

ISTE WILEY

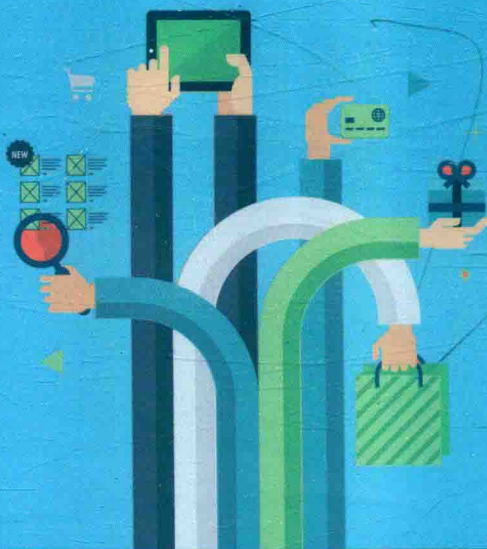
# NFC

## 设备设计宝典

### 设计约束篇

[法] 多米尼克·帕雷特 (Dominique Paret) 著

范春晓 邹俊伟 等译

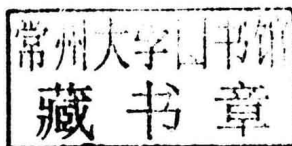


Design Constraints for NFC Devices

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# NFC 设备设计宝典： 设计约束篇

[法] 多米尼克·帕雷特 (Dominique Paret) 著  
范春晓 邹俊伟 等译



机械工业出版社

本书讲了当今 NFC 设备的技术, 以及这些技术在诸如金融支付、公共交通、行政管理、机动车、工业、通信工具以及物联网等领域的应用。本书通过数个翔实的技术实例, 讨论了诸多标准 (如 ISO、CEN、NFC Forum、EMV 等) 和监管认证 (如 ERC、FCC、ETSI、无线电频率、隐私及生态污染等) 下的约束, 以及 NFC 设备不得不面对的审批、外形、功能性、结构性、环境或协同等问题。

本书适合从事 NFC 设备设计、研发和制造的专业人士阅读, 也可作为高校相关专业师生的参考用书。

Copyright © ISTE Ltd 2016

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Design Constraints for NFC Devices, ISBN: 9781848218840, by Dominique Paret, Published by ISTE Ltd and John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由 Wiley 授权机械工业出版社独家出版, 未经出版者书面允许, 本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有, 翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2017-1399 号。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

NFC 设备设计宝典. 设计约束篇/(法) 多米尼克·帕雷特 (Dominique Paret) 著; 范春晓等译. —北京: 机械工业出版社, 2017. 12

书名原文: Design Constraints for NFC Devices

ISBN 978-7-111-58314-1

I. ①N… II. ①多… ②范… III. ①超短波传播—无线电技术—技术设计 IV. ①TN014

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 253795 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 吕 潇 责任编辑: 任 鑫

责任校对: 王明欣 封面设计: 马精明

责任印制: 张 博

三河市国英印务有限公司印刷

2018 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 8.75 印张 · 165 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-58314-1

定价: 59.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

010-88379203

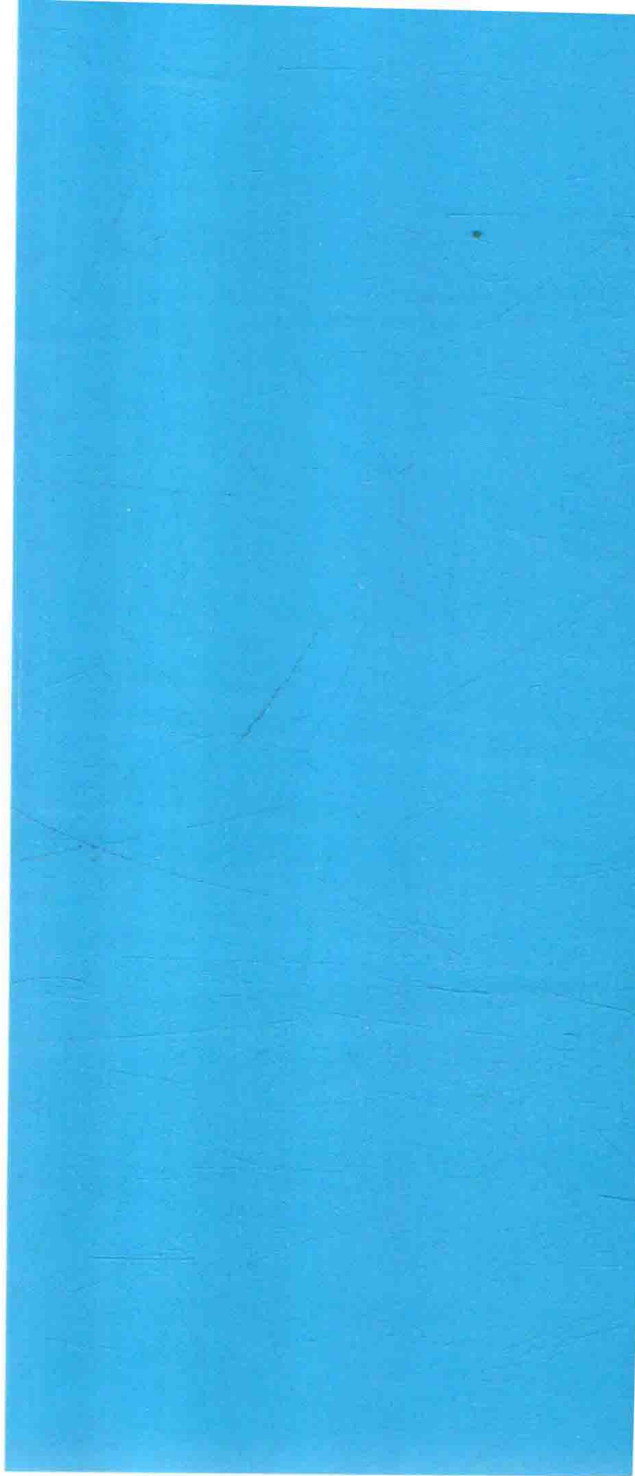
金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

本书讲述了当今NFC设备的技术，以及这些技术在诸如金融支付、公共交通、行政管理、机动车、工业、通信工具以及物联网等领域的应用。本书通过数个详细的技术实例，讨论了诸多标准（如ISO、CEN、NFC Forum和EMV等）和监管认证（如ERC、FCC、ETSI、无线电频率、隐私及生态污染等）下的约束，以及NFC设备不得不面对的审批、外形、功能性、结构性、环境或协同等问题。

本书适合从事NFC设备的设计、研发和制造的专业人士阅读，也可作为于高校相关专业师生的参考用书。



**电话服务**

服务咨询热线: 010-88361066  
读者购书热线: 010-68326294  
010-88379203

**网络服务**

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)  
机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)  
金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)  
教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)  
封面防伪标均为盗版

为中华崛起传播智慧

地址: 北京市百万庄大街22号  
邮政编码: 100037

策划编辑◎吕潇 / 封面设计◎马精明

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

# 译者序

NFC (Near Field Communication), 是一种近距离无线通信技术, 与其他近距离通信技术相比, NFC 具有独特的安全优势和快速接入能力, 填补了 WiFi、蓝牙等其他无线技术的使用场景空白。尽管 NFC 并非是一个新技术, 但由于过去 NFC 应用使用场景比较少, 因此大众对它的认知度并不高。

随着“Apple Pay”“三星 Pay”“华为 Pay”“小米 Pay”等手机 NFC 支付方式的逐步普及, 移动支付的飞速发展正带动 NFC 技术开始一个新的应用热潮。但当智能手机、智能手环等多种形状和材质的设备上附加 NFC 功能时, 导致 NFC 设备和天线的工作电磁环境更为复杂, 如何设计 NFC 设备和天线成为工程设计人员面临的难题, 此外, 在 NFC 设备的设计工作中, 要遵循诸多的设计规范与约束, 译者作为高校教师, 同时作为较早接触 NFC 技术、开发 NFC 应用的科技研究人员, 对系统介绍 NFC 设备和天线设计规范和原则方面中文资料的需求和匮乏有深刻的体会, 因此, 我们选择了两本系统介绍 NFC 概念、原理、技术约束及规定的原文书, 进行翻译出版, 希望为 NFC 工程设计人员提供较为准确、全面的 NFC 设备和天线设计知识。

原书的作者 Dominique Paret 在 NFC 领域工作近 20 年, 写过很多关于这个主题的文章, 在国内翻译出版的有《超高频射频识别原理与应用》等著作, 在射频通信领域是理论与应用结合的专家。此次引进的这两本书是作者 2016 年的最新力作, 对 NFC 特定应用的集成电路和天线 (硬件) 的具体功能进行详细、系统的描述, 填补了对 NFC 物理层——空中接口的研究的空白。

书中除介绍 NFC 基本概念和 NFC 设备运行原理外, 还收集、编译和整理了一个技术数据库, 它由各种通用工业实例以及具体和详细的“NFC 设备设计以及相关知识”的实例组成, 全书叙述由浅及深, 由结构、实例入手, 讲述设计 NFC 设备需要遵循的约束, 适合工程技术人员、教师、学生等 NFC 领域的研究者阅读, 可以作为 NFC 基本技术和应用培训教材, 也可以作为有关 NFC 设备设计过程中的约束的专门手册。

《NFC 设备设计宝典: 设计约束篇》, 描述设计 NFC 相关设备时需要遵循的标准、规则和约束。书中共分 4 部分。第 1 部分, 囊括了很多关键的技术问题, 对于了解当前 NFC 设备的应用问题, 是非常重要的。该部分从讲述 NFC 运行原理开始, 继而描述 NFC 元件结构, 给出设计时适用的结构规范约束, 主要是 NFC 射频

级设计、天线设计及与之直接关联的连接问题。第2部分，将NFC应用进行分类，按照分类介绍其成果及相应的满足应用目标需要的设计约束。第3部分，阐述了设计NFC设备及其天线的框架和背景，描述与NFC规范和标准（ISO、NFC Forum、EMV等）内容存在直接和间接相关的结构约束、各种应用的功能约束，以及对这些约束的处理方法。第4部分，介绍专门讨论NFC系统及其天线的测量和测试的约束，讨论各种NFC特定组件（天线，线圈等）的值和特性的测量的约束，以及符合标准的产品的的主要约束的一致性测试。

《NFC设备设计宝典：天线篇》讲述了NFC设备的天线设计的约束设计方法，书中按照NFC天线的组成结构及通信原理讲述各部分的约束规则。书中首先回顾NFC设备天线设计的约束条件（第1章），介绍NFC内部原理（第2章），然后重点介绍NFC天线的组成结构的约束规则，包括发送者天线（第3章）、接收者和标签的天线（第5章）、发送者-接收者天线对及其耦合（第7章）、发送者-接收者天线对和负载效应（第8章），中间适时给出应用实例，包括发起者天线的应用实例（第4章），发送者、接收者天线设计的详细示例（第6章），并在最后给出“如何进行一个NFC项目”一节，指导读者展开实际应用。

NFC中文译著比较少，本书翻译过程中面临的一个困难是，有很多专业名词及缩略语是否翻译，如何进行中文翻译，译者进行了仔细斟酌，但仍难免有疏漏之处，如读者发现任何不理想之处，望能不吝赐教，我们将在再版时予以纠正。特别感谢冯钊、刘亚辉、闫萌、朱翀、尹建、陈建文、安亚超、徐生、蔡宇等为本书翻译所做的工作。值得注意的是，为了更直观地将作者的思路与理念呈现到读者面前，本书中的物理量符号、公式等均与原著保持一致。

机械工业出版社对本书的出版予以高度重视，编辑们在出版过程中指出了很多问题，提出了很多宝贵建议，提高了本译著的质量。本书出版付印过程中参与服务的还有多位台前幕后的工作人员。对此予以特别感谢！

译者

# 原书前言

我从一开始（到现在已经 15 年了）就在 NFC（近场通信）领域工作，过去写过很多关于这个主题的文章。现在 NFC 在操作原理方面已经取得了长足的进步，也出现了各种精彩纷呈的 NFC 应用软件（特别是移动电话）。然而（总是会会有一个转折），关于 NFC 特定应用的集成电路和天线（硬件）的具体功能的研究文献相对较少，对物理层（即空中接口）的研究也相对很少。我希望这本书能很好地填补这个空白。

因此，我希望立即使这种局面得到改观。我希望弥补这个不足之处不是出于情怀，而是因为它是一个日常的现实。设计师和用户常常忽略某些限制，认为“没有它也会正常工作”。然而，不幸的是，由于通过空中接口、网络天线、各种应用程序和物理环境的各种形式因素进行通信，它们的问题必须加以考虑，否则无法实现任何建设性的目标。

作为在这片神秘的领域驰骋多年并且见证了 NFC 市场渐渐兴旺的众多公司的技术顾问，我将本书定位为面向工程师、技术人员、学生和这个领域源源不断的新来者，以帮助他们避免一些陷阱。目前，这些主题很少有现成的信息或基本技术和应用培训。因此，我现在向你们提供这本书，作为本领域入门的一个引导，并提供有关 NFC 设备设计过程中关于约束的专门知识。我已经收集、编译和整理了一个技术数据库，它由各种通用工业实例、具体和详细的“NFC 设备设计”实例组成。这些实例来自于我的公司“dp-Consulting”的广泛参与。

本书不是关于市场营销的百科全书，也不是关于本书主题的泛泛而谈，而是对于技术细节和所有关于这些技术功能和应用问题的深入检查和技术参考。读者在阅读本书的过程中将发现，应用领域非常宽广，从无纸化数据交换到安全支付，这些应用可由便携设备（比方说手机和相机等）控制，也可以应用在芯片卡、电视或汽车上。因此，我们需要考虑许多“形状因素”、外部环境等问题，这些问题导致了一系列和天线相关的技术问题。

此外，为了不妨碍读者理解本书中提到的设备，我已经做了最大努力让这本书尽可能清晰和有条理。这样你们就可以立刻看到重点，以及理论、技术方面、经济方面等的联系点所在。

现在，我希望读者会发现这本书很有趣并且很有用。最重要的是，享受它，

因为它是献给你们的（不是我）！如果有任何疑问，欢迎读者随时通过电子邮件联系我，提出关于本书内容和形式的任何评论、问题（当然，这些评论应该是建设性的）。我的电子邮件地址是 [dp-consulting@orange.fr](mailto:dp-consulting@orange.fr)。

**Dominique Paret**

**2016 年 2 月**

# 目 录

译者序  
原书前言

## 第1部分 NFC 简介和回顾

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 第1章 近场通信 (NFC) 原理回顾 .....                                     | 2  |
| 1.1 “非接触式”的物理基础与 NFC .....                                    | 2  |
| 1.1.1 传播和辐射的现象 .....                                          | 2  |
| 1.1.2 场与空间区域的分类 .....                                         | 2  |
| 1.1.3 空间区域 .....                                              | 2  |
| 1.1.4 远场: $r \gg \lambda/2\pi$ (Fraunhofer 区) .....           | 3  |
| 1.1.5 中场: $r$ 约等于 $\lambda$ (Fresnel 区) .....                 | 3  |
| 1.1.6 近场区域: $r \ll \lambda/2\pi$ (Rayleigh 区) 和 NFC 的起点 ..... | 3  |
| 1.1.7 非接触式、RFID 和 NFC 应用的注释说明 .....                           | 3  |
| 1.2 NFC 的概念 .....                                             | 4  |
| 1.2.1 Biot-Savart 定律 .....                                    | 5  |
| 1.2.2 圆形天线轴上一点的场 $H$ .....                                    | 5  |
| 1.2.3 作为“ $d$ ”一个函数的场 $H$ 的衰减 .....                           | 7  |
| 1.2.4 矩形天线的轴上一点的场 $H$ .....                                   | 8  |
| 第2章 NFC 的规范约束 .....                                           | 9  |
| 2.1 简介 .....                                                  | 9  |
| 2.1.1 规范性、标准性和 NFC 市场约束 .....                                 | 9  |
| 2.1.2 词汇表 .....                                               | 9  |
| 2.1.3 规范 .....                                                | 10 |
| 2.1.4 标准 .....                                                | 10 |
| 2.2 规范性约束 .....                                               | 10 |
| 2.2.1 从发起者到接收者的上行链路 .....                                     | 11 |
| 2.2.2 NFC 设备天线上的非接触式规范约束 .....                                | 15 |
| 2.3 结论 .....                                                  | 23 |

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 第3章 规则约束和推荐规范 .....                       | 24 |
| 3.1 针对 NFC 和 NFC 天线的规则约束 .....            | 24 |
| 3.1.1 射频规定 .....                          | 24 |
| 3.1.2 关于 NFC 辐射和污染的约束 .....               | 25 |
| 3.1.3 ERC 70-03 标准和 ETSI 300 330 规范 ..... | 25 |
| 3.2 关于标准的讨论 .....                         | 29 |
| 3.2.1 关于人体暴露在电磁场中 .....                   | 29 |
| 3.2.2 关于个人自由（隐私）的社会约束 .....               | 30 |
| 3.2.3 环境影响 .....                          | 32 |
| 3.3 NFC 市场的规范 .....                       | 32 |
| 3.3.1 应用 NFC 技术的短距离设备 .....               | 32 |
| 3.3.2 用户期望的成本与市场价 .....                   | 33 |
| 3.3.3 注意虚假广告 .....                        | 33 |

## 第2部分 NFC 应用领域导致的约束

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 第4章 NFC 应用的分类与成果 .....                    | 36 |
| 4.1 NFC 应用的分类方法 .....                     | 36 |
| 4.1.1 技术 .....                            | 36 |
| 4.1.2 “NFC Forum 设备”和“NFC Forum 标签” ..... | 37 |
| 4.1.3 NFC Forum 设备通信的“模式” .....           | 38 |
| 4.1.4 NFC Forum 设备的角色 .....               | 39 |
| 4.1.5 应用分类的可行性及其约束 .....                  | 39 |
| 4.2 应用成果及其直接约束 .....                      | 41 |
| 4.2.1 Touch & Go .....                    | 41 |
| 4.2.2 Touch & Confirm .....               | 42 |
| 4.2.3 Touch & Connect .....               | 42 |
| 4.2.4 Touch & Explore .....               | 42 |
| 第5章 NFC 应用领域导致的约束 .....                   | 43 |
| 5.1 NFC 应用的技术可行性范围 .....                  | 43 |
| 5.1.1 架构和电子功能 .....                       | 43 |
| 5.1.2 形状，尺寸和外形（公共场合除外） .....              | 43 |
| 5.1.3 备注和表的部分解释 .....                     | 45 |
| 5.1.4 用于长距比赛监测的接收者/标签 .....               | 45 |
| 5.1.5 用于监控奢侈品的接收者/标签 .....                | 46 |
| 5.2 NFC 设备细分、市场类型、问题和影响及直接技术约束 .....      | 47 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 5.2.1 市场部门和类型                 | 47 |
| 5.3 移动电话                      | 48 |
| 5.4 银行/货币事务/付款                | 49 |
| 5.5 运输                        | 50 |
| 5.5.1 第一种情况: 电池辅助型和平板电池型卡模拟模式 | 52 |
| 5.5.2 第二种情况: 电池输出的卡模拟模式       | 52 |
| 5.5.3 第三种情况: 碰撞和负载效应          | 53 |
| 5.6 汽车                        | 53 |
| 5.6.1 消费类电子产品                 | 55 |
| 5.7 健康服务                      | 57 |
| 5.8 沟通介质                      | 57 |
| 5.8.1 NFC 平板电脑                | 58 |
| 5.8.2 NFC USB 钥匙              | 58 |
| 5.8.3 NFC 沟通和促销介质             | 58 |
| 5.8.4 “附加性”的 NFC 设备、棒和贴纸      | 59 |

### 第3部分 设计 NFC 系统及其天线时需要解决的应用约束问题

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 第6章 NFC 的结构约束                  | 62 |
| 6.1 天线形状导致的约束                  | 62 |
| 6.2 操作距离变化导致的约束                | 62 |
| 6.2.1 距离和磁耦合                   | 63 |
| 6.3 在约束下发起者天线的品质因数 $Q$ 的最大可接受值 | 63 |
| 6.4 回归(逆)调制电压的约束               | 64 |
| 6.4.1 无源负载调制 (PLM)             | 64 |
| 6.4.2 有源负载调制 (ALM)             | 66 |
| 第7章 应用功能约束                     | 69 |
| 7.1 天线调谐/失谐约束                  | 69 |
| 7.1.1 发起者的情况                   | 69 |
| 7.1.2 接收者的电路示意图                | 69 |
| 7.1.3 “调谐”“未调谐”和“失谐”的移动电话      | 75 |
| 7.2 环境的影响和约束                   | 78 |
| 7.2.1 环境的物理影响                  | 78 |
| 7.2.2 环境对天线及其性能的影响             | 78 |
| 7.2.3 电场                       | 78 |
| 7.2.4 磁场                       | 80 |

## 第4部分 一致性和互操作性约束

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 第8章 一致性约束 .....                           | 88  |
| 8.1 NFC 设备的一致性测试 .....                    | 88  |
| 8.2 NFC IPx 的“一致性”测试规范 .....              | 88  |
| 8.2.1 ISO 23917 测试 (NFC IP1 协议) .....     | 90  |
| 8.2.2 ISO 22536 测试 (NFC IP1 RF 接口) .....  | 90  |
| 8.3 发起者天线的电特性 .....                       | 91  |
| 8.3.1 天线的电感和电阻 .....                      | 91  |
| 8.3.2 品质因数 .....                          | 92  |
| 8.3.3 带宽 .....                            | 93  |
| 8.3.4 天线的调谐及阻抗匹配 .....                    | 94  |
| 8.4 接收天线的调整方法 .....                       | 97  |
| 8.4.1 吸收阈值 .....                          | 97  |
| 8.4.2 读取模式下的吸收 .....                      | 97  |
| 8.4.3 共振频率 .....                          | 98  |
| 8.4.4 带宽 .....                            | 98  |
| 8.5 与接收者一起使用的测量方法 .....                   | 98  |
| 8.6 发起者天线的电测量 .....                       | 99  |
| 8.6.1 测量发起者辐射的磁场 .....                    | 99  |
| 8.6.2 品质因数的测量 .....                       | 100 |
| 8.6.3 在应用中测量 $Q$ 值 .....                  | 103 |
| 8.6.4 测量应用程序中的带宽 .....                    | 104 |
| 8.7 整个系统的调整方法 .....                       | 105 |
| 8.7.1 需要被执行的测量 .....                      | 105 |
| 8.7.2 测量的执行顺序 .....                       | 105 |
| 8.7.3 能源领域、零位线和安全操作领域 .....               | 105 |
| 8.8 测量工具 .....                            | 106 |
| 第9章 互操作性约束 .....                          | 107 |
| 9.1 标准和互操作性 .....                         | 107 |
| 9.2 测试的问题：NFC ISO、EMV 和 NFC Forum 等 ..... | 108 |
| 9.2.1 EMV 一致性测试 .....                     | 108 |
| 9.3 实际应用：测量的一些简单例子 .....                  | 114 |
| 9.3.1 例子1 .....                           | 114 |
| 9.3.2 例子2 .....                           | 116 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 9.3.3 NFC Forum 中的一致性测试 .....      | 118 |
| 9.3.4 更低层的 NFC Forum 测试和验证方法 ..... | 119 |
| 9.3.5 测试 NFC 与 CEN 的一致性 .....      | 119 |
| 9.3.6 什么是总体的互操作性? .....            | 120 |
| 结语 NFC 及其天线的“近场”“远场”的未来 .....      | 121 |
| 参考文献 .....                         | 126 |

# 第 1 部分

## NFC 简介和回顾

本书的第 1 部分有三个章节。在第 1 章中，我们会简要回顾近场通信（NFC）的运行原理。第 2 和第 3 章将描述 NFC 元件适用的结构规范约束，主要是 NFC 射频级设计、天线设计以及与之直接关联的连接问题等。

虽然第一部分是本书的介绍，但是其中囊括了很多关键的技术问题，这对于了解当今世界和现有设备的应用问题是非常重要的。

现在到了由读者亲自发现这一切的时刻。



# 第1章 ● ● ● ●

## 近场通信 (NFC) 原理回顾

为了可以在适当情境下了解近场通信 (NFC) 的思想, 本章对 NFC 的核心物理概念进行了一次总览, 这些概念对于理解全书的内容至关重要, 需要牢记。

### 1.1 “非接触式”的物理基础与 NFC

为了帮助不熟悉技术细节 (或是需要回顾) 的读者理解这些应用中的具体问题, 我们要对射频 (RF) 通信进行简要回顾, 并且对术语“近场通信 (NFC)”所涵盖的内容给出明确的解释。这是个物理术语, 而非营销术语。因此, 回顾近场通信相关技术的理论基础和物理基础很有必要。

#### 1.1.1 传播和辐射的现象

我们将通过一个辐射的经典例子“赫兹偶极子 (Hertzian doublet)”, 来解释关于射频 (RF) 电磁波传播物理概念的一些结论。随后我们将用这个简单例子来验证 NFC 的一些具体案例。

#### 1.1.2 场与空间区域的分类

在学习电磁波 (EM waves) 传播和辐射现象时, 由麦克斯韦方程可知, 电场辐射强度  $E$  和磁场强度  $H$  取决于三个主要参数, 即

- 1) 时间变量  $t$ 。
- 2) 与辐射源之间的距离变量  $r$ , 有  $1/r$ ,  $1/r^2$  和  $1/r^3$  三项。如果这些当中一个或多个项相比其他项可忽略不计, 那么可以简化方程。
- 3) 乘积  $kr$ , 有  $kr = 2\pi/\lambda$ 。

#### 1.1.3 空间区域

在一个非常小的天线中 (与辐射源相当的球体直径很小), 通常会依据该系统下  $r$  的值和波长  $\lambda$  的关系定义三种空间区域, 即近场空间、中场空间和远场空间。这依据  $r$  的值大于或者小于下式进行区分。

$$1/k = \lambda/2\pi$$

#### 1.1.4 远场: $r \gg \lambda/2\pi$ (Fraunhofer 区)

远场区域中, 麦克斯韦方程中  $1/r^2$  和  $1/r^3$  两项可以忽略, 在  $1/r$  项中的  $E$  和  $H$  的值也减小很多, 这在距离  $r$  的值远远大于  $\lambda/2\pi$  时发生。这一点上发生的是, 从准驻波的区域移动到波传播的区域, 即进入了辐射场的控制区域。该场空间中电场  $E$  占优势, 并且不再有任何磁耦合。通常在该区域中, 设备主要使用辐射场  $E$  工作, 因此使用偶极子 (dipole) 天线。

#### 1.1.5 中场: $r$ 约等于 $\lambda$ (Fresnel 区)

在该空间区域中,  $1/r$ ,  $1/r^2$ ,  $1/r^3$  等项都要保留。这是一个辐射近场, 当天线的尺寸大于传输波长  $\lambda$ , 距离  $r$  近似等于  $\lambda$  时, 存在 Fresnel 分量。

#### 1.1.6 近场区域: $r \ll \lambda/2\pi$ (Rayleigh 区) 和 NFC 的起点

在  $r \ll \lambda/2\pi$  的空间区域中 (忽视系统运转的频率), 接近天线的环境下  $1/r^2$  和  $1/r^3$  项的值要远远大于  $1/r$  项的值, 并且场 ( $E$ ,  $H$ ) 衰减很快。该近场区域 (称为瑞利区域) 基本上对应于“耦合变压器”的区域 [其中接收功率  $P_r$  大约等于发射功率  $P_t$ , 这与自由空间传播的效果不同,  $P_r \ll P_t$  (远场)]。

当传输在天线近距离发生时, 电场由天线自身的电势产生, 即近场域。在这个距离下, 我们看到这是一个“常驻”波的控制区, 可以在标签和源之间建立磁或电耦合。

通常在该区域, 设备通过使用感应耦合 (比如环形天线) 来产生磁场  $H$  从而工作, NFC 就是这种情况。

总结:

$$\text{近场(磁耦合)} < \lambda/2\pi < \text{远场(波传播)}$$

#### 1.1.7 非接触式、RFID 和 NFC 应用的注释说明

这些注释对于远程供电系统 (当传输波可以提供足够的能量给电子标签完成功能) 是至关重要的。对于现有的半导体技术和现行规范, 作为开始, 了解非接触式、RFID、NFC 应用需要的功能在近场和远场区域的区别总是很有趣的。考虑到这一点, 让我们看表 1.1, 其给出了频率值和与其相关的距离  $\lambda/2\pi$  之间的关系。

表 1.1 频率值和与其相关的距离  $\lambda/2\pi$  之间的关系

|         | 频率       | 波长     | $\lambda/2\pi$ | NFC 应用的<br>近场区 | 远场区的起始<br>位置约大于 $3\lambda$ |
|---------|----------|--------|----------------|----------------|----------------------------|
| 低频 (LF) | 125kHz   | 2400m  | 382m           | 总是             | 1100m                      |
| 高频 (HF) | 13.56MHz | 22.12m | 3.52m          | 总是             | 11m                        |