT) 应用。我们可以使用全双工技术来实现更高效的网络共享。我们还可以在室内进行测试平台实验, 并对室外场景进行网络模拟。该系统使用一种基于传感器的机会算法和随机MAC决策。

系统架构

系统架构旨在检测传感器位置的干扰电平。它将感测数据库转换为OP MAP以确定是否发送信号, 并将服务器的OP MAP分配给辅助节点, 以允许混合双工无线电 (全双工、半双工和静音模式) 操作。

下一步

现在我们正在扩展算法, 提高解决方案的实用性, 以期能够使用全双工无线电管理多个用户。此外, 我们将其应用于宽带场景, 以实现高系统吞吐量, 并通过与3D射线跟踪软件进行比较来验证结果。

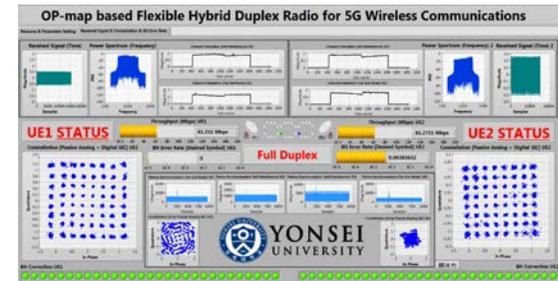


图1.我们提议的平台的框图



图2. 2017年12月在新加坡IEEE Globecom上进行实时演示

“延世大学于2012年开始对实现方案进行研究, 现在我们积极致力于多个主题, 如全双工无线电、波形生成、基于镜头天线的mmWave平台和基于机器学习的5G/6G系统。我们相信我们基于NI平台所进行的工作将可以改变5G/6G世界。”

— Soo-Min Kim和Chan-Byoung Chae博士, 延世大学



5G D2D通信实验SDR平台

Max Engelhardt博士, Arash Asadi博士, 达姆施塔特工业大学



seemoo.tu-darmstadt.de

阅读完整的应用案例

用户资料



Max Engelhardt拥有德国达姆施塔特工业大学IT安全专业的硕士学位,目前在安全移动网络实验室 (SEEMOO) 担任学生助理。目前在安全移动网络实验室 (SEEMOO) 担任学生助理。他的研究兴趣包括无线网络安全、5G小区网络、设备到设备 (D2D) 通信技术和软件无线电 (SDR) 原型验证。



Arash Asadi博士于2016年获得马德里卡洛斯三世大学 (UC3M) 的远程信息处理工程博士学位。他于2016年3月加入了达姆施塔特工业大学的SEEMOO,担任博士后研究员。他的研究兴趣包括5G蜂窝网络、毫米波通信、D2D通信技术和SDR原型。

挑战

经证明, D2D通信可以显著提高蜂窝网络的频谱和能量效率, 因此被认为是即将到来的5G网络的关键特征。尽管对该主题的研究兴趣日益增加, 但学术界仍然缺乏关键的工具来评估和进一步探索D2D通信技术在现实条件下的潜力。带内D2D通信尤其如此, 因为D2D链路必须使用许可的蜂窝频率。

解决方案

我们的实验性SDR平台基于NI USRP RIO和LabVIEW Communications LTE应用框架, 我们将其扩展为允许一个eNodeB使用正交频分复用接入 (OFDMA) 同时服务多个用户设备 (UE) 设备。我们进一步将框架的UE设计扩展为具有多个OFDMA复用的上行链路传输和上行链路接收器。这些扩展使我们能够将部分上行链路频谱用于UE设备之间的D2D信道。我们的系统可以以两种模式运行。在传统下行链路模式中, eNodeB将每个UE设备的有效载荷数据直接发送到相应的UE。在D2D中继模式中, 它将具有更好下行链路信道的UE设备的有效载荷数据发送到UE设备, 然后经由D2D信道中继其他UE设备的有效载荷。我们的eNodeB包含一个轻量级质量感知的调度程序, 允许根据所报告的信道质量在两种模式之间进行动态切换。

下一步

为了进一步改进我们的平台, 我们正在探索将带外频段集成到我们的系统和非集中调度方法中, 以便UE设备可以在没有蜂窝基础设施的情况下组织D2D传输。

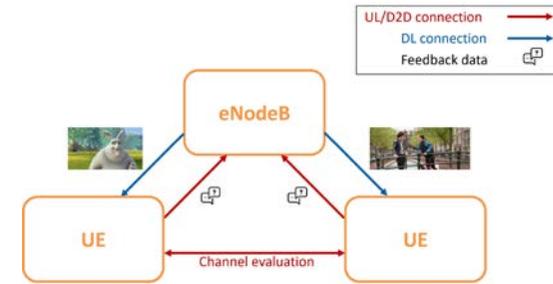


图1.在传统下行链路模式中, 每个UE设备直接通过下行链路信道接收其有效载荷。

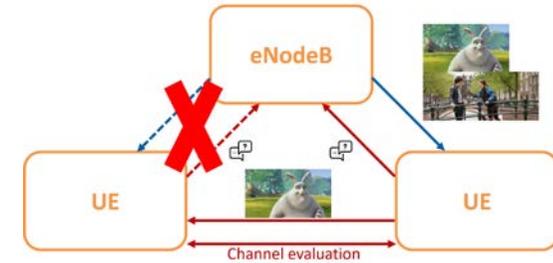
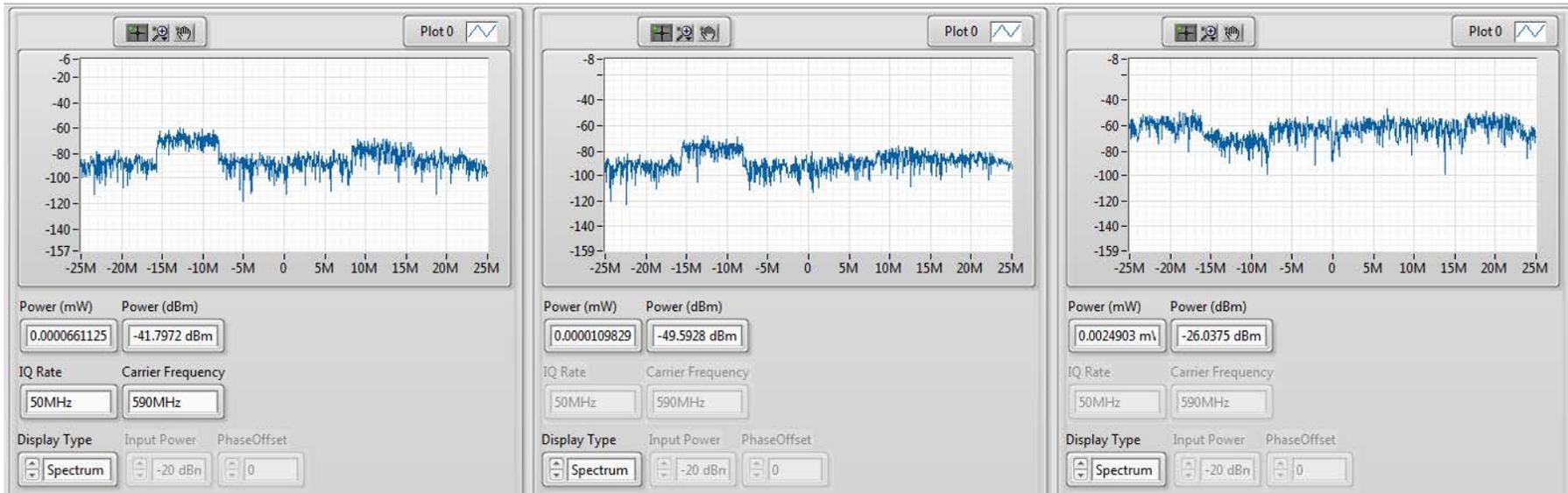


图2.在D2D中继模式中, 具有更好下行链路信道的UE设备经由D2D信道中继其他UE设备的有效载荷数据, 以此来管理两个UE设备的网络流量。

“NI LabVIEW平台无疑可以加速SDR原型验证, 但许多其他SDR平台也可以。NI与其他公司的区别在于其团队非常支持我们的新想法, 包括研发。对于当今努力探索技术极限的研究人员来说, 这种支持是无价的。”

Arash Asadi博士, 达姆施塔特工业大学



基于雷达应用的宽带多通道信号系统

在同步至GPS时间参考时,使用LabVIEW应用程序实现多站点同步和相干RF信号采集和记录

Bartosz Dzikowski, Marcin Baczyk, Lukasz Ma'slikowski, Jedrzej Drozdowicz, 华沙理工大学电子系统研究所

**Warsaw University
of Technology**

www.elka.pw.edu.pl/

用户资料



Bartosz Dzikowski于2013年获得波兰Toru'n Nicolaus Copernicus大学的技术物理学士学位,并于2016年获得华沙理工大学的硕士学位。他是华沙理工大学的LabVIEW开发人员和博士生。



Marcin Kamil Baczyk于2011年获得华沙理工大学电子与信息技术学院的硕士学位。他的研究兴趣包实验室和室外雷达和雷达实验的数字信号处理,包括地面散射测量。他主要研究逆合成孔径雷达、无源雷达和雷达层析成像。

挑战

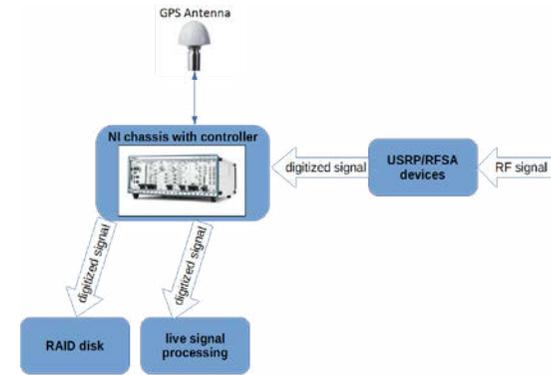
为了进行雷达研究，我们需要连续地采集多个通道的RF信号。我们还必须知道如何将采集的数据流传输到磁盘以进行离线分析或在线实时处理，这需要每秒处理数十亿字节的数据。在多基地雷达等应用中，我们需要记录多站点和相干RF数据，不仅可以在一个站点同步信道，还可以同步跨越数公里的多个站点的信道，并提供高相位稳定性。

解决方案

我们开发了宽带多通道信号记录器，这是一个LabVIEW应用程序，可以连续地从NI设备采集RF信号。记录器可将波形传输到RAID磁盘，使我们能够在采集之前和期间预览信号及其频谱。它支持最多10个NI-RFSA或NI-USRP设备的测量通道。当我们使用NI PXIe-6674T (定时) 和PXIe-6683H (GPS) 模块时，我们可以将测量系统与GPS时间参考同步，并精确地在给定时间点启动触发。这可允许多站点同步和相干RF记录，这在多基地雷达研究中尤为重要。此外，该应用程序与NI-PXImc驱动程序软件接口配合使用，NI-PXImc驱动接口允许数据在线传输到处理单元并实现实时雷达。NI硬件和我们的LabVIEW记录器可以帮助我们更快速、更经济且更轻松地构建雷达。

下一步

用户可以创建自己的测量方案，部署处理程序来创建在线雷达，或将记录的波形传输到RAID磁盘并进行离线分析。未来将支持更多的采集设备，以增加带宽并提供一系列可能性。



系统原理图



无源和有源雷达成像系统

使用NI软件无线电 (SDR) 硬件设计和测试无源和有源合成孔径雷达 (SAR) 演示器

Damian Gromek, Piotr Krysiak博士, Krzysztof Kulpa博士, 华沙理工大学电子系统研究所雷达技术研究实验室

**Warsaw University
of Technology**

www.elka.pw.edu.pl/

阅读完整的应用案例

用户资料



Damian Gromek于2011年获得波兰华沙理工大学电子学硕士学位,之后一直在攻读博士学位。他是一名研究助理,他的研究兴趣涉及雷达信号处理、有源和无源SAR以及无源雷达。



Piotr Samczynski博士获得了华沙理工大学电子学学士和硕士学位以及电子通信博士学位。Samczynski博士的研究兴趣包括雷达信号处理、无源雷达、合成孔径雷达和数字信号处理。

挑战

我们需要在很短的时间内设计和测试新型有源和无源SAR演示器。SAR可让我们获得地面景观的2D图像。典型的SAR属于有源雷达,使用其自身的照射器照射目标。无线电定位的新趋势是无源雷达技术,使用的是现有的机会照射源网来照射目标以进行成像。

解决方案

通过将NI SDR硬件与商用现成(COTS)相结合,我们可以快速设计和测试有源和无源雷达。在我们的研究中,我们测试了无源和有源SAR成像技术。在这两种解决方案中,我们使用NI USRP硬件搭建了演示系统。我们开发了一个有源雷达作为调频连续波(FMCW)雷达。在该解决方案中,Tx信道用于发射信号,Rx信道用于接收雷达回波。通过这种方法,我们可以获取地面景观的2D图像。而在无源雷达解决方案中,USRP仅使用USRP设备的Rx信道来采集来自DVB-T机会照射源的参考信号,而且我们使用的是从目标反射回来的监测信号。我们使用机载平台作为雷达载体,在实际条件下验证了两个演示器。

下一步

生成的信号带宽越高,分辨率越高;因此,具有1 GHz及更高带宽的解决方案是最理想的。此外,我们也将研究有源雷达的较高频段,例如X和K频段。



图1.机载有源SAR图像



图2.基于机载DVB-T发射机的无源SAR图像



基于多天线技术的可靠无线通信系统

使用基于USRP的信道探测测量系统记录的实时LTE网络信号, 比较V2X和UAV通信的多天线技术

Fernando M.L. Tavares博士, Carles Navarro-Manchon, Gilberto Berardinelli, Preben Mogensen 奥尔堡大学电子系统学院, 无线通信网络系 (WCN)



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

www.es.aau.dk/

用户资料



Dr. Fernando M.L. Tavares博士获得了巴西利亚大学的硕士学位和丹麦奥尔堡大学的博士学位。两个学位都专注于无线通信。他是奥尔堡大学WCN的助理教授, 也是丹麦诺基亚贝尔实验室的访问研究员。他的研究兴趣包括MIMO、干扰管理和先进的收发器设计。



Tomasz Izydorczyk获得Telecom-ParisTech/Eurecom大学的移动通信硕士学位。他的论文主要针对用于NB-IoT的未许可频谱扩展。2016年, 他作为研究实习生加入英特尔移动通信, 目前正在奥尔堡大学攻读Preben Mogensen导师的博士学位。他的研究兴趣包括MIMO技术在URLLC和无人机通信中的可能应用。



挑战

多天线信号组合技术(如最小均方误差(MMSE))可提高信号接收性能,但在高度干扰的情况下效果不佳。或者,用于估计输入信号到达方向(DOA)的多天线接收器可以帮助我们了解期望DOA和干扰DOA之间的差值,从而沿着预期的方向有效控制波束。先进多天线技术在车辆通信的应用为在用户设备(UE)端利用这些技术提供了新的机会。我们的目的是通过实验验证这种技术在车辆和无人机中的应用潜力。

解决方案

我们设计了一个基于USRP的信道探测测量装置(图1),该装置具有16天线圆形阵列,用于估计无线电信道的空间特性。我们在各种车辆场景中使用该装置进行测量(对于V2X,设备安装在货车上;对于无人机,用起重机将其吊在40米空中)。该装置设计为用于估计实时LTE信号的DOA,以便可以推导出真实LTE网络中小区间干扰的空间分布。测量方法包括记录I/Q样本并对其进行后期处理以从LTE时频网格中提取小区特定的参考符号(CRS)。然后,我们在信道估计中使用MUSIC和SAGE等算法来估计期望和干扰信号中的多径分量(方向、功率和延迟)。

下一步

我们将对波束成形技术(数字/模拟)和多天线信号组合解决方案进行比较。然后,我们将使用这些测量数据来推导空间干扰分布的统计信息。目标是在实际场景中评估大型天线阵列在UE端的有效益处。

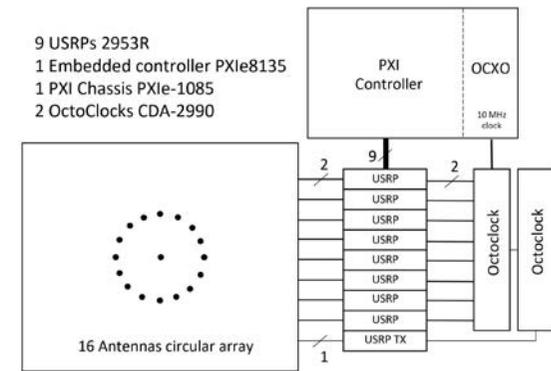


图1.测量装置原理图

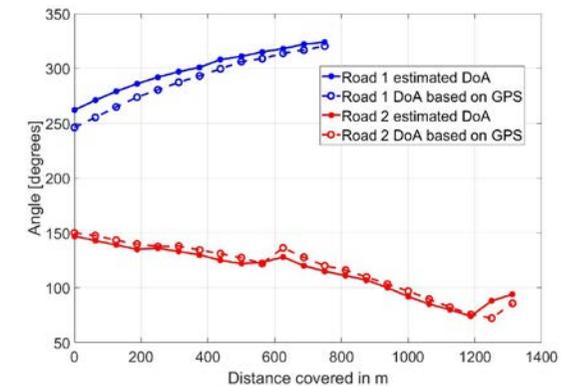
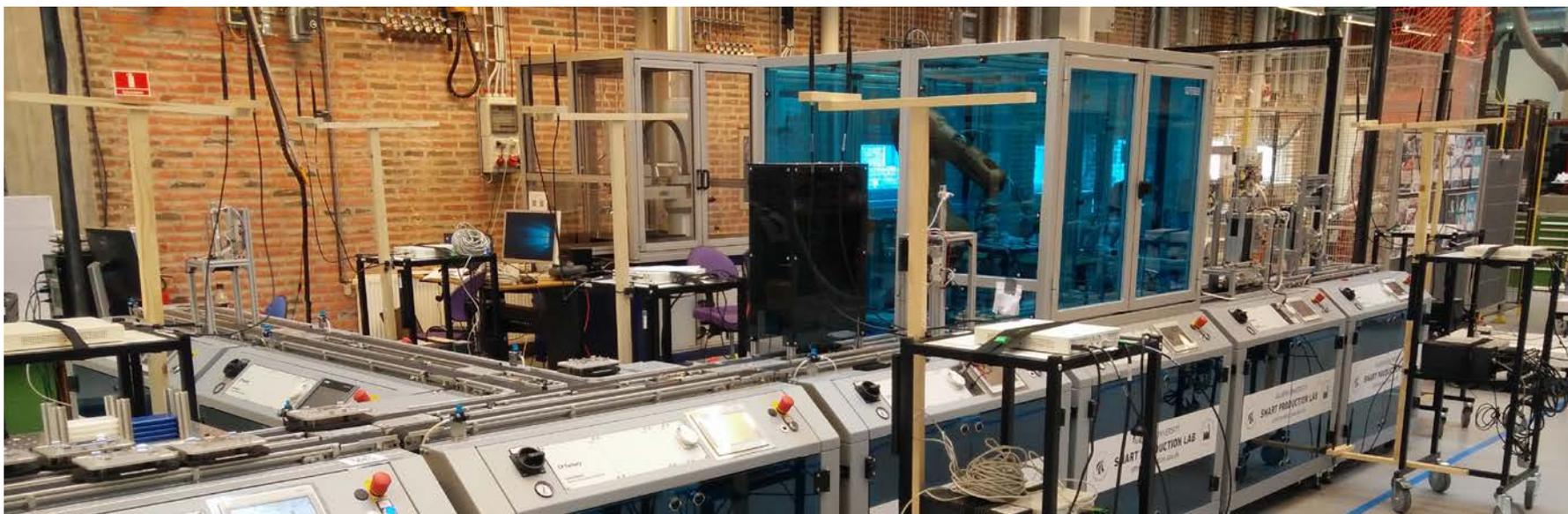


图2. DOA估计(初步测试)

“针对新用例测试波束成形技术的新型实验研究对于未来无人机和V2X产品及移动服务的开发非常重要。奥尔堡大学提出的独特方法是一种有趣的新策略,利用了来自不可预测的真实网络条件的经验数据来补充模拟研究。”

István Z. Kovács, 诺基亚贝尔实验室无线网络专家



基于工业物联网未来工厂的无线电传播分析系统

利用多节点多天线信道探测, 简化无线电信道统计低百分位(超可靠区)的分析

Dereje A. Wassie, Emil J. Khatib, Ignacio Rodriguez-Larrad博士, Gilberto Berardinelli, Troels B. S.rensen和Preben Mogensen, 奥尔堡大学电子系统学院无线通信网络系 (WCN)



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

www.es.aau.dk/

用户资料



Dereje Assefa Wassie获得埃塞俄比亚Jimma大学的电气工程学士学位, 以及丹麦奥尔堡大学的电信工程硕士学位。他目前正在奥尔堡大学电子系统系攻读无线通信博士学位。他的研究兴趣包括测量系统设计和5G通信概念的实验分析。



Ignacio Rodriguez-Larrad博士获得奥尔堡大学的无线通信博士学位。他也是该大学的博士后研究员, 与诺基亚贝尔实验室密切合作。他的主要研究兴趣是无线电传播、信道建模、超可靠和低能力通信以及工业物联网。他是2017年IEEE VTS Neal Shepherd Memorial Award的共同获奖者。-

挑战

第四次工业革命旨在通过协调不同的网络物理系统使工厂变得智能化。因此，无线技术（未来工厂的灵活性、成本降低和移动性的关键促成因素）必须在不同代理之间提供可靠的通信。由于工业环境的无线电传播非常复杂，因此预测无线系统的性能需要广泛的测量活动，以捕获信道统计的极端罕见事件（超可靠通信）。因此，无线技术（实现未来工厂灵活性、低成本和移动性的关键因素）必须在不同代理之间提供可靠的通信。由于工业环境的无线电传播非常复杂，因此预测无线系统的性能需要进行广泛的测量，以捕获信道统计的极端罕见事件（超可靠区）。

解决方案

我们使用NI硬件（USR-2953）和LabVIEW软件开发了一个信道探测测试平台。测试平台由12个具有4x4 MIMO功能的收发器节点组成。利用TDMA传输方案，我们使用24 MHz宽带探测信号测量了2.3 GHz和5.7 GHz载波频率下所有测试节点之间的信道响应。通过仅执行少量重新部署，我们轻松地获得了许多空间相关的样本。例如，覆盖24个空间位置的所有可能组合，需要6次重新部署和大约3个小时，我们获得了总共 $24 \times 23 \times 16 = 8832$ 个独立无线链路样本。基于这些大量的样本，我们获得了接近10-4百分位数的信道统计数据的信息，这代表了99.99%的空间可用性。

下一步

我们将在工业场景中进行更多测量。由于我们的测试台采用灵活的设计，因此这些新测量可以包含不同的频率、不同的天线配置以及采用不同的帧结构来进行TDMA传输。此外，我们正在开发额外的功能来对H2020 ONE5G项目的预想5G技术组件进行实验验证。

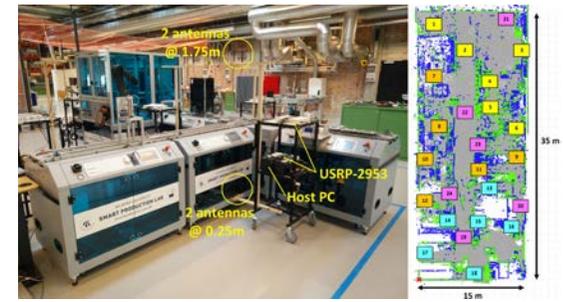


图1.节点配置和测量计划图

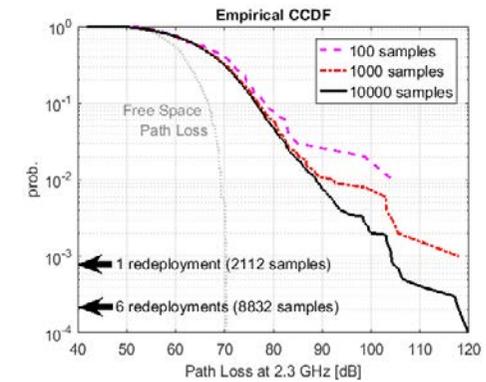


图2.智能生产实验室的测量结果。

“对工业环境进行实验性无线传播研究对于理解 and 设计第四次工业革命未来无线通信解决方案（如本指南所述）来说是一个及时而重要的主题。理解无线传播分布的极低概率极端事件对于设计无线系统以提供超可靠的低延迟通信解决方案尤其重要，因为极端低概率事件也非常重要。”

Klaus I. Pedersen, 诺基亚贝尔实验室无线电研究团队负责人

软件通信资源共享中心

最大化价值和生产力:应用实例

来自世界各地的知名研究人员向公众提供免费的可下载代码。因此,开发应用程序不再需要数月的工作量。访问这些应用示例,并开始使用NI软件定义的无线解决方案构建您的无线通信应用。

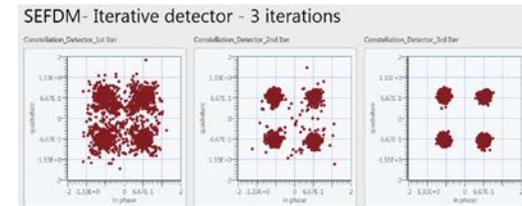
KU Leuven是由Sofie Pollin博士领导的领先无线网络系统研究小组,专注于为异构、电池供电和频谱受限的无线网络开发应用。该软件已用于实现基于CSMA/CD的带内全双工通信。

下载免费的LabVIEW代码



伦敦大学学院是由Izzat Darwazeh领导的领先通信和连接系统研究小组,致力于开发高频谱效率频分复用(SEFDM)通信应用。该软件已用于实现带宽压缩的SEFDM。

下载免费的LabVIEW代码



TU Darmstadt是安全移动网络实验室由Arash Asadi博士领导的一个领先研究小组,致力于开发带内设备到设备(D2D)通信应用。该软件已用于为LabVIEW Communications LTE应用框架以及D2D通信添加多UE支持。

下载免费的LabVIEW代码



LabVIEW通信系统设计套件包括下一代LabVIEW,其中包含专门开发的相关附加组件,可帮助您使用软件无线电(SDR)硬件快速开发、原型和部署无线通信系统。

免费试用1个月

