

卓越 工程师培养计划
电子设计实践系列

高速数据转换器

原理及应用

■ 谭大为 张有光 桑 昀 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

卓越工程师培养计划·电子设计实践系列

高速数据转换器原理及应用

谭大为 张有光 桑 昀 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书用通俗平近的语言,按照由浅入深的一般认知规律,让初学者能够从身边所感自然切入,结合 ADC 和 DAC 的相关工程实践,为进一步思索和凝练解决工程问题的一般性方法提供了导引。

全书内容充实,通过朴素、自然的表达方式与读者分享了丰富的基础知识和工程经验;形象、生动的插图设计让传递的信息更为直观、具体;从读者角度出发,广泛联系工程、就业中的一些现实问题,分享了一些技术以外的观点供读者参考。

本书适用于 ADC 和 DAC 的初学者;前导章节大量基础知识的铺排使得本书也可以作为一般电子爱好者、电子信息专业一、二年级本科生的专业入门书籍;工程案例、高速 ADC 和 DAC 的 PCB 设计对于高年级本科生科研项目训练、PCB 设计初学者的进阶都有很好的适用性。

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

高速数据转换器原理及应用 / 谭大为, 张有光等编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.4
(卓越工程师培养计划. 电子设计实践系列)

ISBN 978-7-121-30419-4

I. ①高… II. ①谭… ②张… III. ①数-模转换器—高等学校—教材 IV. ①TP335

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 280679 号

责任编辑: 竺南直 特约编辑: 郭 莉

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 18.5 字数: 473.6 千字

版 次: 2017 年 4 月第 1 版

印 次: 2017 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: davidzhu@phei.com.cn。

前言

世界是连续的，还是离散的？爱因斯坦的广义相对论认为世界是连续，量子物理则认为世界是基于离散的“级”，微观以普朗克常数量化的存在以人无法感知的间隔造就了宏观世界连续性的表象。

连续和离散，引出从哲学到科学的诸多命题，在电子信息科学领域，在假定世界是连续的前提下，数据转换器——包括模数转换器（ADC）和数模转换器（DAC），在宏观世界的连续和离散中架构起一座沟通的桥梁。

ADC 和 DAC 属于技术范畴，本书着眼点并非技术本身，而是寄望于通过技术与技术之外的内容串接，实现在技术与现实之间的沟通与连续，分享一些朴实、普适的方法。

技术是繁复的，即使 ADC 和 DAC 这样的小门类也因其庞杂而常常使人感怀“管中窥豹，可见一斑”的狭小；技术又是具体的，在循规蹈矩、推本溯源间常常“一叶障目，不见泰山”。本书在内容编排上从如何着手解决问题出发，然后回归到 ADC 与 DAC 架构基础和转换器接口技术，进而通过具体工程实例的应用过渡到更为通用的高速 PCB 设计技术，尽可能地“由点成线及面”，形成较为完备又不失联系的转换器体系结构。

技术为一叶，执迷者障目不见泰山；明智者，叶落知秋，举一明三，能登泰山而小天下。但技术本身是枯燥的，需要践行者“青灯苦修专心意”，而本书在语言上尝试着通俗平近间融入一些名言精句和多彩元素，并非刻意而为，只为在技术的枯燥中增添些许清雅的人文气息以蕴承。

全书主要由谭大为、张有光编著，桑昀对第 3 章进行了细致的整理、编写。成书过程中，北京航空航天大学空天电子信息国家级实验教学示范中心、空天电子信息国家级虚拟仿真教学实验中心主任王俊教授给予作者充分的支持与关心，使得作者撰写时间和工作条件得到了保障；澳大利亚国立大学工程与计算机科学学院 Acoustics and Audio 课题组的师生在作者访问期间针对本书的写作思路和章节编排一起进行了多次讨论，提供了许多建设性的建议；此外，对 ADI 公司应用工程部资深工程师 Walt Kester、Rob Reeder、Cindy Bloomingdale、Gary Hendrickson、David Brandon、David Crook 和 Ken Gentile 等致以崇高的敬意，书中一些章节内容参考、提炼、部分翻译了他们辛苦研究获得的成果，在一些有疑议的技术细节他们以极强的专业精神与作者反复沟通、交流与讨论，直至释疑。同时也要感谢 Springer Liu，她面对大量的图表创造性地开展作品，不仅对图表进行了修饰工作，同时还将她的天才创意点缀其中，让许多图例表达更加生动、形象。

目 录

第 1 章 人间烟火——技术与现实	1
1.1 技术是纯粹的	2
1.1.1 实例与方法	2
1.1.2 闲话 IT	3
1.2 取舍有度：关于工具书的阅读	12
1.2.1 这是一本工具书	12
1.2.2 读书四问：主题、论点、是非、利己	12
1.2.3 “尽”信书不如无书	14
1.2.4 工程实践中的三个信仰	15
1.3 技术以外——职业和职场多点思考	17
1.3.1 关于职业选择	17
1.3.2 “北上广”：逃离？坚守？	18
1.3.3 职场初为“人”	19
第 2 章 原点——朝正确方向，轻装上阵	25
2.1 读《为学》有感，思想先起跑	26
2.1.1 思想总动员	26
2.1.2 晚起也赶集	27
2.1.3 行动，在下一秒	28
2.2 实用主义：只选对的	28
2.2.1 清楚自己的“目的”	28
2.2.2 十字准星，朝目标瞄准	30
2.3 基本装备：先出发，逐步武装	36
2.3.1 见招拆招——让问题告诉你该学什么	36
2.3.2 装备一：官方网站	38
2.3.3 装备二：翻译工具	45
2.3.4 装备三：搜索引擎	47
第 3 章 边“选”边学——选型中充实基础	49
3.1 DAC 选型指南	50
3.1.1 音频 D/A 转换器	50
3.1.2 数字上/下变频器	55

3.1.3	直接数字频率合成器 (DDS) 和调制器	60
3.1.4	高速 D/A 转换器	61
3.1.5	精密和通用 D/A 转换器	63
3.1.6	视频编码器	79
3.1.7	数字电位计	80
3.2	ADC 选型指南	82
3.2.1	音频 ADC	83
3.2.2	宽带编解码器	83
3.2.3	电容数字转换器	84
3.2.4	数字上变频器和下变频器	84
3.2.5	电能计量 IC	84
3.2.6	高速 ADC	86
3.2.7	集成接收器	92
3.2.8	带隔离模数转换器	93
3.2.9	自整角机数字转换器 (SDC) 和分解器数字转换器 (RDC)	93
3.2.10	温度数字转换器	94
3.2.11	视频解码器	96
3.2.12	电压频率转换器 (VFC)	96
第 4 章	ADC 与 DAC 架构基础	97
4.1	DAC 架构	98
4.1.1	开尔文分压器	98
4.1.2	“温度计”架构	99
4.1.3	二进制加权架构	101
4.1.4	R-2R 梯形电阻网络架构	102
4.1.5	乘法 DAC 架构	104
4.1.6	分段 DAC 架构	105
4.1.7	Σ - Δ 架构	106
4.2	ADC 架构	106
4.2.1	比较器——最简单的 1bit ADC	108
4.2.2	逐次逼近架构	109
4.2.3	Flash 架构 (并行架构)	110
4.2.4	纠错流水线分级架构	111
4.2.5	串行位级二进制格雷码架构 (折叠架构)	115
4.2.6	计数积分架构	115
4.2.7	充电自释架构	117
4.2.8	升压比较架构	118
4.2.9	电压跟踪架构	119
4.2.10	双 (多) 斜率架构	120
4.3	Σ - Δ 架构	123
4.3.1	Σ - Δ 起源及其基本架构	123
4.3.2	过采样的频域分析	126

4.3.3 一阶与二阶 Σ - Δ 型	127
4.3.4 不同阶 Σ - Δ 型对比	128
第 5 章 转换器接口技术	131
5.1 参考电压源	132
5.1.1 使用结构形式	133
5.1.2 带隙型参考电压源	135
5.2 时钟	137
5.2.1 输入时钟与全功率带宽	137
5.2.2 系统时钟与参考时钟	139
5.2.3 与时钟相关的基本电路结构	140
5.2.4 高速 ADC 的时钟抖动	144
5.2.5 高速 DAC 的时钟抖动	151
5.3 DAC 输入/输出	153
5.3.1 DAC 基本模式	153
5.3.2 高速 DAC 的模拟输出	163
5.3.3 高速 DAC 的数字输入	168
5.4 ADC 输入/输出	178
5.4.1 ADC 输入接口基本参数	178
5.4.2 高速 ADC 的模拟输入	181
5.4.3 高速 ADC 的数字输出	195
第 6 章 高速 ADC 和 DAC 综合实例	199
6.1 没有最快, 只有更快	200
6.2 项目一般性流程	201
6.3 任务分析	202
6.3.1 项目背景	202
6.3.2 测控单元总体要求	203
6.3.3 应答机参数	204
6.4 方案总体设计	206
6.4.1 顶层设计	206
6.4.2 接收(上行)通道设计	206
6.4.3 发射(下行)通道设计	207
6.5 接收(上行)通道	208
6.5.1 中频前端参数设计	208
6.5.2 带通采样设计	210
6.5.3 高速 ADC 电路设计	211
6.5.4 固定下变频器设计	212
6.6 发射(下行)通道	218
6.6.1 相干转发模式的频差补偿	218
6.6.2 相位调制	219
6.6.3 正交上变频	220

6.6.4	高速 DAC 电路设计	220
6.7	硬件调试	224
6.7.1	静态检测	224
6.7.2	电源检测	225
6.7.3	时钟与接口检测	227
6.7.4	其他调试接口	228
6.8	其他	229
6.8.1	固件编程	229
6.8.2	软件及调试	230
第 7 章	高速 PCB 设计技术	231
7.1	PCB 基础	232
7.1.1	PCB 的机械支撑作用	233
7.1.2	元件间的电气连接	234
7.1.3	电气特性的实现	236
7.1.4	生产、检查与维护	237
7.2	布局	238
7.2.1	布局基本原则	238
7.2.2	评估板布局参考	240
7.3	布线	241
7.3.1	导线电阻	241
7.3.2	开尔文反馈	242
7.3.3	信号返回电流	243
7.3.4	接地噪声和接地环路	244
7.3.5	地隔离技术	246
7.3.6	PCB 的静态影响因素	248
7.3.7	PCB 的动态影响因素	253
7.3.8	导体电感	254
7.3.9	导体电容	259
7.3.10	趋肤效应	264
7.3.11	PCB 布线的阻抗控制	265
7.3.12	微带传输线	265
7.3.13	高速数字逻辑	266
7.3.14	LVDS 布线	272
7.4	接地	273
7.4.1	模拟地和数字地	273
7.4.2	地平面	274
7.4.3	混合信号集成电路接地	277
7.4.4	混合系统接地	280
7.5	去耦	286
7.5.1	本地高频旁路/去耦	286
7.5.2	振铃现象	288

第1章 人间烟火

——技术与现实



1.1 技术是纯粹的

1.1.1 实例与方法

《老子》中有句话：“授人以鱼，不如授之以渔”。

“鱼”是现实，是可以直接给予的（物质或结果），是需要达成的目的；

“渔”是动词，打渔、钓鱼，是获得“鱼”的方法。

传授给人以知识，不如传授给人学习知识的方法是个大道理。在《老子》中看来一条鱼能解一时之饥，却不能解决长久温饱，如果想永远有鱼吃，那就要学会钓鱼的方法。

但老子未曾料想的是，2600年后科技发达的今天，尤其是互联网的普及，人们需要面对的竞争环境很难使人“专气致柔”“清静无为”，因为，一个行业的链条不仅连接牵动于一个区域，而可能遍及整个国家，甚至是一种全球竞争的态势。在面临具体工作时，Boss、导师、部门经理、团队 Leader 希望的是你能够快速解决当前面临的问题，而不是慢条斯理的“磨刀不误砍柴功”。

今天的中国人面对快节奏的工作与生活，处在号称知识爆炸的时代，信息技术（Information Technology, IT）的高速发展日新月异，一个“非典型”的例子就是在我们还未就 3G 技术形成完整映像的时候 4G 的宣传广告已经铺天盖地，5G 也进行得如火如荼。在这种情况下，如果得“鱼”学“渔”，短时间两者兼得，不失为快速解决问题、竞争争先的有效方式（见图 1-1）。

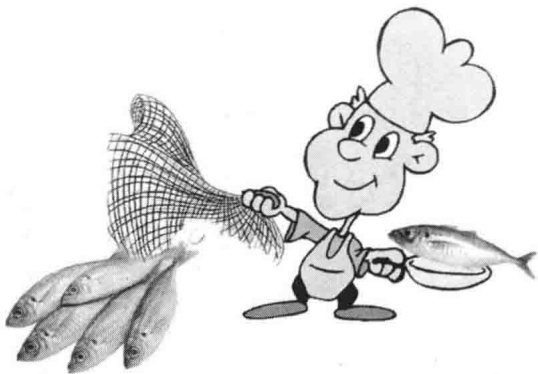


图 1-1 “鱼”与“渔”兼得

本书在组织结构及章节铺排上尽量按照这种思路展开，本书着眼的“鱼”是实例，用于实际工程参考借鉴；“渔”是工程实践总结的一些方法，力争让读者解决问题之余有一般“兵器”在手。

技术是纯粹的，就是那张网，其价值在于需要它的人，而这个人多数情况下是为现实目的所驱动的。

1.1.2 闲话 IT

常常听一些 IT 人用“挨踢”自嘲，而有些人对自己的 IT 身份茫然未知。

曾见过一个硬件工程师非常愤愤地对一个软件工程师说“你们 IT 玩的都是软的，哪有我们的工作‘硬实’”，听后不觉莞尔。

早些年风靡的英剧 *The IT Crowd* (IT 狂人) 让不少人认为 IT 就是在办公室负责修电脑和安装应用程序的，近些年流行的网络流行词“码农”，给另一些人造成一种印象——IT 人就是端坐在电脑前，面对屏幕“辛勤耕作”代码的。

前面那个硬件工程师对于 IT 的界定显然是有失偏颇的，我们不妨闲话一下，兼带了解信息技术的宏观面。

IT 是多个词组的缩写 (见图 1-2)，百度百科如是说：

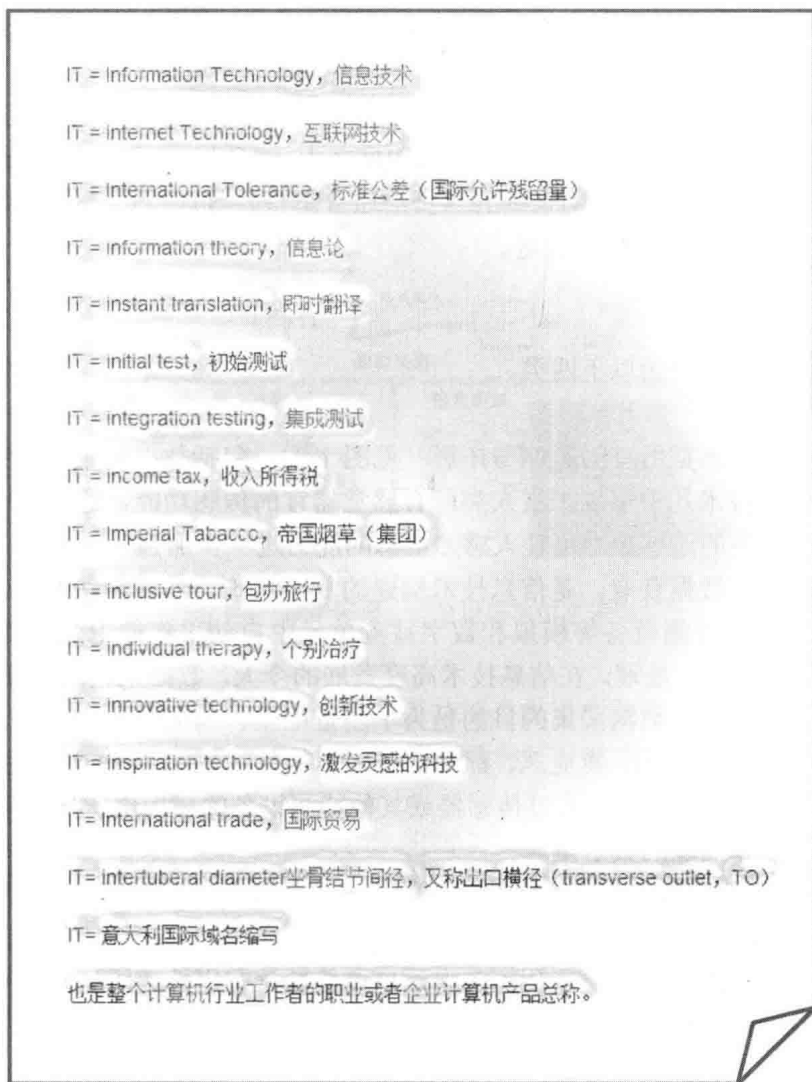


图 1-2 以“IT”为缩写的词组

行业内的 IT 一般指的是 Information Technology 的缩写,意为“信息技术”。对于 IT 的解释很多,其中维基百科上的说明比较全面,基本上也是业内共识的一般表述:

Information technology (IT) is the application of computers and telecommunications equipment to store, retrieve, transmit and manipulate data, often in the context of a business or other enterprise. The term is commonly used as a synonym for computers and computer networks, but it also encompasses other information distribution technologies such as television and telephones. Several industries are associated with information technology, including computer hardware, software, electronics, semiconductors, internet, telecom equipment, e-commerce and computer services.

信息技术(IT)是计算机和通信设备在数据存储、检索、传输和处理方面的应用,常用于商业、非营利、政府代理等企业应用领域。该术语通常也作为计算机和计算机网络的代名词,但涵盖的范围更广,包括其他一些信息分发技术,如电视和电话等。与信息技术相关的工业领域有:计算机硬件、软件、电子、半导体、互联网、电信设备、电子商务和计算机服务。

上面关于 IT 的解释按照中文习惯显得过于笼统,在我们的传统文化中更愿意对复杂事物进行分门别类(IT 的涵盖内容之广、复杂程度之大,可以从后面分类中窥见一斑),如明朝李时珍的《本草纲目》,宋朝朱熹的《资治通鉴纲目》等。所谓“纲举目张”¹,门类分清楚了,IT 的关键与脉络随之清楚。

1. 按照信息流向分类

按照信息流向可以分为以下四类。

(1) 传感技术

传感技术是人的感觉器官的延伸与拓展(见图 1-3),包括数据采集、信息提取、信息识别等技术。传感技术几乎可以扩展人类所有感觉器官的传感功能,通过与测量技术、通信技术相结合而产生的遥感技术可使人感知信息的能力进一步加强。

数据采集,又称数据获取,是信息技术构建的复杂系统与外部物理世界连接的桥梁,通常从传感器和其他待测设备等模拟和数字被测单元中自动采集非电量或者电量信号,供后端信息系统进行分析、处理。在信息技术高度发展的今天,数据采集的重要性十分显著,并广泛应用于各个领域。数据采集的目的是为了测量电压、电流、温度、压力或声音等物理现象,常见设备比如摄像头,麦克风,都是数据采集工具。本书讨论的模拟-数字转换器属于数据采集的范畴,其作用就是通过传感器或其他待测设备的模拟电压/电流转换成信息系统易于存储、传输和处理的数字量。

信息提取,又称信息抽取,是把采集得到的信息进行结构化处理,形成特定的组织形式。

信息识别,包括文字识别、语音识别和图形识别等。通常采用模式识别的方法,对提取后的特征信息进行比对、判断,从而实现信息真伪性、有用性的辨认与甄别。有时根据需要会增加推理以实现复杂识别。

¹ 纲:鱼网上的总绳,比喻事物的主干部分。目:网眼,比喻事物的从属部分。一般比喻条理分明,也比喻抓住事物的关键就可以带动其他环节。纲举目张也呼应前文提及的“渔”法。

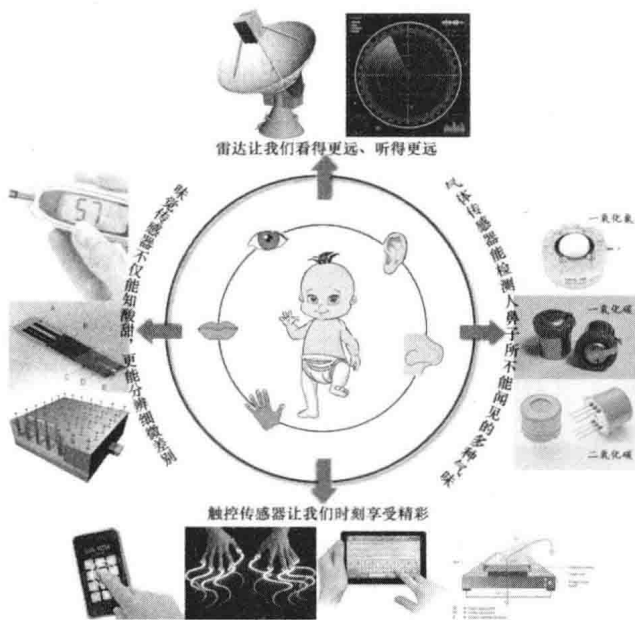


图 1-3 传感器对人感觉器官的延伸

数据采集、信息提取与信息识别的示意图如图 1-4 所示。

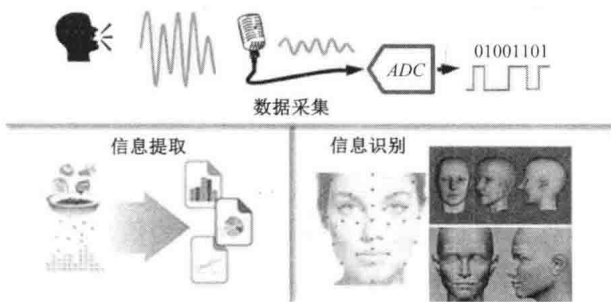


图 1-4 数据采集、信息提取与信息识别

(2) 通信技术

通信技术又称为信息传递技术，它的主要功能是实现信息快速、可靠、安全的转移。信息传输包括传送和接收,传输介质分有线和无线两种，有线为电话线或专用电缆；无线是利用电台、微波及卫星技术等，如图 1-5 所示。

需要指出的是，信息传输包括时间和空间两个维度。在空间上，信息传输就是通信过程，信息传递技术和通信技术可以等价，常见的语音/视频电话、即时通信和聊天工具，电子邮件等，都是在空间维度从一个终端传送到另一个终端。在时间上，存储、记录也可以看成信息传输，比如古代的信息通过书籍流传至今完成了时间维度的传输，可以看成它从“过去”向“现在”传递信息。而我们现在存储、记录的信息也可以看作从“现在”向“未来”进行信息传递。

(3) 信息处理技术

信息处理是根据特定需要对信息进行分类、计算、分析、检索、管理和综合等的过程，

也包括对信息的编码、压缩、加密等。现代计算机能进行每秒钟几千亿次乃至几万亿次的运算（即使一个主频 10MHz 的单流水线单片机也能提供每秒钟一千万次的计算能力），为快速准确处理信息提供了基础支撑，从而实现从瞬变、海量的信息中快速分析、获取有用信息。

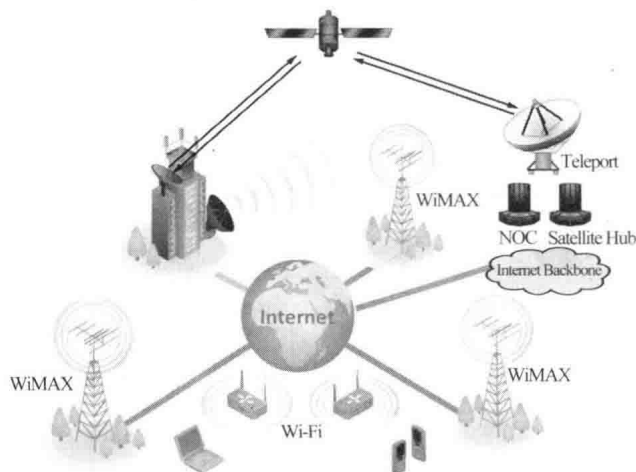


图 1-5 有线传输与无线传输构建的通信网

（4）信息呈现技术

信息呈现技术又称为信息表达技术、信息发布技术，是把信息通过各种表示形式展示出来。信息呈现的形式是多样的：在工业控制领域，信息通过传感、传输、处理等环节，最终呈现形式为控制命令；在消费电子领域，比如导航地图，信息的呈现形式则是屏幕显示。而本书涉及的数字-模拟转换器也可纳入信息呈现技术范畴，将数字信息转换成模拟信号（电压或电流）后可以作为控制信号，也可以直接作为信息输出。

值得一提的是，信息呈现技术随人们需求而变化，例如气象信息作为一组一组文本进行显示往往枯燥无味，也让没有气象基础的受众不知所云，而以云图的形式表现则形象、直观而更易理解。此外，近些年逐步发展的 3D（见图 1-6）甚至 4D、5D 技术不仅对控制技术和显示技术拥有极高的要求，也将信息呈现技术推向一个新的高峰。



图 1-6 3D 显示逼真的视觉体验²

² 图片来自互联网，并进行二次编辑。

2. 按照表现形态分类

按照表现形态可以分为：

(1) 硬技术

硬技术也称为物化技术，是具有各种物理形态的信息设备，如扫描仪、电话机、路由器、通信卫星、多媒体电脑等。通常硬技术可以与硬件技术等同起来，本书讨论模拟-数字转换器和数字-模拟转换器时以其硬件技术为主。

(2) 软技术

软技术也称为非物化技术，是指有关信息获取与处理的各种知识、方法与技能，如语言文字技术、数据统计分析技术、规划决策技术、计算机软件技术等。

3. 按照产业功能分类

按照产业功能可以分为以下九类。

(1) 基础技术研究

基础技术研究主要涉及集成电路（IC）研发（如 Intel、AMD、TI、ARM 等）和操作系统（如 Microsoft、Wind River 等），主要集中在美国、日本和欧洲。IT 基础技术是国家战略技术，目前国内正在相关领域大力发展核心技术。

图 1-7 所示是部分 CPU 和操作系统产品概览。

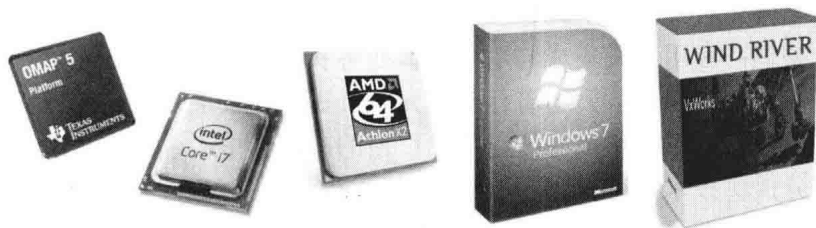


图 1-7 部分 CPU 和操作系统产品概览

(2) 元部件制造

元部件制造主要涉及元器件（主要的 IC 研发公司往往都是元器件的生产商，但少数如 ARM 公司等以知识产权核（IP core）设计为主要业务的公司不参与元器件生产，而是将设计好的 IP core 以授权的形式进行出售从而获得商业利益）、部件与组件制造（如 Elite Group（精英电脑股份有限公司）、First International Computer（大众³），主要提供计算机主板等部件）。部件制造如图 1-8 所示。

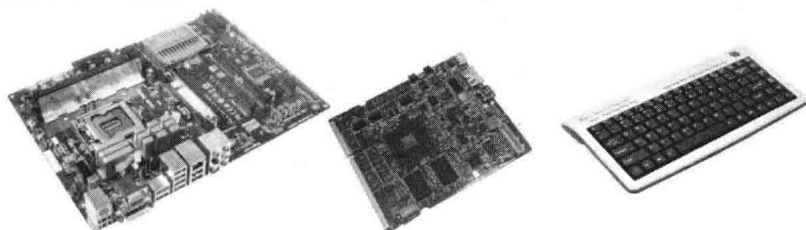


图 1-8 部件制造（计算机主板、键盘）

³ 大众电脑股份有限公司，总部位于台湾省台北市。与制造汽车的德国大众为不同公司。

此外,软件组件、中间件等模块化结构也属于元部件制造,只是相对于硬件而言是“软”制造。

(3) 产品集成

产品集成主要涉及计算机及外设、服务器、嵌入式系统制造商,将不同元部件进行组合,同时增加其他元素(如机箱、包装等)构成完整产品(见图 1-9)。有代表性的产品集成商有 HP(惠普)、联想、IBM 等。

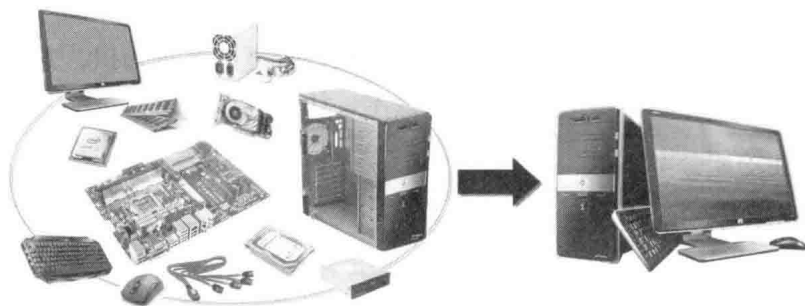


图 1-9 台式机产品的集成

(4) 系统集成

系统集成主要涉及设备系统集成和应用系统集成两方面。设备系统集成主要以构建信息化管理支持平台为目标,利用多种互联技术将多种硬件设备通过集成设计进行优化组合,形成一个有机整体;应用系统集成与用户具体业务和应用相关,与应用软件供应商关系密切,体现形式为软件或者服务。随着行业多元融合进一步发展,设备系统集成与应用系统集成的界限日益模糊,系统集成往往以原始厂商的产品为中心,对项目具体技术实现方案的某一功能部分提供技术实现方案和服务,形成一整套的解决方案或完备的信息系统。如图 1-10 所示是思科物联网即时通信解决方案。

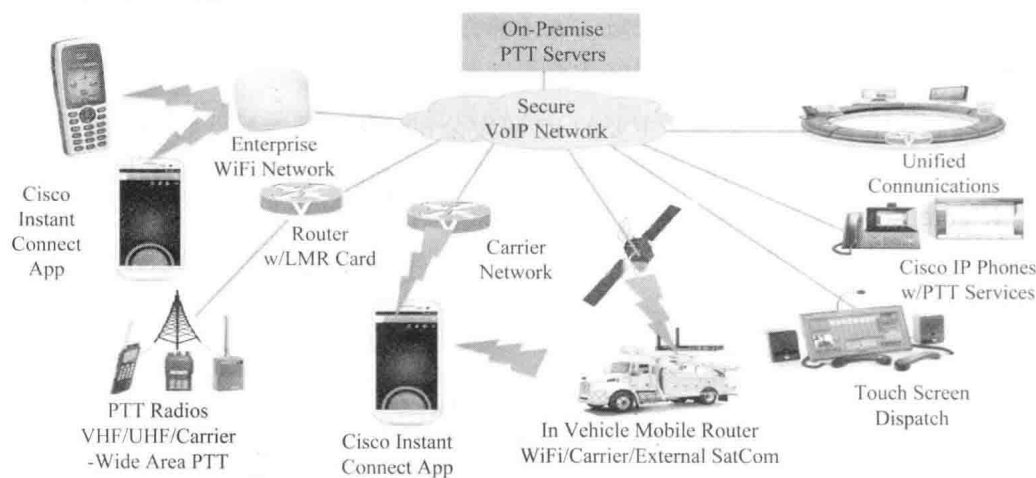


图 1-10 思科物联网即时通信解决方案⁴

⁴ 图片来自思科(Cisco)官网,思科保留图片相关权利,因此未进行英文翻译。

由于产品集成商具有丰富的产品线，同时从整体销售、配套销售的商业角度出发，具有系统集成的天然优势，往往涉足系统集成领域（如联想、HP等）。而IBM通过“智慧地球”，将资本作为系统集成的一个元素，开创了软件、硬件、服务及融资四位一体的系统集成模式，形成在数据整合、信息互联基础上实现城市交通、水资源利用、医疗体系、平安保障和应急系统智能化的全方位一体化解决方案。

（5）产品流通

产品流通是指产品从生产者向消费者转移的过程。产品流通的商业体现形式就是销售渠道，它由一系列相互依赖的组织机构组成，包括各种批发商、零售商、商业服务机构（如经纪人、交易市场等）。

在国内，一些大的企业如联想等，着力于自己建立和控制销售渠道，各级分区机构构成了庞大产品流通网络，负责包括产品流通、宣传资源调配（小到一些门店的招牌、展位布局，大到区域或者全国性媒体、地方卫视的广告宣传等）、价格控制等内容，同时有大客户部门针对政府机关、高校、企事业单位营销大宗产品和一体化解决方案。

而有些公司，如神州数码（中国）（该公司是国内最大的美国IT产品经销商），自身并不生产IT产品或IT产品生产并不多，主要向其他IT公司提供销售渠道作为IT服务。

（6）IT媒体

所谓IT媒体，就是IT类的媒体，其伴生于IT的兴起与发展。从早期计算机类报纸、杂志的平面媒体形式，到后来的网络媒体和眼下热议的新媒体，这些媒体着眼与IT信息的提取、组织与发布，通过IT新闻、产品评测、专题讨论、会展、广告等业务形式，形成一套自己的生态。

国内传统的门户网站，如搜狐、新浪、网易、腾讯、凤凰网等都有自己的IT（或叫科技）频道，标题醒目、更新速度快。此外，一些运营社区的IT媒体如CSDN、51CTO、ITPUB等也有着广泛的影响。而轰动一时的“嘀嘀打车”和“快的打车”上演免费打车的烧钱游戏，让微信不再是单纯的媒体工具，昭示着IT媒体与金融服务的融合。

（7）培养与培训

IT从业人员的培养主要依托各类型院校的相关专业，如计算机、电子商务、软件等。企业也会有自己的员工培训体系，尤其在一些大企业，这种培训更全面、规范。有给销售人员的销售技巧培训，技术人员的专项技能培训等等。在岗前、中期、晋级等各个环节一般也都有相应的培训以帮助员工完善业务能力更好胜任岗位。此外，还有许多专业的培训机构如北大青鸟、华清远见等提供一些有针对性的培训。

（8）行业组织

行业组织包括有经济利益关系或非经济利益关系的IT产业合作组织，各种协会、联盟，如电气和电子工程师协会（IEEE，一个国际性组织，是目前全球最大的非营利性专业技术学会）等。国内也有许多以行业企业为主（有的也会增加一些科研单位、院校等）构成的行业组织，如中国嵌入式系统产业联盟等，但这些组织的作用莫衷一是，有的从成立到销声匿迹只经历很短的时间。

（9）其他

人类活动具有社会性，IT技术作为依托于人类智慧、服务于人类社会而存在就必然会涉及一些社会元素，如法律服务（一些大的公司有独立的法务部门，中小型企业也有专职