一种轻量级RFID系统抵抗克隆攻击方法

赵伯俣 2021302181156 武汉大学

摘要：射频识别技术（Radio Frequency Identification, RFID）在物联网中有着不可或缺的地位，依靠其快速识别、强大的抗干扰能力和适应恶劣环境的特性，使其广泛应用于物流产品跟踪、居民二代身份证等领域。本文旨在介绍RFID系统的硬件组成和工作原理，并探讨其中应用的安全认证协议。传统RFID系统中的标签常受克隆攻击威胁，因此，本文提出了一种基于hash链的抵抗克隆攻击方法。尽管尚未进行实验验证，但对该方法的优缺点进行了简要分析和假设。

关键词：射频识别系统；轻量级安全协议；克隆攻击；hash链

# 引言

RFID系统因为有着较低的成本和较强的抗干扰能力，目前被广泛应用于物联网的各个方面中，居民二代身份证、物流仓库中的产品跟踪定位、门禁系统中都能看到RFID技术的身影。然而，传统的RFID系统在标签安全性方面存在着一定的隐患，尤其是易受克隆攻击的风险。

RFID系统的安全性至关重要，尤其是在涉及到敏感信息或重要资产的场景中。传统RFID标签在设计上缺乏抵抗克隆攻击的能力，这为潜在的攻击者提供了入侵的机会，可能导致严重的安全问题。为了解决这一问题，本文提出了一种基于hash链的方法，旨在增强RFID标签的安全性，防范克隆攻击的威胁。

本文首先将介绍RFID系统的硬件组成和工作原理，随后，详细探讨RFID系统中常用的安全认证协议，分析其优缺点及存在的安全隐患。接着，提出了基于hash链的抵抗克隆攻击的解决方案，并对其进行简要的分析和假设。最后，对本文的研究内容进行总结，并展望未来可能的研究方向。

通过本文的研究，希望为RFID技术的安全性提供新的思路和方法，为物联网应用的安全发展做出贡献。

# 2.RFID基础理论

## 2.1 硬件组成

完整的射频识别硬件系统由标签、阅读器、天线和应用程序组成。下面对这四个硬件进行分别的介绍：

### 2.1.1 标签

标签主要由芯片和耦合元件组成，根据内部是否有电源可以将标签分为有源标签、半有源标签和无源标签三类。有源标签因为有电源的存在而使得其计算能力和存储能力均大于无源标签，但是在实际应用的过程中需要考虑电源的使用时间。标签内部的耦合元件可以接受阅读器发送的电磁波，从而在标签内部产生电流，这是无源标签的供能方式。同时由于无源标签的成本较低且使用寿命较长，使得其被广泛应用在活动识别、手势识别、室内定位等场景。[1]

### 2.1.2 阅读器

阅读器按照工作频率可以分类为低频、高频、超高频和微波四种，频率越高读取的距离也就越远。阅读器可以通过连接多个天线来获取来自不同通道的数据。

### 2.1.3 天线

天线以集成或者外接的形式与阅读器进行连接，外接天线按照是否有方向性能够全方位均匀辐射可以分为全向天线和定向天线。天线这一部件的主要作用是发送和接收无线信号，实现阅读器和标签之间的通信。[1]

### 2.1.4 应用程序

应用程序作为RFID的核心，控制着整个交互流程，在应用场景中，由于标签的存储能力和计算能力有限，所以需要应用程序来代替其完成相应的工作。[1]

## 2.2 工作流程

对于无源标签来说，当电子标签进入到天线的磁场中后，如果能够接受到阅读器发出的特殊的射频信号，就能凭借感应电流的能量发送出存储在芯片中的信息；对于有源标签来说则是主动发送某一频率的信号，阅读器读取到信息并完成解码之后交给应用程序进行处理

## 2.3 应用场景

RFID系统在众多场景中都有使用，在仓库运输时可以给货物镶嵌RFID芯片使得在物流过程中，货物的相关信息能够被读写器自动采集，方便快速查看货品信息，提高货品交接速度和准确率；在门禁系统中可以提前使用录入身份的标签来验证使用者的身份信息；在车辆调度系统中也可以使用RFID来自动识别车辆号码进而省去大量人工统计时间并且可以提高精确度。

## 2.4 优点

RFID最重要的优点是非接触式识别，能够在极具恶劣的环境下工作，并且穿透力极强，可以较快速度阅读并识别标签；RFID标签的数据容量可以根据用户的需求扩充到10k；RFID的标签数据可以利用编程的方式进行动态的修改并且可以动态追踪和监控；得益于其较强的抗干扰能力，RFID标签不易被破坏有较高的使用寿命；在阅读器的有效范围内可以同时读取多个标签，有着较强的放冲突性能。

# 3.RFID安全认证协议

## 3.1 RFID安全认证协议的需求

RFID系统的安全认证协议的安全需求如下：

1. 机密性，安全认证协议应该能够保护标签中的关键信息，使其只能由合法的阅读器进行识别；
2. 完整性，整个系统在信息传输的过程中应当保证不会因为误码或者攻击导致传输的数据被篡改。
3. 相互认证性，阅读器和标签应当相互证明各自身份的合法性。
4. 用户隐私性，标签的身份等关键字段应当设置保护机制以免被攻击者利用。
5. 前向和后向安全性，一些RFID为了节省成本所采用的防御手段难以抵御强力破解手段。[2]

## 3.2 RFID 安全认证协议攻击方式

RFID常见的攻击方式有如下几种

1. 拒绝服务攻击，攻击者向服务器发送多个信号来破坏RFID系统可用性。
2. 去同步攻击，破坏目标标签与应用程序之间的同步状态。
3. 泄露风险，破解RFID系统中的通信密钥
4. 克隆攻击，攻击者获取到标签内容后复制一个能够与阅读器交互的复制体
5. 中间人攻击，攻击者截获标签与阅读器的交互信息并依据目的进行修改
6. 重放攻击，攻击者捕获 Tag并将其重新发送给读取器,以与读取器通信并获取秘密信息。

## 3.3 RFID系统安全认证协议分类

按照RFID系统的计算能力即标签结构中所存在的等效门电路的数量可以将其分为超轻量级、轻量级、中量级、重量级，下面介绍不同量级的安全认证协议

### 3.3.1 超轻量级安全认证协议

该协议所采用的认证方式通常只涉及简单逻辑运算XOR、AND、OR等。受限于物理环境的限制，该类协议只能使用较小的代价来实现一部分的保密需求，所以容易受到重放攻击，去同步攻击和完全泄露攻击[2]

### 3.3.2 轻量级安全认证协议

轻量级安全认证协议多采取随机数生成器和循环冗余码CRC。相较于超轻量级的安全认证协议，该类协议采用了符合相关标准的简单加密手段终点关注随机数生成器的安全性。

### 3.3.3 中量级安全认证协议

中量级安全认证协议采取杂凑函数，ECC、hash函数等算法。该类协议的重点是双向认证，在防碰撞、窃取验证者和拒绝服务攻击方面存在弱点。[2]

### 3.3.4 重量级安全认证协议

该类协议为了实现高安全性多采用对称加密，椭圆曲线算法，RSA密码算法和DES等典型的加密算法。

# 4.轻量级RFID安全认证协议

查找最近文献可以找到多种对轻量级RFID安全认证协议的改进方法：

通过双向轻权认证协议来保护 RFID 系统的安全性和隐私，随机化标签的秘密信息再哈希的方法生成会话消息，标签与阅读器间采用二次相互认证的轻量级安全认证协议。使用hash运算确保认证过程中的保密性和完整性，通过对会话信息的随机化确保消息的新鲜行，通过对秘密信息的更新满足前向安全性[3]

通过改进轻量级移动RFID双向认证协议，使用hash运算和异或运算，从而满足标签、阅读器和后台数据库之间的相互认证。[4]

通过将动态会话密钥长度进行压缩来降低标签的存储消耗，然后将处理后的输入进行异或和移位等逻辑运算，最后通过按位异或的逻辑操作缩短输出的数据长度来降低计算成本和复杂度来实现在轻量级RFID在存储能力有限的条件下防止隐私数据泄露的问题。[5]

# 5．解决方案

需要RFID安全认证协议能够抵抗克隆攻击也就是说我们需要防止标签中的内容被复制后能够直接被攻击者使用，所以想要在轻量级安全认证协议中引入hash链来阻止克隆攻击。

因为轻量级RFID的存储性能和运算性能有限，所以我们不能将整个标签中保存的用户认证id作为hash函数的种子，我们可以取用户认证id的一部分作为hash函数的种子，这里具体取用的位数需要根据实际RFID芯片的运算能力进行讨论。在标签中保存有最原始的用户认证id（这里记作seed），并且只允许标签内部读取seed，不允许外界读取该部分的内容。

整个RFID系统的身份认证过程为首先阅读器的天线发射特定频率的信号被标签接收到，标签利用内部的线圈收集到天线释放的能量之后对seed进行hash运算，将hash运算n次的结果以及另外一部分的用户id值拼接之后向外发送，阅读器的天线接收到标签发来的信息之后首先通过未加密的用户id值确定用户的身份，然后读取数据库中该用户的seed，将seed同样进行n次hash运算后与接收到的信息进行比对，若比对结果在误差范围内则用户身份认证成功。反之则视为非法访问。验证之后阅读器通过天线向标签发送验证成功信号，阅读器和标签内部的计数器由n变为n-1。

因为外界能够读取到的标签的信号有两部分，并且由于使用了hash链技术，使得攻击者读取标签时只能读取到本次认证的值，得益于hash函数的单向性，并不能计算出seed的值，由此实现防止攻击者对标签进行克隆攻击。

# 6.结论

因为只能对提出的解决方案进行理论分析，没有进行实验验证的条件，所以下面对于该方案的分析部分均为猜测。

要完成这种解决方案，原始的标签中就需要加入能够进行数次的hash运算算模块以及对seed进行保存的不可读内存模块或者加密内存模块。这两个模块无疑会增加标签的成本，这样是否会与轻量级标签的规则相违背需要具体的实验进行验证。

因为轻量级RFID的运算能力有限，所以对标签进行初始化的时候不太可能将n的值设置为较大的值，因为这样会加重每次标签进行hash运算的负担，同时因为hash链的寿命问题，将n设置为较小的值后必须考虑标签每使用一定的次数就需要与服务器重新进行初始化的问题。所以n值具体设置怎样的值才会使得整个标签的利用效率最高需要具体的实验进行验证。

因为标签在接收到阅读器天线发出的成功认证信息后会将内部的计数器进行减1，所以攻击者是不是可以通过仿造阅读器的成功认证信号将其多次发送给标签从而进行去同步攻击。通过破坏数据库与标签中的计数器同步状态来破坏整个RFID系统。

# 参考文献

1. 殷宪祯. 基于RFID信号特征的安全认证技术研究与应用[D].南京邮电大学,2023.DOI:10.27251/d.cnki.gnjdc.2022.000034.
2. 寇广岳,魏国珩,平源,等.RFID安全认证协议综述[J].计算机工程与科学,2023,45(01):77-84.
3. 史志才.RFID系统的安全性和隐私保护方法[J/OL].电子科技:1-6[2024-05-10].https://doi.org/10.16180/j.cnki.issn1007-7820.2025.02.010.
4. 崔红达,徐森,杨硕.对轻量级移动RFID双向认证协议的分析与改进[J].物联网技术,2023,13(03):61-63+66.DOI:10.16667/j.issn.2095-1302.2023.03.019.
5. 包红琦. 一种面向RFID的轻量级安全认证协议[D].哈尔滨师范大学,2024.DOI:10.27064/d.cnki.ghasu.2023.001972.