无线共存与跨技术通信

PI：Tian He

计算机科学与工程系

明尼苏达大学，双城

联系人：tianhe@umn.edu

# 摘要

研究表明，无线共存会导致通信失败和频谱利用率严重低下。文献中广泛的研究通常采用隐式频谱共享方法（如认知无线电和白空间网络）。相比之下，我们采用了一种突破性的方法，即在异构无线设备（如wifi、蓝牙、zigbee等）之间实现显式通信（即直接消息/数据交换），尽管它们的物理层调制不兼容。我们称这种技术为跨技术通信（CTC）。本研究将对ctc进行深入系统的研究，为通过ctc实现和谐共处提供新的设计思路。这项拟议工作的具体智力贡献如下。

首先，利用我们的物理层CTC设计，我们的目标是探索一个跨越多个维度的更广阔的设计空间，以在包括但不限于：通信性能（例如吞吐量）、扩展功能（例如QoS）和与多种无线技术（例如WiFi、BL）的兼容性等领域取得突破。Uetooth、Zigbee、RFID、LTE-U等）。其次，现有共存技术的本质是通过隐式信道扫描、推断或预测来获得信道状态或干扰条件，这不可避免地会引入误差或延迟。相比之下，CTC通过直接实时通信来显式地交换信道状态。由于实时准确的信道利用率信息，ctc为现有共存技术的性能改进提供了巨大的潜力。最后，ctc突破了异构设备间的通信障碍。它为通过直接沟通建立和谐共处的新型协调/控制机制带来了先决条件。

# 1          介绍

无线技术已经渗透到人们的日常生活中，用于个人通信、移动互联网冲浪、全球定位、数字媒体广播和智能家居自动化。这种成功的扩散是由多种多样的技术引导的，以适应不同的环境（从控制良好的实验室到高度动态的城市环境）和应用要求（例如范围、吞吐量、可靠性、及时性和能量）。然而，无线技术现在越来越成为自身成功的牺牲品。他们虽然很专业，但基本上互不了解。这会导致不合作的操作，甚至会对彼此造成破坏。例如，共存的无线技术争先恐后地抢占信道，它们用自己的无线技术破坏他人的数据包，导致频谱效率显著低下。

为了应对无线共存的挑战，我们通过跨技术通信（CTC）对不同无线技术的协作进行了深入系统的研究，其中CTC定义为异构无线设备（如WiFi、蓝牙、ZigBee、RFID、LTE-U等）、DES之间的直接通信（即消息/数据交换）。理解它们不兼容的物理层调制。

**2017年3月，我们演示了第一个原型CTC系统，该系统允许Wi-Fi发送器直接向Zigbee接收器发送数据帧。之后，我们的团队成功地在商品设备上建立了从蓝牙、LTE到Zigbee的交叉技术通信。**

如图1、2和3所示，我们将CTC技术嵌入到配备Broadcom BCM4330 WiFi芯片、高通QCA6174蓝牙芯片和高通WTR3925 LTE收发器的LG Nexus 5智能手机中。在不进行任何硬件修改的情况下，我们使用wifi-ofdm物理层对oqpsk调制的zigbee控制包进行隧道传输，以控制zigbee灯泡的亮度、颜色和开关状态。我们的CTC技术消除了对昂贵的Zigbee网关（如Wink Hub）的需求，因此降低了智能照明系统的成本。相关视频见[22，23]，反恐委员会技术支持见[32]。

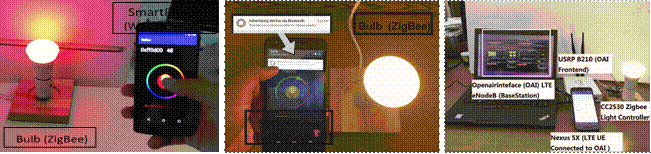


图1:WiFi到ZigBee的CTC图2:BLE到ZigBee的CTC图3:LTE到ZigBee的CTC

我们CTC设计的亮点是双重的。首先，这种技术既不需要硬件，也不需要对商品设备进行固件更改，这保证了在现有基础设施上零成本快速部署。其次，这种技术不会影响现有的无线网络和同质设备之间的服务的性能。利用这种跨技术的通信技术，我们的研究有以下三个方向：

•利用我们的WebEE[21]，我们建议探索更广阔的设计空间和未探索的维度，以实现多个领域的突破。这些包括但不限于：（i）CTC性能-例如，具有低比特错误率和高吞吐量的CTC，以及（ii）扩展到更大范围的无线平台的兼容性，以最大限度地适用于各种场景。例如，目前的设计支持从wifi、蓝牙和lte到zigbee的通信，我们将进一步扩展到广泛覆盖在未经许可的频段中运行的长距离和短距离无线技术，如rfid、nfc和802.11ah。**主旨一：建立物理层跨技术通信：**

•随着共存问题的日益突出，人们提出了许多技术，如（i）固有设计，包括ieee 802.11中的csma和rts/cts，ieee802.15.4中的dsss、csma和tdma，zigbee中的信道扫描和网络层频率捷变，wireleshart中的信道跳跃和黑名单，以及（ii）按需设计，包括c认知无线电[1，2，3，9，24，28，30]，干扰消除[6，7，8，19，34，36]，频谱底层和覆盖[4，13，20，27，29，35]和空白网络[14，15，17，33，38]。所有这些共存技术都基于隐式信道信息协调信道利用率（即，异构设备之间不交换消息）。我们将研究利用直接通信提供的显式信道信息增强现有共存技术。**主旨二：通过反恐委员会加强现有共存技术：**

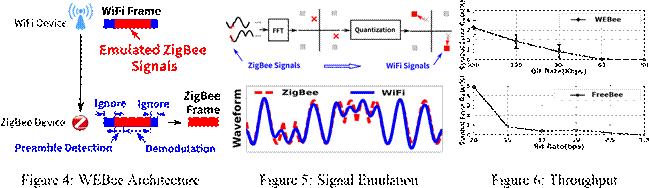
•CTC设计打破了异构技术之间的通信障碍，导致了显式共存的新局面。这一变化为我们有效管理异构设备，实现和谐共存带来了新的可能性。此外，CTC的出现消除了大量的多无线网关，这些网关不仅带来了部署复杂性，而且由于协议转换而带来了显著的额外通信开销。随着CTC带来的新机遇，我们将开发新的共存技术，为传统设备和基础设施提供额外的协同价值，而无需额外部署。**主旨三：通过CTC建立新的共存技术：**

据谷歌学者（google scholar）称，pi已经发表了250多篇论文，超过20000条引文（h-index 59）。微软学术搜索（microsoft academic search）将pi列为过去十年全球嵌入式系统领域十大研究人员之一。值得注意的是，pi在这项工作中具有独特的地位，需要在无线通信、网络测量、媒体访问控制、网络协议和服务设计等多个领域的研究背景。此外，拟议的工作需要平衡地结合理论和制度背景。过去几年，PI在Mobicom和Sensys上发表了25篇常规系统论文，介绍了广泛的军事监视原型系统（特别是Vigilnet[10，11，12]）、移动无线系统[26，37]、本地化[31，39]和智能能源管理[42，43]。pi还对无线网络进行了理论研究，提出了新的无线相关模型[44]、无线链路不规则性模型[40、41]和无线功率控制模型[25]。近年来，infocom上发表了30多篇论文。特别是，我们在Mobicom&apos;17[21]的工作首次提出、设计和实现了商品设备（如智能手机、笔记本电脑）中物理层CTC的创新理念。这种方法将为和谐无线共存奠定坚实的基础。该作品在所有Mobicom 2017年度论文提交中获得了最高的评审等级，并被提名为最佳论文奖。最终结果尚未公布。

建议的其余部分详细讨论了我们的计划。第2节提出了建立物理层CTC的任务。在第3节中，我们介绍了通过ctc增强现有共存技术。第四节介绍了通过ctc建立新的共存技术。最后，第五节详细介绍了我们一年的研究计划。

# 2          建立物理层跨技术通信

异构设备之间的现有通信是通过专用的多无线电网关硬件提供间接连接来实现的。众所周知，这种方法存在一些实际问题，包括（i）部署复杂性增加，以及（ii）流入和流出网关的额外通信开销和时间延迟。在这一节中，我们讨论了我们的初步物理层跨技术通信（CTC）设计，该设计通过在不增加频谱使用的情况下在异构无线实体之间建立直接通信来解决这些问题。此外，我们还建议解决一系列与反恐委员会有关的开放性研究问题，反恐委员会是加强现有共存技术（第二项）和建立新的共存技术（第三项）的基础。



## 2.1        前期工作

如图4所示，使用我们称为Webee[21]的CTC设计，ZigBee设备可以成功地从WiFi设备传输的WiFi帧解码信息。具体地说，webee精心构造wifi帧的有效载荷，使得有效载荷的rf波形类似于zigbee信号的rf波形。当zigbee设备接收到这样的wifi帧时，zigbee忽略wifi报头、前导码和尾码作为噪声，而有效载荷将成功通过zigbee前导码检测，然后在zigbee接收器处解调模拟的zigbee帧。webee是一种透明的设计，因为zigbee接收器无法区分发送者是zigbee还是wifi设备。此外，webee不需要对商品设备进行硬件或固件更改，这就引入了零成本部署。

webee设计的核心是信号仿真。图5的上部显示了信号仿真的基本过程，其中所需的zigbee时域信号被馈入fft以选择相应的qam星座点（即wifi信号）。信号仿真不可避免地会引入错误。我们的webee设计最小化了信号失真，并确保zigbee设备成功解码wifi传输的仿真信号。图5的下半部分将模拟的时域wifi信号与zigbee符号的期望信号进行比较。从图中，我们可以看到所需的zigbee信号通过具有一些可容忍失真的模拟wifi信号得到了很好的近似。

webee实现了zigbee定义的传输速率。图6显示了webee的符号错误率，当帧以63kbps的速率发送时，webee的符号成功率达到99.9%。图6还将Webee的性能与当前最先进的包级CTC–Freebee[18]进行了比较，后者通过以精心设计的模式发送包来实现从WiFi到Zigbee的通信。通过感测zigbee侧的rssi值，将这些模式进一步解码为传递的信息。如图6所示，在相同的成功率下，Webee的吞吐量比FreeBee快约800倍。

## 2.2        开放性研究问题

尽管我们的WebEE工作取得了令人鼓舞的成果，但CTC的设计空间并没有得到充分的开发，需要进一步研究以下几个方面：

•当传输比特率达到250kbps（zigbee定义的最大传输速率）时，webee的符号错误率约为3.5%。另一方面，我们观察到zigbee节点只能接收wifi发送器发射的一小部分tx能量，因为wifi发送器比zigbee（2mhz）占用更宽的带宽（20mhz）。因此，我们将研究新的信号仿真技术，以提高吞吐量，同时降低符号错误率与低能源成本。**提高CTC性能：**

•我们目前的CTC技术支持两种无线技术（即从WiFi到ZigBee）之间的并发通信，这可以进一步扩展到更通用的设置，其中N种技术以重叠频率运行。例如，信道38上的蓝牙设备可以同时向信道15和4上的zigbee和wifi设备发送ctc分组。此外，我们还将扩展2.4GHz ISM频段的初步工作，以采用900MHz和5GHz无许可频段的技术，如802.11ah和whdi。**扩展CTC兼容性：**

•跨技术通信的一个关键挑战是链路不对称。例如，与Zigbee和Bluetooth[16]等短程通信标准（WiFi:15–20 dBm，Zigbee:25–0 dBm，Bluetooth:0–10 dBm）相比，WiFi传输的功率要高出两个数量级以上。我们建议通过探索带宽和通信范围之间的权衡来解决这一挑战。**寻址非对称链接：**

# 3          通过反恐委员会加强现有共存技术

在本节中，我们将研究如何增强现有的与ctc共存的技术。为了解决当前无线通信环境中的共存问题，研究人员提出了在现有标准中增强传统解决方案，包括rts/cts、dsss、csma、tdma、信道扫描、网络层频率灵活性、信道跳变和黑名单。高级解决方案包括认知无线电[1、2、3、9、24、28、30]、干扰消除[6、7、8、19、34、36]、频谱底层和覆盖[4、13、20、27、29、35]和空白网络[14、15、17、33、38]。虽然这些解决方案增强了无线共存，但它们都是基于隐式信道访问控制的，并且受到动态流量的不确定性影响。随着CTC的突破，我们通过在异构设备之间显式地交换信道信息来增强这些解决方案。

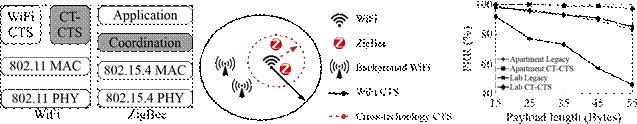


        图7:CT-CTS范围图8:CT-CTS机制图9：数据包精度

## 3.1        前期工作

我们以著名的rts/cts机制为例来说明ctc如何增强现有共存技术的能力。如图7所示，我们的跨技术CTS（CT-CTS）设计是对现有遗留标准（如IEEE802.11和802.15.4）的透明增强。它只包含两个附加的软件组件，在图7中用黑块标记。因此，这种CT-CTS设计建立在商品设备上，而不改变现有的PHY/MAC层，为在无许可证ISM波段运行的数十亿设备提供了巨大的好处。

如图8所示，我们的CT-CTS设计利用WiFi CTS消息创建长的空白区域，以确保Zigbee通信的安全。为了让zigbee设备获得长白空间的信息，wifi设备直接发送ct-cts消息，通过ctc通知zigbee设备ism频谱的可用性。具体地说，wifi设备经由ctc发送ct-cts包（即，模拟的zigbee包），其包括该wifi-cts消息的开始时间和持续时间。在接收到ct-cts分组之后，zigbee设备协调其传输定时，并在信道安全时发送分组。通过这样做，我们的设计在异构技术之间提供了明确的通道协调，并保护wifi和zigbee设备免受跨技术干扰。图9描述了增强的CTS技术的性能，其中CT-CTS显著地将Zigbee的包接收率从47%提高到85%，性能增益为81%。

总之，CT CTSDesign具有以下优点。首先，我们的设计注入wifi-cts来聚集空白区域，然后通过ct-cts将这些信息提供给zigbee。因此，zigbee包不受wifi干扰，与以前的不确定隐式信道接入方法和传统csma机制相比，它能够保证传输。其次，我们的设计是在商品设备上实现的，并且与现有的数十亿WiFi和ZigBee设备兼容。

## 3.2        开放性研究问题

在我们的初步工作中，我们使用rts/cts的例子来说明采用ctc来增强现有共存技术的能力/性能的可能性。在今后的工作中，我们的目标是提高现有共存技术的广泛性，这需要对以下研究问题进行系统研究：

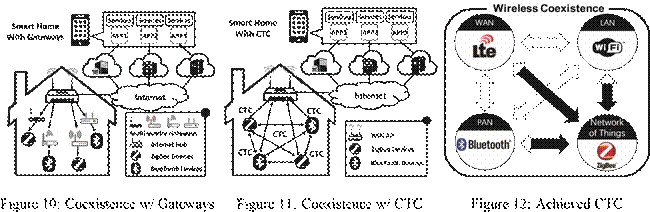
•我们的CT-CTS设计只是增强现有方法的一个例子。利用异构设备间的ctc能力，我们可以通过直接通信在异构设备间交换信道信息来增强许多其他共存技术。以信道黑名单为例，它被广泛采用以避免蓝牙干扰。在传统标准中，蓝牙测量每个信道的分组接收比，并将分组接收比较低的分组列入黑名单，以便以后自适应跳频。与现有的通过信道扫描、推理或预测的信道更新方法相比，我们显式地广播信道利用率信息，从而得到增强的、更精确的信道黑名单机制。我们的最终目标是建立一个独立的层或系统接口，通过ctc提供信道利用信息，以增强现有的大多数共存技术。**普遍支持：**

•设计用于不同目的，不同的应用有不同的延迟要求。例如，实时流对传输延迟非常敏感，而电子邮件服务可以容忍较长的延迟。然而，现有的共存解在试图提供共存协调时忽略了不同应用的延迟需求。这是因为异构设备之间由于通信障碍而无法相互获取业务需求信息。利用CTC技术，我们希望通过为不同的无线技术提供明确的业务需求信息交换来增强现有的共存解决方案。**交通感知共存：**

•可以进一步增强现有共存解决方案，以满足更多的通用场景，其中n种技术同时共存。例如，WiFi的带宽为20MHz，而Zigbee和蓝牙则相应地需要2MHz和1MHz的带宽。因此，wifi信道11同时覆盖zigbee信道22和蓝牙信道25。这提供了一个wifi ctc包可以同时通知wifi、蓝牙和zigbee设备可用信道的可能性。我们计划提出增强设计，以帮助当前共存方法在具有不同通信技术的设备共存的更复杂场景中正常工作。我们的目标是同时提供ISM频谱中流行的无线技术（如WiFi、蓝牙、ZigBee）的共存，以提高无许可频段的频谱效率。**跨技术共存：**

# 4          利用ctc建立新型共存技术

本节讨论了由于ctc创造了新的共存环境而产生的新的共存技术。具体来说，我们的CTC设计能够在异构设备之间进行直接通信，而不会（i）改变现有的硬件设备和（ii）影响现有无线通信的性能。一方面，反恐委员会的能力大大扩展了通信的范围。另一方面，ctc通过消除大量的网关来防止现有的基础设施变得更加臃肿，这些网关是根据不同供应商的底层应用程序需求而设计的，旨在支持多种技术。在新的共存环境下，建立新的共存技术势在必行。



## 4.1        前期工作

为了支持异构设备之间的通信，现有的方法是部署多个无线网关作为转换器。目前，不同的供应商为他们的服务提供不同的网关。随着物联网的发展，预计到2020年无线设备数量将达到500亿台[5]。物联网服务需要部署大量的网关，这带来了部署的复杂性，极大地阻碍了物联网的发展。让我们以智能家居应用程序为例。如图10所示，不同的供应商为Internet集线器和Zigbee设备（如智能灯泡、智能温湿度控制器等）或蓝牙设备（如智能锁、智能音频设备等）之间的连接提供网关。

可以预见，如果没有CTC技术，一个房子里会有几十个网关。这些网关执行协议转换，在包丢失、延迟、能量和信道利用率方面引入额外的通信开销，特别是在具有大量服务的网关的物联网环境中。

在CTC的支持下，共存体系结构与网关体系结构有着本质的区别。如图11所示，CTC技术允许异构商业设备（即WiFi接入点、蓝牙和ZigBee设备）的直接通信，而无需额外的设备部署（即多供应商网关）。如图12所示，到目前为止，我们已经成功地在商用设备上实现了从WiFi、蓝牙和LTE到ZigBee的跨技术通信，支持用户通过互联网通过智能手机远程控制/访问智能ZigBee设备。

## 4.2        开放性研究问题

在我们的前期工作中，我们已经成功地建立了新的共存体系结构（即在商业设备上支持从wifi、蓝牙、lte到zigbee的跨技术通信）。这种新的体系结构使我们能够建立新的共存技术。

•：CTC是从根本上缓解异构无线技术间干扰的关键技术。通过CTC建立跨技术渠道协调机制，可以实现这一目标。我们将建立新的协议来回答以下两个问题。首先，如何在异构设备之间全局传递信道利用率消息。实际上，低功率技术在通信范围上基本上是有限的，它们的信道请求不太可能到达位于远处的高功率设备，其干扰很可能破坏低功率设备的传输。因此，为了保证信道分配，来自低功率设备的消息应该传递到附近的高功率设备，然后在长距离内传播。其次，针对接收到的信道利用率消息，如何建立规则，使异构设备高效、公平地利用频谱。例如，由于很难找到信道空缺，具有更宽带宽的设备可能缺乏不公平性，而较窄带宽的技术更可能与频谱一起分配。**跨技术渠道协调**

•在新架构中，由于CTC打破了异构设备之间的障碍，我们可以有效地管理来自不同供应商的物联网设备。例如，在智能家居场景中，CTC使我们能够通过手机管理物联网设备，如智能灯泡、温湿度控制器和音频设备。最重要的是，ctc支持异构设备之间的数据共享。这给我们带来了通过多源数据融合创建新数据服务的巨大机遇。例如，通过与智能灯泡和温度控制器等zigbee设备共享来自智能锁（即蓝牙设备）的at/away-from-home信息，我们可以自动控制每个房间的亮度和温度。**物联网资源管理：**

•CTC技术还带来许多跨技术服务，包括跨技术本地化、时间融合和能源管理。（i）跨技术定位：异构设备既可以利用包内传递的信息（如技术和传输功率），也可以利用接收到的物理信号进行静态/移动对象定位。（二）跨技术时间同步：高端设备（如wifi ap）的时钟更加稳定，低端设备可以参照高端设备产生/传输的信号来实现时间同步。（三）跨技术能源管理：众所周知，采用低负荷循环可以实现显著的节能。使用CTC可以通过异构技术实现低负荷循环和唤醒。例如，在具有wifi ap和许多zigbee设备的智能家庭场景中，wifi ap可以作为控制塔运行，通过ctc管理zigbee设备的开/关状态。**跨技术服务：**

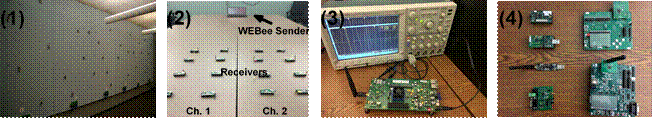


图13：实验和评估平台：（1）支持360个无线节点的mirage测试台，（2）webee平台，（3）warp sdr测试台，以及（4）带有包嗅探器的现成测试台。

# 5          研究里程碑

我们为期一年的研究将通过以下里程碑进行：

•在第一阶段，我们将通过提高CTC性能和扩展CTC兼容性来设计先进的跨技术通信方法。到第一阶段结束时，我们将有两个可交付成果：（i）高吞吐量和低误码率的CTC；（ii）支持WiFi、蓝牙、ZigBee和LTE之间双向通信的CTC。**第一阶段（2018年4月-2018年6月）：**

•在第二阶段，我们将着重于其他两个主要研究方向：（i）通过提供CTC支持接口来增强现有共存技术；（ii）建立新的共存技术，如跨技术渠道协调和资源管理。所有这些设计都将在我们的物理试验台上实现，并在现实环境中进行评估。**第二阶段（2018年7月-2018年12月）：**

•在最后阶段，我们将完成我们的设计和评估，公布实验结果，并向社区传播软件和工具。更重要的是，在研究了广泛可行的方法之后，我们期望通用原则和设计方法将从我们早期的研究中产生。我们将提供一个集成架构，无缝集成CTC通信、网络和服务，以实现更好的无线共存环境。**第三阶段（2019年6月-2019年3月）：**

**研究评估和技术转让：**在这个项目中，我们将研究无线技术在各种环境中的共存和交互。在过去的十年里，我们已经准备好了基础设施，没有必要从头开始建设。如图13所示，PI有一个名为Mirage的室内测试台，它支持多达360个无线节点，在密集的环境中进行精确的能量分析。同时，pis还构建了一个无线流量观测生成平台，可以对多种无线流量进行嗅探、捕获、观测、注入、操作。这些设备包括（i）WARP、USRP2/GNU无线电，（ii）频谱分析仪/高端示波器，（iii）Zigbee（MICAZ、Telosb、CC2530和CC2650）、蓝牙（CC2540、CC2650和Ubertooth One）和LTE加密狗，（iii）RFID读卡器套件，（iv）一组可编程无线接入点。考虑到这些资源，我们选择在现实环境中使用物理平台评估设计（例如，我们的实验室被数十个AP和其他干扰源包围）。

近年来，pi与ibm、微软和interdigital等几家大公司密切合作。例如，InterDigital是M2M标准化进程的主要贡献者，它将先进的蜂窝系统与多个通信网络（包括Zigbee、LTE和蓝牙）集成在一起。利用CTC技术，我们有兴趣了解如何将CTC应用于智能家居，实现无网关部署、设备和谐共存和潜在的新型服务。我们已经在现有的智能照明系统中成功地实现了CTC技术。随着智能家居越来越普及，wifi电视、蓝牙音频等海量智能设备快速、连续部署。我们的目标是将CTC技术嵌入到这些著名的智能家居设备中。当这些设备与CTC相连时，我们希望通过信息共享和自动控制提供创新服务。更具体地说，我们相信我们的研究可以与索尼的智能家居生态系统紧密结合，解决其设备共存问题。索尼的获奖将加速我们实现这一目标。我们期待着这个机会。

# 引用文献

[1]I.F.Akyildiz，W.-Y.Lee和K.R.Chowdhury。crahns：认知无线电自组织网络。自组织网络，7（5）：810–8362009。

[2]I.F.Akyildiz，W.-Y.Lee，M.C.Vuran和S.Mohanty。下一代/动态频谱接入/认知无线电无线网络：一项调查。计算机网络，50（13）：2127–21592006.

[3]N.Devroye，P.Mitran和V.Tarokh。认知无线电频道中可达到的速率。ieee信息论汇刊，52（5）：1813-18272006。

[4]T.Duong，V.N.Q.Bao和H.-J.Zepernick.下垫频谱共享下认知af中继的准确中断概率。电子信函，47（17）：1001–10022011。

[5]D.埃文斯。2011年，物联网的下一个演进是如何改变一切的。http://www.cisco.com.

[6]S.Gollakota、F.Adib、D.Katabi和S.Seshan。清除射频烟雾：使802.11n对跨技术干扰更加强大。2011年ACM SIGCOMM会议记录。

[7]S.Gollakota和D.Katabi。曲折解码：对抗无线网络中隐藏的终端。在ACM SIGCOMM会议录中，2008年。

[8]D.Halperin，T.E.Anderson和D.Wetherall。消除载波干扰：无线局域网的干扰消除。在第十四届移动计算和网络国际年会上，MobiCOM 2008，旧金山，加利福尼亚，美国，九月14-19，2008，第339页- 350, 2008页。

[9]S.海金。认知无线电：大脑授权的无线通信。ieee通讯选定领域杂志，23（2）：201-2202005。

[10]T.He、S.Krishnamurthy、J.A.Stankovic和T.Abdelzaher。使用无线传感器网络的节能监视系统。在2004年6月举行的第二届移动系统、应用和服务国际会议上。

[11]何总，副总，严总，曹总，周总，顾总，罗总，斯托勒鲁总，斯坦科维奇总，阿卜杜勒扎尔总。实现长夜夜监视。在第25届ieee计算机通信国际会议（infocom 2006）的会议记录中，2006年。

[12]T.He，P.Vicaire，T.Yan，L.Luo，L.Gu，G.Zhou，R.Stoleru，Q.Cao，J.A.Stankovic和T.Abdelzaher.利用无线传感器网络实现实时目标跟踪。2005年第11届ieee实时与嵌入式技术与应用研讨会。

[13]S.Hong，J.Mehlman和S.Katti.毕加索：灵活的射频和频谱切片。在SIGCOMM，2012年。

[14]黄J，邢G，周G，周R.超越共存：利用WiFi空白保证Zigbee性能。2010年第18届ieee网络协议国际会议（icnp）论文集。

[15]M.L.Huang和S.-C.Park。可穿戴健康监测系统的wlan与zigbee共存机制。2009年第九届国际通信和信息技术会议（ISCIT）会议记录。

[16]Y.S.Jinshyan Lee和C.Shen.无线协议的比较研究：蓝牙，uwb，zigbee和wi-fi。工业电子学会第33届年会论文集，iecon，2007。

[17]荣智健，庄智伟，郑智健，金顺民，宋德成.wlan和zigbee网络共存的干扰调解。个人、室内和移动无线电通信（PIMRC），2008年。

[18]S.M.Kim和T.He。Freebee：通过自由侧通道进行跨技术通信。在2015年第21届移动计算和网络国际年会（Mobicom）上。

[19]L.Kong和X.Liu.mzig：在zigbee中启用多包接收。2015年第21届移动计算和网络国际年会（MOBICOM）会议记录。

[20]L.B.LE和E.Hossain。认知无线电网络中频谱底层的资源分配。IEEE无线通信事务，7（12）：5306–53152008。

[21]李泽楷，何泽楷.webee：通过仿真实现物理层跨技术通信。在2017年第23届移动计算和网络国际年会（MOBICOM）会议记录中。

[22]李泽楷，刘立军，和何宗衡.Webee演示和Smartligh控件，2017年。网址：https://youtu.be/ehvdn20foqm。

[23]李泽楷，刘立军，和何泽楷.Webee Smartligh控件，2017年。网址：https://youtu.be/nf9ng1e2dj0。

[24]Y.-C.Liang，Y.Zeng，E.C.Peh和A.T.Hoang.认知无线电网络的感知吞吐量权衡。IEEE无线通信事务，7（4）：1326–13372008。

[25]S.Lin，J.Zhang，G.Zhou，L.Gu，T.He和J.A.Stankovic.无线传感器网络的自适应传输功率控制。在第四届ACM嵌入式网络传感器系统会议（SENSYS）上，2006年。

[26]刘伟，刘勇，钟中，孙立新，朱海珠，何德辉.利用移动无线网络中的短时链路相关性。在《感官》，2012年。

[27]罗L.罗P.张G.张J.秦.具有下垫频谱共享的认知中继网络的中断性能。IEEE通信信函，15（7）：710–7122011。

[28]J.米托拉和G.Q.马奎尔。认知无线电：使软件无线电更个人化。ieee个人通信，6（4）：13-181999。

[29]S.Rayanchu，V.Shrivastava，S.Banerjee和R.Chandra。流畅：通过灵活的信道化提高企业无线局域网的吞吐量。移动计算的ieee交易，11（9）：1455-14692012。

[30]C.R.史蒂文森，G.乔亚德，Z.雷，W.胡，S.J.Shellhammer和W.考德威尔。ieee 802.22：第一个认知无线电无线区域网标准。ieee通讯杂志，47（1）：130-1382009。

[31]R.Stoleru、T.He、J.A.Stankovic和D.Luebke。高精度、低成本的无线传感器网络定位系统。在第三届ACM嵌入式网络传感器系统会议（SENSYS 2005）上，2005年11月。

[32]明尼苏达网络数据和系统集团。跨技术通信，2017年。网址：http://tianhe.cs.umn.edu/ctc。

[33]王勇，王强，曾智，郑国政，郑国政.wicop：为医疗应用中的无线身体区域网络的安全操作设计wifi时间空白。实时系统研讨会（RTSS），2011年。

[34]阎、杨、李、张、陆、游、王、韩、熊。Wizbee：通过单天线干扰消除的Wise Zigbee共存。IEEE Trime.暴民。计算，14（12）：2590–26032015。

〔35〕L. Yang、W. Hou、L. Cao、B. Y. Zhao和H. Zheng。使用频率灵活的无线电支持要求苛刻的无线应用。在NSDI，2010年。

[36]Y.于波，Y.盘龙，L.向阳，T.岳，Z.兰，Y.李昭.Zimo：构建跨技术的多输入多输出（mimo）技术，使Zigbee烟雾与WiFi闪光灯协调一致，无需干预。2013年第19届移动计算国际年会（Mobicom）会议记录。

[37]D.Zhang，T.He，Y.Liu，Y.Gu，F.Ye，R.K.Ganti和H.Lei。acc：移动应用程序中邻居发现的通用按需加速。在《感官》，2012年。

[38]X.Zhang和K.G.Shin.实现异构无线系统共存：Zigbee和WiFi的案例。在Mobihoc，2011年。

[39]中安特.他。MSP：无线传感器节点的多序列定位。在第五届嵌入式网络传感器系统国际会议（Sensys 2007）的过程中，第15-28页，2007年。

[40]周国庆，何国泰，克里希那穆提，斯坦科维奇.无线传感器网络中无线电不规则性的模型与解决方案。在传感器网络上的ACM交易中，2006年1月。

[41]周总，何总，斯坦科维奇.无线不规则对无线传感器网络的影响。在2004年6月举行的第二届移动系统、应用和服务国际会议上。

[42]T.Zhu，Y.Gu，T.He和Z.Zhang.eshare：一种长期运行的电容驱动的能量储存和共享网络。2010年第八届嵌入式网络传感器系统国际会议记录。

[43]T.朱，Z.钟，Y.顾，T.贺，Z.-L.张。无线传感器网络泄漏能量同步。Mobisys&apos;09：第七届移动系统、应用和服务国际会议论文集，第319-332页，纽约，纽约，美国，2009年。ACM。

[44]T.朱，Z.钟，T.贺，Z.-L.张。探索无线传感器网络中有效泛洪的链路相关性。在第七届USENIX网络系统设计与实现会议记录中，NSDI&apos;10，第4-4页，伯克利，加利福尼亚州，美国，2010年。Usenix协会。

# 详细预算

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **从2018年1月4日到2019年3月31日** | | | | |
| **人员姓名**  **他，田** |  |  |  |  |
| **首席研究员**1（100） | **15,510** |  | **5,196** | **20,706** |
| **王，Shuai** |  |  |  |  |
| **研究生助理**50（25） | **23,195** |  | **18,696** | **41,891** |
| **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | **第二、第二、第二、第二章**  **38,705** |  | **\_\_\_\_\_ 23892个** | **小精灵**  **62,597** |
| **国内旅游-会议** |  |  |  | **4,200** |
| **\*这个项目的通货膨胀率是0%** |  |  |  |  |
| **网络和计算机服务** |  |  |  | **3,004** |
| **出版成本** |  |  |  | **559** |
| **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_直接成本** |  |  |  | **70,360** |
| **间接成本** |  |  |  | **29,640** |
| **总成本** |  |  |  | **100,000** |

**在项目中的角色%项目工资的努力要求附加福利总成本**

预算人员理由

**何田，首席调查员**

**-PI：每个预算期1个夏季月100%的努力。（9个月，适用于135529美元的基本年薪）**

**王帅，研究生助理**

**-GRA:9个学期50%的努力和3个暑假25%的努力，没有暑假学费福利。（9个月平均年薪38875美元-24.92美元/小时）**

**国内旅游-会议**

**-PI&GRA计划每年在国内参加与本项目相关的会议。会议旅行是为了跟上相关领域的发展，与同事互动以获得对正在进行的工作的反馈，和/或介绍和传播与项目直接相关的研究成果。虽然目前无法对这些旅行作出确切估计，因为相关会议尚未规划，但以下估计数代表了以前进行的类似旅行。**

**Network and Computer Services**

**-Networking and computer charges are expenses charged to sponsored and non sponsored accounts to support the portion of networking and computer infrastructure used by sponsored and non sponsored research projects. In a formula found to be Uniform Guidance compliant by the Office of Treasury Accounting and Internal/External Sales and Sponsored Projects Administration, research specific computing is separated from general-purpose computing. The networking and computer support charge is based on FTEs and special projects that can be attributed to research-only projects.**

**PI (He): (100%-1 sum mon) 173 hrs \* $1.95/hr = $338**

**GRA: (50% - 9 acad mos) 780 hrs \* $2.93/hr = $2,285 GRA: (25% - 3 sum mos) 130 hrs \* $2.93/hr = $381**