基于RFID技术的定位机制研究[[1]](#footnote-1)\*

张本1+, 谢磊2

1(南京大学 计算机科学与技术系,江苏 南京 210046)

2(南京大学 计算机科学与技术系,江苏 南京 210046)

Research about localizability based on RFID technology

ZHANG Ben1+ ， XIE Lei2

1(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210046, China)

1(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210046, China)

+ Corresponding author: Phn +86-156-5181-9692, E-mail: zb.benzhang@gmail.com, http://mcg.nju.edu.cn/member.html

Received 2000-00-00; Accepted 2000-00-00

**Abstract**: This article summarize four articles on MobiSys and PerCom. This four articles are "BLINK: A High Throughput Link Layer for Backscatter Communication", "Continuous Scanning with Mobile Reader in RFID Systems: an Experimental Study", "Flit: A Bulk Transmission Protocol for RFID-Scale Sensors" and "Negotiate Power and Performance in the Reality of RFID Systems ". We analyze the framework if the articles and the core idea of the method are summarized and also try to make improvements. Finally, the similarities of the areas covered and the method used are proposed, as well as the structure and direction of the trend in four articles are analyzed and summarized.

**Key words**: RFID, localizability

摘 要: 本文对MobiSys和PerCom的四篇文章进行总结。这四篇文章分别是《BLINK: A High Throughput Link Layer for Backscatter Communication》、《Continuous Scanning with Mobile Reader in RFID Systems: an Experimental Study》、《Flit: A Bulk Transmission Protocol for RFID-Scale Sensors》和《Negotiate Power and Performance in the Reality of RFID Systems》。就文章所述方法的框架进行分析，对方法的核心思想进行总结并尝试提出改进方法。本文最后对四篇文章所涉领域和所用方法的相似点，以及文章结构和方向的趋势进行分析和总结。

关键词: RFID，定位机制

中图法分类号: MF1533070　　文献标识码: A

近年来， RFID的实验性研究技术被广泛采用于许多重要应用领域包括物流，库存，零售，公共交通和安全性等。本文就RFID中的后向衍射交互的高吞吐量连接层，移动接受器的连续扫描系统，块型传感器传输协议和判定的功耗性能研究四个方面对RFID系统的实验性研究进行总结。

# 后向衍射交互的高吞吐量连接层[1]

反向散射通信提供了一个在传感系统中主动无线电的极低能耗的方法，交互时通过一个接收器来功能的，从而使得其在虚拟层是不耗能的。虽然反向散射通信已经在很大程度上被用于非常少量的数据传输（如一个12字节的RFID标签EPC鉴定器），传感器需要使用反向散射来进行连续和高容量传感器的数据传输。为了满足这一需求，一种新的链接层能够利用反向散射通信的独特特征以优化吞吐量。实验性系统提供了几种优化方法。1）理解自干扰特性和连接指标，捕获这些特性。2）设计新颖移动感知使用反向散射链接签名探测技术确定何时探测通道。3）比特率的选择使用链路量度的算法，以确定最佳比特率。4）信道选择机制，以优化其余符合FCC的规定范围内的吞吐量。

## BLINK连接层架构

BLINK连接层结构的核心是连接的指标能够捕捉路径损耗和多路径衰落后向散射连接的特征。反向散射通信具有独特的特点：RSSI是一个更好的衡量路径损耗的方法，数据包丢失率是一个更好的衡量多路径衰落的方法。这些指标被移动检测器检测传感器标签的移动变化特征，并触发比特率和使用的信道。移动检测器的中心思想是随时间比较连接签名确定是否一个传感器从一个地方移动到另一个地方或者是是否其处于连续移动中。

当检测的移动性时，速率适应模块需要选择一个新的比特率来最佳适应信道特征。这是通过使用映射一个分类器进行从连接量度（RSSI和丢包矢量）到相应的比特率。速率适应的另一项挑战是，连接量度需要获得最低的比特率，以确保传感器不丢失，但获得超过50个频道的这些指标是非常缓慢并会减少实际吞吐量。速率适应模块因此使用了利用损耗模式的快速探测技术关于反向散射信道，以及该功能的知识所需的分类器，以优化探测时间。

移动性也触发信道选择；这个模块是负责选择信道的最大吞吐量。利用灵活性在FCC规则中允许使用少于50个频道，同时确保每个信道停留时间为0.4秒以下。该模块在好与坏得信道中测量特性如传输的突发性和清晰性，并使用此信息来决定是否选择最佳信道作为先验，还是动态地在它们之间进行切换来充分利用好吞吐量。

## BLINK连接层核心设计

### 后向衍射连接度量

RFID接收器有两个连接的指标：a）RSSI值，记录从传感器标签响应的每个查询。b）记录每个通道在每个停留时间间隔的损失率。在传统使用主动无线电的无线网络如802.11或802.15.4，RSSI和损失率有很强的相关性。因此，大多数的连接层度量依赖在细粒度RSSI信息或粗粒度丢包率。然而，一种独特的反向散射通信特征是分组丢失和RSSI提供有关路径损耗的补充和自干扰信息，因此，将其结合使用以获得真实反应RFID接收器的新指标。

### 移动检测

当传感器标签的位置或移动发生变化时触发移动检测模块。检测传感器的移动特征对接受器决定如何与传感器交互来说是很重要的。当传感器已经移动，接收器可能需要改变编码，波特率，或信道，以最大化吞吐量。一种零开销的方法用来确定传感器的移动行为标签。其核心是一个反向散射的连接签名通知。连接签名被定义为距离RSSI的载体和通过连续丢失率向量之间所有的信道的扫描。这里，RSSI矢量包括在每个的RSSI值的向量，该RFID接受器使用与通信信道传感器和所述丢失率矢量的相同丢失率的通道。

### 速率适应

速率适应模块利用了连接的指标（RSSI和丢包矢量），它从探头获得并确定将达到最高有效吞吐量比特率与读取器的通信。最佳方式是选择不同的编码和波特率的结合来确定速率适应方程。这是一个分类问题，对已知的移动性信道进行检测，对检测出的编码和波特率按照RSSI和丢包矢量特征的分类，从而确定速率适应模型。在检测方法上有两种方式，一种是一次查询信道的检测方式，一种是随机检测信道的方式。最后根据速率适应模型执行速率适应模块。

### 信道选择和切换

RFID接收器在50个频道为902MHz~928MHz的范围中跳跃与传感器标签进行通信。 而FCC规则防止接收器停留在一个信道的时间过长，有一些灵活性变量在信道如何被选择上。 FCC允许10秒内存在0.4秒信道的使用，因此，信道的最小数目可以使用是25而不是50。当25个信道选择，一个RFID接收器可以留在每个通道上的最大允许0.4秒的持续时间。该系统的信道选择利用后向衍射的两个特征，一个是清晰度，一个是突发性。根据这两个特征的表现不同来决定信道的选择和切换。

# 移动接收器的连续扫描系统[2]

移动接收器的连续扫描系统是第一个基于相对较大数量标签的在移动RFID接收表现上进行的实验性研究。通过关于标签读取性能的大量观察，系统建立一个模型来描述各种参数如何影响接收性能。通过这个模型，依靠调整接收器的能量和移动速度设计非常有效的算法最大化时间效率和能源效率。最后的实验表明，此系统算法相比之前的解决方案可以缩短50％总扫描时间和83%的总能量消耗。

## 实践实验推导理论模型

为了理解接收器的能耗和标签密度对接收性能的影响，处理诸如路径丢失，能量吸收和内部干扰等事件，此系统默认设定了一系列先验的设定。总体上来说，进行的实验消耗300小时进行一次多达240个标签逼真的广泛的实验研究。为了充分了解参数单独亦或是共同影响实际的读取性能，高达100种不同的实验被进行，提供了大量的实验比较并分析获得的结果。为了保持统计特性，所有的结果都是500次独立试验的平均结果。最后将先验的12个特征和实验结果进行总结。在实验中，以10〜40的标记或网格改变标签密度ρ，而从调节接收器的功率，从20.7dBm到30.7dBm的进行性能评估。除非特殊情况，默认下实验固定朝向接收器书架的中心，将接收器的功率调整为30.7 dBm，重复扫描标签50个查询为1个周期。

### 实验发现

在查询的周期中，每个标签都会对接收器回复一个在0至1之间的概率值，称之为概率散射。在每个接收器的检测范围内，存在两种不同区域，一种是标签以高概率识别的主要探测区域和标签以低概率识别的少数探测区域。当接收器的能耗增加，实际的接收效率如扫描范围，检测概率，识别出的标签数量等，都不是随着能耗的增加线性增加，类似一种边际递减效应。同时，查询周期也不是随着识别出的标签数量线性增加。

### 理论模型

基于上述研究结果，有必要建立一个模型以有效地描绘接收器性能的规律。这个模型首先描绘出概率散射，然后将有效扫描窗口，以评估在多个标签的接收器性能。

## 移动接收器的连续扫描

### 基准线解决方案

对于均匀和不均匀的两种标签分布，为了有效地识别所有的标签与移动接收器，以往接收器的功率设定为最大值并且移动速度被设定为足够小的恒定值。现在提供直接的基线解决方案，既没有时间效率，也没有性能效率，因为过多的能耗将会用尽并且移动速度会被降低。此外，多个标签在连续扫描中询问多次是不必要的，因为每个标签只需要鉴定一次。

### 统一标签强度的解决方法

考虑到客观以及能源/时间关系，对统一标签密度的解决方案需要弄清楚后接收器能耗和移动速度的优化值，使得该目标实现，同时满足覆盖约束。根据实际设置中测定的数据，标签密度会对性能度量有重要影响，因此在优化中需要估计标签密度。

### 不统一的标签密度的拓展

在一些应用中，标签密度是不均匀的。移动接收器是连续扫描标签，而标签密度却总是跟着变化。在这种情况下，为了提高性能，恒定移动速度和功率移动接收器不再合适。在常规的情况下，标签的密度沿方向缓慢变化。因此，对于每个查询周期，我们可以假设在有效扫描窗口内的标签密度接近一致，因为周期持续时间通常是很小的。因此，我们可以减少与不均匀的情况标签密度与相当均匀标签多个快照密度。在每个查询周期中，移动接收器可以根据附近的标签密度复位为具有最优能耗和移动速度V。以这种方式，接收性能可通过动态调整接收器的能耗和移动速度来有效提高。

# 块型传感器传输协议[3]

RFID级传感器提出了一个新的前沿分布式传感器。对比现有的依赖电池供能的传感器，RFID级传感器完全依赖收集的能量。这些设备感知和存储数据不用与接收器相接触，并在传感器在范围内时，利用后向散射通信上传数据。不像传统的RFID标签只有传输识别器，RFID传感器需要传输大量的数据到每个在接触范围内的接收器。块型传感器传输协议具有几个优化的RFID网络堆栈来支持效率的块型传输，同时保持兼容现有的Gen 2接收器。主要贡献在于默认协调批量传输协议的RFID级传感器，最大限度地提高信道利用率并降低因空闲监听的能耗，同时尽量减少冲突。此协议的一个实例实现于英特尔WISP，并描述几个参数特征的无线渠道。结果表明，该突发协议提高了正常输出相比与EPC Gen 2标签，提高能源效率，允许多个RFID传感器共享信道，并且还共存被动的，非传感器标签。

## 块型传感器传输协议设计思路

给Gen 2设计一个块传输机制有许多因素在设计时要考虑。这样的必须做到：1）最大限度地提高数据传输速率，使传感器标签可以在短时间联系区间内快速并高效传输他们的数据，2）降低功耗这样一个CRFID可以最大限度地量使用小能量存储进行数据传输，和3）标准商业RFID接收器操作，从而使CRFIDs可以利用现有RFID接收器的基础设施。

块型传感器传输协议的设计满足这些目标。首先，设计会权衡EPC查询还是路径指令与接收命令作为数据传输原语。接下来，传感器可以使用突发模式实现高水平的实际吞吐量，利用了在EPC Gen 2未使用的插槽的数据传输协议。第三，设计协调机制，采用突发提示器，以避免标签之间的冲突。第四，循环责任机制给空闲监听最小化能耗。最后，此协议还得能够在只传输其识别器的混合传感器的突发情况下正常通信。

### 突发性传输下EPC和接收器的比较r

两种方案在于对从传感器到接收器的块型数据传输适应EPC Gen 2的协议。第一个选择是使用EPC接收命令，它允许一个可变数据的量也可以从标签到读取器发送，但有几个低效率的地方。第二个是使用EPC消息，并且发送应用程序数据，而不是这个消息内的12字节的静态鉴定器。。

### 突发模式的EPC传输

选择12字节的EPC信息作为批量传输的构造块，然后提高当几百字节需要传输时使用这个信息的效率。如果按照Gen 2协议，数据传输将需要超过数十或数百个轮回，并且一个CRFID将在每一轮中只接收一个插槽。这种做法是非常低效。在突发性传输中的核心思想是抛弃Gen 2的语义层轮回，单纯将协议看做是未指定的请求/回应插槽。

### 突发通知协调

在应对每个时隙时有一个严格的限制：如果多个CRFIDs都在场，他们会发生碰撞并且可以预见能耗效率和实际吞吐量的减少。一个有效的无线电系统使用控制消息如RTS / CTS或基于偷听的方法，例如CSMA协调转让对等节点可以解决这个问题。然而这些方法不适合反向散射通信电路，因为他们无法解码同伴发送的消息。另一种将是为接收器明确选择查询一个标签或查询回复命令的消息，并接收其他所有标签消息可以忽略的插槽。然而，如前面提到的，查询回复只有4位长，并且没有留下的空间，例如寻址。因为接收器不允许对查询信息做修改的限制，任何这样的方法不切实际。

### 责任循环协调

突发传输是一种自然的CRFID责任循环有两个原因：a）传输是在连续的大块槽，从而使其它节点的睡眠较长时间并且能够再充电，同时等待一个突发结束，和b）因诸如浪费插槽的责任循环所引发的低效是因为其在长时间的休眠期中可能会缓冲而过早唤醒。

### 非突发标签共存

我们的讨论迄今先后承担了标签数目包括单独的传感器标签具有转移在突发数据，现在当一个具有相同的接收器基础设施的混合的影响传感器的标签通信时。标准的EPC Gen 2标签带接收器设施会在通信中表现更多的延迟。然而会有一些缓解因素能够在使得标签间的通信表现更好。使用突发提示器结构能够协调CRFIDs，然而，被动的标签会任意选取值在0到2的16次方中作为其RN16参数。因此，选取突发提示器中的一小部分空间来确保足够数量的传感器能在低概率冲突下工作。

# 实际RFID系统中判定的功耗性能[4]

虽然RFID标签可以是被动的，但RFID接收器的高功耗已经成为一个关键的问题，因为手持设备和移动接收器在普适计算环境中越来越容易实现。此外，高发射功率加重干扰复杂的RFID系统的部署和操作。一个高能效的RFID存储算法称之为自动功率步进（APS）。该设计APS是基于无源标签广泛的实证研究，并考虑到几个重要的细节，如标签响应状态和可变长度的槽。APS动态估算被接收到的标签的数量，增量调节功率级来使用足够的但不是过多的能量通信，因此既降低了接收一系列标签的能量消耗又减少了冲突的可能性。APS是与当前的1类2代 RFID标准兼容，因此接收器运行APS可以不做修改地与现有的商业标签交互。

## APS实现基础思路

目前大多数商用接收器使用恒定发射功率，从而浪费接收器的能量，尤其是对于那些电池供电的来说。基于经验，过多的能量不一定提高通信质量。因此，设计的RFID协议，能够使用“刚刚好足够的力量”来接收标签，节约能源，并实现类似的读取性能。

### C1G2 RFID协议

该C1G2 RFID协议是基于动态帧时隙ALOHA（DFSA），其中每个帧具有可变数目的时隙并且每个标签只在一次不超过在所述帧中的一个随机选择的槽回复。在该一帧中记为L的时隙数由设定在接收器的参数Q来确定。 根据的标签在每个时隙响应的数目，我们可将插槽中一帧分类到空槽，成功插槽（也被称为单所占用的时隙）和碰撞时隙。

### 三态功率性能关系

现有的RFID模型通常假定为有两种功率状态的被动RFID标签——打开和关闭。在打开状态，标签是有源，并能反向散射到与接收器一个合理的高概率（通常接近100％）。在关闭状态，该标签是不供电的，并且不能被读取。从关闭到打开阶段是如此之短，这是通常被认为是可以忽略不计。传统上，响应速度，称为MAC层响应率，是通过接收器不断询问标签来度量。但是，测得在MAC层的响应速度并不一定代表的实际活动标签和对无线电信道的信号。为了得到更多的在RFID操作的准确信息，期望测量实际响应速度，在物理层，这被称为对物理层的反应率。这种物理层的反应率是，根据定义，是从MAC层的响应率，因为一个标签向接收器就反向散射信号作出反应并不能保证信号被接收器解调。

### RFID协议中的能量节省机会

被动RFID标签有三态特性，并且对于不同的标签单位还有变化的非活跃，丢失，稳定状态，进一步为RFID系统的设计空间增加了复杂性。虽然在丢失态的标签无法在MAC层检测，但由于在物理层反向散射信号，它们可能会导致额外的冲突。此外，有损标签扰乱标签数目估计算法，这会影响到存储操作的效率。同时，可以利用三态特性的机会提高系统的性能。基于三态电源型号的标签，一旦电源如通过所测量的水平达到稳定，经响应速度评估的性能将达到与最大功率一样高。因此，如果我们调整接收器的发送功率，以稳定态读取标签的时候，一个显著的能量部分可以保存而且不会降低性能！通常情况下，标签在空间上距离接收器分布在不同的距离。我们可以进一步通过利用标签多样性增强RFID系统性能，例如变化的距离和其他标签特异性属性。如果我们从低功率能量水平并逐步升级发送功率开始存储过程，所有标签都自然地“分割”成小团体，其中标签输入在不同功率能量水平的稳定状态。因此，发生冲突的可能性减小，并且会改进整体RFID系统性能。

## APS核心设计思想

### 节能存储算法

APS运行在RFID接收器。它调节存储过程的功率水平，并允许接收器不改变标签的硬件使用“刚刚好足够的力量”与商业化C1G2标签进行通信。不引入新的状态或对于标签处理操作的情况下，APS使用由C1G2协议所提供的信息，估计当前的系统状态，确定要在一定的功率水平下执行的任务，并采用标准的C1G2标准规定的操作交互与标签和实现节能。系统配置不需要先验知识，如网络规模，标签的定位，或者能量感应分布，APS步进提高电源水平，并在每个功率执行一个或多个检测出具有不同数量的槽水平的帧。因为发送能量在存储过程中不断变化，APS自然划分整个标签设置成几个组，有一个处理组的时间。分组是标签基于它们到接收器的距离和对传输能量的敏感度的多样性的结果。分组的关键性优势在于能够有效减少冲突，因为在每一组中的标签数量是相对少的。在APS中，这一实现没有借助任何附加的通信分组。

### 参数Q优化选择

这项研究实践的吞吐量还表明了两个重要的观察结果。首先，自适应设置Q值使得APS初始不完善的Q值反应比较弹性。在现实中，这是很难确定初始Q而不在网络上的先验知识空间。第二，吞吐量获益于更小的能量水平的变化和所属的更小分组。因此，在APS默认设置，初始Q为4和频率为1dBm的，这是在许多可用RFID接收器中的最小步。

### 丢失标签的解决方案

迭代计数器随着异常情况发生而递增，否则被复位为0。不正常情况当处于稳定状态的所有标签冲突可能时发生，可能巧合的是，只在某些插槽。调整Q和另外几帧后，这些稳定的标签将逐步被读取。 另一方面，如果出现异常情况连续发生多连续的帧，可能的情况是响应的标签在有损状态。

# 总结

本文中三篇文章均为MobiSys的论文，横跨12-13年，一篇为2010年PerCom的文章。目前RFID的实验性研究主要集中在对RFID系统的效率和能耗的提高，在算法协议层进行改进。在基于共同通信规则下，改进算法，提升效率，并结合商业基础设施实现，与已有或者已提出的方法进行比较，以效果说明方法的优越性。

致谢 感谢谢磊老师的辛勤指导。

References:

1. Pengyu Zhang, Jeremy Gummeson, Deepak Ganesan. BLINK: A High Throughput Link Layer for Backscatter Communication. MobiSys '12 Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services, 2012. 99-112
2. Lei Xie, Qun Li, Xi Chen, Sanglu Lu, and Daoxu Chen. Continuous Scanning with Mobile Reader in RFID Systems: an Experimental Study. MobiHoc '13 Proceedings of the fourteenth ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing, 2013. 11-20
3. Jeremy Gummeson, Pengyu Zhang, Deepak Ganesan. Flit: A Bulk Transmission Protocol for RFID-Scale Sensors. MobiSys '12 Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services, 2012. 71-84
4. Xunteng Xu, Lin Guy, Jianping Wang and Guoliang Xingz. Negotiate Power and Performance in the Reality of RFID Systems. Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2010 IEEE International Conference, 2010. 88-97.

附中文参考文献:

[5] 《物联网导论》，刘云浩著，科学出版社

[6] 《射频识别技术：原理、协议与系统设计》，陆桑璐、谢磊编著，科学出版社

1. \* Supported by PhD, Associate Professor Lei Xie

   作者简介: 张本(1992－),男,江苏太仓人,硕士,在读研究生,媒体计算研究组(MCG)成员。 [↑](#footnote-ref-1)