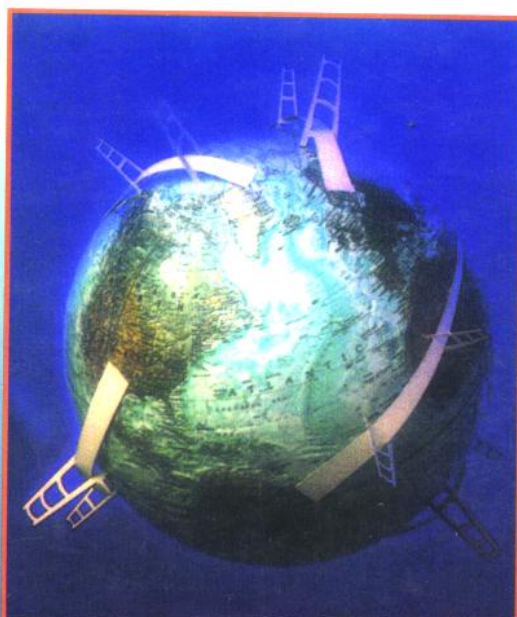


Includes, OSPF, CIDR, IP multicast and Mobile IP

因特网

Routing
in the
Internet

路由技术



Christian Huitema 著
陶文星 译
有悦 审校



清华大学出版社
西蒙与舒斯特国际出版公司

西蒙与舒斯特

93
0



因特网路由技术

Christian Huitema 著

陶文星 译

有悦 审校



清华大学出版社

(京)新登字 158 号

JS184/2/
内 容 简 介

本书从网络互联的角度介绍了因特网的体系结构和基本协议、内部路由协议、外部路由协议以及路由技术的最新研究进展。全书在讲解各种路由技术和理论的同时,还系统地比较和分析了每一种技术和理论的实用性和局限性。这些路由技术和理论包括:域内路由选择所用的 RIP, OSPF, IS-IS, IGRP 和 EIGRP; 域间路由选择所用的 EGP, BGP, CIDR 以及 IDPR; 最近正在研究开发的即将在下一代因特网中使用的多点广播技术、可移动主机理论和资源预留协议等。这些介绍和分析,对组建园区网、地区网和互联网,选择切实可行的路由协议,可提供极其宝贵的指导作用;全书叙述深入浅出,风格友好。

本书面向互联网络研究和工程技术人员,可为互联网络的设计、运行、维护和优化提供参考;本书还适合计算机和网络专业的高年级本科生和研究生,作为网络课程的参考书。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

书 名: 因特网路由技术

作 者: 陶文星 译

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

因特网地址: www.tup.tsinghua.edu.cn

印刷者: 清华大学印刷厂印刷

发行者: 新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.75 字数: 392 千字

版 次: 1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-02739-0/TP·1424

印 数: 0001~6000

定 价: 27.00 元

译者序

随着因特网的迅速发展和进入中国，我国也掀起了一场因特网热潮，因特网已成为大家普遍关心的话题，各个单位纷纷组建自己的网络并试图和因特网连接。设计什么样的网络，选用什么样的路由协议进行因特网互联是技术的关键。当一个组织机构的网络只是几个以太网相连时，选用 RIP 进行路由选择或许能满足要求；而当有多个组织机构网互联成一个专业网或地区网时，要提高路由的效率和网络的安全，就得选用 OSPF 或 IGRP 和 EIGRP；而一旦多个地区网互联成一个特大型互联网络时，选择一个合适的域间路由选择协议和域间路由策略就是保证整个网络有效运行的关键了。因此，系统而全面地了解乃至掌握因特网路由协议，对于任何一个网络设计、研究和管理人员来说都是必不可少的。

然而，在我国的计算机图书市场中，关于网络技术方面尤其是因特网原理技术方面的图书还很少，需要有比较好的一套或更多这方面的图书来传授因特网的有关专业性技术，以便对国内建网进行指导和借鉴。为此，我们组织翻译了 Prentice Hall 出版的“Routing in the Internet”一书。这本书系统而全面地介绍因特网的路由协议技术，整个内容分为四个部分，如下所述：

1. 结构和协议：介绍因特网基本结构(端对端、唯一 IP 地址、连接性等)和协议(IP，ICMP，TCP，UDP，DNS，SNMP 等)；
2. 内部路由协议：详细描述因特网的域内路由技术，包括从 RIP 到当前因特网上广泛应用的 OSPF，还对其它的诸如 IS-IS，IGRP 以及 EIGRP 等协议进行了介绍；
3. 外部路由协议：全面讲解因特网的域间路由技术，从最早的外部网关协议(EGP)到边界网关协议(BGP)，从用来解决路由爆炸问题的无类域内路由(CIDR)协议到用来实现用网控制的策略路由技术。
4. 最新进展：介绍因特网路由技术的最新发展动向，包括多点广播、可移动主机和资源预留等，这些技术在下一世纪的新一代因特网中将得到应用和推广。

纵观全书内容，对于我国企、事业界科技人员有如下作用：

1. 对于直接从事网络工作的科研和技术人员，可以从本书获取最全面的有关因特网路由技术和理论知识，用于工程实践之中；
2. 对于组建校园网/企业网、地区网/专业网和中转互联网的单位，可以通过对本书中因特网路由协议的全面了解，选择适合本单位实际情况的切实可行的路由技术，为用户提供最好的网络服务；

3. 对于计算机和网络专业的高年级本科生和研究生, 可将本书作为网络课程的参考书, 进一步学习和掌握因特网的基本技术知识。

本书的翻译得到原著作者 **Christian Huitema** 博士的帮助。译者使用电子函件与原著作者就翻译中出现的一些问题进行了探讨, 同时对原著中出现的错误进行了修正。中国教育和科研计算机网 (CERNET) 网络中心暨清华大学网络中心的有悦副主任在百忙之中抽出时间对本书的翻译稿进行了逐字逐句的审阅。对本书的翻译工作给予大力帮助还有网络中心的同事们, 他们是: CERNET 教育培训中心的孙炜老师 (cisco 路由器专职讲员)、CERNET NOC 室的李康同志、以及在网络中心做开发工作的李钟辉和张成二位同志。

由于经验不足, 时间紧迫, 翻译中仍不免有错误和遗漏之处, 请同行们指正。

原著作者电子函件为: huitema@bellcore.com

译者的电子函件为: taowx@cernet.edu.cn

陶文星

于清华大学信息网络工程中心

1997 年 3 月

目 录

1 因特网路由介绍.....	1
1.1 世界范围的因特网.....	1
1.2 因特网的组织结构.....	1
1.3 本书简介	2
第一部分 体系结构和协议	3
2 因特网体系结构.....	4
2.1 因特网有体系结构吗.....	4
2.2 端到端原则	4
2.2.1 数据报和虚电路.....	5
2.2.2 网络的可信性.....	5
2.2.3 状态和命运共享.....	7
2.2.4 一个意义深远的论点.....	8
2.3 在其它协议之上运行 IP	8
2.3.1 网络互连.....	8
2.3.2 IP 与新技术	9
2.3.3 唯一性地址.....	9
2.3.4 其它协议.....	9
2.4 连接是一种良性循环.....	10
2.4.1 电子函件和因特网.....	10
2.4.2 连通性不只是电子函件.....	11
2.4.3 网络服务提供者之间的合作.....	11
2.4.4 严以律己, 宽以待人.....	12
2.5 因特网体系结构的发展.....	13
2.5.1 从 DARPA 到因特网协会	13
2.5.2 IETF	14
2.5.3 粗略一致性和程序运行代码.....	15
2.6 因特网特征	16
3 因特网协议.....	18
3.1 运行模式	18
3.2 因特网地址	19
3.2.1 地址格式.....	19
3.2.2 地址和接口.....	21

3.2.3 特殊用途地址.....	21
3.3 因特网协议	22
3.3.1 因特网报头.....	22
3.3.2 优先级和服务类型.....	24
3.3.3 分段和重编.....	25
3.3.4 IP 选项	27
3.3.5 选项和分组报头处理	28
3.4 ICMP.....	29
3.4.1 诊断	29
3.4.2 Ping——分组网间网探测器.....	31
3.4.3 路由跟踪.....	32
3.4.4 时序管理.....	33
3.5 发送 IP 分组	34
3.5.1 在网上发送分组.....	34
3.5.2 发现本地路由器.....	36
3.5.3 使用重定向.....	38
3.5.4 黑洞	39
3.5.5 若干考虑.....	39
3.6 IP 和其相关协议	40
3.6.1 TCP	41
3.6.2 UDP	41
3.6.3 DNS	42
3.6.4 SNMP.....	43
3.7 局域网互连	43
第二部分 内部路由协议	47
4 为什么 RIP 如此简单.....	48
4.1 路由信息协议	48
4.2 距离向量协议介绍.....	48
4.2.1 冷启动	49
4.2.2 链路中断怎么办.....	51
4.2.3 弹跳现象.....	53
4.2.4 计数到无穷大.....	56
4.2.5 水平分割.....	57
4.2.6 触发更新.....	58
4.2.7 若干算法.....	59
4.3 RIP 版本 1	60
4.3.1 RIP 距离向量协议.....	60
4.3.2 报文格式.....	61

4.3.3	RIP 的处理	61
4.3.4	静节点	63
4.3.5	配置与接口	63
4.4	RIP 版本 2	64
4.4.1	格式和兼容性	64
4.4.2	按子网选择路由	65
4.4.3	验证	66
4.4.4	选择域做下一跳	67
4.4.5	多点广播	67
4.5	进一步改进	68
4.5.1	中止同步	68
4.5.2	确认更新	69
4.5.3	支持多重度量制式	71
4.5.4	环路解析	72
4.6	简单性的代价	73
5	为什么 OSPF 如此复杂	75
5.1	开放式最短路径优先	75
5.2	什么是链路状态路由协议	75
5.2.1	链路状态数据库	75
5.2.2	扩散协议	76
5.2.3	建立相邻性	78
5.2.4	保证网络图更新	80
5.2.5	为什么称作最短路径优先	80
5.3	链路状态协议的优点	81
5.3.1	迅速, 无环路的收敛性	81
5.3.2	支持多重度量制式	82
5.3.3	多重路径	83
5.3.4	外部路由	84
5.4	OSPF 的设计	85
5.4.1	区分主机和路由器	85
5.4.2	广播型网络	86
5.4.3	非广播型网络	87
5.4.4	多区域	88
5.4.5	末梢区域	91
5.5	链路状态数据库	91
5.5.1	链路状态报头	92
5.5.2	路由器链路	93
5.5.3	网络链路	93
5.5.4	汇总链路	94

5.5.5	外部链路.....	94
5.5.6	路由的计算.....	95
5.6	OSPF 里的协议.....	96
5.6.1	公共报头.....	96
5.6.2	Hello 协议.....	97
5.6.3	交换协议.....	99
5.6.4	扩散协议.....	101
5.6.5	链路状态记录的老化.....	102
5.7	复杂性和服务	103
6	其它路由协议	105
6.1	RIP 和 OSPF 并非孤立.....	105
6.2	路由器还是中介系统.....	106
6.2.1	ISO , OSI 和路径选择.....	106
6.2.2	IS-IS 协议.....	107
6.2.3	扩散、老化和交换.....	108
6.2.4	综合路由选择.....	109
6.2.5	IS-IS = 0	110
6.3	IGRP	111
6.3.1	组合度量制式.....	112
6.3.2	默认路由的处理.....	113
6.3.3	环路检测.....	114
6.3.4	多路径路由选择.....	114
6.4	增强型 IGRP	115
6.4.1	距离向量流派.....	115
6.4.2	DUAL 算法.....	116
6.4.3	扩展 IGRP	118
6.5	挑选路由协议	118
第三部分 外部路由协议		121
7	EGP : 到全球因特网的第一步.....	122
7.1	将因特网分割成自治系统.....	122
7.1.1	扩大因特网.....	122
7.1.2	自治系统的定义.....	123
7.1.3	交换路由信息.....	123
7.2	通过 EGP 交换信息.....	124
7.2.1	EGP 报文.....	124
7.2.2	邻机探测.....	125
7.2.3	邻机可达性.....	126
7.2.4	网络可达性.....	127

7.3	路由、距离和环路.....	129
7.3.1	发布目的站点广告.....	129
7.3.2	计算 EGP 距离.....	131
7.3.3	路由表.....	132
7.3.4	拓扑结构设计.....	133
7.4	EGP 的局限性.....	134
7.4.1	避免虚假信息.....	134
7.4.2	策略路由.....	134
7.4.3	拓扑结构和路由环路.....	135
7.4.4	报文大小和分段处理.....	135
7.5	BGP 的发展.....	136
8	90 年代的 BGP.....	137
8.1	路径向量概念.....	137
8.1.1	从距离向量到路径向量.....	137
8.1.2	路径向量和避免环路.....	138
8.1.3	路径属性.....	139
8.1.4	内部路由和外部路由配对使用.....	140
8.2	边界网关协议.....	141
8.2.1	在 TCP 之上运行.....	141
8.2.2	BGP 报头.....	142
8.2.3	初始交换.....	143
8.2.4	更新.....	145
8.2.5	存活特性.....	146
8.2.6	错误通报.....	146
8.3	与 IGP 同步.....	148
8.3.1	正常情况.....	148
8.3.2	BGP 与 EGP 联合使用.....	149
8.3.3	复合式自治系统.....	149
8.4	BGP 和策略路由.....	150
8.4.1	可接受使用策略.....	150
8.4.2	跳到跳模型.....	151
8.4.3	侦测矛盾.....	152
8.4.4	选择最佳路径.....	152
8.5	引入 CIDR.....	153
9	CIDR 和路由爆炸.....	154
9.1	指数增长.....	154
9.2	CIDR 和因特网之死.....	154
9.2.1	B 类地址耗尽.....	154
9.2.2	路由表爆炸.....	155

9.2.3 无类地址.....	156
9.3 路由表聚类	157
9.3.1 协同地址分配.....	157
9.3.2 提供者和用户	157
9.3.3 是否有必要对地址重新编号	158
9.4 CIDR 和路由协议	159
9.4.1 从 BGP-3 到 BGP-4.....	159
9.4.2 更新 BGP 协议	161
9.4.3 对 BGP-3 和 BGP-2 怎么办.....	162
9.4.4 CIDR 和 IGP.....	164
9.5 等待新的 IP	165
10 策略路由	167
10.1 策略路由的目的.....	167
10.2 提供者选择	167
10.2.1 地区网所遇到的问题.....	168
10.2.2 BGP 与“隧道技术”	169
10.2.3 UNIFY, IDRP 和 SDRP.....	170
10.2.4 源需求路由.....	171
10.3 IDPR 路由	173
10.3.1 AS 级互联图.....	173
10.3.2 最短 AS 路由.....	174
10.3.3 用 IDPR 发送数据分组.....	176
10.4 路由策略的未来.....	176
第四部分 最新进展.....	179
11 多点广播	180
11.1 IP 多点广播.....	180
11.2 多点广播的好处.....	180
11.2.1 多点广播和资源发现.....	180
11.2.2 传输文件.....	181
11.2.3 多媒体会议.....	182
11.3 多点广播路由算法.....	183
11.3.1 扩散式	183
11.3.2 生成树	184
11.3.3 反向路径转发.....	185
11.3.4 RPF 和剪枝.....	186
11.3.5 Steiner 树	187
11.3.6 有核树	188
11.4 实验性多点广播主干.....	189

11.4.1	组成员关系协议.....	189
11.4.2	MBONE	190
11.4.3	MBONE 上的多点广播路由.....	192
11.4.4	教训和发展演变.....	193
11.5	因特网多点广播标准.....	193
11.5.1	OSPF 的多点广播扩充	194
11.5.2	协议无关多点广播的密集模式	195
11.5.3	协议无关多点广播的稀疏模式	197
11.6	多点广播从实验到实用.....	199
12	可移动性	200
12.1	可移动主机	200
12.2	可移动 IP 的目的	200
12.2.1	便携式计算机.....	200
12.2.2	可移动式计算.....	201
12.2.3	多种不同的传输技术.....	201
12.2.4	网络的移动.....	202
12.2.5	用户需求.....	203
12.3	体系结构术语.....	203
12.3.1	基础模型.....	204
12.3.2	基础模型的需求.....	205
12.3.3	在信区间移动.....	206
12.3.4	环路和黑洞.....	206
12.4	协议和约定	207
12.4.1	信标协议.....	207
12.4.2	注册过程.....	208
12.4.3	通知旧基站.....	209
12.5	进一步改善	210
12.5.1	多穴代理.....	210
12.5.2	基站群	211
12.5.3	消除折线路由.....	212
12.6	可移动性特征.....	213
13	资源预留	214
13.1	队列和延迟	214
13.1.1	基本服务质量.....	214
13.1.2	路由选择与拥塞.....	215
13.1.3	端到端控制.....	217
13.1.4	端到端控制的局限.....	217
13.2	排队和调度	217
13.2.1	公平排队.....	218

13.2.2	权衡公平队列.....	220
13.2.3	共享式链路.....	221
13.2.4	排列和延迟的理论探讨.....	224
13.3	预留协议.....	225
13.3.1	RSVP 原理.....	225
13.3.2	会话、流和过滤器.....	226
13.3.3	路径和预留.....	226
13.3.4	软状态和同步.....	227
13.3.5	预留和路由.....	228
13.4	需要资源预留吗.....	229
13.4.1	接收方的再同步.....	229
13.4.2	压缩和数据率.....	230
13.4.3	检测网络.....	231
13.4.4	修改压缩比.....	232
13.4.5	预留资源的经济性.....	234
13.5	未来的因特网服务.....	235
14	下一代 IP.....	237
14.1	因特网的生命.....	237
14.2	地址耗尽.....	237
14.3	准备下一代 IP.....	238

1 因特网路由介绍

我第一次听说因特网是在 1982 年。那时，它还是一个围绕 Arpanet 的中心型结构，仅供世界上少数的研究机构访问。当时，虽然法国的 INRIA 研究中心也加入了其贯大西洋的网络——Satnet，但事实上并没有争取到任何基金。高兴的是，几年后便能够与基于 UNIX 的“Usenet”网络取得间接连接。然而，直到 1988 年才真正与美国国家科学基金会资助的互联网络 NSFnet 直接相连。

1.1 世界范围的因特网

从那以后，情况发生了很大变化。在 1982 年以前，只有几百台机器连到因特网上，当时在很大程度上，因特网还只是计算机专家们的“用武之地”。而到 1994 年 1 月 1 日，接入因特网的计算机数已经增长到 250 万台，估计有 2 000 万用户能够访问。其用户队伍，除最初的专家外，还有大量的教师和学生、研究员和商人、记者和工程师等。在美国入网的计算机，有 1/2 以上属于商业公司。起初，因特网主要限于美国使用，另外可能还有其它几个友好国家。但到 1994 年，估计只有半数略多的网络在美国，而大约 1/3 在欧洲，并且在亚洲和其它国家也开始出现增长。商业和国际性互联的快速增长成了因特网近期演变的主要特征。网络规模几乎每年在加倍。

1.2 因特网的组织结构

通常来说，因特网并不是“一个网络”（没有这么大的国际公司能为各大洲的用户提供这样广泛的连接），而是一个拥有很多所有者的“松散式互连网络”。人们通常把它分为 3 个级别：组织性网络、地区性网络和中转性网络。

接入到因特网的公司和研究机构通常都得管理各自的内部网络。其网络的复杂性因组织机构的大小而差别很大。比如我们在 Sophia-Antipolis 的 INRIA 研究部门，以太网段连接了分布在 6 栋大楼里的近 300 台工作站，并和连接有超级计算机和服务器的光纤 FDDI 主干网直接互连；网环和网段之间的连接采用的是运行 IP 的专用路由器。这个网络比只包含一个以太网或令牌环网的多数小公司的网络要复杂些。不过，规模比较大的学院通常都有几千台联网计算机，而跨国公司的情况可能更加复杂，他们所管理的网络通常是连接着其世界各地不同分支机构的国际性网络。

大多数组织机构的网络都是通过一个管理跨州界或地区，甚至是一个小国家的“地区”服务提供者接入因特网的。这些地区网络除了向用户提供到因特网的连通性外，还提供一

系列相关服务，如帮助用户管理网络、申请 IP 地址、为单个用户提供邮箱等。这些提供者根据地区特点来提供相关服务，不存在地区性垄断，因为几个公司可能会在同一城市或同一地区竞争服务。服务提供者的范围没有限制——某些从小地方创业的公司现在已经把业务扩张到其它地区，甚至是其它国家。事实上，我们目前所看到的是一个新工业的萌芽阶段。随着市场的增长，许多新的创业者在开创他们自己的事业。其中，一些人最终会成功并成为明天的巨人，另一些人仍然保持原有规模在市场上占一席之地，而其余大多数可能都会放弃。

只连通本市或本国的因特网用户是远远不够的：因特网的目的是要实现世界范围的连通性。这种连通性可能要通过“中转”服务提供者来实现。很明显，第一个主中转网络非 NSFnet 莫属，它继 Arpanet 而来，通过周密控制，只允许中介“地区”提供者连入。另一个有名的中转系统是欧洲的 EBONE，它由几个欧洲地区网络协同运作。当地区网络发展到包含很多地区或国家时，只通过一个互连网络就无法连接所有的用户了。这时，可以首先考虑双方或多方协商安排的方案。最近已出现了采用简易方式连接多个网络的“中立互连点”。

1.3 本书简介

有关因特网的书已经出版了很多，而本书也不一定就是最有用的一本。但本书有一个宗旨，就是力图向人们展示一个专题：路由组织——把全球范围的因特网结合到一起的结构。除了第 1 章基本介绍外，本书其余章节共分成 4 个部分：

第一部分包括 2 章，因特网体系结构的基本原理和因特网协议（IP）描述。

第二部分共有 3 章，介绍组织机构内部所使用的路由技术。其中，第 4 章专门介绍 RIP，这是过去所采用的因特网路由协议。此外，该章还对整个路由协议作了一般性介绍，并详细说明了易于理解的“距离向量”（distance vector）技术。接着，在第 5 章讲述了比较时新的“开放式最短路径优先”（Open Short Path First，OSPF）协议，它是一种“链路状态”技术。第 6 章则讨论当前因特网正在使用的其它路由协议。

第三部分讲述将组织性网络与提供者网络进行互联时所需的另外一系列网络协议。这里考虑更多的是“连通性管理”而不是动态路由。这部分包括 4 章，首先讲述“外部网关协议”（Exterior Gateway Protocol，EGP），然后介绍新的“边界网关协议”（Border Gateway Protocol，BGP）*。第 9 章专门介绍“无类域间路由”（Classless Inter-Domain Routing，CIDR）的最新发展，第 10 章讲述“策略路由”（policy-based routing）的一般需求。

本书的第四部分专门用于介绍路由技术的最新进展，共有 3 章，详细说明新的路由技术对多点广播传输（multicast transmission）、移动主机（mobile host）和实时应用（real-time application）的支持。这些介绍是对下一代因特网协议的准备。到 21 世纪，将会有上亿台主机连到因特网，现在所用的路由协议恐怕再也无法适应了，所以在最后一部分介绍路由技术的最新进展！

* 现在很多人将 BGP 称为“边界路由协议”，本书仍采用原著说法“边界网关协议”。——译者注

第一部分 体系结构和协议

2 因特网体系结构

很多人经常询问“因特网体系结构”是什么。作为因特网体系结构委员会（Internet Architecture Board, IAB）的一名成员，我正好可以来讲述这个框架结构，但有一点要说明，所述的体系结构并没有真正的成文记载。

2.1 因特网有体系结构吗

在 IAB 的知名人物中，包括过去的 IAB 主席，对体系结构到底是什么的问题，都有极为不同的观点。“体系结构”思想暗指建设网络就像建造房子一样：人们首先画出轮廓图，然后再描述功能模块的细节以及它们之间的关系。设计人员应周密计划以保证每个建筑模块都有一个定义好的功能和接口，从而具体实施可由独立的施工队来按图完成。在网络建设中，开放式系统互联（OSI）的 7 层模型就是这种方法的一个典型范例。

如果是按草图从头开始一个新设计，那么这种做法可能会起到很好的效果，但对因特网这么一个庞大的系统，其建设更像一座城市而不是一栋房子。城市很少是从一片空地建起来的，而更多的情况是从历史沿袭下来并逐渐发展的。罗马人在建立罗马城时，对于城市应该是个什么样的可能有很明智的安排，但是到儒略·恺撒时代后，其最初的设计就早已不复存在了。虽然“按图施工”方法的支持者相信体系结构原理的指导作用，但是其作用是在于研究现有板块以确保其连接处吻合性。在网络世界里，这种方法的特征是相信“体系结构存在于协议之中”。

实际上，“按图施工”和“逐步改造”这 2 种方法都可应用于因特网。过去所设计的一些重要部件都在不断地加以更新。人们不可能指望这个每年成倍增长的系统无需改进和提高就能适应新的需求。但是在改进过程中要遵循一些基本的指导原理，用几个关键词来描述，这就是“端到端原则”、“在其它协议之上运行 IP”和“连接是一种良性循环”。

2.2 端到端原则

J. H. Saltzer, D. P. Reed 和 D. D. Clark 共同撰写了一篇著名论文，描述为分布系统而设计的端到端原则^[1]。D. D. Clark 作为 MIT 计算机科学实验室的一名高级工程师，同时又是“因特网建筑师”，从 1981 年—1990 年任 IAB 主席。他在主管因特网协议体系结构期间，理所当然地采用了端到端原则^[2]，简单地说就是：网络最终能实现什么功能由用户自己来决定，试图通过网络内在智能性来增强网络功能的做法是多余的；网络功能尽可能地在网络之外实现。这个论点对传输控制、互联管理和应用设计都产生了很大的影响。