

# RFID Media Access

Roland Schneider

Fachseminar "Verteilte Systeme" zum Thema "Sensornetze"  
schnerol@student.ethz.ch

**Zusammenfassung.** Die Radiofrequenz-Identifikationstechnologie (RFID) ermöglicht es, Gegenstände, die mit RFID-Tags ausgerüstet sind, automatisch und kontaktlos zu identifizieren. Beim Betrieb eines RFID-Systems befinden sich häufig eine Vielzahl von RFID-Tags im Ansprechbereich des Lesegerätes, welches versucht, die einzelnen Tags zu identifizieren. Die vorhandene Kanalkapazität muss nun den Tags so zugeteilt werden, dass eine Übertragung der Daten von mehreren Tags an das Lesegerät ohne gegenseitige Störungen erfolgen kann. Die begrenzte Leistungsfähigkeit der Tags führt dazu, dass sich nicht alle aus der Funktechnik bekannten Verfahren für den Vielfachzugriff (Media Access) eignen. In diesem Bericht werden die im RFID-Umfeld eingesetzten Vielfachzugriffsverfahren vorgestellt und ihre Leistungsmerkmale aufgezeigt.

## 1 Einleitung

In vielen Bereichen des täglichen Lebens ist es notwendig, Objekte automatisch und maschinell erkennen zu können. Dabei kann es sich um Lebewesen oder Güter handeln. RFID (Radio Frequency Identification) ist eine mögliche Technik, welche dazu eingesetzt werden kann.

Dank Fortschritten in der Halbleiter-Technik können heute relativ günstige RFID-Transponder hergestellt werden. Objekte können mit einem RFID-Tag bestückt werden, ohne dass sich deren Stückpreis signifikant erhöht. Dadurch wird es attraktiv, RFID-Technik zur Objektidentifikation einzusetzen. Das führt dazu, dass Lesegeräte darauf ausgelegt werden müssen, mehr als ein Objekt gleichzeitig erkennen zu können.

In diesem Bericht wird ein Einblick in die RFID-Technologie gegeben. Es werden Verfahren gezeigt, die Objektidentifikation auch dann ermöglichen, wenn sich mehrere Objekte gleichzeitig im Erfassungsbereich des Identifizierungssystems befinden.

## 2 Passive RFID-Systeme

Ein passives RFID-System besteht aus einem Lesegerät und einem oder mehreren Transponder. Der Transponder besteht hauptsächlich aus einem Mikrochip und einer Antenne. Passive Transponder besitzen keine eigene Energiequelle. Das Lesegerät, welches ebenfalls mit einer Antenne ausgerüstet ist, überträgt mittels eines elektromagnetischen Feldes Energie an die Transponder. Auf das Signal, welches die Energie überträgt, können zusätzlich Daten aufmoduliert werden, die es dem Lesegerät erlauben, Befehle an die Transponder zu übertragen.

Wartet das Lesegerät auf Antworten der Transponder, wird ständig ein Signal ausgesandt und gleichzeitig dessen reflektierte Signalstärke gemessen. Die Transponder können Daten an das Lesegerät zurücksenden, indem sie mittels der eigenen Antenne das reflektierte Signal verändern. Im Nahbereich geschieht dies durch verändern der Impedanz der Antenne, was für das Lesegerät einen messbaren Unterschied der Spannung an der eigenen Antenne erzeugt. Da diese induktive Kopplung auf grössere Distanz nicht mehr wirksam ist, kann in diesem Fall der Transponder Daten versenden, indem er die gesamte ausgestrahlte Energie entweder absorbiert oder reflektiert.



**Abb. 1.** RFID-Systemkomponenten: 1) Lesegerät, 2) Leserantenne, 3) Transponder.

### 3 Automatische Objektidentifikation mit RFID

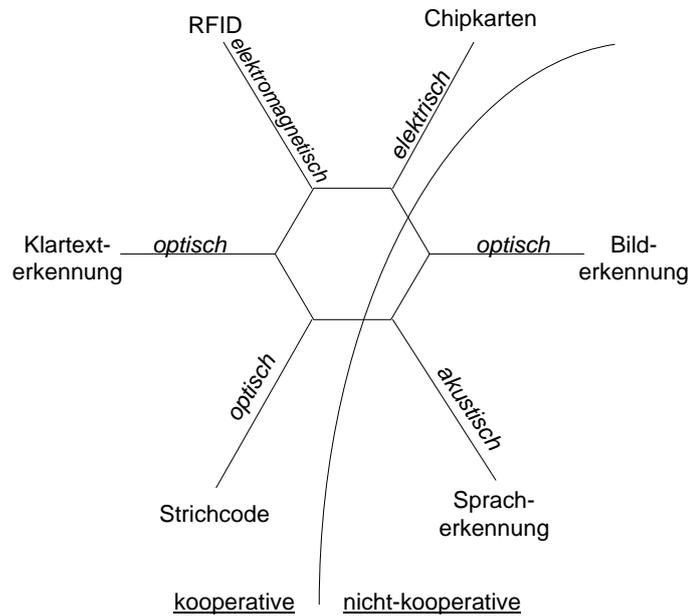
In Abbildung 2 sind verschiedene Technologien dargestellt, die für automatische Objektidentifikation eingesetzt werden.

Die kooperativen Verfahren setzen voraus, dass die Objekte vorgängig mit einem Tag markiert werden konnten. Die Objekte erhalten also eine Identifikationsnummer, welche durch die verwendete Technologie gelesen werden kann.

Ein Vorteil der RFID-Technik, ist die Möglichkeit, die Informationen auf dem Tag während des Einsatzes zu verändern. Das Lesegerät kann die gespeicherten Daten auf dem Mikrochip des Transponder mittels eines Befehlssatzes auslesen und schreiben. Somit kann beispielsweise auf dem Objekt eine Historie der bereits passierten Lesestationen abgelegt werden.

Besteht der Tag aus Klartext oder einem Strichcode, muss das Objekt optisch identifiziert werden. Diese Tags haben den Nachteil, dass sie durch Verschmutzung unlesbar werden und dass sie das äussere Erscheinungsbild des Objekts beeinflussen. Da RFID mittels Radiotechnik arbeitet, ist zwischen Lesegerät und Tag weder eine Sichtverbindung noch ein elektrischer Kontakt notwendig. Die Transponder können deshalb so im Objekt eingebettet werden, dass sie äusserlich nicht sichtbar sind.

Der Hauptvorteil von RFID-Systemen liegt jedoch darin, dass ein Lesegerät nicht auf ein Objekt ausgerichtet werden muss. Somit können mehrere Objekte gleichzeitig von einem Lesegerät bearbeitet werden.



**Abb. 2.** Übersicht der wichtigsten, automatischen Identifikationsverfahren, unterteilt in kooperative und nicht-kooperative Technologien. [2]

## 4 RFID und Sensornetze

In [4] werden die Eigenschaften von Sensornetzen zusammengefasst. Dieser Abschnitt stellt die RFID-Technik in Relation zu den genannten Charakteristiken von Sensornetzen.

Das Einsatzgebiet von Sensornetzen ist hauptsächlich die Überwachung und im Speziellen die Überwachung von Objekten. Meistens werden in Sensornetzen Verfahren verwendet, um nicht-kooperative Objekte zu überwachen. Erlaubt jedoch die Anwendung, dass die Objekte vor deren Überwachung markiert werden können, kann diese Aufgabe mit RFID-Technik gelöst werden.

Werden die Antennen der Lesegeräte so platziert, dass die Objekte sich in deren Nähe befinden, können deren Präsenz festgestellt werden und die notwendigen Aktionen ausgeführt werden. Diese Aktionen können zum Beispiel daraus bestehen, dem Objekt den Zutritt zu gewähren oder im einfachsten Fall nur zu notieren, dass sich das Objekt zur gegebenen Zeit an diesem Ort befunden hat.

Im Unterschied zu den in [4] betrachteten Sensornetzen gibt es in passiven RFID-Systemen keine Kommunikation zwischen den einzelnen Knoten bzw. Transpondern. Es wird nur zwischen Lesegerät und Transpondern kommuniziert. Diese Kommunikation ist meist Leser initiiert, d.h. die Knoten werden vom Lesegerät aufgefordert eine Antwort zurückzusenden.

Mangels eigener Energieversorgung sind die Transponder nicht in der Lage, während des Einsatzes Daten von Sensoren aufzunehmen. Die Daten, welche von einem RFID-Transponder gelesen werden, entsprechen also den Informationen, die Sensorknoten mittels ihrer Sensoren zu erfahren versuchen.

## 5 Media Access

RFID-Systeme werden heute vorwiegend so eingesetzt, dass sich im Normalfall nur ein Transponder im Empfangsbereich des Lesers befindet. Dies ist beispielsweise dort der Fall, wo die RFID-Technik für Zutrittskontrollsysteme eingesetzt wird. Dagegen gibt es in anderen Bereichen Anwendungen, in denen es nicht wünschenswert ist, jedes RFID-markierte Objekt einzeln in den Lesebereich zu bringen. In diesen Situationen sind Verfahren notwendig, die es einer hohen Anzahl Transponder ermöglichen, gleichzeitig auf das Übertragungsmedium zuzugreifen (Media Access). Aus der Funktechnik sind folgende Zugriffsverfahren bekannt, die zulassen, dass mehrere Sender ihre Daten an einen Empfänger senden können [2]:

- Space Division Multiple Access (SDMA)
- Time Domain Multiple Access (TDMA)
- Frequency Domain Multiple Access (FDMA)
- Code Division Multiple Access (CDMA)

Da bei der RFID-Technik die Transponder nur über eine beschränkte Leistungsfähigkeit verfügen und möglichst günstig hergestellt werden sollen, eignet sich hauptsächlich TDMA als Zugriffsverfahren. Seltener kommen auch FDMA-Verfahren Kombinationen aus TDMA und FDMA zum Einsatz.

Aufgrund der Tatsache, dass die Transponder nicht erkennen können, ob zur Zeit ein anderer Transponder bereits am Senden ist, kann es dennoch zu Kollisionen kommen. Diese müssen vom Lesegerät erkannt und behandelt werden. Durch die Verwendung von geeigneter Signalcodierung, wie beispielsweise der Manchestercodierung, können Kollisionen detektiert werden. Mit geeigneten Anti-Kollisionsverfahren ist es möglich, trotz Kollisionen alle Transponder zu identifizieren. Sarma [5] unterteilt diese Verfahren in deterministische und probabilistische Algorithmen.

### 5.1 Deterministische Verfahren

Deterministische Algorithmen suchen im Bereich aller möglichen Identifikationsnummern nach denjenigen, die sich momentan im Lesefeld befinden. Ein häufig verwendetes, deterministisches Verfahren ist der Tree Search-Algorithmus.

Dieser Algorithmus fordert in jedem Anfrageschritt alle erreichbaren Transponder auf, ihre ID zurückzusenden, falls diese in einem gewissen Intervall liegt. Antworten auf eine Anfrage mehrere Transponder, d.h. es wurde eine Kollision detektiert, verkleinert das Lesegerät bei der nächsten Anfrage das Intervall. Das Intervall wird solange geteilt, bis sich nur noch eine Transponder-ID innerhalb der Intervallgrenzen befindet. Der entsprechende Transponder wird somit erkannt und der Algorithmus geht mit den verbleibenden Intervallen analog vor, bis alle Tags identifiziert sind.

Werden die Intervalle, in denen eine Kollision festgestellt wurde, jeweils in zwei Subintervalle geteilt, entsteht ein binärer Baum. Mit jeder Teilung des Intervalls geht der Algorithmus einen Level im Suchbaum tiefer.

Die durchschnittliche Zeit, die benötigt wird, um alle Tags im Lesefeld zu erkennen, hängt davon ab, wieviele Anfragen vom Lesegerät gestellt werden müssen. In [3] wird analysiert, wieviele Anfragen durchschnittlich notwendig sind, um eine gewisse Anzahl Tags zu erkennen. Für die Analyse der Anzahl Anfragen die gestartet werden müssen, ist es notwendig, die Antworten in drei Typen zu unterteilen:

- Kein Transponder antwortet (Zero Reply)
- Genau ein Transponder antwortet (Single Reply)
- Mehrere Transponder antworten (Collision)

Die gesamte, für die Erkennung benötigte Zeit setzt sich aus der Anzahl dieser drei Antworttypen zusammen:

$$\text{Erkennungszeit} = \text{ZeroReplies} + \text{Collisions} + \text{SingleReplies}$$

Die Anzahl Single Replies entspricht der Anzahl der zu identifizierenden Transponder.

Die Wahrscheinlichkeit, dass sich genau  $r$  von  $n$  Tags in einem bestimmten Intervall befinden, wird für einen binären Baum wie folgt berechnet:

$$P_r = \binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r}, \quad \text{wobei } p = 2^{-L} \text{ und } L \text{ der Level im Suchbaum}$$

Daraus können die Wahrscheinlichkeiten für die obengenannten Antworttypen berechnet werden:

$$P_0 = (1 - 2^{-L})^n$$

$$P_1 = n 2^{-L} (1 - 2^{-L})^{n-1}$$

$$P_{r>1} = 1 - P_0 - P_1$$

Ein Knoten des Suchbaumes wird genau dann vom Algorithmus besucht, wenn der Vorgängerknoten eine Kollision verursacht hat. Somit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Knoten in Level  $L$ , besucht wird, die Wahrscheinlichkeit, dass der Algorithmus beim Durchlaufen seines Vorgängerknotens eine Kollision festgestellt hat.

Durch Aufsummieren der entsprechenden Erwartungswerte wird in [3] gezeigt, dass die vom Tree Search-Algorithmus durchschnittlich benötigte Zeit mit einem konstanten Faktor linear von der Anzahl der zu erkennenden Transponder abhängt. Weiter wird gezeigt, dass Verbesserungen erzielt werden können, wenn die Anzahl der zu identifizierenden Transponder bekannt ist.

## 5.2 Probabilistische Verfahren

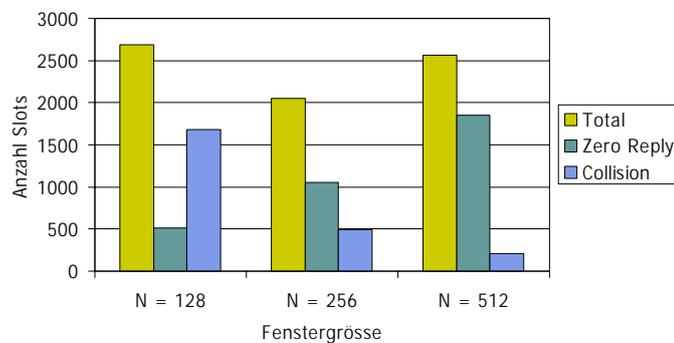
Bei probabilistischen Verfahren antwortet jeder der Transponder zu einem zufällig gewählten Zeitpunkt. Die meisten probabilistischen Algorithmen basieren auf dem Aloha-Verfahren [1]. In diesem Bericht wird ein Slotted Aloha-Verfahren für RFID-Systeme vorgestellt.

Beim Slotted Aloha-Verfahren stellt das Lesegerät den Transpondern eine Anzahl Zeitslots zur Verfügung, aus denen jeder Transponder zufällig einen für seine Antwort wählt. Der Erkennungsprozess besteht aus mehreren Anfragerunden. Sobald das Lesegerät eine Transponder-ID erkannt hat, wird der entsprechende Transponder stumm geschaltet, so dass er sich bei der nächsten Anfrage nicht mehr meldet. Das explizite Ausschalten ist notwendig, da die Transponder nicht selbst feststellen können, ob ihre Nachricht mit der eines benachbarten Transponders kollidiert ist oder ob sie korrekt angekommen ist. Für RFID-Transponder gibt es kein „Carrier Sense“ und kein „Collision Detect“ (CSMA/CD).

Analog zum Tree Search-Algorithmus können die Zeitslots in die Typen „Zero Reply“, „Single Reply“ and „Collision“ eingeteilt werden. Sind die Anzahl der zur Verfügung gestellten Zeitslots  $N$  (Fenstergröße) und die Anzahl der Transponder  $n$  im Lesefeld bekannt, ist die Wahrscheinlichkeit, dass  $r$  Tags in einem bestimmten Zeitslot antworten, wie folgt gegeben:

$$P_r = \binom{n}{r} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r},$$

wobei für die genannten Zeitslottypen die Werte  $r = 0$ ,  $r = 1$  und  $r > 1$  einzusetzen sind.



**Abb. 3.** Erwartete Erfassungszeit für 500 Tags mit verschiedenen Fenstergrößen.

Die Wahl der Anzahl Zeitslots beeinflusst die gesamte Erfassungszeit (Abb. 3). Wird die Fenstergröße zu hoch gewählt, bleiben eine hohe Anzahl Slots ungenutzt. Wenn die Fenstergröße dagegen zu klein gewählt wird, sind die Kollisionen so häufig, dass

viele Runden notwendig sind, um alle Transponder zu identifizieren. Folglich sollte die Fenstergrösse jeweils der Anzahl Transponder angepasst werden.

In [6] wird ein adaptives, auf dem Aloha-Prinzip basierendes Verfahren vorgestellt, welches in der ersten Runde eine gewisse Fenstergrösse zur Verfügung stellt. Diese Fenstergrösse wird nicht optimal sein. Die Antworten dieser ersten Runde werden den drei Slottypen zuordnet. Anhand dieser statistischen Grössen wird die Anzahl der Transponder im Lesefeld abgeschätzt und die Fenstergrösse entsprechend angepasst. Diese Schätzung wird nach jedem weiteren Schritt durchgeführt, bis eine optimale Fenstergrösse gefunden wird.

## **6 Schlussfolgerung**

### **6.1 Wahl des Anti-Kollisionsverfahren**

Ob nun ein probabilistisches oder ein deterministisches Verfahren eingesetzt werden soll, hängt von verschiedenen Faktoren des Systems ab.

In der Praxis bestimmen Reglementierungen der Frequenzbereiche, welcher Typ von Verfahren eingesetzt werden kann [5]. Da deterministische Verfahren mehr Leser-anfragen benötigen, werden sie vorwiegend in Frequenzbereichen eingesetzt, die für eine höhere Bandbreite zugelassen sind. Probabilistische Verfahren dagegen benötigen weniger Bandbreite, da die Leser-Transponder-Kommunikation nur einen kleinen Teil der gesamten Erfassungszeit benötigt. Der grössere Teil der Zeit wird von der Kommunikation von den Transpondern zum Leser benutzt. Deren Sendeleistung ist jedoch so gering, dass sie nicht zum Bandbreitenverbrauch dazugezählt wird.

Aspekte, wie Kosten, Identifikationsgeschwindigkeit und Fehlertoleranz können ebenfalls die Wahl des Verfahrens beeinflussen. Herrscht beispielsweise im Lesefeld eine hohe Dynamik, d.h. die Tags sind nur für kurze Zeit lesbar, eignet sich der Tree Search-Algorithmus nicht, da sich die Struktur des Suchbaumes ständig verändert.

Häufig werden Verfahren eingesetzt, die eine Verschmelzung aus den beiden vorgestellten Konzepten sind.

### **6.2 Zusammenfassung**

Dieser Bericht beleuchtet einen Ausschnitt der RFID-Technik. Durch die beschränkten Ressourcen der RFID-Transponder stellt der gemeinsame Zugriff auf das Übertragungsmedium ein spezielles Problem dar. Die aus der Funktechnik bekannten Verfahren können daher nicht ohne Anpassung übernommen werden. In diesem Bericht sind die meist verbreiteten Klassen von Anti-Kollisionsverfahren vorgestellt worden. Als Beispiel für ein deterministisches Verfahren wurde der Tree Search-Algorithmus genannt. Für die Klasse der probabilistischen Verfahren wurde eine angepasste Version des Slotted Aloha-Protokolls vorgestellt.

## **Literatur**

1. Benny Bing: Broadband Wireless Access. Kluwer Academic Publisher, ISBN 0-792-37955-1, 2000

2. Klaus Finkenzeller: RFID-Handbuch. Hanser-Verlag, ISBN 3-446-22071-2, 2002
3. Don R. Hush, Cliff Wood: Analysis of Tree Algorithms for RFID Arbitration. Proc. of ISIT 98, pp. 107, 1998
4. Kay Römer: Einführung in Sensornetze. <http://www.inf.ethz.ch/vs/edu/SS2003/DS/>
5. Sanjay E. Sarma, Stephen A. Weis, Daniel W. Engels: RFID Systems and Security and Privacy Implications. In: Cryptographic Hardware and Embedded Systems 2002: pp. 454-469
6. Harald Vogt: Efficient Object Identification with Passive RFID. In: Friedemann Mattern; Mahmoud Naghshineh (Eds.): Proc. International Conference on Pervasive Computing, Pervasive2002, Springer-Verlag, pp. 98-113, 2002
7. Roy Want, Daniel M. Russell: Ubiquitous Electronic Tagging. Distributed Systems Online, IEEE 2000.
8. Roy Want, Kenneth P. Fishkin, Anuj Gujar and Beverly L. Harrison: Bridging Physical and Virtual Worlds with Electronic Tags. In Proc. ACM CHI '99, ACM Press.