



第四讲 射频识别理论基础

第1节 3.1 相关电磁场知识



知识点与学习目标

- ✓ 天线近场与远场
- ✓ 耦合类型
- ✓ 能量传递
- ✓ 数据传输原理



天线近场与远场



- ✓ 电子标签和读写器间信息传递与能量耦合的性能完全由天线周围的电磁场特性决定。
- ✓ 非辐射场区是天线辐射场中紧邻天线口径的一个场区域。
- ✓ 越过电抗近场区就是辐射场区，辐射场区的电磁场已脱离了天线的束缚并作为电磁波进入空间。

天线近场与远场



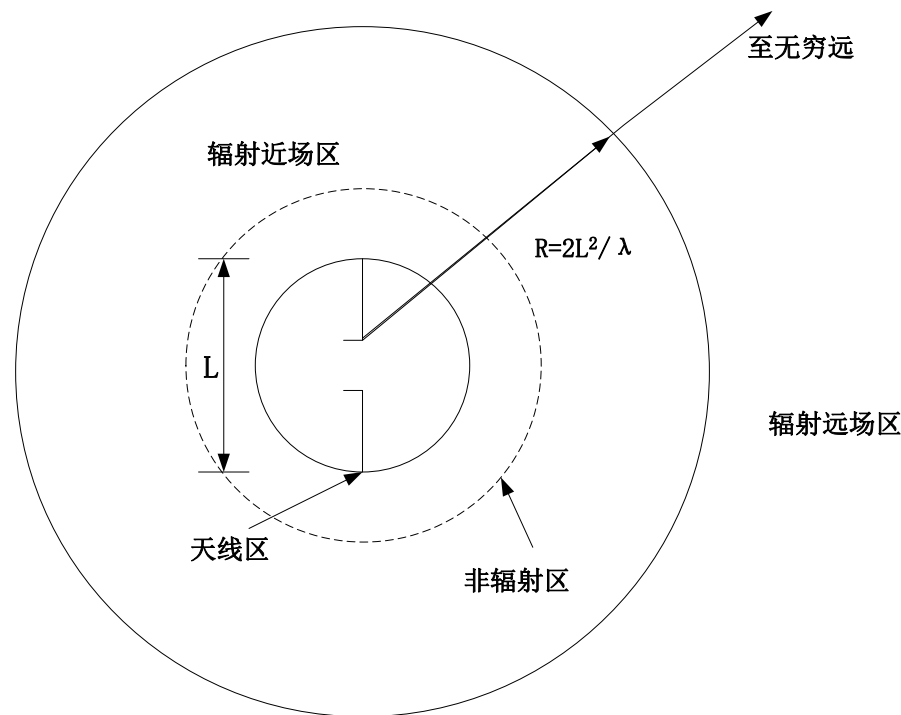
辐射远场区电磁波以平面波形式传递，辐射场的角度分布与距离无关。

公认的辐射近场区和远场区的分界距离R为：

$$R = \frac{2D^2}{\lambda}$$

(式2.1)

其中D为天线直径， λ 为天线波长，一般要求 $D \geq \lambda$ 。



天线场划分

天线近场与远场



- ✓ 对于天线而言，满足天线的最大尺寸 L 小于波长 λ 时，天线周围只存在无功近场区与辐射远场区，没有辐射近场区。无功近场区的外界约为 $\lambda / 2 \pi$ ，超过了这个距离，辐射场就占主要地位。
- ✓ 对射频识别系统和电子标签而言，绝大多数情况下，采用 $L / \lambda \ll 1$ 或 $L / \lambda < 1$ 的天线结构模式。天线的无功近场区和远场区的距离可以根据波长进行估算。

耦合类型



1) 密耦合系统

- ❖ 密耦合的作用距离是1cm以下，工作频率一般在30MHZ以下。
- ❖ 阅读器一方的天线相当于变压器的**初级线圈**，射频标签一方的天线相当于变压器的**次级线圈**，耦合磁场在阅读器**初级线圈**与射频标签**次级线圈**之间构成闭合回路。
- ❖ 密耦合系统可以用介于直流或30MHz交流之间的任意频率进行工作，因为应答器工作时不必发射电磁波。

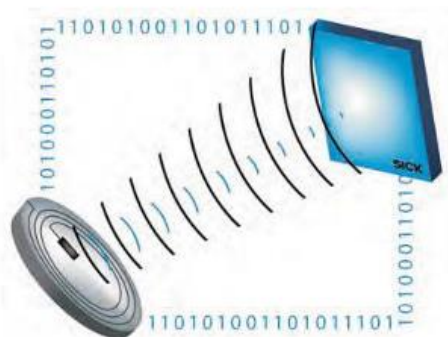


耦合类型



2) 遥耦合系统

- 遥耦合与密耦合不同之处是不采用电容耦合，故又称之为电感耦合。
- 遥耦合系统的发射频率通常使用135KHz以下的频率，或使用6.75MHz、13.56MHz以及27.125MHz频率。
- 遥耦合又可分为近耦合（典型作用距离为15厘米）和疏耦合（典型作用距离为1米）两类。 国际标准可参考的有ISO14443和ISO15693。



耦合类型



3) 远距离系统

- 远距离系统均是利用射频标签与读写器之间的电磁耦合构成无接触的空间信息传输射频通道工作的。
- 采用反射调制工作方式实现射频标签到读写器的数据传输。
- 远距离系统的工作距离从几米到几十米。
- 典型的工作频率有915MHZ、2.45GHZ等，国际标准有ISO10374、ISO18000-4-5-6等。



能量传递



概述

- 电磁波从天线向周围空间发射，会遇到不同的物体。电磁能量一部分被吸收，另一部分散射到各个方向上去。一部分最终返回到发射天线。
- 对于阅读器，它能够向射频标签供给射频能量。
- 对于标签，针对不同种类的标签，能量的来源也是不同的。

能量传递



1) 读写器到电子标签的能量传输

在距离读写器 R 处的电子标签的功率密度为：

$$S = \frac{P_{Tx} G_{Tx}}{4\pi R^2} = \frac{P_{EIR}}{4\pi R^2} \quad (\text{式 2.2})$$

其中， P_{Tx} 为读写器的发射功率， G_{Tx} 为发射天线的增益， R 是电子标签和读写器之间的距离， P_{EIR} 为天线的有效辐射功率，即为读写器发射功率和天线增益的乘积。

在电子标签和发射天线最佳对准和正确极化时，电子标签可吸收的最大功率与入射波的功率密度 S 成正比：

$$P_{Tag} = A_e S = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{Tag} S = P_{EIR} G_{Tag} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 \quad (\text{式 2.3})$$

能量传递



其中， G_{Tag} 为电子标签的天线增益。

无源射频识别系统的电子标签通过电磁场供电，电子标签的功耗越大，读写距离越近，性能越差。射频电子标签是否能够工作也主要由电子标签的工作电压来决定，这也决定了无源射频识别系统的识别距离。

能量传递



2) 电子标签到读写器的能量传输

电子标签返回的能量与它的雷达散射截面 σ (RCS)成正比。它是目标反射电磁波能力的测量。散射截面取决于一系列的参数，例如目标的大小、形状、材料、表面结构、波长和极化方向等。电子标签返回的能量为：

$$P_{\text{Back}} = S\sigma = \frac{P_{\text{Tx}}G_{\text{Tx}}}{4\pi R^2}\sigma = \frac{P_{\text{EIR}}}{4\pi R^2}\sigma \quad (\text{式 2.4})$$

电子标签返回读写器的功率密度为：

$$S_{\text{Back}} = \frac{P_{\text{Tx}}G_{\text{Tx}}\sigma}{(4\pi)^2 R^4} \quad (\text{式 2.5})$$

能量传递



$$S_{\text{Back}} = \frac{P_{\text{Tx}} G_{\text{Tx}} \sigma}{(4\pi)^2 R^4} \quad (\text{式 2.5})$$

接收天线的有效面积为：

$$A_w = \frac{\lambda^2 G_{\text{Rx}}}{4\pi} \quad (\text{式 2.6})$$

其中， G_{Rx} 为接收天线增益。接收功率为：

$$P_{\text{Rx}} = S_{\text{Back}} A_w = \frac{P_{\text{Tx}} G_{\text{Tx}} G_{\text{Rx}} \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (\text{式 2.7})$$

数据传输原理



射频识别系统中，读写器和电子标签之间的通信通过电磁波来实现。读写器和电子标签之间的数据交换方式可划分为负载调制和反向散射调制。

1) 负载调制。

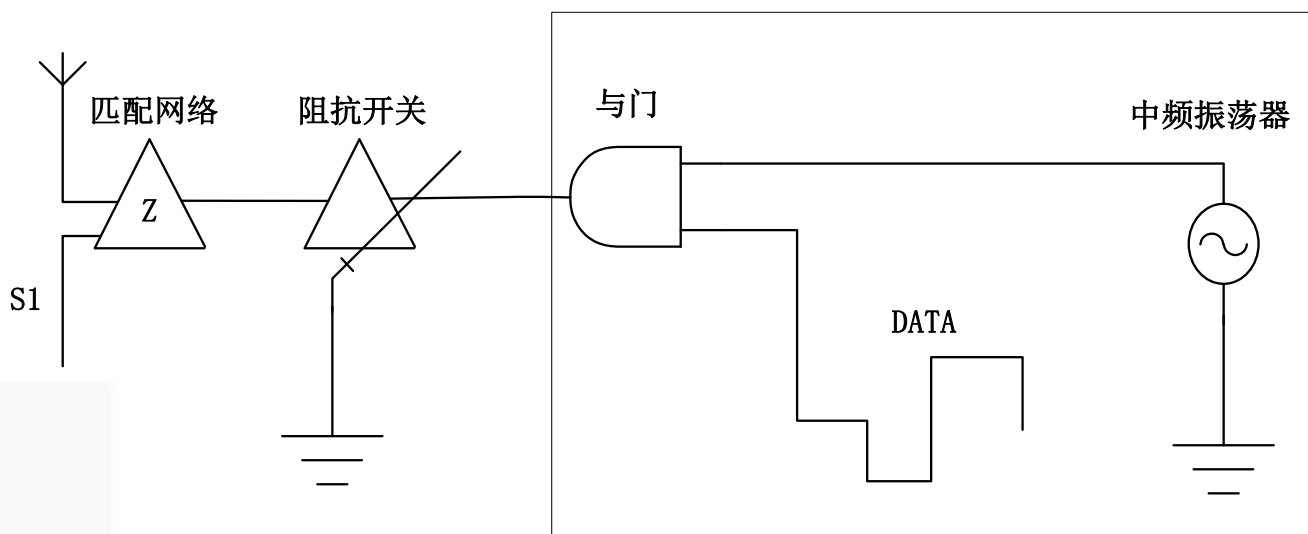
近距离低频射频识别系统是通过准静态场的耦合来实现的。在这种情况下，读写器和电子标签之间的天线能量交换方式类似于变压器模型，称之为负载调制。这种调制方式在125kHz和13.56MHz射频识别系统中得到了广泛的应用。

数据传输原理



2) 反向散射调制

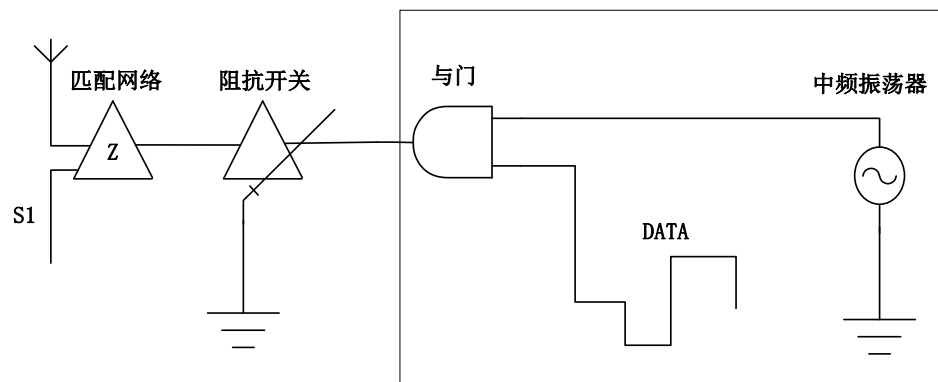
- 在典型的远场，读写器和电子标签之间的距离有几米，而载波波长仅有几到几十厘米。读写器和电子标签之间的能量传递方式为反向散射调制。
- 反向散射调制是指无源射频识别系统中电子标签将数据发送到读写器时所采用的通信方式。其原理如下图所示。



数据传输原理



- 要发送的数据信号是具有两种电平的信号，通过一个简单混频器（逻辑门）与中频信号完成调制，调制后的信号送到一个“阻抗开关”，由阻抗开关改变天线的发射系数。
- 在整个数据通信链路中，仅存在一个发射机，却完成了双向的数据通信。这与振幅键控（ASK）调制有些类似。



- 无源电子标签还涉及波束供电技术。与有源射频识别系统相比，无源系统需要较大的发射功率，电磁波在电子标签上转化为电子标签工作时所需的工作电压。



课程小结

- ① 天线近场与远场
- ② 耦合类型
- ③ 能量传递
- ④ 数据传输原理





思考与讨论

1. 简述天线近场与远场的关系。
2. 分析读写器与电子标签间的耦合类型。
3. 分析能量传递及数据传输原理。





第四讲 射频识别理论基础

第2节 3.2 RFID系统传播信道



知识点与学习目标

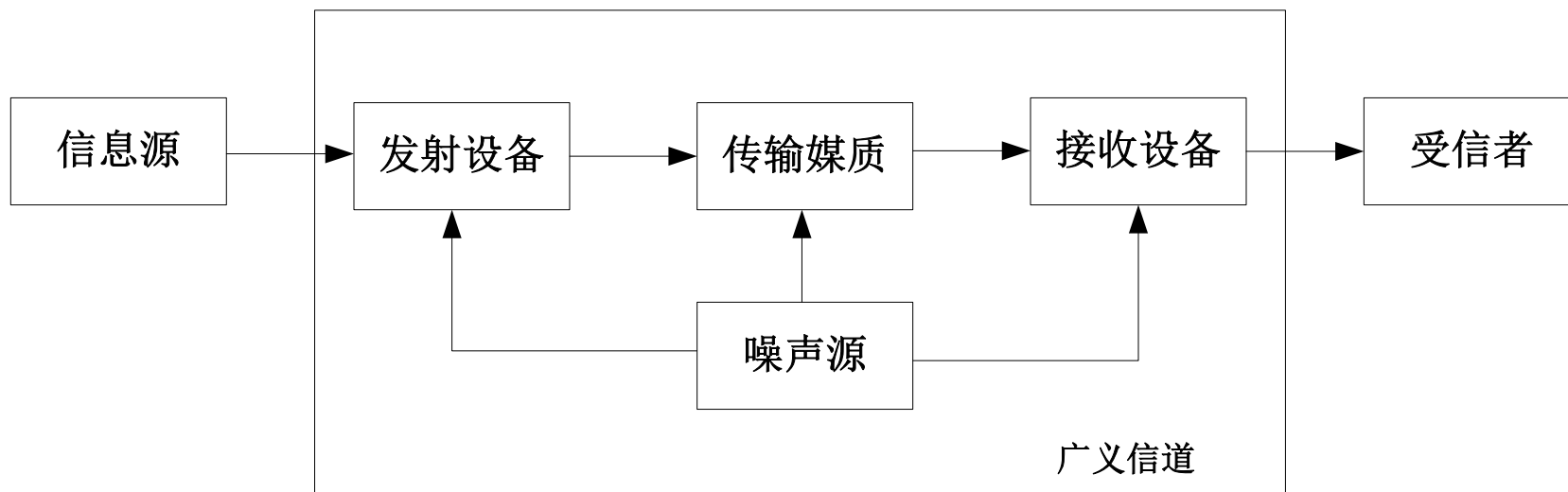
- ✓ RFID系统近场通信机制
- ✓ 电磁波的传播机制
- ✓ 小尺度多径传播对RFID系统的影响



概述



对于任意一个通信系统，信道都是必不可少的组成部分。下图所示的无线电通信信道系统模型中，包括收发设备、传输媒质以及噪声（或干扰）在内的信道称为广义信道，而把仅指传输媒质的信道称为狭义信道。

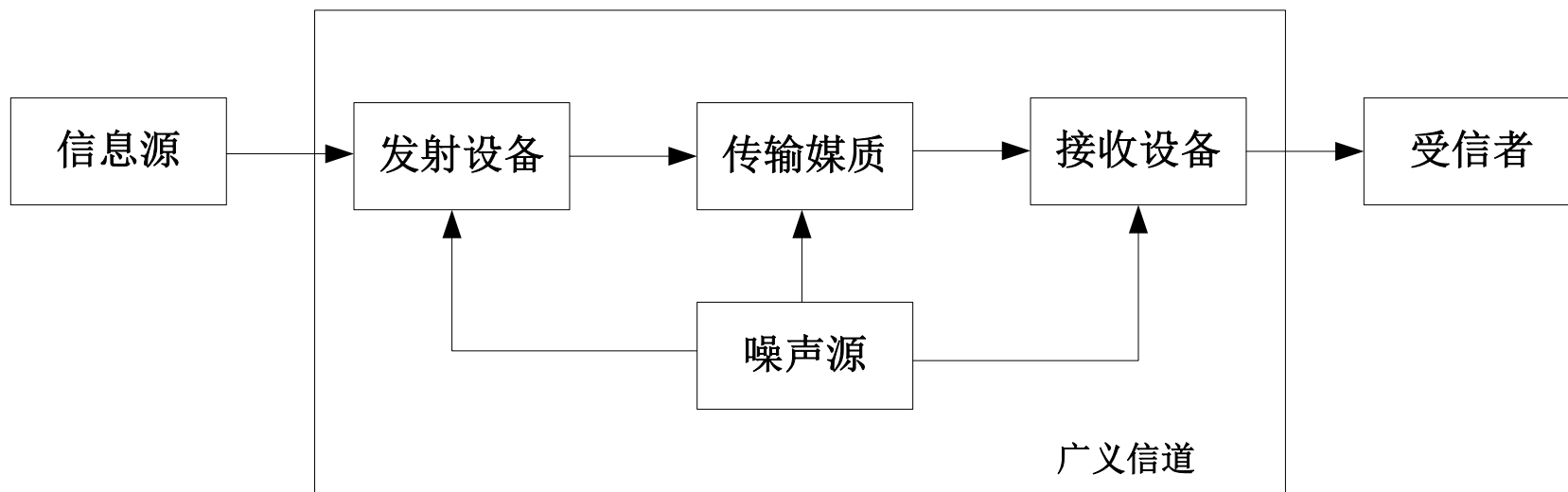


通信系统模型

概述



在RFID系统中，所有的信息都在信道中传输。信道的传输特性与环境密切相关，这些都直接关系到RFID系统设备要采用的传输技术、通信能力以及服务质量，信道的性能好坏直接决定着通信质量。

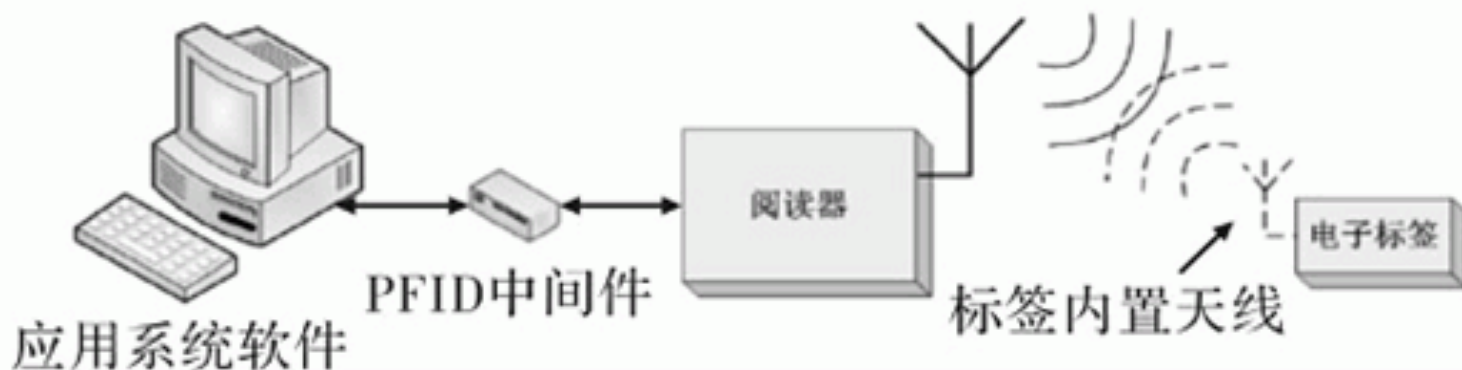


通信系统模型

RFID系统近场通信机制



- RFID系统通过非接触双向通信，获取相关数据的。
- 电子标签上的感应芯片连接到内置天线线圈，被视为电源驱动和双向信息的沟通接口，存储区存储相应的ID信息和其他数据。
- 读写器和电子标签按照通信协议相互传送信息。
- 在电磁场中，读写器发出一个电磁波，电磁波以球形波的形式向前传播。
- 读写器必须在可阅读的范围产生一个合适的能量场以激励电子标签。



电磁波的传播机制



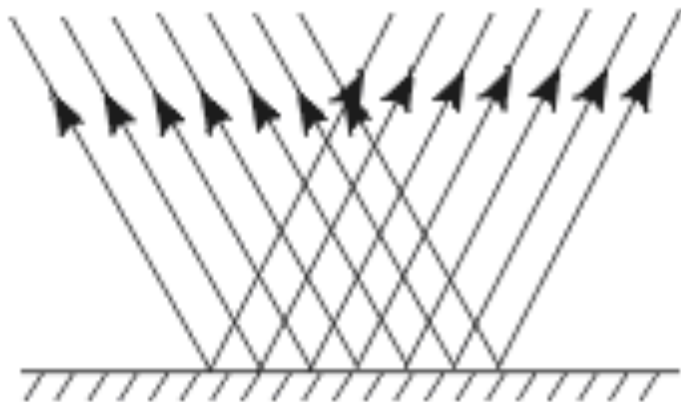
1) 直射：自由空间传播。



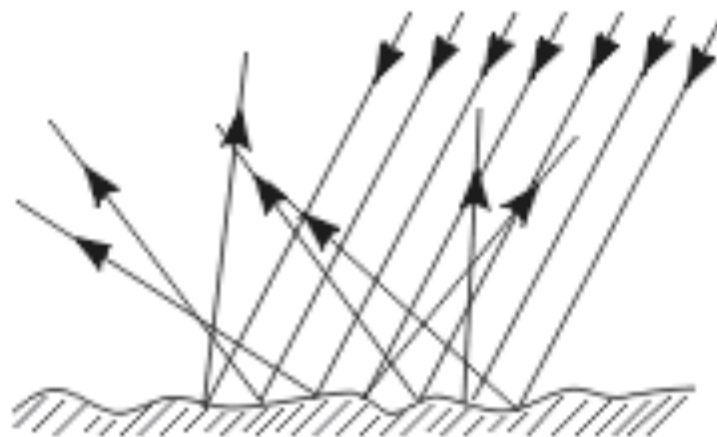
电磁波的传播机制



- 2) 反射：当在电磁波传播的路径上有一个体积远大于电磁波波长的物体时，电磁波发生反射。



镜面反射



漫反射

电磁波的传播机制



- 3) 绕射：在发射机与接收机之间有边缘光滑且不规则的阻挡物体时，电磁波可以从该物体的边缘绕射过去。



圆柱形障碍



墙板形障碍

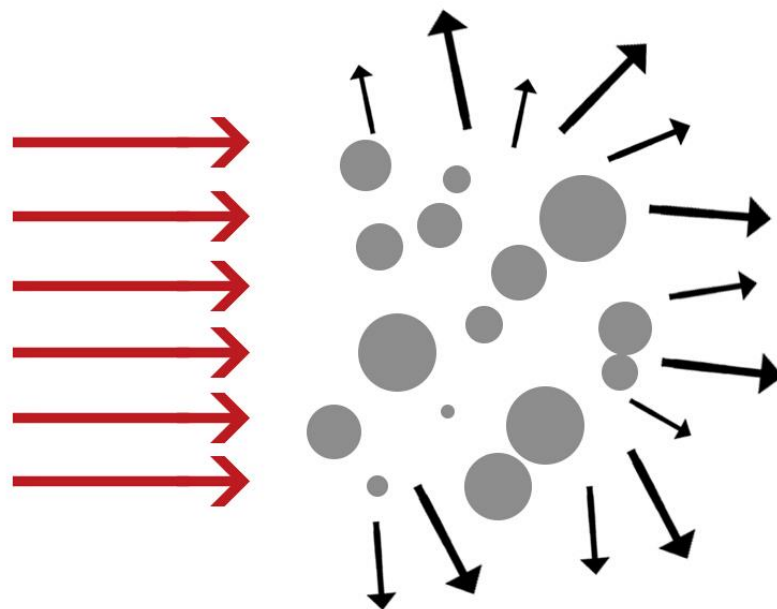


孔洞

电磁波的传播机制



- 4) 散射：当电磁波的传播路径上存在小于波长的物体，并且单位体积内这种障碍物体的数目非常巨大时，发生散射。

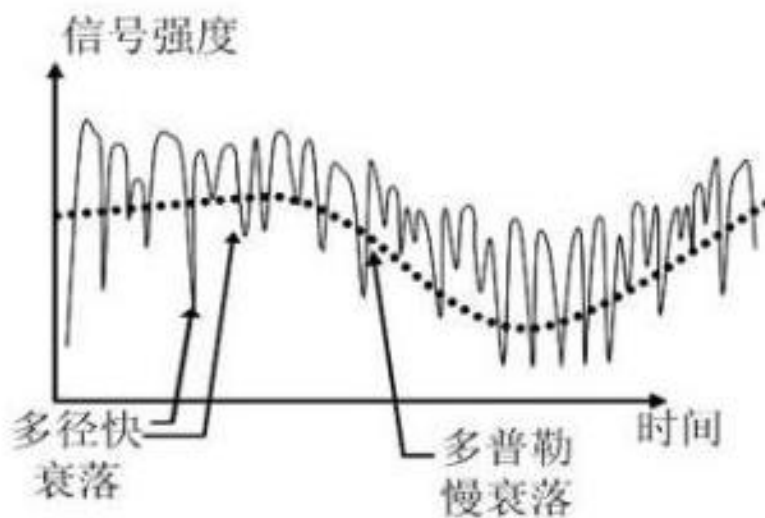


散射示意图

小尺度多径传播对RFID系统的影响



- 小尺度衰落简称衰落，是指无线信号在经过短时间或短距离传播后其幅度快速衰落，以致大尺度路径损耗的影响可以忽略不计。
- 入射电波以不同的传播方向到达，具有不同的传播时延。
- 当信道带宽大于发送信号的带宽，且在带宽范围内有恒定增益及线性相位时，接收信号就会经历平坦衰落过程，这是衰落中最常见的一种。





课程小结

本小节围绕以下四个问题：

- ① RFID系统近场通信机制
- ② 电磁波的传播机制
- ③ 小尺度多径传播对RFID系统的影响

进行了深入系统的讨论和剖析。





思考与讨论

1. 简述RFID系统近场通信机制。
2. 分析电磁波的传播机制。
3. 分析小尺度多径传播对RFID系统的影响





第四讲 射频识别理论基础

第3节 3.3 编码与调制



知识点与学习目标

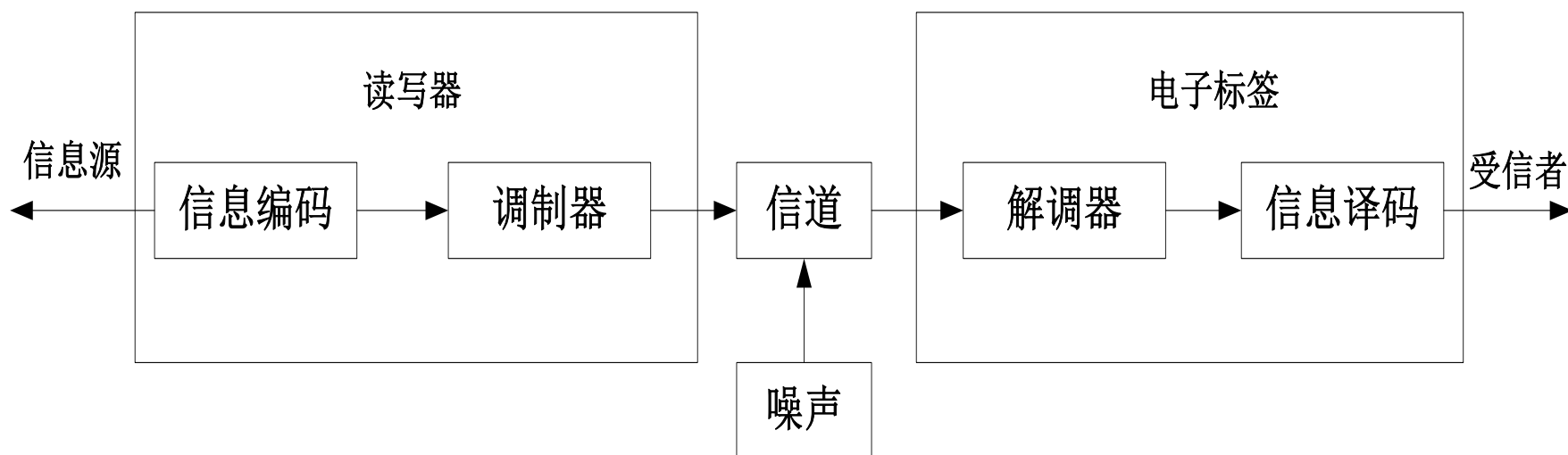
- ✓ RFID常用编码方式
- ✓ RFID常用调制方式



概述



RFID系统最终要完成的功能是对数据的获取，这种在系统内的数据交换有两个方面的内容：**RFID读写器向RFID电子标签方向的数据传输**和**RFID电子标签向RFID读写器方向的数据传输**。具体模型如图所示。



RFID基本通信模型

概述



- **RFID系统的通信模型**主要由读写器（发送器）中的信号编码（信号处理）和调制器（载波电路），传输介质（信道）；以及电子标签（接收器）中的解调器（载波回路）和信号译码（信号处理）组成。
- 信号的编码可以使要传输的信息和它的信号表示尽可能最佳地与传输通道的性能相匹配。
- 调制本质上就是改变高频载波的信号处理，即，使载波的振幅、频率或相位与调制的基带信号相关联，分别将他们称为振幅键控、频移键控和相移键控。
- 解调是一种另外的调制过程，用以再生基带信号。在阅读器和电子标签中都有调制器和解调器，他们称为调制解调器。
- 解码是从基带编码中恢复原来的信息内容，并识别和表示出传输中的错误码。

RFID常用编码方式



1. NRZ (non-return-to-zero) 编码

- NRZ编码用“高”信号表示二进制的1，“低”信号表示二进制0。在FSK或PSK调制中几乎仅仅使用NRZ编码。编码与数据关系如图2. 13所示。

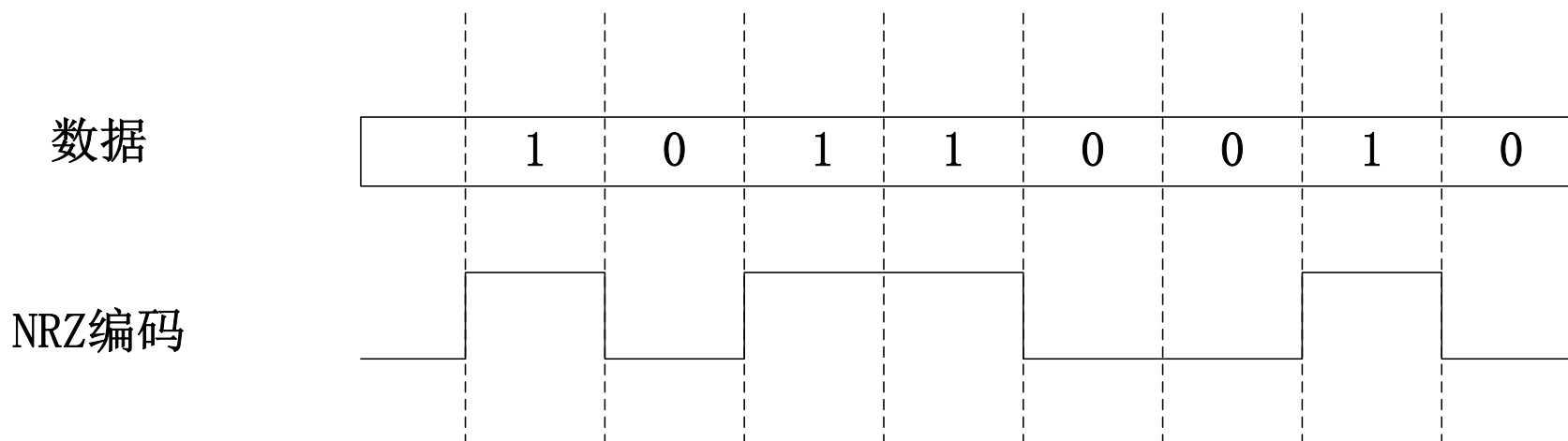


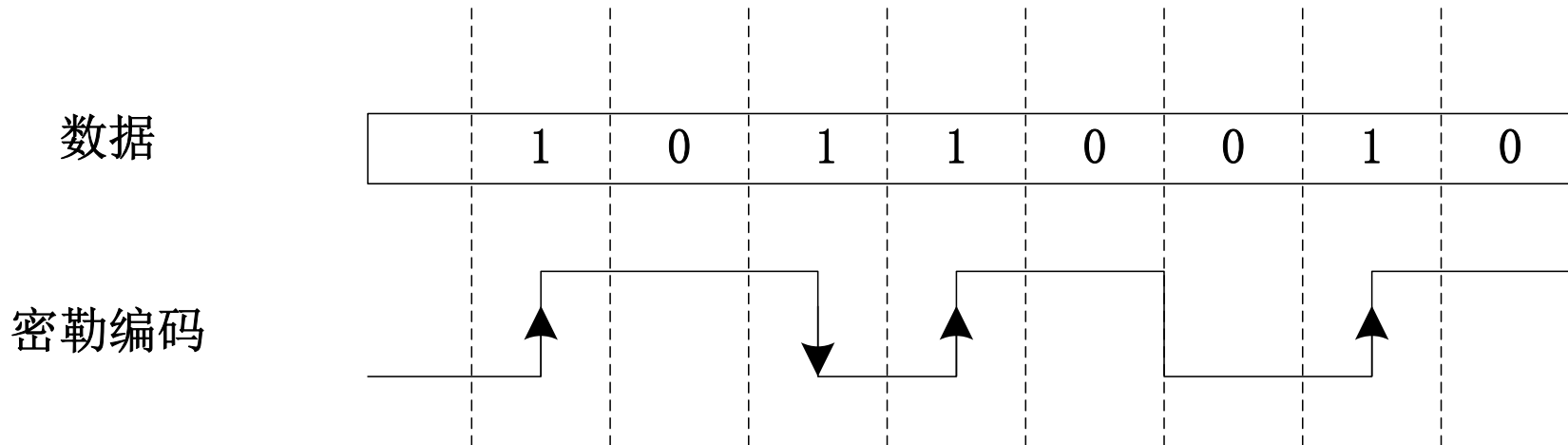
图2. 13 NRZ编码实例

RFID常用编码方式



2. 密勒（Miller）编码

- 密勒编码也称为延迟编码，它是一种变形双向码，在半比特周期中的任意边沿表示二进制1，而经过下一个周期中比特不变的电平表示二进制0。如图所示。



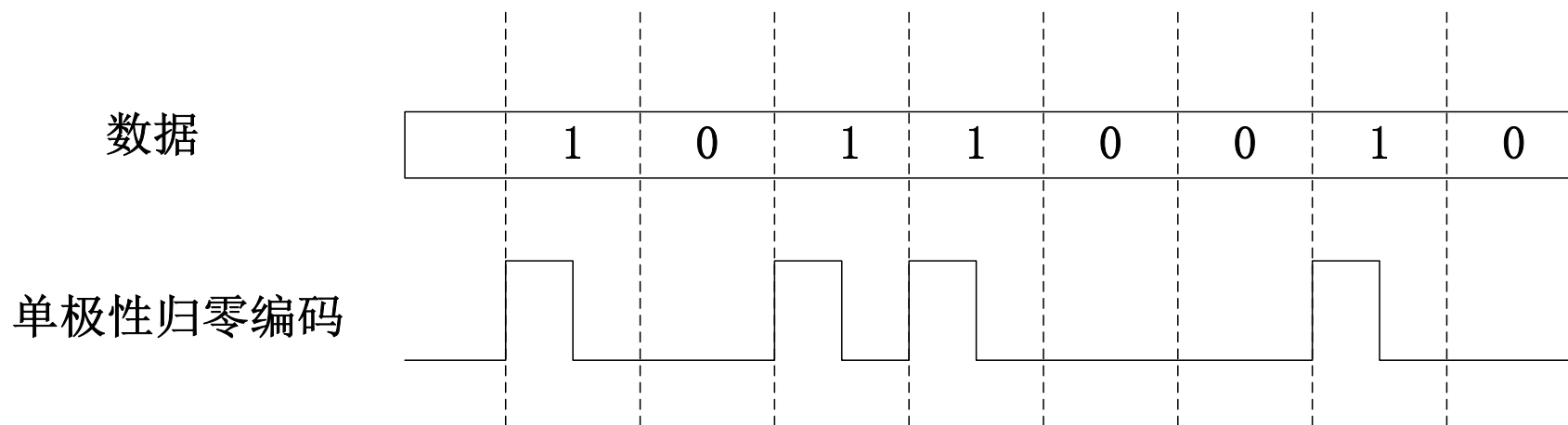
Miller编码实例

RFID常用编码方式



3. 单级归零制编码

- 单级归零制编码在第一个半比特周期中的“高”信号表示二进制1，而持续整个比特周期的“低”信号表示0。编码与数据关系如图所示。



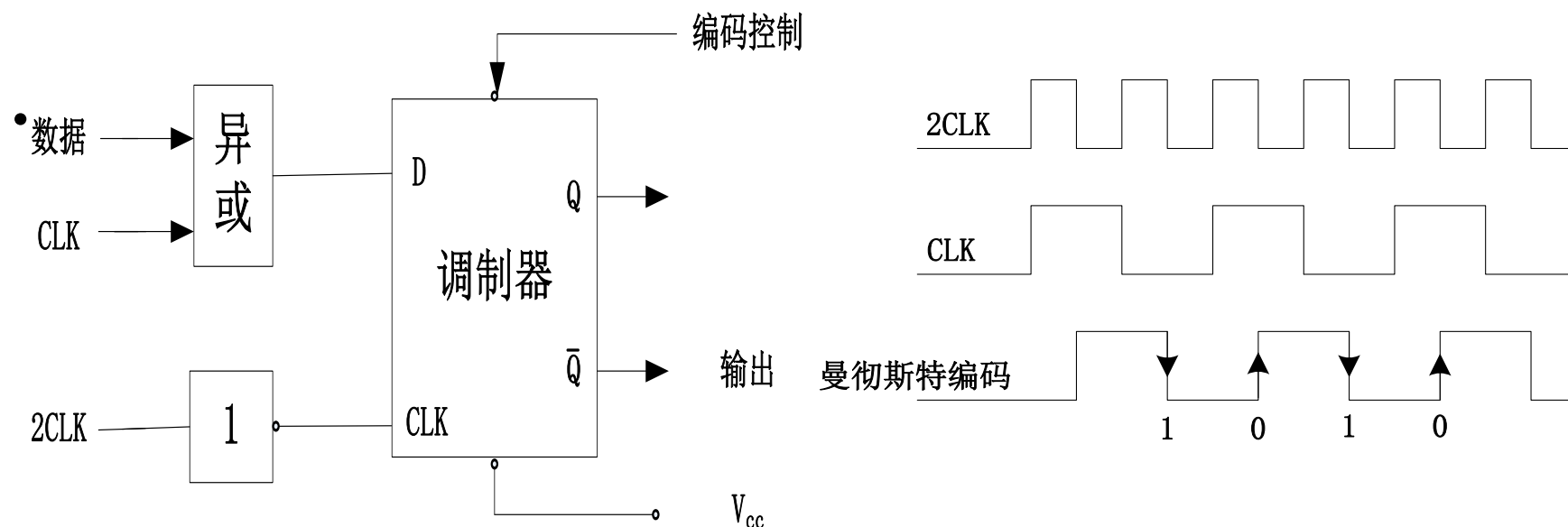
单级归零制编码实例

RFID常用编码方式



4. 曼彻斯特 (Manchester) 编码

- 曼彻斯特编码在半个比特周期时的负边沿表示二进制1，半个周期比特的正边沿表示二进制0。其具体的编码器电路如图所示。



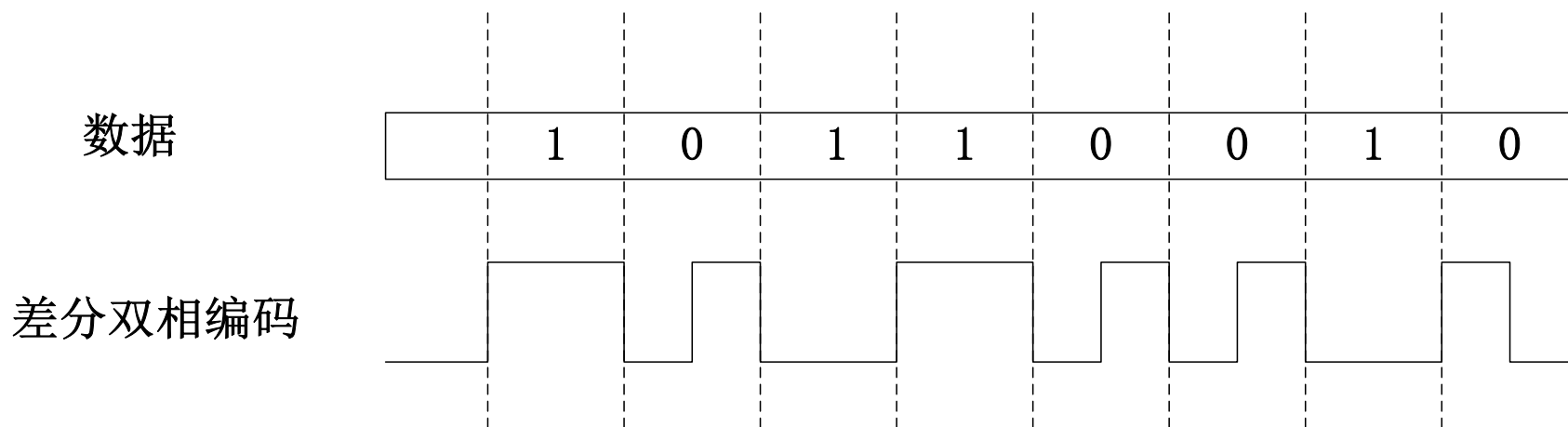
曼彻斯特编码

RFID常用编码方式



5. 差分双相编码

- 差分双相编码在半比特周期中任意的跳变表示二进制0，无跳变则表示二进制1。此外，在每一比特周期开始时，电平都要反相。



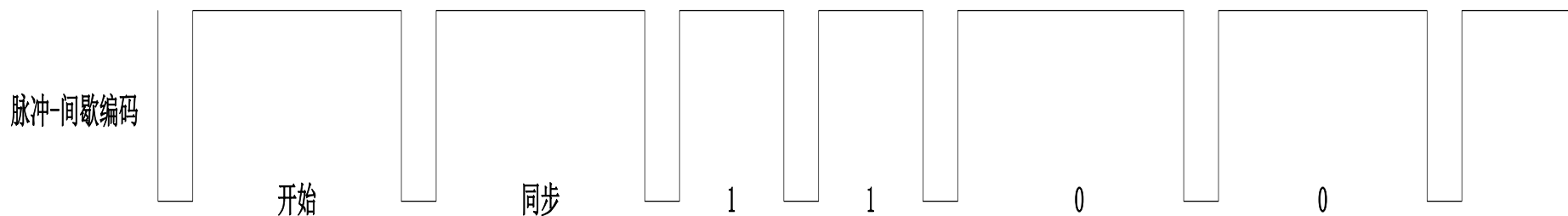
差分双相编码

RFID常用编码方式



6. 脉冲-间歇编码

- 对于脉冲-间歇编码来说，在下一脉冲前的暂时持续时间 t 表示二进制1，而下一脉冲前的暂停持续时间 $2t$ 则表示二进制0，如图2.19所示。



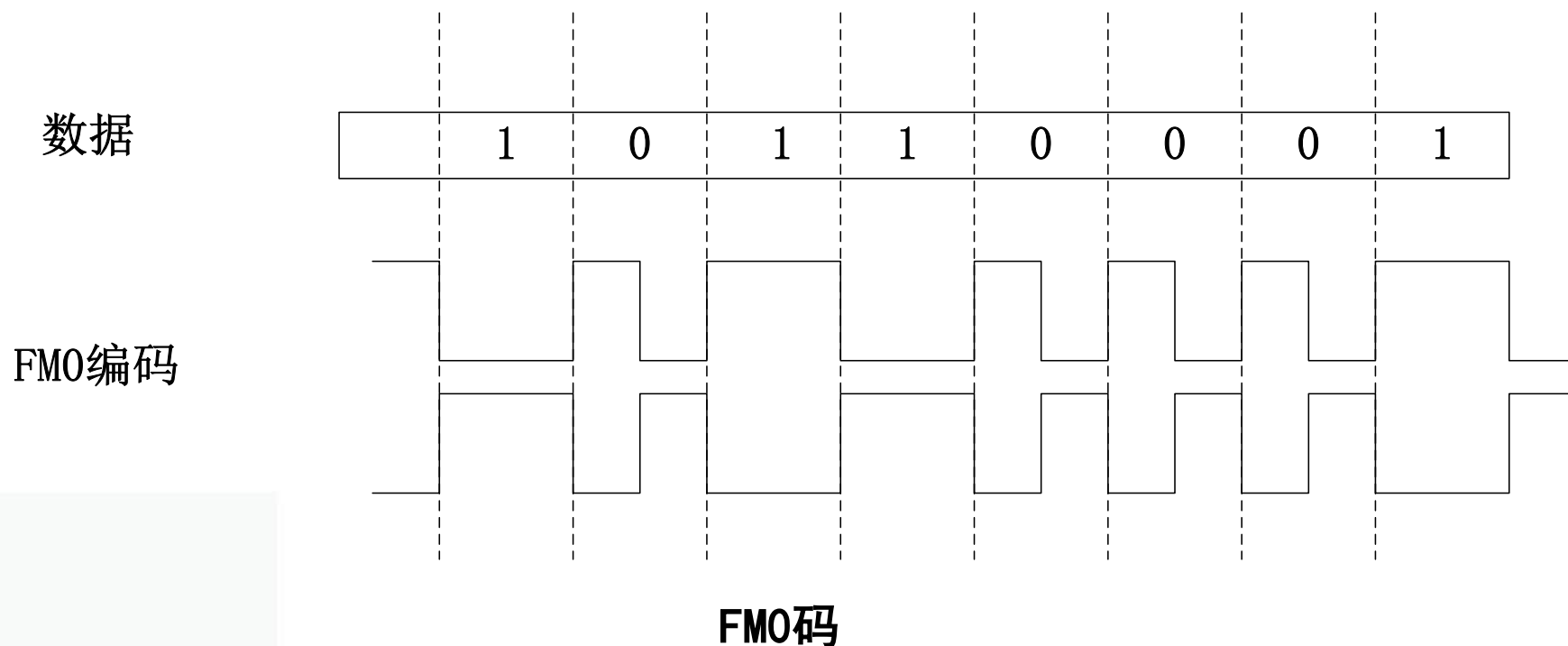
脉冲-间歇编码

RFID常用编码方式



7. FM0码

- FM0码采用电平的变化来表示二进制0，用电平的维持来表示二进制1，如图2. 20所示，二进制数据串：10110001，编码后为：00101100 10101011 或11010011 01010100。



RFID常用调制方式



通常，调制也可以分为**模拟调制（脉冲调制）**和**数字调制**两种方式。

1. 脉冲调制

- **脉冲调制**时将数据的NRZ码变换为更高频率的脉冲串，该脉冲串的脉冲波形参数受NRZ码的值0和1调制。主要的调制方式为频移键控（FSK）、相移键控（PSK）。

采用FSK调制过程的示意图

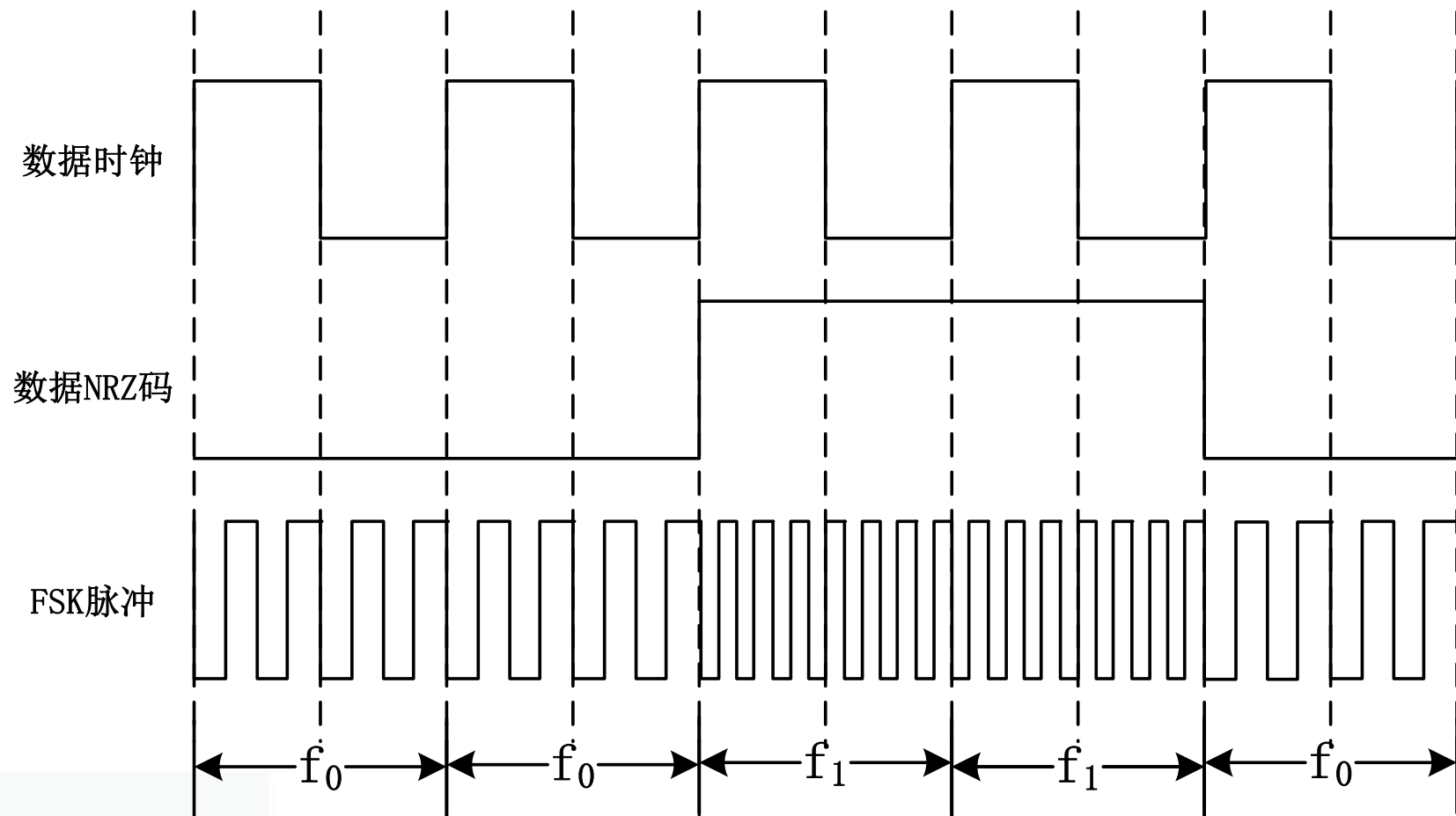


图3-13 FSK的脉冲调制

图3-14所示，为采用PSK调制过程示意图，其中分为PSK1和PSK2 两种调制方式。

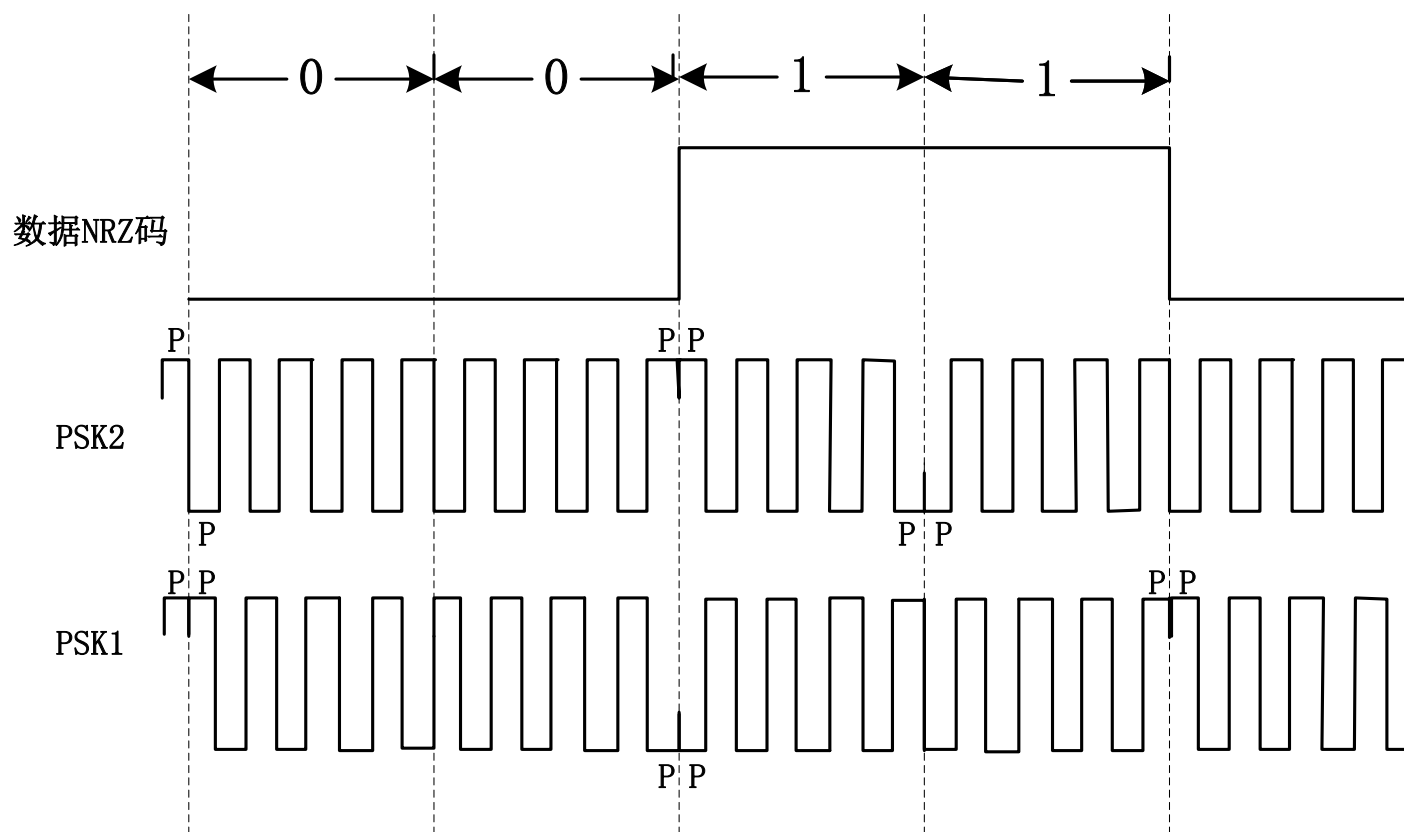


图3-14 PSK的脉冲调制

- 采用PSK1调制时，若在数据位的起始处出现上升沿或下降沿（即出现1，0或0，1交替），则相位将于位起始处跳变180°。
- 而PSK2调制时，相位在数据位为1时从数据位起始处跳变180°，在数据位为0时则相位不变。



通常，调制也可以分为**模拟调制（脉冲调制）**和**数字调制**两种方式。

1. 脉冲调制

- **脉冲调制**时将数据的NRZ码变换为更高频率的脉冲串，该脉冲串的脉冲波形参数受NRZ码的值0和1调制。主要的调制方式为频移键控（FSK）、相移键控（PSK）。

2. 数字调制

- 数字调制是用二进制（多进制）数字信号作为调制信号，去控制载波某些参量的变化。
- 数字调制在二进制时可分为：振幅键控（ASK）、频移键控（FSK）、相移键控（PSK）。其中，ASK属于线性调制，FSK、PSK属于非线性调制等。

3. 振幅键控（ASK）调制



ASK调制过程，主要介绍二进制幅度键控（2ASK），其信号的一般表达式为：

$$e_{2ASK}(t) = s(t)\cos\omega_c t \quad (\text{式3.9})$$

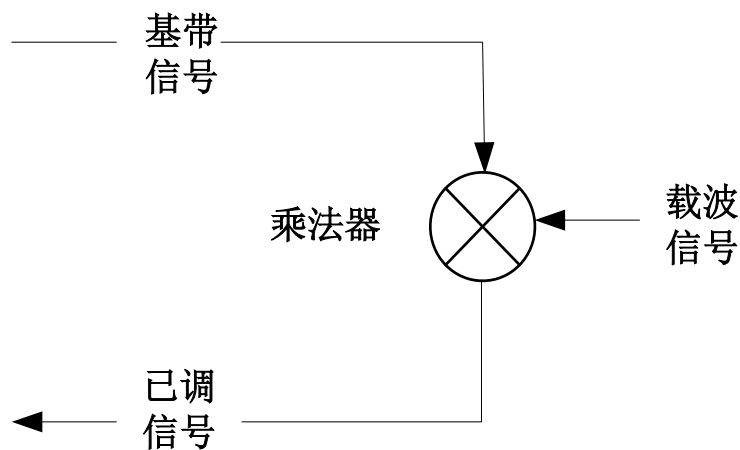
其中： $s(t) = \sum a_n g(t - nT_s)$, T_s 为码元持续时间， $g(t)$ 为持续时间为 T_s 的基带脉冲波形，通常假设是高度为1，宽度等于 T_s 的矩形脉冲； a_n 表示第 N 个符号的电平取值：

$$a_n = \begin{cases} 1, & \text{概率为} P \\ 0, & \text{概率为} 1 - P \end{cases} \quad (\text{式3.10})$$

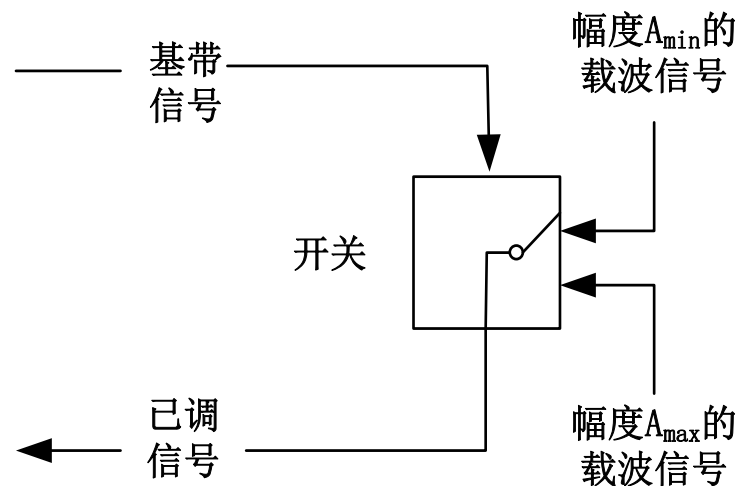
3. 振幅键控（ASK）调制



二进制幅度键控（**2ASK**）的产生方法有两种，一种是模拟调制法（相乘法），一种是键控法，模拟法通过数字基带信号与载信号相乘的方式得到调制信号；而键控法通过数字基带信号控制载波信号的产生的方式得到调制信号，原理如下图3-15所示：



模拟法



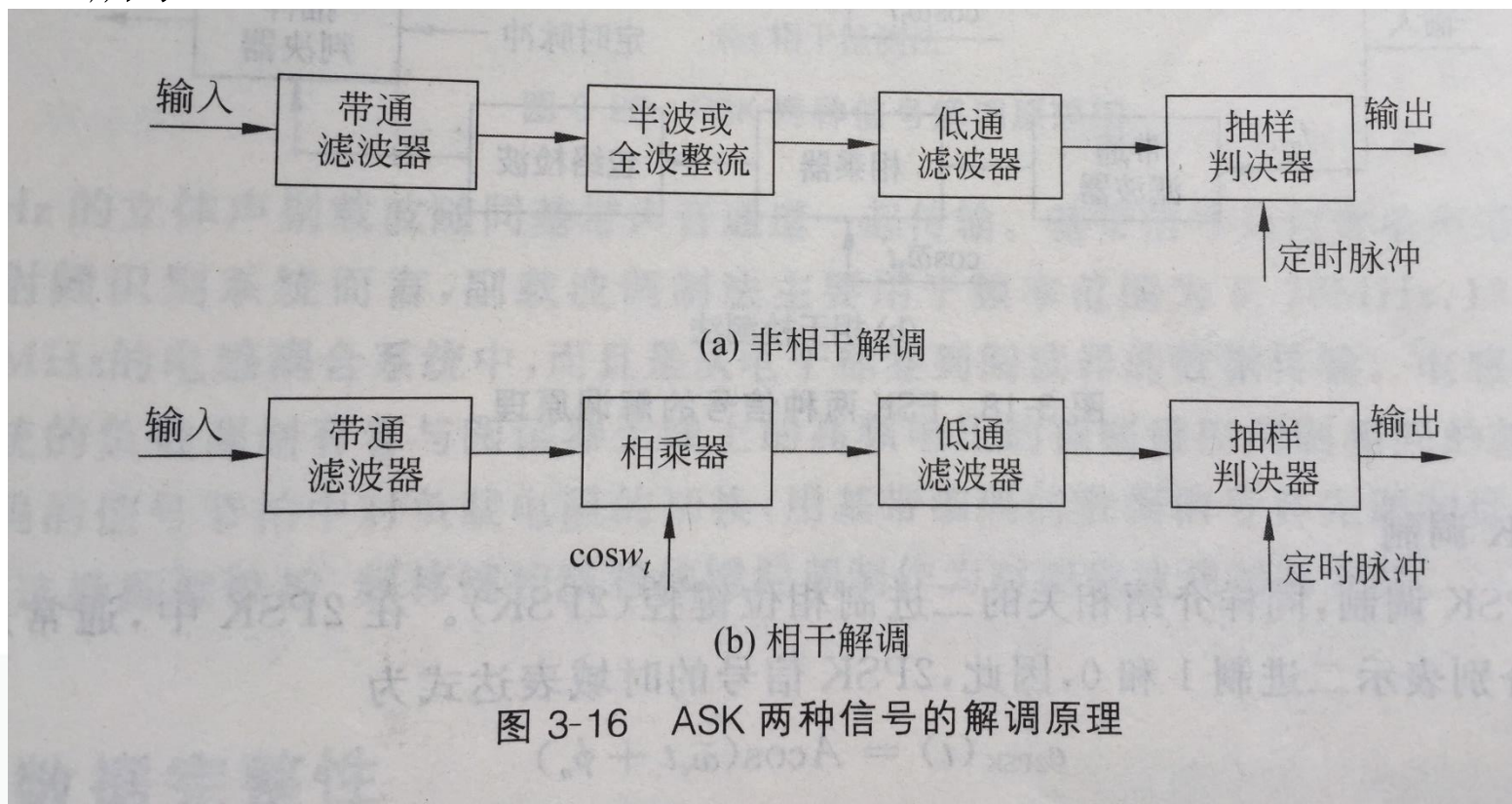
键控法

图3-15 ASK两种信号产生模型

3. 振幅键控 (ASK) 调制



相应的信号解调方法也有两种，相干解调和非相干解调。相干解调需要调用本地载波信号，而非相干解调不需要在本地产生载波信号，具体原理如图3-16所示。



4. 频移键控（FSK）调制



在FSK调制中，同样介绍二进制频率键控（2FSK），载波的频率随二进制基带信号在 f_1 和 f_2 两个频率点间变化，一个2FSK信号可以看成是两个不同载频的ASK信号的叠加。信号的一般表达式为：

$$e_{2\text{FSK}}(t) = s_1(t)\cos\omega_1 t + s_2(t)\cos\omega_2 t \quad (\text{式3.11})$$

其中 $s_1(t) = \sum a_n g(t - nT_s)$, $s_2(t) = \sum \bar{a}_n g(t - nT_s)$, a_n 和 \bar{a}_n 与ASK中相同定义。

2FSK信号的产生方法也有两种，一种是模拟调频法，另一种是键控法，模拟法通过模拟的压控振荡器来输出信号的频率，而键控法则通过基带信号控制的单刀双掷开关打开或关闭两个载波源中的一个来实现，具体示意图如3-17所示。

4. 频移键控 (FSK) 调制

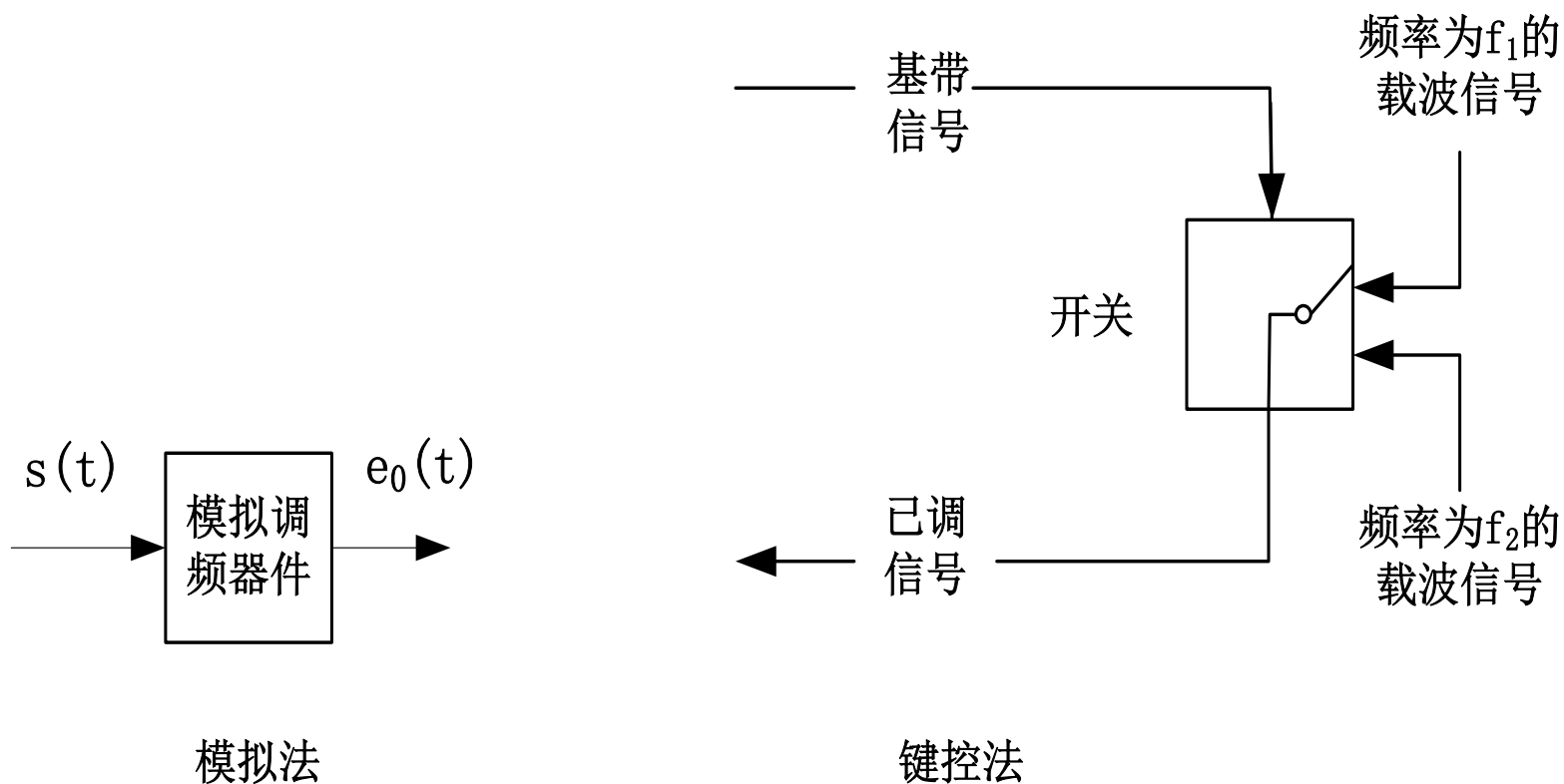
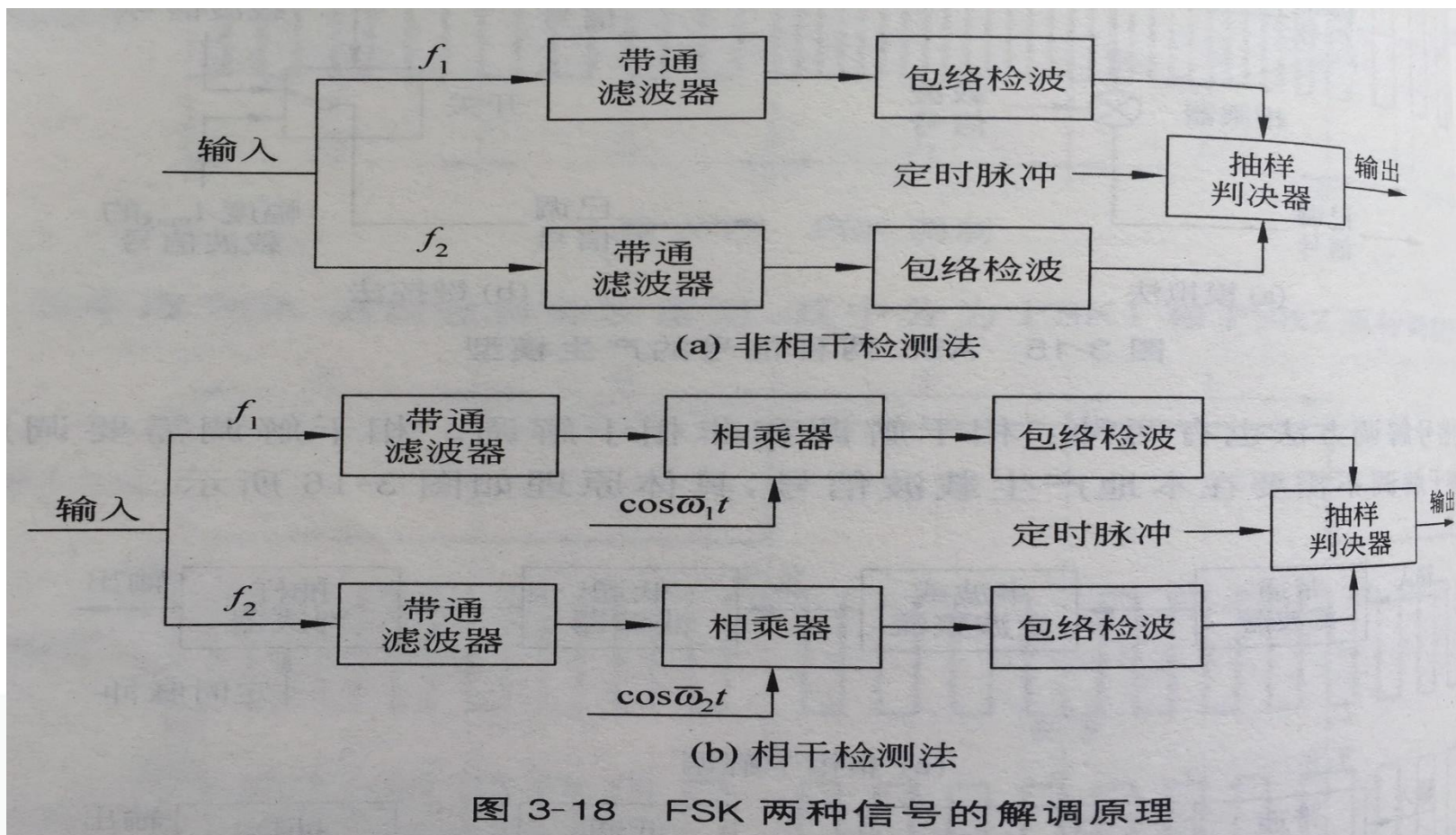


图3-17 FSK两种信号产生模型

4. 频移键控 (FSK) 调制



相应的信号解调方法有很多，比如相干检测，非相干检测，鉴频法，过零检测法等。图3-18主要是相干检测和非相干检测。



5. 相位键控PSK调制



同样介绍相关的二进制相位键控（2PSK），在2PSK中，通常用初始相位0和 π 分别表示二进制“1”和“0”。因此，2PSK信号的时域表达式为：

$$e_{2PSK}(t) = A\cos(\omega_c t + \phi_n) \quad (\text{式3.12})$$

其中， ϕ_n 表示第 n 个符号的绝对相位：

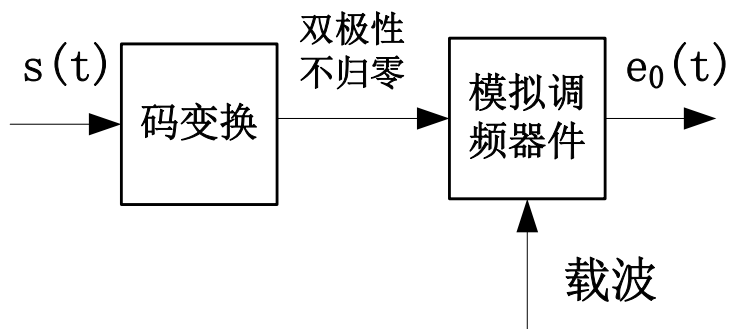
$$\phi_n = \begin{cases} 0, & \text{发送“0”时} \\ 1, & \text{发送“1”时} \end{cases} \quad (\text{式3.13})$$

二进制相位键控（2PSK）信号的产生方法也有两种，一种是模拟调频法，另一种是键控法，模拟法通过对基带信号进行码变换得到双极性不归零码，然后用双极性不归零码调制载波信号形成载波信号的反向；而键控法则通过基带信号控制的单刀双掷开关打开或关闭相位不同的两个载波中一个实现，具体示意图，如3-19所示。

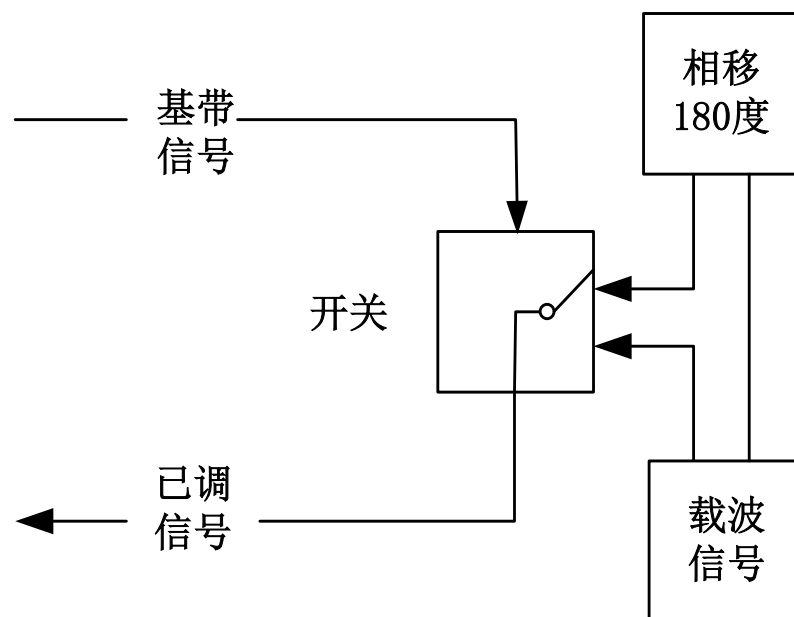
5. 相位键控PSK调制



模拟调频法与键控法



模拟法



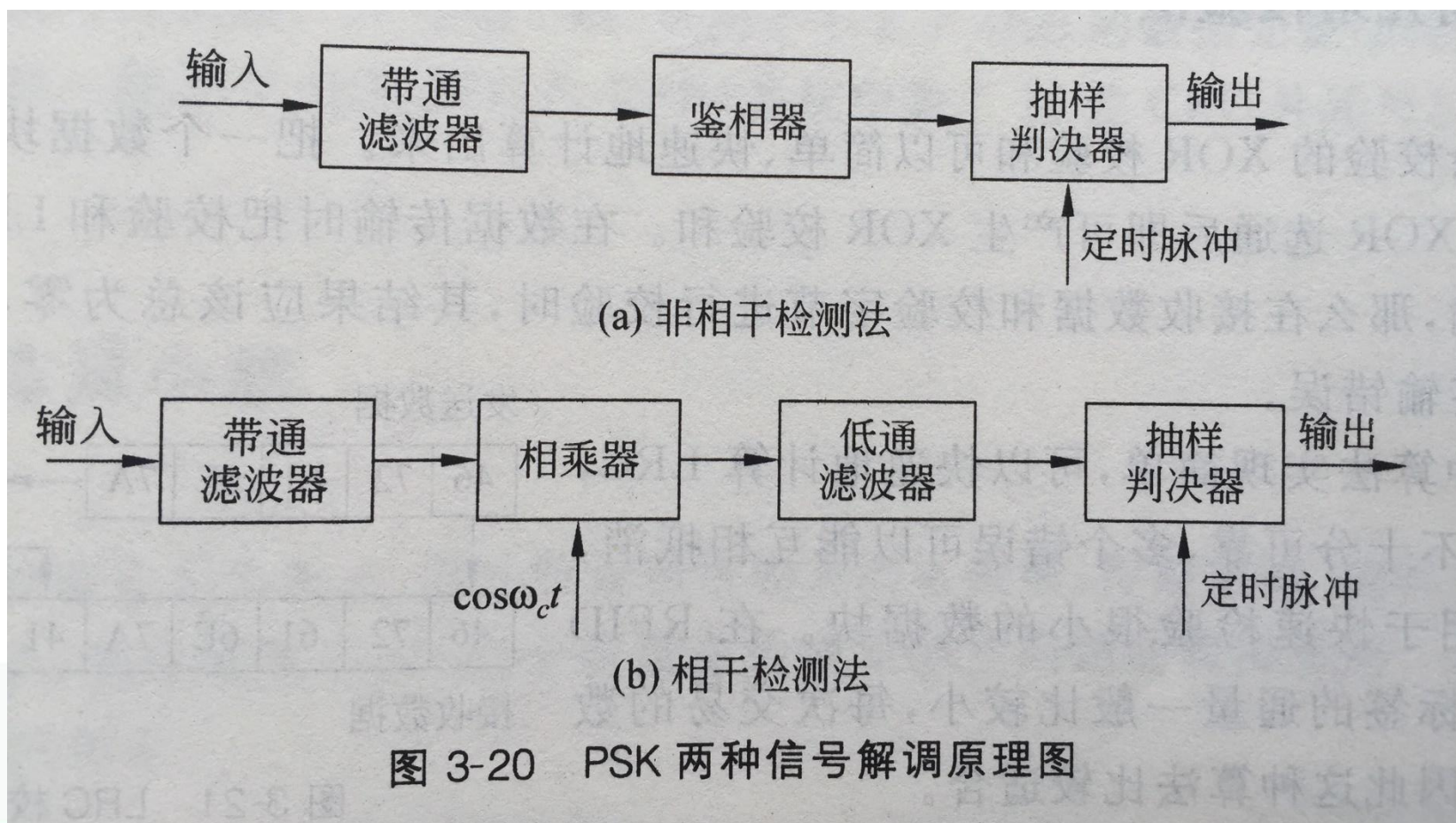
键控法

图3-19 PSK两种信号产生模型

5. 相位键控PSK调制



相应的信号解调方法有比如相干检测，非相干检测。图3-20是相干检测和非相干检测的示意图。



6. 副载波调制与解调



- 在无线电技术中，副载波调制技术的应用十分广泛。例如在VHF无线电广播中，频率为38KHz的立体声副载波随同基带声音通道一起传输。基带信号只包含单声道信号。
- 就射频识别系统而言，副载波调制法主要用于频率范围为6.78MHz、13.56MHz或27.125MHz的电感耦合系统中，而且是从电子标签到阅读器的数据传输。
- 电感耦合的射频识别系统的负载调制有着与阅读器天线上的高频电压的幅度键控调制相同的效果，代替在基带编码的信号节拍中对负载电阻的切换，用基带编码的数据信号首先调制低频率的负载波，可以选择幅度键控、频移键控或相移键控调制作为对副载波调制的方法。



课程小结

本小节围绕以下四个问题：

① RFID常用编码方式

② RFID常用调制方式

进行了深入系统的讨论和剖析。





思考与讨论

1. 简述RFID常用编码方式。
2. 分析RFID常用调制方式。





第四讲 射频识别理论基础

第四节 3.4 数据完整性



知识点与学习目标

- ✓ 奇偶校验法
- ✓ 纵向冗余校验法
- ✓ 循环冗余校验法



概述



- 在RFID系统中，数据传输的完整性存在两个方面的问题：
 - 1) 外界的各种干扰可能使数据传输产生错误；
 - 2) 多个应答器同时占用信道使发送数据产生碰撞。
- 运用
 - 1) 数据检验（差错检测）：奇偶校验法、纵向冗余校验以及循环冗余校验法；
 - 2) 防碰撞算法

奇偶校验法



奇偶校验法： 把一个奇偶校验位组合到每一字符中并传输，可分为奇校验和偶校验。

在 n 位长的数据代码上增加一个二进制位作校验位，放在 n 位代码的最高位之前或最低位之后，组成 $n+1$ 位的码。

这个校验位取0还是取1的原则是：

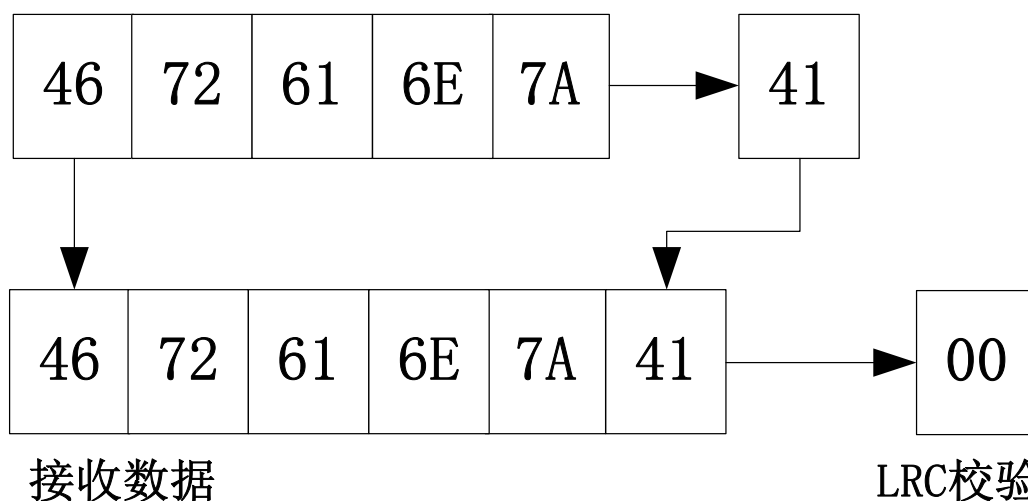
- 1) 若设定奇校验，应使代码里含1的个数连同校验位的取值共有奇数个1。
- 2) 若设定为偶校验，则 n 位信息连同校验位的取值使1的个数为偶数。

纵向冗余校验法



把一个数据块的所有数据字节递归，通过XOR选通后即可产生XOR校验和。在数据传输时把校验和LRC附在数据块后面一起传输，那么在接收数据和校验字节进行校验时，其结果应该总为零，任何其他结果都表示出现传输错误。

发送数据



循环冗余校验法



- 循环冗余校验 (CRC)，又称多项式码，通过在数据单元末尾加一串冗余比特，称作循环冗余校验码或循环冗余校验余数，使得整个数据单元可以被另一个预定的二进制数所整除。
- CRC码生成和校验基本分为如下3步：
 - (1) 在数据单元(k 位)的末尾加上 r 个0。 r 是一个比预定除数的比特位数($r+1$)少1的数；
 - (2) 采用二进制除法将新的加长的数据单元 ($k+r$ 位)除以除数。由此除法产生的余数就是循环冗余码校验码；
 - (3) 求CRC循环冗余校验码。

循环冗余校验法



循环冗余码校验中的生成的多项式由协议规定。如图所示：

$$\text{CRC} - 12: G(x) = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x^1 + x^0$$

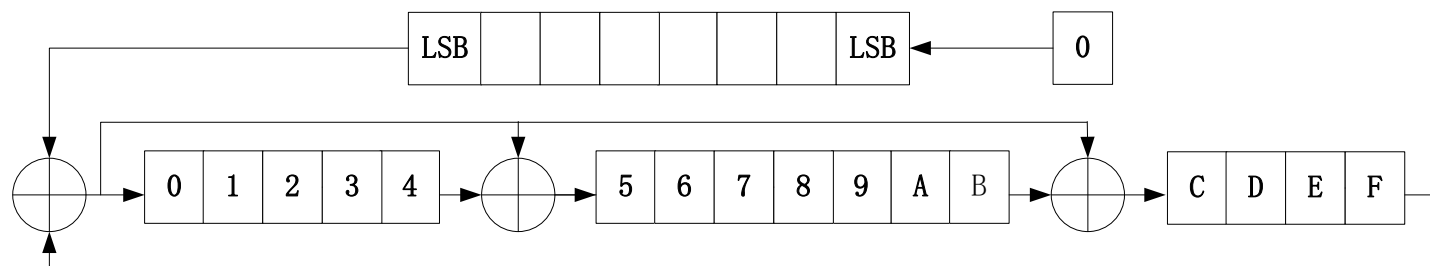
$$\text{CRC} - 16: G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + x^0$$

$$\text{CRC} - \text{ITU}: G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + x^0$$

$$\text{CRC} - 32: G(x)$$

$$= x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x^1 + x^0$$

CRC校验的硬件可以用移位寄存器直接实现，如图所示：



CRC校验能识别传输错误但不能校正错误，它的优点是识别错误的可靠性高，只需要少量的操作就可易识别。



课程小结

本小节围绕以下四个问题：

- ① 奇偶校验法
- ② 纵向冗余校验法
- ③ 循环冗余校验法

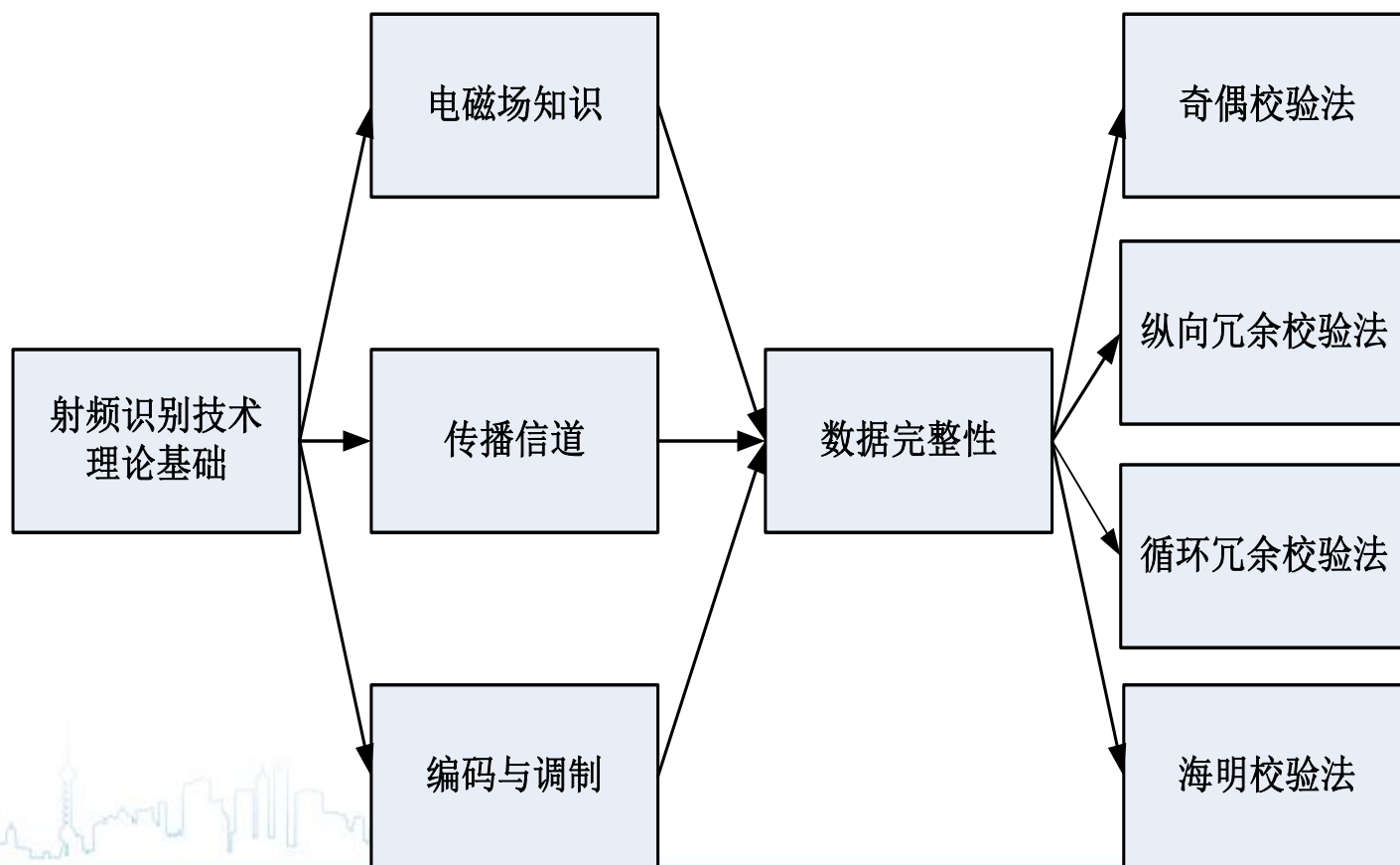
进行了深入系统的讨论和剖析。





本章知识体系小结

- 本章以理论基础为出发点，简述射频识别相关电磁场、传播信道、编码与调制等基本关键支撑知识，然后梳理了RFID系统数据传输完整性问题的解决思路。本章具体的知识体系，如图3-23所示。





扩展阅读

- 请小伙伴们从电磁场耦合模型、无线能量传递、编码调制等为关键字（KEY WORD），在校图书馆中国知网（www.cnki.net）中，搜索近几年之内的新论文，阅读后分组讨论，以小组为单位形成文献综述报告。





思考与讨论

1. 简述奇偶校验法实现原理。
2. 分析纵向冗余校验法实现原理。
3. 简述循环冗余校验法工作原理。

