

microprocessors
and microsystems

计算机局部网络技术

《微处理机与微系统》编辑部

microprocessors
and microsystems

说 明

本书译自美国Academic Press出版公司1981年出版的《Local Computer Network Technologies》。书中综述了计算机局部网络的发展起因及演变过程,论述了它的初步定义、分类及基本构成。本书用绝大部分篇幅,详细阐述了环形网和总线网这两种最主要的局部网结构的技术特性,叙述了各种协议及其性能模型,比较了不同协议的性能,并对各种模型作出了适当评价。书中还相应介绍了一些典型的局部网络实例。本书对计算机(包括微型机)领域的广大技术工程人员、具体从事局部网络研究的科研人员以及大学中专有关专业的师生等均有参考价值。

本书由李晓叶同志翻译、钱承德同志校对,北京大学计算机系周炜副教授对全书作了技术审校。不妥之处,欢迎读者批评指正。

目 录

绪 言	(1)
第一章 一点看法	(3)
§1.1 引言	(3)
§1.2 计算机局部网络的初步定义	(5)
第二章 环形网络	(7)
§2.1 引言	(7)
§2.2 环路访问协议	(7)
§2.3 模型	(9)
§2.4 纽霍尔环路	(9)
性能模型	(11)
§2.5 小型计算机网络	(14)
§2.6 比尔斯环路及其同族	(16)
§2.6.1 蜘蛛网	(17)
性能模型	(19)
§2.6.2 滑铁卢环路	(21)
性能模型	(21)
排队模型	(22)
同比尔斯环路及纽霍尔环路的比较	(24)
§2.7 分布式环路计算机网络	(25)
模型设计	(26)
概念模型	(27)
环路服务速率的计算	(31)
通信环路模型	(33)
§2.8 双重分布式环路计算机网络	(37)
描述	(38)
带故障运行	(40)
排队模型	(41)
模拟模型	(43)
§2.9 俄勒冈州环路	(44)
同比尔斯、纽霍尔和DLCN环路的比较	(45)

	M/M/Z估算法	(46)
§2.10	环形网络的模型设计——结论	(47)
	环形网络的性能比较	(47)
	环路访问协议的性能模型	(49)
第三章	总线网络	(51)
§3.1	引 言	(51)
§3.2	通道访问技术	(51)
	选择技术	(51)
	随机访问	(52)
	预约	(55)
§3.3	对传统模型的评价	(56)
	稳定性的考虑	(59)
	MITRE 电缆总线系统	(60)
	设计CSMA协议的模型	(61)
§3.4	超级通道	(66)
§3.5	无冲突预约方案	(69)
§3.6	超小时间片交替优先权协议	(71)
	通道能力	(73)
	信息包延迟	(73)
§3.7	哥伦比亚协议	(76)
	延迟与通过量的关系模型	(77)
	稳定性	(80)
§3.8	广播识别访问法	(80)
	性能模型	(81)
§3.9	多层访问协议	(82)
§3.10	全局调度多路访问	(84)
§3.11	动态预约方案	(86)
§3.12	“缸”方案	(87)
§3.13	总线网络的模型设计——结论	(89)
	访问协议的比较	(89)
	访问协议的性能模型	(92)
	参考文献	(93)

由于电子产品市场几乎天天出现新品种，特别是人们对办公室自动化的兴趣日增，促使象施乐克斯（Xerox）、王安（Wang）和数据点（Datapoint）这样一些公司推出了大量新产品，这本书的出版就显得越来越必要了。

目前，各种各样的文字处理终端、面向管理的智能工作站以及包含有数据和文字处理两种功能的多功能终端设备，正在市场上大量出售。所有这些终端设备都可以作为电子邮件设备，而且可以用一台电子计算机系统和它们连接在一起，构成一个办公室自动化系统。许多权威人士早已预言，我们现在所处的信息时代相当于一次工业革命，特点是将极大地提高办公室人员的工作效率，就象以前的工业革命曾使工厂工人的生产率得到了极大提高一样。

办公室自动化系统仅仅是应用计算机局部（地区）网络固有能力的例子。我们赋予办公室自动化系统这个概念的含义是：它是一个由各种类型的处理机（如终端和计算机等）组成的集合体，这些处理机相隔不远地安装在同一地区（例如同一建筑物中），并由通信系统连接起来。计算机局部网络还有医疗信息网络和过程控制网络等其它一些应用实例。

上面提到的这几种局部网络都是由松耦合的处理机构成的。目前研究的重点是更加紧密耦合的处理机系统。有几家公司，如霍尼韦尔（Honeywell）公司和阿波罗（Apollo）计算机公司，正在积极从事这种分布式系统的研究工作，目的在于打入分时系统市场（或许是想开拓一个全新的市场）。

这些新的发展促使作者编著本书。出版这本《计算机局部网络技术》的目的在于，综合迄今为止在发展环形和总线计算机通信网络的连接访问协议方面所完成的大量工作，进而对各种协议及其相关的各种性能模型给予系统论述。

环形和总线网络的构成方式，主要优点是其简单性。在总线网络中，通过使用电缆上的无源插头及其某种类型的接口部件把主计算机或终端连接到电缆上。本书第三章将讨论接口部件对总线访问的各种算法*。环形网络采用的是某种类型的缓冲存储技术，尽管最初在网络中是采取从节点到节点传送信件的方法。目前具有商业价值的几种主要方法是：以太网（Ethernet），在这方面施乐克斯公司、数字设备公司和英特尔等公司居领先地位；令牌传递（token passing）法，在这方面美国普莱姆（Prime）计算机公司处于领先地位。这两种方法最终都将是完全可行的，都能在市场上占据适当的位置。

在本书的第一章，阐述了人们对计算机局部网络感兴趣的原因（技术上的及经济上

*这些协议中有很多会使信息包互相冲突。

的)，同时提出了计算机局部网络的初步定义。

在第一章概述之后，本书将分成两个自然部分：第二章讲环形网络，第三章讲总线网络。每一章均照同样的结构叙述：从介绍协议开始，接下去论述各种协议的性能模型，然后比较各种不同协议的性能（在可能的程度内），最后对各种模型本身的假设和缺点进行讨论。

这两个章节中都介绍了许多现有的和正在设计的网络的情况，例如以太网(Ethernet)、小型计算机网(Mininet)、超级通道(Hyperchannel)及蜘蛛网(Spider)。环形网络这一章所介绍的协议和网络包括：纽霍尔环 Newhall（同时介绍了“小型计算机网”），比尔斯环Pirce（同时介绍了贝尔实验室的“蜘蛛网”），俄亥俄州的“分布式环路计算机网络(DLCN)”和“双重分布式环路计算机网络(DDLCN)”以及“俄勒冈州环路(Oregon State loop)”。在有关总线网络的一章中，首先简述了克莱因洛克(Kleinrock)和他的学生对传统的ALOHA和CSMA协议进行的研究工作，而且介绍了这类总线协议对基本延迟、通过量和稳定性所作的折衷考虑。第三章还介绍了几种无冲突方案，如广播识别访问法(BRAM)、全局调度多路访问法(GSMA)和动态预约方案(DYN)等。最后介绍了“缸”协议(URN protocol)。

第一章 一点看法

§ 1.1 引言

本书所阐述的基本思想，曾在作者本人为麦特公司 (MITRE Corporation) 所写的一个技术报告中作过论述 [TROP79]。在那篇报告中，对采用环形或总线网络技术来连接节点的各种计算机局部网络的性能模型进行了综述。那篇报告是由美国空军建议并赞助的。通信在空军中有着十分重要的作用，因而空军对于把计算机局部网络作为连接其通信和信息处理系统的这个新而又强有力的手段很感兴趣。

在商业领域中，由于人们对于建立未来自动化办公室的要求将会造成一个巨大的市场*，使得大家对局部网络产生了浓厚的兴趣。办公室自动化的目的在于极大地提高现代办公室事务的工作效率，这就象当年工厂的生产率因工业革命而得到极大提高一样。

在这种自动化办公室里将装有许多智能终端，终端将通过局部网络同其它办公室的设备相连。传真机、文字处理机、计算机及声音和电视会议设备都能与终端连接起来。可以在一个终端上生成并编辑文件。办公室内部的信件交往可用“电子备忘录”来实现，声音和电视会议则可作为决策过程的一部分，并且随时可从本地数据库检索到所需要的信息。处于不同地理位置的办公室也可以用于干线网络连接起来。

局部网络的发展使我们相信，充分利用电子设备的优越性能够使决策的过程更为简单便利，并将在现代化企业中创造出效率更高的管理组织结构。当然也可能会产生一些副作用，例如在上述那种自动化程度的情况下，决策的方式将变得高度集中，这也许会导致比目前的企业管埋结构更多的官僚层次。马丁 (Martin) 的文章对此进行了有趣的论述 [MART78]。科学的发展使我们又面临着一次抉择。

然而，不管人们怎么想，办公室的革命必定会继续下去。文字处理机现已普及到众多的办公室。美国的施乐克斯公司、数字设备公司和英特尔公司最近宣布合资生产销售一种供办公室自动化用的计算机局部网络 [MINI80]。

新的电子办公室的诞生，除了起因于人们急于提高办公室工作效率的愿望之外，还由于有另外两个主要因素 (经济因素和技术因素) 在起作用。

首先是由于目前已有能够支持高数据传送速率的廉价传输介质。同轴电缆就是这种介质的典型代表。采用同轴电缆能在 1 公里以上的距离，不使用增音器，以每秒 1~10 兆位的速率进行点到点或广播式两种通信。发展电子办公室的第二个主要因素是由于目前的大规模集成电路技术能够生产出廉价的、具有更强功能的电路元器件。采用大规模集成技术生产的微处理机使我们有可能制成智能终端，或作文字处理机使用，或者作为复杂的办公室电子系统中的一部分独立地工作。微处理机也可用作把各种不同设备连接

*据《Fortune杂志》估计，潜在的销售额为60亿美元左右。

到网络上的接口部件的关键器件。

对应于电子办公室中采用的松耦合处理机的结构，又发展了“分布式处理系统”的概念。按斯坦克威克 (Stankovic) 和范达姆 (VanDam) 的论述，我们把这个术语定义如下：

分布式处理系统即是物理上和逻辑上相互连接，对全部资源具有分散控制能力，并能合作执行多个应用程序的处理部件的集合体。

由于这个术语常常被滥用，所以我们力图准确地定义什么是分布式处理的概念。由连接到主计算机上的终端的集合体所构成的系统，并不是分布式处理系统。

应当指出，分布式处理系统目前仍是一种正在研究中的技术，尚未建立按上述定义所规定的实际系统。不过，分布式处理系统的潜在优越性的确是令人鼓舞的。它的优点包括：

1. 分布式处理系统由于其固有的并行处理能力和负载均衡能力，极大地改善了系统性能。当然，要充分利用这些优越性，应用程序具有可划分的特性是必要的。
2. 在分布式处理系统中，出故障的处理机可由系统中的其它处理机代替，从而提高了容错性能。
3. 系统的扩展很方便。
4. 由于微处理机生产成本低固有优点，整个系统的价格性能比要优于集中式处理系统。

要建立一个真正的分布式处理系统，困难是非常多的。最令人头痛的问题之一是操作系统的设计。分布式处理系统的操作系统必须控制许多个进程，而这些进程对整个系统的状态却只有概率知识。然而现行的操作系统都是以系统状态的全部知识可供利用为前提的。分布式处理系统设计中遇到的问题很多。如果读者有兴趣研究分布式系统潜在的优越性及其设计中的困难问题，可参阅斯坦克威克和范达姆的文章[STAN79]或詹森 (Jensen) 的文章[JENS78]。

霍尼韦尔公司的实验型分布式处理系统 (HXDP) 属于目前正在建立的几个实验型系统中的一个，詹森对此作了描述[JENS78]。HXDP的研制工作目前正在卡内基·梅隆 (Carnegie-Mellon) 大学进行，所要解决的重点问题是实时控制问题。

本书讨论的主要问题同其它有关网络的专著基本相似，这就是计算机局部网络的性能模型（以及模型设计）。书中介绍的网络都是采用环形或总线结构来连接计算机和（或）终端的。本书第二章专门介绍环形网，第三章讨论总线网。

除个别几个网络外，局部网络的模型设计一直集中在对通信子网的性能模拟上。衡量计算机网络性能的传统方法是测量它的时间延迟与通过量的关系。换句话说，我们将考察网络控制协议的性能。网络控制协议就是计算机网络中用来传送单个信件（数据报）及信件流（虚电路）的传送协议。我们将用网络的数据报服务效率来测量网络的性能，用传统的时间延迟与通过量的关系曲线描述网络的性能。

在接下去讨论之前，简单介绍一下性能模型设计的性质是很有必要的。在这里我们不妨引用贝泽 (Beizer) 论述实时软件性能模型设计的一段话[BEIZ78]来说明*：

*依作者之见，这一论述与计算机系统的性能模型设计没有多少类似之处。

分析系统性能最重要的目的是为了对设计过程加以控制，不断地进行分析是为了保证系统性能符合规范，给不易凭直觉处理的关键性的折衷方案提供合理的依据，并为由于改变规范和硬件所带来的影响提出预先警告。这种类型的分析要不断进行，而且通常是由设计人员自己来完成的。

§ 1.2 计算机局部网络的初步定义

从功能的角度看，可以把计算机局部网络看作是居于两种系统之间的一种系统。这两种系统的一种是多处理机系统，另一种是为了共享资源而把分布在不同地方的异型计算机互连起来的系统*。从多处理机系统这一头看，我们发现它是试图把一组串行处理机转变成多个并行处理机；从远程计算机网络这一头看，我们发现它是由通信网把许多不同的计算机连在一起，从而允许用户使用不同的计算资源。我们建立计算机局部网络则能满足上述两种系统的功能。

梅特卡夫 (Metcalfe) 和博格 (Boggs) 使用了一种以计算机之间的传送速率和相距距离为基础的分类方法，来区分三种类型的网络 [METC75]：

类型	相距距离	位速率
远程网络	>10km	<0.1M位/秒
局部网络	0.1~10km	0.1~10M位/秒
多处理机	<0.1km	>10M位/秒

应该指出，由于最近在网络领域中引进了光导纤维技术，有可能打乱上面的分类标准。

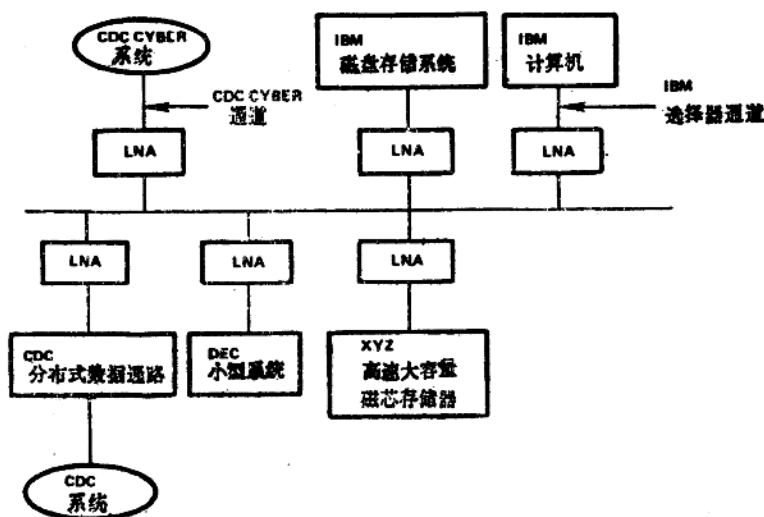


图1 计算机局部网络 (LNA: 局部网络适配器)

另外一种对局部网络的定义方法是弗兰克 (Frank) 提出的 [FRAN78]，他把局

*此即远程计算机网络——审校注。

部网络描述成由三个部分组成:

1. 在有限距离进行数据传送的高速传输介质。但对传输介质的性质和网络的拓扑未作具体规定。
2. 同计算机设备接口并与传输介质相连的网络适配器。适配器传递传输介质上的数据。
3. 可与适配器相连接的计算系统部件。弗兰克的定义可用图 1 说明。

应当指出,在第三届计算机局部网络会议上,曾经就计算机局部网络的定义举行过专门讨论,但没有达成全体与会者都能接受的协议。

近几年来在发展局部网络技术方面做了大量工作。环形网络和总线网络是已研制的基本网络技术中的两种。在环形网络中,通信通路呈环路形状。信件在环路上的源节点产生,经中间节点传向目的节点。环路上的中间节点起中继站作用。在总线网络中,则是把信件广播到一个共用的通信通道中去,这样就能使所有连接到这条通道上的节点都能“听”到进入通道的信件,有关这两种网络的详细定义将分别在本书的第二章和第三章中介绍。

读者如果对局部网络设计中所涉及到的问题有兴趣,可参阅克拉克(Clark)的研究报告[CLAR78]。据作者所知,目前尚未在特定应用环境中对环形网络和总线网络作实际比较。最近,在环形网络技术方面的新发展表明,现在已经可以建立性能更优越的环形网络。

第二章 环形网络

§ 2.1 引言

根据安德森 (Anderson) 和詹森 (Jensen) 的定义[ANDE75], 我们把环形网络定义为: 通过一条环路形式的通信通路把许多处理部件 (计算机或终端) 连接在一起的集合体。图 2 示出了这种结构。

一般说来, 处理部件都是通过接口部件 (环网接口部件) 连接到环路上的。环路上可以设置一个环路监控器, 其功能可以包括同步以及某种形式的流控制 (防止无法投递信件的积累)。

环路上的信件流一般是单向的, 但目前也有人提出了双向系统设计方案[MAJI77, WOLF78]。每个处理部件都从它的前一个相邻部件接收信件, 而向下一个相邻部件发送信件。信件就是这样从它的源节点沿环路向目的节点运行的。通路上的中间处理部件起中继站作用。

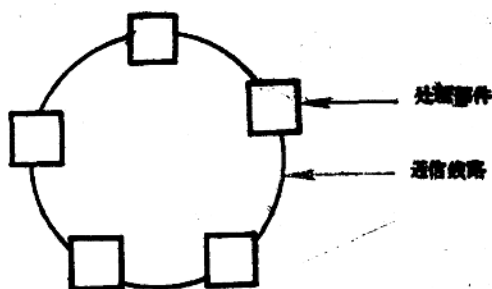


图 2 环形网络

根据不同的系统结构, 信件的长度可以是固定的, 也可以是变化的, 并且在环路上允许同时有一个或几个信件存在。

环形网之所以具有吸引力是因为它的结构简单, 增加或删除处理部件都很容易, 并且不必每次进行复杂的互连工作。特别是当网络设在一个办公大楼里时, 这种灵活性更有明显的好处。此外, 整个系统的初建费用和改进费用均较低。环形网络的主要缺点是可靠性稍差, 这也同样是由于结构简单所致。网络中任何一台计算机或一条通道出故障, 都会使整个网络陷于瘫痪。因此有必要提供某种形式的后援 (备份) 以防止网络失效。例如, 可在每个节点上设置一条旁路通道, 便于必要时去掉故障节点。如果旁路是中央激励的 (由环路监控器激励), 可利用旁路使信件流绕过故障通道。感兴趣的读者, 可参阅彭尼 (Penney) 和巴格达 (Baghdadi) 的文章[PENN78]。

§ 2.2 环路访问协议

目前已研制了三种基本的环路访问协议: 比尔斯 (Pierce) 环路、纽霍尔 (Newhall) 环路、分布式环路计算机网络 (DLCN)。在比尔斯环路中, 长度固定的时间片

*在参考文献[ANDE75]中, ring (环) 和 loop (环路) 这两个词可以互换使用。

沿环路运行，每个环包的报头字段 (lead field) 都向每台主计算机表明下一帧环包是否被占用。如果被占用，表示为满包；如果未被占用，表示为空包。在空包情况下，某台主计算机就可向此空闲的时间片多路传送一个信件 (或一个信件的一部分)。图3示出了这种传送机理。

很明显，比尔斯环路可以同时
同时在网络上传送几个信件。这种方法的缺点是，每个信件的长度并非都是相同的。有些信件太短，占不满所规定的空包，因而会造成空间的浪费；另有一些信件又比可利用的空间长，因而必须用软件对信件进行分解和装配，并且需要有相应的缓冲存储器空间。

纽霍尔环形网络的特点之一是能传送长度可变的信件 [FARM69]。它采用令牌传递 (token passing) 方式运行，网络的控制权从一台计算机传递给另一台计算机。如果接受了环路控制权的计算机此时在缓冲存储器中有一个信件要传送，它就立即把这个信件多路传送到环路上，随后再把环路的控制权传递给下一台计算机。很明显，由于信件之间的相互干扰，在这种情况下是不能同时传送几个信件的。图4说明了纽霍尔网络的传送机理。纽霍尔网络的主要缺点就在于不能在环路上同时传送多个信件。

分布式环路计算机网络 (DLCN) 采用了一种存储-转发技术^{*}，因而同时具有上述两种方法的优点，即信件长度可以是不固定的并且能够同时传送多个信件。DLCN中的环路接口装置中有两个缓冲存储器。第一个是输出缓冲存储器，它用来存储本地产生的信件；第二个是延迟缓冲存储器，用来暂时存储通过该节点的信件 (即信件的目的地址是后面的节点)，并将输出缓存中的信件插入到正在环路上运行的信件之间的空隙中，或是插入到给定节点接收了某个信件后产生的空包中。这种方法的缺点是，信件在向目的节点传送过程中需通过其它节点，因此会产生时间延迟。

^{*}即延迟插入技术——审校注。

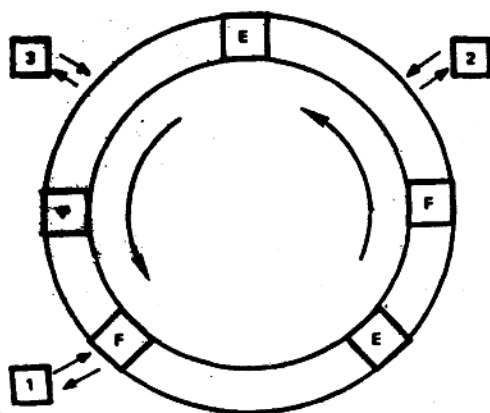


图3 比尔斯环路传送机理 (E: 空包; F: 满包)

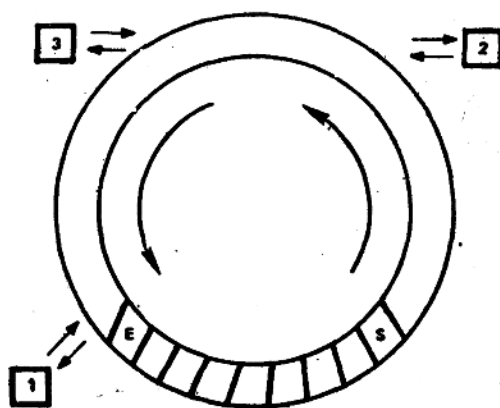


图4 纽霍尔环路的传送机理 (S: 信件头; E: 信件尾)

目前已按上述三种方案设计了几种环形网络，将在本文后面加以介绍。

滑铁卢（Waterloo）环形网的出现旨在力图克服比尔斯网络结构中存在的“霸占”环路的现象（即环路被几个大用户占据）。

研制“蜘蛛”网络的目的在于，对多个比尔斯环形网络用转接器连接在一起应用于更辽阔的地理位置的可行性进行研究。

双重分布式环路计算机网（DDL CN）是从分布式环路计算机网（DLCN）中派生出来的，目的在于开发一种容错网络。在这种网络中有两个环路，分别向相反的方向传送信息，并在每个环路上都采用了移位寄存器插入技术。

俄勒冈州环路（Oregon State loop）采用了集中控制方式，也在本书中进行了介绍，但这个网络在设计上并未受到上述三种环形网络的影响。

§ 2.3 模 型

第二章的其余部分主要用来介绍前面一节中提到的各种环形网络的性能模型。为了使每种网络的介绍更加生动些，本文将尽可能详细地描述每种协议的实现过程（所有协议都有相应的实现方法）。

本文对DLCN和DDL CN的介绍较为详细，这是因为：

1. 据作者所见，该模型所采取的方法是把节点作为一个开放式杰克逊排队网络进行模型设计。这个方法同样可以用来研制采用总线或环形网技术的分布式处理系统的模型。
2. DLCN能满足传送长度可变的信件和同时传送多个信件这两方面的要求。
3. 定时和管理功能是完全分散的。

因此，分布式环路计算机网（DLCN）的应用范围很广。例如，已计划用这种网络来支持分布式数据库[PARD77]。

在本章最后一节，概述了各种模型的局限性和优点以及环形网模型设计的一般方法。

§ 2.4 纽霍尔环路

纽霍尔环路（Newhall loop）传送机理的特点表现在“令牌传递”方式上，即把环路的控制权连续地从一台计算机传递给下一台计算机。每台计算机在获得环路的控制权时，就把自己的信件多路传送到环路上。法默（Farmer）和纽霍尔（Newhall）于1969年发表了纽霍尔环路最初在贝尔电话实验室的设计和实施方案[FARM59]。最初的纽霍尔系统包含有几种连接到环路上的外部设备（Calcomp绘图仪、电传打字机等），并采用一台Honeywell 516计算机作为环路监控器。

从那时起到现在，已经按照纽霍尔的“令牌”传递原理设计了几个局部网络。下面对其中三个网络作一简单介绍。

1. 环网 (Ringnet)

这是美国普莱姆 (Prime) 计算机公司建立的一个局部网, 其通信子网采用纽霍尔的“令牌”传递法, 最多能够同255个节点连接。传输介质采用的是屏蔽双绞电缆。传递速度为10MHz。

图5中给出的节点由三个部分组成: 节点接口部件、节点控制器和主计算机系统。节点接口的作用相当于一个中继器, 由节点控制器控制, 如果这个节点控制器不选择该接口, 则可绕过此节点直接与网络相连。普莱姆公司生产的用作网络主计算机的都是超小型机, 其内存容量为 2^{20} 字节, 可以同时支持64个用户。这一档的计算机有P-400和P-500型。

有关“环网”的详细情况, 请参阅戈登 (Gordon) 等人的文章 [GORD80]。

2. 分布式处理系统 (DPS)。

这是美国利顿公司 (Litton) 研制的一种适合于军事指挥和控制应用的局部网络。它使用两个环路来增强可靠性, 其中一个环路用于网络信息传输; 另一个专门用作备份或后援环路。后援环路的技术由扎非罗普洛 (Zafiropulo) 提出, 将在双重分布式环路计算机网 (DDL CN) 一节中加以介绍。这种技术的实质就是把工作环路上的故障部分切除掉, 由后援环路代替。工作环路采用一种稍加改动的IBM SDL C (同步数据链路控制) 协议, 这实质上还是一种纽霍尔协议。

图6中描述了一个4节点的原型网络, 该网已于1979年1月份开始运行。有关这个系统的结构情况请参阅莫里洛 (Mauriello) 等人的文章 [MAUR79]。

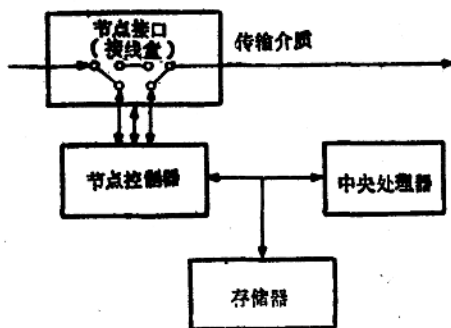


图5 “环网” (Ringnet) 的组成部分

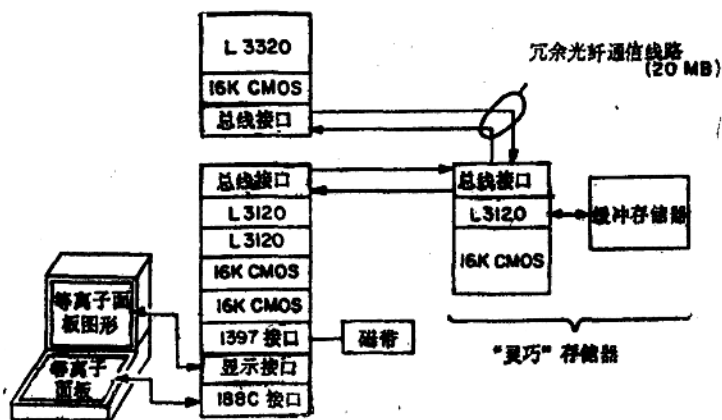


图6 利顿 (Litton) 的分布式处理示范系统

3. 分布式计算机系统 (DCS)

这是由加州大学的法伯 (Farber) 等人建立的一个实验型网络。建立这个网络主要是为了深入研究分布式操作系统。这个分布式计算机系统采用纽霍尔协议, 一共连接了7台小型计算机。起初是建立一个划分时间片的系统, 但在设计过程中转而改用纽霍尔协议。为了研究工作的方便, 系统中是利用进程名而不是站地址来寻址的。有关系统网络部分的情况, 可参阅曼宁 (Manning) 和皮布勒斯 (Peebles) 的文章[MANN78], 而转而改用纽霍尔协议的讨论请见卢米斯 (Loomis) 的文章[LOOM73]。

性能模型

根据最初的设计思想, 曾经建立几个纽霍尔环路的模型。其中有两个模型用于决定环路的平均扫描时间, 即“令牌”绕环路一圈所需的时间。也可以从模型中得到平均等待时间, 但受到种种限制 (例如, 终端的输出缓冲存储器最多只能保存一份信件)。直到1977年, 才由卡斯坦 (Carston) 建立了纽霍尔环路的平均响应时间和平均排队长度的表达式[CARS77]。

为了说明纽霍尔环路的效果, 首先根据伊恩 (Yuen) 等人的文章[YUEN72]和卡斯坦等人的文章[CARS77]讨论扫描时间的结果, 然后讨论信件的平均等待时间[KA-YE72, CARS78]。下一节将介绍拉贝拖利 (Labetoulle) 等人的研究报告[LABE77]。这篇论文有一定价值, 除描述了环路本身外, 还论述了把两台计算机连接到环路上的情况。文章把处理机和环路作为排队网络来进行模型设计 (排队网络问题克莱因罗克进行过充分讨论[KLEI75a, KLEI76])。文章作者认为, 排队网络是设计计算机网络的模型设计一种有效方法。特别是在DLCN (分布式环路计算机网, 下一节讨论) 的研究工作中, 使用这一模型设计方法是很有效的。

伊恩等人把正在研究中的系统看作是一个与纽霍尔网相连的带缓存的终端的集合体[YUEN72]。这些终端通过长度固定的信件相互通信。假设每个终端上有一个泊松输入, 则在每个终端具有相同 (对称) 的或不同 (不对称) 的输入信息的情况下, 可获得平均的或变化的扫描时间。这种方法的关键前提条件是环路上的信息量较低。在对称环路中, 这个条件可用数学不等式表达如下:

$$\lambda NT_s \ll 1$$

式中, λ 为相同的到达率; N 为环路上的终端数目; T_s 为对一个终端的服务时间。

在对称环路的情况下, 平均扫描时间 T 的表达式为:

$$T = \frac{NT_B}{1 - \lambda NT_s}$$

式中, T_B 是“令牌”传递的时间延迟 (假定为1位)。

伊恩等人确定的另外一些有价值的数据是有关终端阻塞概率 (blocking probability) 的公式。

对上述系统曾进行过模拟研究, 並同分析结果作了比较。正如所预料的那样, 在低信息量情况下, 这两个结果非常接近; 但在高信息量时, 平均扫描时间和阻塞概率的模拟结果和分析结果是不一致的。

卡斯坦等人也曾把一定数量的终端接到环路上[CARS77]。这些终端被认为具有无

庞大的缓冲存储能力，并且这个环路能够运行不同长度的信件。正如作者所指出的，这种认为终端具有无限大的缓存能力的假设是实际的，因为在终端上增加存储器的成本是很低的。此外，如果要在一个组霍尔环路上连接几台计算机，则这些计算机的主存也应具有充足的空间来缓和缓冲存储器可能出现的溢出问题。

在假设有正常的泊松到达速率 (Poisson arrival) 的条件下，可获得求取扫描平均值和变化值公式。平均扫描时间 $E(t_s)$ 的公式为：

$$E(t_s) = \frac{D}{1 - \rho}$$

式中， D 为扫描开销（控制字符识别等）； ρ 为环路利用情况，它由 $\rho = \alpha^{-1} \sum_{i=1}^N \lambda_i$

得出。其中 λ_i 为信件到达速率（信件数/秒）， α 为线路传输能力（信件数/秒）。注意，此公式与普通的 $M/M/1$ 排队系统的时间延迟公式相类似。

求取扫描时间变化值的公式稍复杂一些，它取决于在环路上开始扫描的位置。因此，为了简化计算，还推导出一种不依赖起始扫描位置的近似结果。对一个 4 节点的组霍尔环路进行模拟所得结果（平均扫描时间及其变化值）与卡斯坦等人通过分析模型所得结果非常一致 [CARS77]。

凯伊 (Kaye) 等人也研究了把许多终端加到一个组霍尔环路上 [KAYE72]，并假设每个终端都有一个只能存储一个信件（固定长度）的缓冲存储器。因而，当缓存装入信件时，产生的其它信件将要丢失（如前所述，这个假设不太现实）。同时还假设每个终端都具有相同的泊松到达率。

根据上述假设，凯伊提出了确定等待时间在终端上的分布情况的表达式。等待时间被定义为从终端的缓存装入一个信件到开始传送这个信件的这段时间。掌握了这个时间的分布情况，就能很容易求得等待时间的平均值或变化值。同时也能得到在一次扫描过程中，计算终端上的信件丢失比率的公式。这些公式都很复杂，本文不打算介绍。读者如果感兴趣，可参阅凯伊的文章 [KAYE72]。不足的是，他没有进行模拟来验证其计算结果。

卡斯坦和波斯纳 (Posner) 推导出一种计算单一和多个组霍尔环路中的时间延迟和缓冲存储器规模的公式 [CARS78]。单环路公式是精确表达式，多环路情况下取的是近似值。我们首先讨论单环路的计算，然后再介绍一下多环路的计算情况。

在设计单组霍尔环路模型时，假设有 N 个终端连接到环路上，其信息包的到达速率和信件的长度都服从泊松分布。每个信息包由 X_i 个数据单元组成，其生成函数* 由下列公式给出：

$$X_i(z) = E(z^{X_i})$$

同时再假设任何一个在终端服务开始后到达的信息包都必须等待下一次扫描后才能得到服务。为了在每一节点上计算排队长度 n_i 的生成函数，设计了两个模型。在描述这两个模型时，由于太复杂，略去了生成函数的公式。

* 随机变量 x 的矩量生成函数定义为 $E(e^{rx})$ 。已有 $\left[\frac{d^r M_x(t)}{d^r} \right]_{t=0} = \mu_r$ ， r^{th} 为源点的矩量； x 等于第一矩量。

在移动扫描模型中, n_i 的生成函数是下述因素的乘积:

1. 在前一次扫描期间, 在每个终端的额外延迟时间内到达的数据单元总数的生成函数。
2. 在前一次扫描期间, 在每个终端的服务时间内到达的数据单元数的生成函数。

在瞬间 (snapshot) 模型中, 则利用 n_i 的表达式计算 n_i 的生成函数:

$$n_i = n_{i0} + n_{i1}$$

式中, n_{i0} 为终端获得对线路控制权时缓冲存储器内保存的数据单元数; n_{i1} 为随后到达的数据单元数。读者如有兴趣, 可参阅卡斯坦等人的文章 [CARS78, CARS77]。作者在文章中介绍了生成函数的计算公式及其详细推导过程。

从计算角度讲, 这两种模型都比较难以处理。模拟结果表明, 可用负二项式求出移动扫描模型的矩量生成函数的近似值。 $p_i(z)$ 的表达式为:

$$p_i(z) = \frac{p_i}{1 - (1 - p_i x_i(z)) w_i}$$

从生成函数中得来的 n_i 的平均值和变化值与从 $p_i(z)$ 中获得的估算值相等, 即求得了 p_i 和 w_i 的估算值。同时还得出了下面两种时间延迟的平均值和变化值的表达式:

1. 访问时间 $t_{a,i}$ 代表从一个信息包到达某个终端到该终端获得环路控制权的时间。

下列公式系平均访问时间的表达式:

$$E(t_{a,i}) = \frac{E(t_{s,i}^2)}{2E(t_{s,i})}$$

式中, $E(t_{s,i})$ 为平均扫描时间, $E(t_{s,i}^2)$

可通过扫描时间的变化值而近似求出, 请参见 [CARS78]。

2. 信息包等待时间 $t_{w,i}$ 是从信息包到达开始服务之间的时间。平均等待时间的公式为

$$E(t_{w,i}) = (1 + \mu_i) E(t_{a,i}) + d_i$$

式中, $\mu_i = \lambda_i E(t_{s,i})$; d_i 为终端上的额外延迟 (如图7所示)。如前所述, 作者已把这些结果推广应用于多环路情况。系统模型中包含一个“主环路”和若干个“从环路”, 后者通过网间连接终端连接到主环路上 (见图7)。某个从环路上的终端同另一个从环路的终端进行通信的方法是首先把信件送入主环路, 然后再送入相应的从环路。

为了用数学公式表示时间延迟、扫描时间、排队长度等条件, 作者提出了一些条件表达式来计算每个网间连接终端的输出进程, 然后再应用已经求得的单环路的结果。

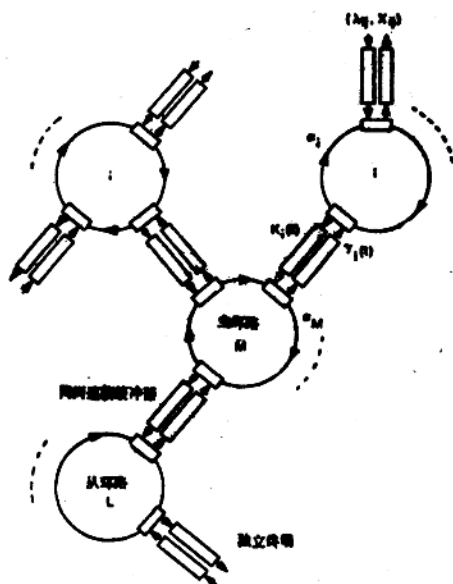


图7 多个纽霍尔环路 (L个从环路, 其线路传输能力为 α_i ; $i = 1, 2, \dots, L$; $j = 1, 2, \dots, N_i$)