

应用电路
百例丛书

无线数字收发
电路设计
——电路原理与应用实例

黄智伟 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

应用电路百例丛书

无线数字收发电路设计—— 电路原理与应用实例

黄智伟 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍了最新的数字信号无线发射及接收电路的原理、结构、技术特性和应用电路设计。本书注重理论性与实用性的结合,注重新技术与工程性的结合,深入浅出,通俗易懂。

本书可供从事数字视音频数据无线传输系统、无线遥控和遥测系统、无线数据采集系统、无线网络、无线安全防范系统等应用研究的工程技术人员,在进行数字射频电路设计时参考,也可以作为高等院校通信、电子等相关专业本科生和研究生的教学参考书,以及全国大学生电子设计竞赛的培训教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

无线数字收发电路设计——电路原理与应用实例/黄智伟编著. —北京:电子工业出版社, 2003.5
(应用电路百例丛书)

ISBN 7-5053-8633-6

I. 无… II. 黄… III. 无线电通信—数字电路—电路设计 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 023905 号

责任编辑:王 颖

印 刷:北京天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:29.25 字数:744 千字

版 次:2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:42.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077

前 言

在数字视音频数据无线传输系统、无线遥控和遥测系统、无线数据采集系统、无线网络、无线安全防范系统等应用中，数字信号的无线收发电路是必不可少的。对于缺少射频电路设计经验的工程技术人员来说，射频数字信号的收发电路的设计是无线应用的一个瓶颈。目前已有一些公司可以提供一系列的数字信号单片射频收发芯片，这一类迅速发展的芯片，为工程技术人员提供了多种选择。由于射频电路的设计工程性要求非常高，理论的、一般性的资料介绍无法满足工程设计的需要。本人根据多年从事计算机无线遥测和遥控技术的经验，搜集整理了大量的资料，编写了本书。

本书具有如下特点：

(1) “高”、“新”，本书中所介绍的无线发射电路、无线接收电路、无线收发电路、蓝牙无线收发电路均采用最新的、高集成度的射频芯片。

(2) “系统”、“全面”，本书介绍了 19 种无线数字发射电路、12 种无线数字接收电路、11 种无线数字收发一体电路和 4 种蓝牙无线收发电路。

(3) “理论性强”，本书分门别类的介绍了无线发射、接收电路的不同结构及特点，进行了内部电路的分析。

(4) “工程性好”，本书结合不同电路，详细介绍了射频电路设计时应注意的一些问题，包括电路设计、印制板设计布局、元器件参数选择等。

(5) “实用”，本书中所提供的大部分电路和印制板都可以直接拷贝，应用于所设计的产品中。

本书内容突出了先进性、工程性、实用性，可以作为从事数字视音频数据无线传输系统、无线遥控和遥测系统、无线数据采集系统、无线网络、无线安全防范系统等应用研究的工程技术人员的参考书和工具书。也可以作为高等院校通信、电子等相关专业本科生和研究生的教学参考书，以及全国大学生电子设计竞赛的培训教材。在书末列出了大量的参考文献和各公司的网址，以便于读者参考使用。

黄智伟

2002 年 11 月 8 日于南华大学

目 录

第 1 章 数字通信基础	(1)
1.1 数字通信系统的基本组成	(1)
1.1.1 数字通信系统的原理框图	(1)
1.1.2 数字通信的特点	(3)
1.1.3 数字通信系统的主要性能指标	(4)
1.2 数字基带信号的常用码型	(5)
1.3 数字调制解调电路	(10)
1.3.1 概述	(10)
1.3.2 二进制振幅键控 (ASK) 调制与解调	(11)
1.3.3 二进制频移键控 (FSK) 调制与解调	(14)
1.3.4 二进制相位键控 (PSK) 调制与解调	(18)
1.3.5 多进制数字调制系统	(25)
1.3.6 正交振幅调制 (QAM)	(32)
1.3.7 其他形式的数字调制	(37)
第 2 章 无线数字发射电路设计	(39)
2.1 基于 TDA5100 的无线数字发射电路设计	(39)
2.1.1 概述	(39)
2.1.2 主要性能指标	(39)
2.1.3 芯片封装与引脚功能	(39)
2.1.4 内部结构与工作原理	(41)
2.1.5 应用电路设计	(43)
2.1.6 应用电路实例	(45)
2.1.7 封装尺寸	(47)
2.2 基于 MICRF102 的无线数字发射电路设计	(48)
2.2.1 概述	(48)
2.2.2 主要性能指标	(48)
2.2.3 芯片封装与引脚功能	(48)
2.2.4 内部结构与工作原理	(49)
2.2.5 应用电路设计	(50)
2.2.6 封装尺寸	(51)
2.3 基于 MICRF104 的无线数字发射电路设计	(51)
2.3.1 概述	(51)
2.3.2 主要性能指标	(52)
2.3.3 芯片封装与引脚功能	(53)

2.3.4	内部结构与工作原理	(53)
2.3.5	应用电路设计	(54)
2.3.6	封装尺寸	(56)
2.4	基于 TX6000 的无线数字发射电路设计	(57)
2.4.1	概述	(57)
2.4.2	主要性能指标	(57)
2.4.3	芯片封装与引脚功能	(58)
2.4.4	内部结构与工作原理	(59)
2.4.5	应用电路设计	(60)
2.4.6	封装尺寸	(61)
2.5	基于 TH7108 的无线数字发射电路设计	(62)
2.5.1	概述	(62)
2.5.2	主要性能指标	(62)
2.5.3	芯片封装与引脚功能	(62)
2.5.4	内部结构与工作原理	(63)
2.5.5	应用电路设计	(64)
2.5.6	封装尺寸	(65)
2.6	基于 TH71081 的无线数字发射电路设计	(65)
2.6.1	概述	(65)
2.6.2	主要性能指标	(66)
2.6.3	芯片封装与引脚功能	(66)
2.6.4	内部结构与工作原理	(66)
2.6.5	应用电路设计	(67)
2.7	基于 CMX017 的无线数字发射电路设计	(69)
2.7.1	概述	(69)
2.7.2	引脚功能与内部结构	(69)
2.7.3	应用电路设计	(71)
2.8	基于 T5750 的无线数字发射电路设计	(71)
2.8.1	概述	(71)
2.8.2	主要性能指标	(72)
2.8.3	芯片封装与引脚功能	(72)
2.8.4	内部结构与工作原理	(72)
2.8.5	应用电路设计	(74)
2.9	基于 U2741 的无线数字发射电路设计	(75)
2.9.1	概述	(75)
2.9.2	主要性能指标	(76)
2.9.3	芯片封装与引脚功能	(76)
2.9.4	内部结构与工作原理	(77)
2.9.5	应用电路设计	(78)

2.9.6	应用电路实例	(79)
2.10	基于 AT86RF401 的无线数字发射电路设计	(84)
2.10.1	概述	(84)
2.10.2	主要性能指标	(84)
2.10.3	芯片封装与引脚功能	(85)
2.10.4	内部结构与工作原理	(85)
2.10.5	应用电路设计	(88)
2.10.6	封装尺寸	(89)
2.11	基于 RF2516 的无线数字发射电路设计	(90)
2.11.1	概述	(90)
2.11.2	主要性能指标	(90)
2.11.3	芯片封装与引脚功能	(90)
2.11.4	内部结构与工作原理	(92)
2.11.5	应用电路设计	(93)
2.11.6	封装尺寸	(97)
2.12	基于 RF2510 的无线数字发射电路设计	(97)
2.12.1	概述	(97)
2.12.2	主要性能指标	(98)
2.12.3	芯片封装与引脚功能	(98)
2.12.4	内部结构与工作原理	(99)
2.12.5	应用电路设计	(100)
2.12.6	封装尺寸	(103)
2.13	基于 rfPIC12c509AF 的无线数字发射电路设计	(104)
2.13.1	概述	(104)
2.13.2	芯片封装与引脚功能	(104)
2.13.3	内部结构与工作原理	(105)
2.13.4	应用电路设计	(109)
2.14	基于 TX4915 的无线数字发射电路设计	(110)
2.14.1	概述	(110)
2.14.2	主要性能指标	(110)
2.14.3	芯片封装与引脚功能	(110)
2.14.4	内部结构与工作原理	(111)
2.14.5	应用电路设计	(112)
2.15	基于 TX4930 的无线数字发射电路设计	(114)
2.15.1	概述	(114)
2.15.2	主要性能指标	(114)
2.15.3	芯片封装与引脚功能	(114)
2.15.4	内部结构与工作原理	(115)
2.15.5	应用电路设计	(116)

2.16	基于 MAX2900 的无线数字发射电路设计	(116)
2.16.1	概述	(116)
2.16.2	主要性能指标	(116)
2.16.3	芯片封装与引脚功能	(117)
2.16.4	内部结构与工作原理	(119)
2.16.5	应用电路设计	(122)
2.16.6	封装尺寸	(124)
2.17	基于 TRF4900 的无线数字发射电路设计	(125)
2.17.1	概述	(125)
2.17.2	主要性能指标	(125)
2.17.3	芯片封装与引脚功能	(126)
2.17.4	内部结构与工作原理	(127)
2.17.5	应用电路设计	(133)
2.17.6	封装尺寸	(134)
2.18	基于 nRF402 的无线数字发射电路设计	(135)
2.18.1	概述	(135)
2.18.2	主要性能指标	(135)
2.18.3	芯片封装与引脚功能	(136)
2.18.4	内部结构与工作原理	(137)
2.18.5	应用电路设计	(139)
2.19	基于 nRF902/nRF904 无线数字发射电路设计	(140)
2.19.1	概述	(140)
2.19.2	主要性能指标	(141)
2.19.3	芯片封装与引脚功能	(141)
2.19.4	内部结构与工作原理	(142)
2.19.5	应用电路设计	(145)
第 3 章	无线数字接收电路设计	(147)
3.1	基于 TDA5200 的无线数字接收电路设计	(147)
3.1.1	概述	(147)
3.1.2	主要性能指标	(147)
3.1.3	芯片封装与引脚功能	(147)
3.1.4	内部结构与工作原理	(148)
3.1.5	应用电路设计	(150)
3.1.6	应用电路实例	(153)
3.1.7	封装尺寸	(155)
3.2	基于 MICRF007 的无线数字接收电路设计	(156)
3.2.1	概述	(156)
3.2.2	主要性能指标	(156)
3.2.3	芯片封装与引脚功能	(157)

3.2.4	内部结构与工作原理	(157)
3.2.5	应用电路设计	(162)
3.2.6	应用电路实例	(162)
3.3	基于 RX6000 的无线数字接收电路设计	(165)
3.3.1	概述	(165)
3.3.2	主要性能指标	(165)
3.3.3	芯片封装与引脚功能	(166)
3.3.4	内部结构与工作原理	(168)
3.3.5	应用电路设计	(171)
3.3.6	应用电路实例	(173)
3.4	基于 TH71112 的无线数字接收电路设计	(175)
3.4.1	概述	(175)
3.4.2	主要性能指标	(175)
3.4.3	芯片封装与引脚功能	(175)
3.4.4	内部结构与工作原理	(177)
3.4.5	应用电路设计	(177)
3.4.6	封装尺寸	(180)
3.5	基于 CMX018 的无线数字接收电路设计	(181)
3.5.1	概述	(181)
3.5.2	引脚功能与内部结构	(181)
3.5.3	应用电路设计	(182)
3.5.4	UHF FM/FSK 无线收发电路设计	(183)
3.6	基于 T5760/T5761 的无线数字接收电路设计	(184)
3.6.1	概述	(184)
3.6.2	主要性能指标	(184)
3.6.3	芯片封装与引脚功能	(184)
3.6.4	内部结构与工作原理	(185)
3.6.5	应用电路设计	(198)
3.7	基于 U3741 的无线数字接收电路设计	(200)
3.7.1	概述	(200)
3.7.2	主要性能指标	(200)
3.7.3	芯片封装与引脚功能	(200)
3.7.4	内部结构与工作原理	(201)
3.7.5	应用电路设计	(209)
3.8	基于 RF2917 的无线数字接收电路设计	(215)
3.8.1	概述	(215)
3.8.2	主要性能指标	(215)
3.8.3	芯片封装与引脚功能	(216)
3.8.4	内部结构与工作原理	(218)

3.8.5	应用电路设计	(219)
3.8.6	封装尺寸	(222)
3.9	基于 RF2919 的无线数字接收电路设计	(222)
3.9.1	概述	(222)
3.9.2	主要性能指标	(222)
3.9.3	芯片封装与引脚功能	(223)
3.9.4	内部结构与工作原理	(225)
3.9.5	应用电路设计	(227)
3.10	基于 RX3400 的无线数字接收电路设计	(230)
3.10.1	概述	(230)
3.10.2	主要性能指标	(230)
3.10.3	芯片封装与引脚功能	(230)
3.10.4	内部结构与工作原理	(231)
3.10.5	应用电路设计	(232)
3.11	基于 RX3930 的无线数字接收电路设计	(232)
3.11.1	概述	(232)
3.11.2	主要性能指标	(232)
3.11.3	芯片封装与引脚功能	(233)
3.11.4	内部结构与工作原理	(235)
3.11.5	应用电路设计	(236)
3.12	基于 MAX1470 的无线数字接收电路设计	(237)
3.12.1	概述	(237)
3.12.2	主要性能指标	(238)
3.12.3	芯片封装及引脚功能	(238)
3.12.4	内部结构与工作原理	(239)
3.12.5	应用电路设计	(243)
第 4 章	无线数字收发电路设计	(244)
4.1	基于 TR3001 的无线数字收发电路设计	(244)
4.1.1	概述	(244)
4.1.2	主要性能指标	(244)
4.1.3	芯片封装与引脚功能	(245)
4.1.4	内部结构及工作原理	(247)
4.1.5	应用电路设计	(251)
4.1.6	封装尺寸	(253)
4.2	基于 nRF401/nRF403 的无线数字收发电路设计	(253)
4.2.1	概述	(253)
4.2.2	主要性能指标	(253)
4.2.3	芯片封装与引脚功能	(254)
4.2.4	内部结构与工作原理	(255)

4.2.5	应用电路设计	(258)
4.2.6	应用电路实例	(262)
4.3	基于 nRF903 的无线数字收发电路设计	(270)
4.3.1	概述	(270)
4.3.2	主要性能指标	(270)
4.3.3	芯片封装与引脚功能	(271)
4.3.4	内部结构与工作原理	(272)
4.3.5	应用电路设计	(277)
4.4	基于 TRF6900 的无线数字收发电路设计	(278)
4.4.1	概述	(278)
4.4.2	主要性能指标	(278)
4.4.3	芯片封装与引脚功能	(280)
4.4.4	内部结构与工作原理	(282)
4.4.5	应用电路设计	(293)
4.4.6	应用电路实例	(306)
4.4.7	电路性能保证措施	(321)
4.5	基于 AT86RF211 的无线数字收发电路设计	(323)
4.5.1	概述	(323)
4.5.2	主要性能指标	(323)
4.5.3	芯片封装与引脚功能	(325)
4.5.4	内部结构与工作原理	(325)
4.5.5	应用电路设计	(332)
4.5.6	封装尺寸	(334)
4.6	基于 XE1201 的无线数字收发电路设计	(335)
4.6.1	概述	(335)
4.6.2	主要性能指标	(335)
4.6.3	芯片封装与引脚功能	(336)
4.6.4	内部结构与工作原理	(339)
4.6.5	应用电路设计	(348)
4.6.6	与微控制器的接口	(351)
4.7	基于 RF2915 的无线数字收发电路设计	(353)
4.7.1	概述	(353)
4.7.2	主要性能指标	(353)
4.7.3	芯片封装与引脚功能	(355)
4.7.4	内部结构与工作原理	(357)
4.7.5	应用电路设计	(358)
4.7.6	应用电路实例	(360)
4.8	基于 RFW102 的无线数字收发电路设计	(362)
4.8.1	概述	(362)

4.8.2	主要性能指标	(363)
4.8.3	芯片封装与引脚功能	(363)
4.8.4	内部结构与工作原理	(365)
4.8.5	应用电路设计	(368)
4.8.6	封装尺寸	(370)
4.9	基于 CC900 的无线数字收发电路设计	(372)
4.9.1	概述	(372)
4.9.2	主要性能指标	(372)
4.9.3	芯片封装与引脚功能	(372)
4.9.4	内部结构与工作原理	(373)
4.9.5	应用电路设计	(374)
4.9.6	封装尺寸	(377)
4.10	基于 CC1000 的无线数字收发电路设计	(377)
4.10.1	概述	(377)
4.10.2	主要性能指标	(377)
4.10.3	芯片封装与引脚功能	(378)
4.10.4	内部结构与工作原理	(379)
4.10.5	应用电路设计	(380)
4.10.6	封装尺寸	(390)
4.11	基于 MICRF500 的无线数字收发电路设计	(390)
4.11.1	概述	(390)
4.11.2	主要性能指标	(391)
4.11.3	芯片封装与引脚功能	(392)
4.11.4	内部结构与工作原理	(393)
4.11.5	应用电路设计	(395)
4.11.6	封装尺寸	(405)
第 5 章	蓝牙无线收发器电路	(406)
5.1	基于 PBA3130A 的蓝牙无线收发器电路设计	(406)
5.1.1	概述	(406)
5.1.2	主要性能指标	(406)
5.1.3	芯片封装与引脚功能	(408)
5.1.4	内部结构与工作原理	(409)
5.1.5	应用电路设计	(414)
5.1.6	封装尺寸	(417)
5.2	蓝牙组件 ROK101 008 原理与应用	(417)
5.2.1	概述	(417)
5.2.2	主要性能指标	(417)
5.2.3	组件引脚功能	(420)
5.2.4	内部结构与工作原理	(421)

5.2.5	组件应用	(424)
5.2.6	蓝牙开发工具包 (EBDK)	(427)
5.2.7	组件封装尺寸	(428)
5.3	基于 SiW1502 的蓝牙无线收发器电路设计	(429)
5.3.1	概述	(429)
5.3.2	主要性能指标	(429)
5.3.3	芯片封装与引脚功能	(431)
5.3.4	内部结构与工作原理	(434)
5.3.5	应用电路设计	(435)
5.3.6	封装尺寸	(437)
5.4	基于 RF2968 的蓝牙无线收发器电路设计	(438)
5.4.1	概述	(438)
5.4.2	主要性能指标	(438)
5.4.3	芯片封装与引脚功能	(439)
5.4.4	内部结构与工作原理	(441)
5.4.5	应用电路设计	(443)
5.4.6	封装尺寸	(445)
参考文献		(447)

第 1 章 数字通信基础

1.1 数字通信系统的基本组成

1.1.1 数字通信系统的原理框图

数字通信的基本特征是把数字信号作为载体传送信息，它传输的信号是“离散”或“数字”的。数字通信系统是一种传输数字信号的系统。或者说，它是利用数字信号来传输信息的通信系统，其基本原理框图如图 1.1 所示。

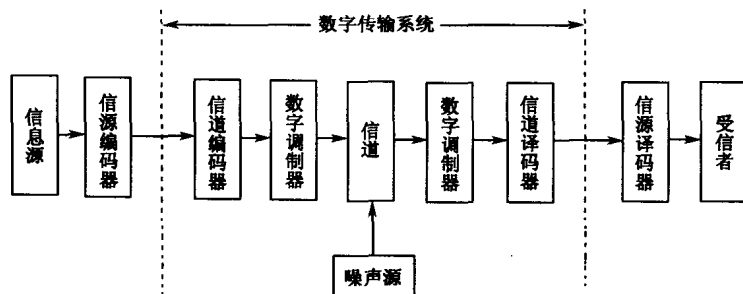


图 1.1 数字通信系统的原理框图

图 1.1 中的信息源简称为信源，是产生和发出信息信号的人或机器，如电传机、计算机、电话机、影碟机、摄像机等。如果信息原来是非电信号，则信息源还必须将其变换成便于通信系统传输的电信号。根据不同的通信对象和任务，信息源产生的信号类型也不同，总的来说，可分为模拟信号和数字信号两类。模拟信号如电话机、影碟机、摄像机输出的音频、视频信号；数字信号如电传机、计算机输出的数据信号。受信者又称为信息宿或信宿，是通信系统的终端设备，是用来接收信号并还原为相应信息的人或机器。需要注意的是，无论是将信息变换为信号，还是将信号变换为信息，这两种变换都必须是线性的，否则将不可能在终端还原出原来的信息。

发送设备包含信源编码器、信道编码器和数字调制器；接收设备包含数字解调器、信道译码器和信源译码器。发送设备的任务是把信源输出的信息变换成便于在信道上传送的信号，接收设备则完成相反的过程，即把信道输出的信号变换成接收者需要的信息。图 1.1 采用了两个串接的编码方框和译码方框，其目的是把依赖于信源特性和接收者要求的编译码与依赖于信道特性的编译码区别开来，因为这两种编译码的目的、作用、实现方法及考虑问题的出发点是完全不同的。

信源编码器的作用是将信源输出的信号变换成适合于数字通信系统处理和传输的数字信号。也就是说，如果信源输出的信号是模拟信号，则信源编码器首先应对其进行处理。

变换,使之成为时间上离散、幅度取值有限且按一定规律组合的数字脉冲串。通常将这样的过程称为脉冲编码调制(PCM),简称为编码。信源编码一般要经过三个过程,即取样、量化和编码。通常将编码后的每组数字脉冲称为代码或码字,而其中的每个数字脉冲称为码元。为了提高传输的有效性,减少原始信号中的冗余度,信源编码通常是对数据进行压缩的编码,即在保证一定传输质量的前提下,用尽可能少的数字脉冲来表示原来的信息。所以,就这一意义而言,信源编码有时也称做频带压缩编码或数据压缩编码。信源译码器的作用与信源编码器相反,其功能是还原出信息信号。

信道编码与译码在通信系统中是成对出现的。信道编码器处于系统的发送端,信道译码器处于接收端,它们的作用是解决数字通信的可靠性问题。数字信号在传输过程中,不可避免地会受到系统内外的各种干扰,使到达接收端的数字信号可能出现差错,产生错码(又称误码)。信道编码与译码就是为了减少这种差错,提高信息传输质量的一种“差错控制”技术。它是在信源编码器输出的数字信号中,按一定规律附加一些数字代码,从而形成新的数字信号;当这些信号到达接收端时,再按原先约定好的规律对接收信号进行检错或纠错。在信道编码器中附加上的这些数字代码又称为监督码元。

若编码器输出的信号(即编码脉冲序列)是数字基带信号,它可以直接在市话电缆等有线信道中传输,则这类系统称为数字基带系统。但是对于大多数的无线及微波信道、卫星信道、光缆及高频电缆信道等,它们共同的特点是具有带通信道特性,为了使基带信号与带通信道匹配,则数字调制与解调是必需的,这样的系统也称为数字调制系统。

将数字基带信号调制到高频信号上的过程称为数字调制。它的主要功能是提高信号在信道上的传输效率,或是达到信号复用的目的,或是减少传输引起的失真。根据数字信号控制高频信号的参数不同,数字调制可分为数字调幅(又称幅移键控ASK)、数字调频(频移键控FSK)和数字调相(相移键控PSK)等多种。解调是调制的逆过程,它是从已调信号中恢复出原来数字信号的过程。利用调制技术来传输数字信号的方式称为频带传输。基带传输与频带传输都属于数字信号传输技术的范畴。

信道是用于传输信号的通道。具体地说,它是由有线或无线线路为信号传输提供的一条通道。抽象地说,它是指允许信号通过的一段频带。信道既给信号传输提供通路,又给信号传输造成限制与损害。由于实际中存在各种不理想的因素,信道提供的频带总是有限的,其特性也总是不完善的。因此,信号通过信道时总会产生失真,信号功率也会因信道的损耗而下降。根据传输媒介的不同,信道可分为有线信道和无线信道两种。有线信道包括明线、对称电缆、同轴电缆和光纤等。无线信道包括中长波的地波传播、短波的电离层反射、超短波或微波的视距传播(含微波中继和卫星中继)以及各种散射等。

信号在传输过程中还会受到各种干扰(或噪声)的损害。这种干扰来自系统的内部和外部,如系统本身存在的各种热噪声及系统外部的天线干扰、工业干扰、电台干扰等。为了便于说明,通常将通信过程中的各种噪声干扰用一个等效干扰源(噪声源)表示。

考虑到信道编码、译码的目的是为了纠正数字信号传输中的错误,我们把信道编译码、调制与解调以及信道这些部件合起来称为数字传输系统。

由于数字通信系统种类很多,图1.1中的方框也不是一成不变的。若是数字基带系统,则数字调制与解调两个方框是没有的;若是保密通信系统,则发信端信源编码器后要插入加密器,相应接收端在信道译码后要插入解密器;又如信源若是计算机输出的数据,信宿也是

计算机, 则信源编译码也可以不要, 因为它的功能由计算机完成了。可见, 图 1.1 中的方框可视具体情况来增减。

另外, 对数字通信系统, 信息的传输与接收是一个节拍接一个节拍地发送与接收, 收发步调必须一致, 这是由同步系统来保证的。同步系统是数字通信系统的重要组成部分。所谓同步, 是指通信系统的收、发双方具有统一的时间标准, 它们的工作“步调一致”。同步通常包括有载波同步、位(码元)同步和群(帧)同步等。同步对于数字通信是至关重要的。如果同步存在误差或失去同步, 则通信过程中就会出现大量的误码, 甚至导致整个通信系统失效。可见, 同步问题是数字通信中一个重要的实际问题。由于同步的种类与实现方法各不相同, 它可能与图 1.1 方框中的一个方框或若干个方框有关, 但无法在方框图中具体表示, 因此图 1.1 中没有画出同步系统。

1.1.2 数字通信的特点

与模拟通信相比, 数字通信有如下特点:

(1) 数字传输的抗噪声(或抗干扰)能力强, 尤其在中继时, 数字信号还可以再生而消除噪声的积累。数字通信在传输过程中, 只要信噪比还没有恶化到不可收拾的程度, 即还来得及对传输脉冲的取值进行判决时, 便可利用再生中继技术使传输信号再生, 从而消除噪声干扰对传输质量的影响。而模拟信号在传输过程中受到的噪声干扰是无法消除的, 随着传输距离的增长, 其信噪比将会逐渐下降, 模拟通信的传输质量会随着距离的增加而下降。由于数字通信无噪声干扰积累, 其传输距离可以更远。

(2) 数字通信可通过差错控制编码, 设法控制传输中的差错, 不但可以发现差错而且还能改正差错, 因而大大提高了传输质量, 进一步提高了通信的可靠性。由于数字信号的抗干扰能力强, 所以在类似的信道条件下, 数字通信的传输精度要比模拟通信高得多。若要求两者具有相同的精度, 则数字通信对信道的要求可以低一些。

(3) 数字通信传输的是数字信号, 其通信系统很容易与计算机联网, 采用现代计算机技术对数字信息进行处理, 可提高通信的效率和可靠性, 实现通信的自动化和智能化。

(4) 数字通信保密性好, 信息传输的安全性和保密性显得越来越重要。数字通信系统可通过简单的逻辑电路对数字信号实施规律复杂的密码加密处理, 从而提高通信的安全性和保密性。

(5) 由于数字集成电路, 特别是大、中规模集成电路技术日益成熟, 数字通信设备越来越易于制造, 成本低、体积小、可靠性高。

(6) 与模拟通信相比数字通信可以传输更多种类的信息。数字通信可以传输包括声音、图像、数据、文本等在内的各种信息信号, 以及与在通信过程中用来监视或控制其他业务用的信号, 都可以采用相同的信号格式和处理方法, 经多路复用组合在一起, 由同一信道传输而互不干扰。所以, 数字通信可以将各种业务信息和不同的终端用户组合成一个系统, 形成统一的综合业务数字网, 对来自各方面的信息进行交换、传输、处理、存储等, 从而使通信系统变得通用、灵活。

当然, 事物总是一分为二的, 与模拟通信相比, 数字通信也有其不足之处, 主要有两点。一是占用系统的频带(即信道频带)较宽。以电话为例, 一路模拟电话仅占 4 kHz 的带宽, 而一路数码率为 64 kb/s 的数字电话却要占 64 kHz 的带宽。可见, 数字通信的频带利用率比

模拟通信低得多，可以认为数字通信的许多优点是以信号频带为代价而换取的。二是数字通信系统中必须具备同步系统，从而使系统的结构较复杂。

1.1.3 数字通信系统的主要性能指标

人们对一个数字通信系统的要求是多方面的，评价通信系统的优劣涉及到信息传输的有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性及使用维修方便性等。从信息传输的角度来看对数字通信的质量指标起着主导和决定作用的是有效性和可靠性。有效性是通信系统传输信息速度的表征，而可靠性是通信系统传输信息质量上的要求。人们总是希望通信系统传输的信息既快又准确，既有效又可靠。然而有效性与可靠性两者却是矛盾的，这对矛盾只能依据实际要求取得相对的统一。

1. 数字通信系统的有效性

数字通信系统中有效性可从以下三个指标来说明：码元传输速率、信息传输速率及系统的带宽利用率。

(1) 码元传输速率 R_B

码元传输速率又称传码率或波特率，是指单位时间（通常为秒，下同）内通信系统所传输的码元数目（即脉冲个数），记为 R_B ，其单位为波特（Baud）。例如某数字通信系统，每秒传送 4 800 个数字波形（或者说 4 800 个码元），则传输速率为 4 800 波特（或记为 4 800B）。

(2) 信息传输速率 R_b

信息传输速率 R_b 又称传信率，是单位时间内通信系统所传送的信息量，单位为比特/秒（bit/s 或 b/s）。

根据信息量的定义，1 个二进制码元代表 1 比特（bit）的信息量。因此，在二进制码元中，码元传输速率与信息传输速率在数值上是相等的，即 $R_B = R_b$ ，但它们的含义不同，前者是指单位时间内传输的码元数目，后者是指单位时间内传输的信息量。

如果所传输的码元是 M 进制（ $M \geq 2$ ），则每个码元含有的信息量 I 为

$$I = \log_2 M \quad (\text{bit}) \quad (1.1)$$

由上式不难看出，在数字通信系统中，若所传输的码元是 M 进制，则码元传输速率 R_B 与信息传输速率 R_b 在数值上存在如下关系，即

$$R_B = R_b \log_2 M \quad (1.2)$$

例如，在四进制（ $M=4$ ）中，已知码元传输速率 $R_B=600\text{B}$ ，则信息传输速率 $R_b=1\,200\text{b/s}$ 。由此可见，采用多进制码传输，能提高信息传输速率。

(3) 系统的频带利用率 ρ

在比较两个通信系统的有效性时，单看它们的传输速率是不够的。即使两个系统的传输速率相同，它们的系统效率也可以是不一样的，因为两个系统可能具有不同的带宽。即系统在传输信息时所占用的信道频带的宽度不同，它们的有效性也不同。因此，在衡量数字通信系统的有效性时，通常还引入频带利用率这一指标。

通信系统的频带利用率 ρ 是指在单位时间（s）、单位频带上传输信息量的多少，即单位频带内所能实现的最大数码率，单位为 $\text{b}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ ，即

$$\rho = \frac{R_b}{B} \quad (1.3)$$