RFID技术及其在食品工业中的应用概述

在食品工业中，射频识别（RFID）技术有潜力替代传统的通用产品代码（UPC）条形码。RFID技术能够在不需要直接视线的情况下，从远处识别物体。RFID标签不仅可以存储产品和制造商的详细信息，还能传输如温度和相对湿度等环境因素。本文介绍了与RFID技术及其在食品工业应用相关的关键概念和术语。描述了RFID系统的组成部分和工作原理，并讨论了RFID技术在食品工业中的多种应用，包括供应链管理、食品温度监控以及确保食品安全。同时，也讨论了实施RFID技术的挑战，如读取范围、读取准确性、非统一标准、成本、回收问题、隐私和安全问题。

关键词：食品工业应用、RFID、工作原理

引言：

快速识别技术已经使得食品工业中原材料和成品的处理变得更加高效。传统上，通用产品代码（UPC）条形码被用来自动化和标准化识别过程。尽管条形码成本较低，但它们需要读取器和标签之间有清晰的视线。射频识别（RFID）是一种替代技术，最近被用来加速制造商品和材料的处理。RFID是一种通用术语，用于描述使用无线电波识别物体的技术。RFID能够在不需要直接视线的情况下，从远处识别物体。RFID标签可以存储额外的数据，如产品和制造商的详细信息，并且能够传输测量的环境因素，如温度和相对湿度。此外，RFID读取器能够在没有人工协助的情况下区分同一区域内的许多不同标签。然而，RFID技术比传统的条形码技术更昂贵（Want 2006）。

RFID系统通常使用的五个频率范围是：低频（9至135 KHz）、高频（13.553至15.567 MHz）、业余无线电频段（430至440 MHz）、超高频（860至930 MHz）和微波频率（2.45和5.8 GHz）（Brown 2007）。RFID技术的典型应用包括支付高速公路通行费、快速结账的产品标签、库存跟踪、动物标记、汽车钥匙安全等。在过去几年中，RFID技术在食品工业中的应用越来越广泛。RFID技术在食品工业的一些应用包括供应链管理、食品温度监控和确保食品安全。

本文的目的是向读者介绍与RFID技术相关的关键概念和术语，并提供这些RFID概念/能力如何在食品工业中应用的例子。

RFID系统的组成部分包括RFID标签、标签读取器和天线。RFID标签，也称为应答器，是一种可以附着在物体上的小设备，以便识别和追踪物体。标签由微芯片、天线和基板或封装材料组成。微芯片存储数据，而天线传输和接收数据。微芯片和天线附着在基板上，称为内层。内层被封装在纸、塑料或薄膜等保护材料中。标签的大小通常由其天线的大小决定，因为微芯片通常非常小（Brown 2007）。标签有多种不同的形状、大小和保护外壳。市面上最小的标签尺寸为0.4 × 0.4毫米，比一张纸还薄（Roberts 2006）。

基于电源的分类：

有源标签：有源标签需要电池来为其微芯片供电。有源标签具有更长的操作范围、更大的处理能力以及更高的工作频率，因为它们有自己的电源。然而，成本较高（20至100美元）、需要容纳电池的较大尺寸以及电池寿命较短，使得有源标签在标签应用中不太实用（Brown 2007）。有源标签在433 MHz、2.45 GHz或5.8 GHz频率下工作。读取器可以从20至100米的距离与有源标签通信（Weinstein 2005）。

无源标签：无源标签不需要任何电源。它们从读取器接收的信号中获取能量。因此，它们需要读取器发出的强信号，并向读取器传输弱信号。它们只在读取器的范围内传输。这些标签成本较低（对于大量购买，每个标签大约10美分），使用寿命长，并且足够小，可以贴在粘性标签上。无源标签通常在128 KHz、13.6 MHz、915 MHz或2.45 GHz频率下工作。读取器可以从几厘米到10米的距离与无源标签通信（Weinstein 2005）。

半有源标签：半有源标签，也称为半有源标签，仅使用电池运行其微芯片的电路。它们使用与无源标签相同的方法传输信号。这些标签可以以比无源标签更高的速度读取。这些标签还可以使用电池供电的传感器监控和记录外部条件（Brown 2007）。

基于读写能力的分类：数据最初写入标签的过程称为标签的调试。标签根据其读写能力被分类为只读、一次性写多次读（WORM）、电子可擦写只读存储器（EEPROM）和读写标签（Brown 2007）。

只读标签：只读标签在制造过程中在其微芯片中编码了一个独特的识别号码。这个识别号码可以提供特定信息，如产品的批次号。然而，这些独特号码在标签制造后不能更改。一次性写多次读（WORM）标签：客户在标签应用于要标记的对象期间首次写入数据。WORM标签永久性地在标签上建立任何信息，这些信息可以在标签的生命周期内随时被读取器读取。

电子可擦写只读存储器（EEPROM）标签：EEPROM标签的数据可以多次擦除并用新信息重写。读写标签：数据可以在标签的生命周期中的任何时候由读取器添加到读写标签中。这些标签可以监控和记录外部条件作为时间的函数。

标签读取器是为标签供电并与之通信的设备。读取器由高频（HF）接口（包括发射器和接收器）、天线和控制单元组成。HF接口产生能量来激活和为标签供电，向标签发送数据，并从标签接收数据。读取器有一个或多个天线，发出无线电波并接收来自标签的信号。控制单元基于微处理器来控制与标签的通信。控制单元还对从标签接收的信号进行编码和解码。读取器的性能通常以读取器可以识别、读取或写入标签的范围和速率来衡量（Finkenzeller 2003; Brown 2007）。

天线是允许标签和RFID读取器之间通信的导电元件。RFID系统的读取器和标签都有用于传输和接收数据的天线。读取器的天线将读取器产生的电转换为无线电波并将其传输给标签。标签的天线接收无线电波并将其转换为电力，为微芯片供电。天线的大小很重要，因为它决定了读取器的工作范围。对于低频（125 KHz）和高频（13.56 MHz）系统，天线是铜线圈，以支持近场波，这些波主要是磁性的。业余无线电频段、超高频和微波频率系统的天线设计类似于无线电天线，以支持超高频的电性质（Sweeney II 2005）。这些直线天线对小偏差容忍度高，它们发出的无线电波可以传播更远的距离（Brown 2007）。

RFID系统的工作原理：RFID系统由标签和读取器组成。读取器产生并传输询问信号给标签。有源标签从电池为其微芯片供电，并向读取器传输信号。无源标签由读取器通过磁感应（近场耦合）或电磁波捕获（远场耦合）供电。这两种方法都可以为无源标签提供足够的能量以维持其运行。基于100 kHz至30 MHz频率的RFID系统使用磁感应工作。相比之下，基于2.45和5.8 GHz微波频率的RFID系统使用电磁波捕获（Finkenzeller 2003）。

磁感应：法拉第原理的磁感应是读取器和标签之间近场耦合的基础（图1）。通过读取器的天线线圈传递大的交流电流，产生交变磁场。如果标签包含较小的天线线圈，放置在这个磁场中，标签的线圈上会出现交变电压。一旦整流并耦合到电容器，就会积累电荷，用于为无源标签的芯片供电（Finkenzeller 2003）。数据通过负载调制从标签传输到读取器。标签通过改变电容器向其天线线圈释放的能量来改变能量。这种变化通过变压器型电感耦合从标签传输到读取器。读取器通过监测其天线线圈端电压的变化来读取信号。因此，改变标签天线线圈端的负载电阻对读取器天线线圈端的电压幅度调制有影响（Finkenzeller 2003; Weinstein 2005）。近场耦合是实现无源RFID系统的优选方法。然而，近场RFID系统的操作范围大约是c/2πf，其中c是光速，f是操作频率。这个范围对于13.56和915 MHz的频率分别是3.5和0.05米。随着操作频率的增加，操作范围减小。因此，近场RFID系统在低于100 MHz的频率下工作。磁场的大小与读取器线圈中心到标签的距离（r）的立方成反比。如果给定距离的磁场强度太弱，标签将没有足够的能量来启动自己。在13.56 MHz下，大多数近场系统的实际工作范围在0.01和0. 30米之间（Want 2004）。这些与近场RFID系统相关的限制导致了基于电磁波捕获的远场RFID系统（工作频率大于100 MHz）的出现（Want 2006）。

电磁波捕获：远场RFID系统的工作方式类似于收音机。远场RFID系统的标签捕获从连接到读取器的偶极天线发出的电磁波（图2）。标签中的较小偶极天线接收这些电磁能量作为交变电位差。这个电位差被整流并耦合到电容器中以积累电荷，然后用于为无源标签的芯片供电（Finkenzeller 2003）。

在食品工业中，RFID技术有多种应用，包括供应链管理、食品温度监控和确保食品安全。

供应链管理：在供应链管理中，RFID标签用于在分销和存储过程中追踪食品产品。RFID技术作为条形码扫描器的替代品，具有以下优势：RFID系统不需要读取标签的视线，它们的操作范围比条形码大，读取器可以同时与多个RFID标签通信，标签可以存储比条形码更多的数据。凭借其在整个三维空间扫描多个标签的能力，即所谓的询问区域，RFID技术还促进了从仓库到零售店的自动化产品运输。在商店中实施的RFID系统可以用来维护准确的库存数据库，一旦库存低，自动提醒仓库管理系统。沃尔玛已经实施了这样的准时产品运输系统（Weinstein 2005）。因此，RFID技术将提供更大的速度和效率在库存操作中，通过供应链更好地跟踪库存，并增强预测（Jones等人 2005）。沃尔玛公司是推动在供应链管理中实施RFID的第一个大公司。2003年6月，沃尔玛宣布将要求其前100家供应商在2005年1月1日前在运输箱和托盘上贴上RFID标签。每个标签将存储一个电子产品代码（EPC），用于跟踪产品进入沃尔玛的配送中心，然后转而运送到各个商店。沃尔玛现在要求其前300家供应商在所有产品托盘和箱子上贴上RFID标签（Jones等人 2005）。英国电信公司推出了一个新的基于RFID技术的食品可追溯性在线实时系统。这个系统，被称为BT Foodnet，实时追踪产品，加快并降低召回产品的成本。在线网络为零售商和供应商提供实时同步数据，关于所有库存项目在供应链中的当前和历史状态（从制造商到销售点）。这个系统结合了条形码和RFID读写标签与互联网上的安全数据交换平台（Connolly 2007）。eProvenance（法国波尔多塞）开发了一个基于RFID的追踪系统，以保持优质葡萄酒的品质并追踪其来源。这个RFID系统包括3个组件。第一个组件是放置在每箱葡萄酒中的13.56 MHz半有源RFID标签。这个半有源标签使葡萄酒生产商和分销商能够每天3次监控和记录每箱葡萄酒的环境温度。第二个组件是一个13.56 MHz无源RFID标签，带有唯一代码，附着在每个瓶子的底部，用于追踪和库存管理。第三个组件是一个专有的防篡改颈部密封，位于每个瓶子的瓶盖底部。密封处有一个用隐形墨水打印的唯一识别码，包含半有源和无源标签的识别号码。所有3个组件都通过它们在在线数据库中的唯一识别号码链接在一起（Launois 2008）。Unilever（英国伦敦）使用RFID技术在仓库中移动、处理和追踪产品。United Biscuits（英国海斯）使用RFID技术控制饼干和蛋糕制作过程中的原材料的移动（Angeles 2005）。RFID技术已被奶酪制造商用来精确追踪奶酪在供应链中的流向。这个追踪系统可以在出现问题时迅速召回产品。顾客在购买后可以通过在网站上输入一个字母数字代码来找到奶酪的全部历史（Regattieri等人 2007）。

温度监控：FreshtimeTM半有源RFID标签来自Infratab Inc.（美国加利福尼亚州奥克纳德）监控附着在食物上的货架期。标签感应温度并随时间整合，以确定产品的货架期，这可以传达给读取器。这些标签还配备有电池和可选的视觉显示器，根据物品的状态提供绿色、黄色和红色指示器（例如，绿色表示新鲜，红色表示不安全）。这些标签的工作范围从-25到70摄氏度。一个基于RFID的温度数据记录器（i-Q32T）由Identec Solutions（奥地利卢斯特瑙）制造，能够在其内存中存储多达13000个温度读数，这些数据可以使用读取器在最远100米的距离内检索。这个数据记录器可以用于监控和记录食品在加工和冷却期间的内部温度。这个数据记录器的工作范围从-40到85摄氏度，电池寿命超过6年。温度测量精确度在0.25摄氏度以内，记录间隔可以从1分钟到18小时（ElAmin 2005）。IDS-SL13A来自IDS Microchip AG（瑞士沃勒劳），是一个被动/半有源RFID数据记录器，为单电池供电的智能标签优化，具有传感器功能。这个数据记录器可以从薄而灵活的电池（1.5或3 V）以及RFID读取器发出的无线电波中获取能量。这个数据记录器的工作范围从-40到110摄氏度，最大精度为0.5摄氏度。

食品安全：RFID系统可以用来确保肉类、水果和乳制品等食品产品在运输和储存过程中保持在安全的温度范围内。VarioSens R⃝ RFID标签来自KSW Microtech AG（德国德累斯顿）可以作为温度数据记录器和供应链追踪工具。这个数据记录器的工作范围从-20到50摄氏度。TurbotagTM来自Sealed air（美国新泽西州埃尔姆伍德公园）是另一个温度监控RFID标签，它捕获并传递任何被标记产品的温度历史。ThermAssureRFTM来自evidencia（美国田纳西州孟菲斯）是一个基于RFID的温度记录系统，结合了追踪和追踪以及温度测量。结合RFID和温度记录标签为处理器提供了一种手段，以符合危害分析和关键控制点（HACCP）要求。ThermAssureRF也可以在整个供应链中追踪货物。这个温度记录器目前正被各种公司使用，这些公司运输葡萄酒、农产品、海鲜、肉类、家禽、药品和化妆品（ElAmin 2007）。奥本大学检测和食品安全（AUDFS）项目结合了RFID技术和传感器，用于检测食品中的病原体。

结论：随着任何新技术一样，RFID技术带来了许多挑战和机遇。实施这项技术的主要挑战包括在零售环境中的不可靠性、读取范围、读取准确性、非统一标准、成本和回收问题。消费者对隐私和安全的担忧也是这项技术被公众接受的障碍。尽管存在所有这些挑战，RFID是一种有前景的技术，有潜力用于食品工业的各种应用，如供应链管理、温度监控和确保食品安全。使用RFID技术可以通过提供更好的库存管理来提高效率和生产力，减少缺货供应和食品变质。将RFID标签与传感器集成可以为食品加工者提供监控食品产品温度或质量的手段。建立统一标准和实施这项技术的成本效益可以导致这项技术在食品工业中的广泛采用。

参考文献：

- Angeles R. 2005. RFID技术：供应链应用和实施问题. 信息系统管理 22(1):51–65.

- Arnold D. 2005. RFID标签对回收的影响. 可从: http://www.tutorialreports.com/wireless/rfid/environment/recycling.php 访问. 2009年4月10日.

- Brown DE. 2007. RFID实施. 纽约：麦格劳-希尔. 466页.

- Connolly C. 2007. 食品加工和包装中的传感器趋势. 传感器评论 27(2):103–8.

- ElAmin A. 2005. 为食品加工者追踪温度的RFID标签. 可从: http://www.foodproductiondaily.com/news/ng.asp?id=63387. 访问 2009年4月10日.

- Finkenzeller K. 2003. RFID手册. 英格兰西萨塞克斯: 约翰威利与儿子. 427页.

- Foley C. 2006. 射频识别（RFID）标签铜含量对回收有害. 可从: http://www.recyclingtech.org/AISI SRI RFID 2006.pdf 访问. 2009年4月10日.

- Jones P, Clarke-Hill C, Comfort D, Hilliear D, Shears P. 2005. 英国食品零售中的射频识别和食品零售. Br Food J 107(6):356–60.

- Launois A. 2008. 存储葡萄酒瓶数据的RFID追踪系统. 可从: http://www.foodproductiondaily.com/news/ng.asp?id=84511. 访问 2009年4月10日.

- Manias G. 2006. 选择RFID系统时应考虑的因素. 可从: <http://www.foodmanufacturing.com/scripts>

总结：

**RFID技术概述**

* **定义**：RFID是一种利用无线电波识别物体的技术，无需直视即可从远处识别物体。RFID标签可以存储产品和制造商的详细信息，并能够传输环境因素（如温度和湿度）。
* **组成部分**：RFID系统主要由标签、阅读器和天线组成。标签包含微芯片和天线，阅读器负责与标签通信。

**RFID在食品行业的应用**

1. **供应链管理**：RFID用于跟踪食品在分销和存储过程中的流动，提供比条形码更高的效率和准确性。例如，沃尔玛要求其供应商在运输箱和托盘上使用RFID标签，以实现实时库存管理。
2. **温度监测**：RFID标签可以监测食品的温度，确保在运输和存储过程中保持安全的温度范围。例如，Freshtime™标签可以集成温度数据，指示食品的新鲜度。
3. **食品安全**：RFID技术帮助确保食品（如肉类和乳制品）在运输和存储过程中保持在安全温度范围内，从而减少食品安全风险。

**实施挑战**

**技术挑战**：包括读取范围、读取准确性、非统一标准、成本、回收问题以及隐私和安全顾虑。

**成本**：尽管RFID标签的成本逐渐降低，但仍高于传统条形码，限制了其在零售商品中的广泛应用。

**未来趋势**

未来的研究将集中在提高读取率、改善RFID阅读器的可靠性以及将RFID数据与决策支持工具集成等方面。

**结论**

尽管面临挑战，RFID技术在食品行业中具有广泛的应用潜力，可以提高供应链管理、温度监测和食品安全的效率。随着技术的进步和成本的降低，RFID的应用可能会更加普及。