

容迟网络中的路由算法

李建波 肖明军 著



科学出版社

容迟网络中的路由算法

李建波 肖明军 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书涵盖了近年来容迟网络的最新研究进展和应用成果,并对各类应用场景的网络技术做了综合介绍和详细分析。

全书分为8章,全面系统地介绍了容迟网路由算法。第1章概述容迟网络的相关研究背景、研究成果以及研究意义,特别介绍目前容迟网络的几个应用场景,最后对容迟网络的应用前景进行综述。第2章综述了现有的路由算法,对其进行分类,并着重介绍几个经典的路由算法,最后对其进行评估与比较。第3章提出若干基于地理位置的路由算法,其特点是对网络的知识依赖较少,便于部署。第4章提出基于节点社会属性的路由算法,并在社会网络环境下进行仿真实验。第5章提出启发式路由算法,基于节点跳数评估链路质量,从而做出路由策略的选择。第6章改进经典的Spray & Wait路由算法,基于效用函数评估节点质量,并使路由算法具有自适应性。第7章讨论容迟网络中的消息管理技术对路由的影响。第8章介绍ONE仿真器软件架构及使用方法。最后在附录中,对本书用到的部分定理进行证明。

本书可供高等院校计算机专业或通信类相关专业的本科生或研究生阅读,对于从事网络工程的技术人员和容迟网络的研究人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

容迟网络中的路由算法 / 李建波, 肖朝军著. —北京: 科学出版社, 2014.10

ISBN 978-7-03-041661-2

I. ①容… II. ①李… ②肖… III. ①计算机网络—路由选择—算法 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第190386号

责任编辑: 任 静 / 责任校对: 桂伟利

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年10月第一版 开本: 720×1 000 1/16

2014年10月第一次印刷 印张: 17 1/2

字数: 336 000

定价: 79.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

容迟网络的主要目标是支持具有链路间歇性连通、时延大、错误率高等通信特征的不同网络的互联和互操作。由于节点移动性、链路间歇性连通、网络频繁割裂等特点，容迟网络中的源节点和目的节点之间在多数情景下不存在一条连通路径，因此节点采用“存储-携带-转发”的路由模式。

近年来，针对容迟网络的研究主要集中在路由协议领域，如何做出正确高效的路由选择是无线网络领域内的关键技术和主要研究课题。容迟网络路由协议根据消息副本在网络中的数量可以简单地划分为基于复制策略的路由协议和基于转发策略的路由协议。随着手机、平板电脑、PDA 等手持设备的大量普及，引入社交网络分析技术，传统的容迟网络正在向社交容迟网络变迁，形成一类新兴容迟自组网。

本书由 8 章组成，重点讨论如何设计高效实用的容迟网络路由算法。由于容迟网络中的节点具有高度移动性并且稀疏部署，这将导致容迟网络中的拓扑结构动态变化以及链路时断时续，给路由设计带来很大的困难和挑战。此外，在不同的应用场景中，节点所能收集到的信息也各不相同，在这些场景中，需要节点利用收集到的信息，实现自适应的路由算法。在科研的过程中，本课题组基于不同场景的配置，仿真实现了多个路由算法。在仿真环境下，相对于现有的成果，这些路由算法在某些方面取得了更好的表现。此外，针对不同的应用场景，路由算法所依赖的知识也不尽相同。本书基于此对路由算法进行分类总结，并将研究成果汇集出版以便读者阅读参考。

本书运用大量实例和图表，突出基本概念和算法思想的阐述，并反映容迟网络的一些最新发展，可帮助网络初学者或爱好者了解该领域的相关知识，为进一步的学习打下坚实的基础；而对专业人士，本书可以帮助其组织和完善相关知识，接触最前沿的技术，拓展思路。

本书受国家自然科学基金项目(61379132)、山东省自然科学基金项目(ZR2013FQ022)、山东省高等学校科技计划项目(J14LN85)、江苏省自然科学基金项目(BK20131174)、青岛市科技计划基础研究项目(12-1-4-2-(14)-jch)资助出版。

本书的编写得到了很多人的帮助，在此，编者均致以由衷的谢意。感谢黄刘生教授对本书的指导和帮助，由于作者水平所限，书中难免存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 容迟网络概述	1
1.1 容迟网络的概念与特点	1
1.2 容迟网络的体系结构	2
1.2.1 捆绑层	3
1.2.2 LTP 传输协议	5
1.3 容迟网络的典型应用	6
1.3.1 移动车载网	7
1.3.2 星际互连网络	8
1.3.3 野生动物追踪的传感网	8
1.3.4 社交容迟网络	9
1.4 容迟网络研究的热点问题	11
1.4.1 路由技术	11
1.4.2 移动模型	13
1.4.3 安全问题	14
1.5 容迟网络的发展趋势和应用前景	15
1.5.1 发展趋势	15
1.5.2 应用前景	16
1.6 本书架构	16
参考文献	17
第 2 章 容迟网络典型路由算法	22
2.1 容迟网络路由算法分类	22
2.1.1 常见分类方法	22
2.1.2 路由分类体系	23
2.2 非社会感知路由算法	24
2.2.1 基础设施辅助路由算法	24
2.2.2 非基础设施辅助路由算法	25
2.3 社会感知路由算法简介	35
2.3.1 社会关系获取技术	35

2.3.2	社会网络分析技术	37
2.3.3	常见的社会属性	39
2.3.4	基于社区的社会感知路由算法	42
2.3.5	社区独立的社会感知路由算法	43
2.4	路由算法评估比较	45
2.4.1	DTN 路由协议的评估指标	45
2.4.2	DTN 路由协议比较	46
2.4	本章小结	47
	参考文献	48
第 3 章	基于地理信息的路由算法	54
3.1	研究意义	54
3.2	相关研究	55
3.3	基于邻居节点位置信息的受控传染路由算法	56
3.3.1	动机及网络模型假设	56
3.3.2	下一跳中继节点选择	57
3.3.3	LC-Epidemic 路由协议描述	59
3.3.4	仿真实验	61
3.4	基于移动方向的受控传染路由算法	67
3.4.1	动机及网络模型假设	67
3.4.2	下一跳中继节点选择	68
3.4.3	基于优先级的缓存管理策略	70
3.4.4	路由协议描述	71
3.4.5	仿真实验	73
3.5	基于局部位置信息与历史效用的路由算法	77
3.5.1	动机及模型假设	77
3.5.2	下一跳中继节点选择	78
3.5.3	仿真实验	82
3.6	基于邻居节点位置的时间片轮转路由算法	85
3.6.1	动机及网络模型假设	85
3.6.2	路由算法描述	86
3.6.3	仿真实验	89
3.7	基于一跳邻居的地理路由算法	95
3.7.1	动机及网络模型假设	95
3.7.2	关键问题	97

3.7.3	基于效用函数的节点选择策略	98
3.7.4	k 阶消息冗余度	100
3.7.5	详细的路由协议	101
3.7.6	仿真实验	103
3.8	本章小结	108
	参考文献	108
第4章	基于社会属性的路由算法	111
4.1	研究意义	111
4.2	相关研究	112
4.3	基于动态社交群的自适应路由算法	113
4.3.1	动机	113
4.3.2	友谊定义	113
4.3.3	自我群定义	114
4.3.4	社交群定义	115
4.3.5	基于社交群的洪泛模型	116
4.3.6	消息冗余控制模型	120
4.3.7	详细的路由算法	122
4.3.8	仿真实验	122
4.4	基于社区感知的机会路由	126
4.4.1	动机	126
4.4.2	网络模型假设	127
4.4.3	社区感知模型	128
4.4.4	CAOR 概述	130
4.4.5	CAOR 的具体实现	134
4.4.6	CAOR 的扩展	136
4.4.7	仿真实验	137
4.5	本章小结	142
	参考文献	143
第5章	基于启发式的路由算法	144
5.1	研究意义	144
5.2	相关工作	145
5.3	基于跳数的启发式路由算法	145
5.3.1	动机和出发点	146
5.3.2	网络模型	146

5.3.3	基于跳数的启发式策略	147
5.3.4	路由过程	150
5.3.5	评估	152
5.4	基于节点相似性的容迟网络路由算法	156
5.4.1	动机和出发点	157
5.4.2	基于节点相似性容迟网络路由算法 RABNS	157
5.4.3	模拟仿真分析	161
5.5	基于统计分析和临时聚群的容迟网络路由算法	165
5.5.1	动机和出发点	165
5.5.2	SATC 路由结构	166
5.5.3	仿真实验和结果分析	174
5.6	基于效用的对时间敏感的机会主义容迟网络路由	177
5.6.1	动机和出发点	178
5.6.2	路由模型	179
5.6.3	TOUR 基本策略	180
5.6.4	TOUR 路由细节	183
5.6.5	评估评价	186
5.7	Leapfrog: 容迟网络中的最佳机会主义路由算法	189
5.7.1	动机和出发点	189
5.7.2	网络模型	190
5.7.3	问题形式化	190
5.7.4	最佳机会主义路由	191
5.7.5	评估	194
5.8	本章小结	196
	参考文献	197
第 6 章	改进的 Spray & Wait 路由算法	199
6.1	研究意义	199
6.2	相关工作	200
6.3	一种基于概率的喷射改进的混合路由算法	201
6.3.1	动机和出发点	201
6.3.2	消息副本的分配	201
6.3.3	基于时间间隔的副本控制	202
6.3.4	改进的 Spray & Wait 混合路由算法	202
6.3.5	仿真实验和结果分析	203

6.4	基于节点性能的 Spray & Wait 改进路由算法	206
6.4.1	中继节点的评估指标	207
6.4.2	路由算法	209
6.4.3	仿真实验与结果分析	212
6.5	容迟网络中基于一般和特殊效用的适应性路由算法	215
6.5.1	节点质量评估函数	216
6.5.2	准备工作	216
6.5.3	路由算法详解	217
6.5.4	消息喷射过程的分析	222
6.5.5	仿真实验和结果分析	225
6.6	本章小结	232
	参考文献	232
第 7 章	消息数据管理机制研究	234
7.1	研究意义	234
7.2	相关研究	234
7.3	基于节点吞吐量的消息数据调度机制	235
7.3.1	动机	235
7.3.2	网络模型假设及准备工作	235
7.3.3	问题形式化	236
7.3.4	基于数据选择机制的路由算法	239
7.3.5	仿真实验	242
7.4	本章小结	246
	参考文献	246
第 8 章	机会网络环境仿真平台 ONE	247
8.1	ONE 软件架构	247
8.1.1	移动模型类包	248
8.1.2	路由模块类包	248
8.2	模块划分及功能	249
8.2.1	移动模型模块	250
8.2.2	路由模块	251
8.2.3	事件生成模块	251
8.2.4	报告模块	251
8.3	仿真运行	252
8.3.1	GUI 模式	252

8.3.2 批处理模式	253
8.3.3 场景配置	253
8.4 限制约束	254
8.5 ONE 使用方法	255
8.5.1 运行	255
8.5.2 仿真场景配置	255
参考文献	259
附录 A 定理证明	260

第 1 章 容迟网络概述

容迟网络/容断网络(delay/disruption tolerant network, DTN)作为一种新型的端到端存储转发体系结构,近年来得到了广泛的关注和研究^[1-3]。目前针对容迟网络的研究,已经取得了丰硕的成果。本章将结合容迟网络领域内现有的研究成果,简要介绍容迟网络的概念、特点、体系结构、应用领域及当前研究的热点问题。

1.1 容迟网络的概念与特点

容迟网络泛指部署在极端环境下由于节点的移动或者能量调度等原因而导致节点间只能间歇性进行通信甚至长时间处于中断状态的一类网络^[4]。其概念起源于星际网络(InterPlanetary Internet, IPN),主要目的是解决不同星球之间的数据通信问题,为此国际互联网研究任务组(Internet Research Task Force, IRTF)专门成立了星际网络研究小组(Internet Planetary Internet Research Group, IPNRG)。星际网络中消息传输的主要问题是长传播时延,过长的传播时延会导致现有的网络协议失效^[5],此外非对称的带宽以及低比特率等也都给网络协议设计带来了非常大的困难和挑战^[6]。

在 2001 年和 2002 年,IPN 的研究者初次尝试将 IPN 的架构应用于其他一些陆地上的挑战性网络中,如用于发展中国家偏远地区通信和 Internet 接入服务的信息网络、湖泊环境下的水声传感器网络、野生动物追踪网络,以及高速行驶的车辆组成的车辆 Ad-Hoc 网络等。然而与 IPN 不同的是,陆地上的挑战性网络由于节点的强移动性等特点,其更加强调节点之间连接的频繁中断(disruption)^[7]。而 IPN 由于节点之间具有极远的距离,其更加强调节点之间传播的高时延(delay)。在 2004 年, Fall 等在 SIGCOMM 会议上首次提出了一种用于此类挑战性网络的架构方式^[8],此后这类挑战性网络得到了广泛的关注和研究。随着相关研究成果的不断涌现,“Delay/Disruption Tolerant Network”这一名称逐渐被研究者们接受,为了名称的统一性,本书用“容迟网络”来统称这一类网络。IEEE 和 ACM 等国际知名刊物和国际会议发表了大量容迟网络领域内的研究成果。其中,有关会议还专门组织成立了研究工作小组,例如 SIGCOMM 的 WDTN、ICWS 的 DTN、ICDCS 的 DTMN、MobiCom 的 CHANTS 以及 MobiSys 的 MobiOPP 等。IEEE Journal on Selected Areas in Communications 和 Elsevier 旗下的 Computer Communications 等刊物也为容迟网络研究设立了专刊。目前,容迟网络已经成为无线网络领域内最为热门的研究课题之一。

传统 Internet 等网络的通信模型是建立在一些固有假设的基础上, 例如稳定的端到端链路、双向对称的数据传输率、相对较短的往返时延等。然而作为一类部署在极端环境下的挑战性网络, 容迟网络具有明显区别于传统 Internet 等网络的特点^[9-11]:

(1) 间歇性连接。由于节点的移动性、节点能量和网络资源受限、节点密度稀疏等原因, 使得节点之间的通信链路被频繁割裂, 导致网络的整个拓扑结构不断变化, 处于间歇连接、部分连接的状态。并且整个网络的连接状态具有一定的随机性, 节点间的连接不可预测, 无法保证实时的端到端路由通路。

(2) 时延极高, 数据传输率低。端到端时延由每一跳所经历的等待时间、排队时间、传输时间和传播时间组成。网络的间歇性连接、节点的移动性等因素会导致相邻节点在很长时间内无法进行通信, 使得消息在每一跳上经历的时延大大增加, 从而进一步导致极高的端到端时延, 同时链路的带宽受限等因素还导致网络呈现数据传输率低的特点。

(3) 资源有限。受价格、体积和功耗等因素的限制, 节点的计算处理能力、存储空间大小以及通信能力通常都要远远弱于普通的计算机。处理能力有限决定了路由协议不能太过复杂。有限的存储空间会导致较高的消息丢包率, 进而降低消息成功投递的可能性。同时, 由于节点处于极端环境下, 电池的寿命和能够供应的能量有限, 导致节点设备只能周期性开启。

(4) 拓扑结构随机动态变化。由于环境变化、能量耗尽、设备故障等原因导致节点退出网络, 或者由于任务需求而加入新的节点, 都会导致网络拓扑结构动态变化。此外, 节点间的间歇性连接使网络拓扑具有很大的不确定性, 导致网络的链路数量和分布情况都在随机变化。

(5) 异构互连。容迟网络是面向异步消息传输的覆盖层网络, 其运行在不同异构网络的协议栈之上, 因而需要确保异构网络互连时消息的可靠传输。

(6) 低信噪比和高误码率。容迟网络中, 极端环境导致的低信噪比会引起通信信道中信号的高误码率, 极大地影响信息接收端对信号的解码和恢复。

(7) 安全性差。节点处于真实物理世界, 除受到传统无线网络面临的安全威胁外, 还可能遇到窃听、消息修改、路由欺骗、拒绝服务和恶意代码等安全攻击。

1.2 容迟网络的体系结构

容迟网络的体系结构^[8]最初由 Kevin Fall 等在 SIGCOMM 会议上提出, 随后被容迟网络研究工作组 (DTN Research Group^[12]) 定义为 RFC 4838 标准^[10]和 RFC 5050 标准^[13]。通过对信息交换的抽象, 引入了捆绑层 (bundle layer), 将容迟网络设计为一个位于不同网络的不同协议栈之上的覆盖层网络, 并在不同网络之间提供存储转发的网关功能, 如图 1.1 所示。此外, 容迟网络研究工作组还起草了 LTP (Licklider

transmission protocol) 传输协议^[14]，以此来提供基于消息重传机制的可靠性保障，并且应对消息往返时间过长及连接频繁割裂等特征。

1.2.1 捆绑层

通过在传输层和应用层之间添加一个捆绑层，DTN 采取存储-携带-转发 (store-carry and forward) 的消息交换机制。消息数据被封装在一个个的消息束中，束是长度可变的具有特定格式的基本数据单元，捆绑层最终负责存储和转发所有的束。捆绑层可以覆盖多个拥有不同传输协议的区域网络，并对位于该层之上的应用程序提供统一的接口。捆绑层结构的主要特征如下^[15-17]：

(1) 区域 (region) 和网关 (gateway)。区域是一类具有特定协议和通信需求的特定网络，如图 1.1 中的 A、B、C、D 四个区域。区域 B 包括一个携带 DTN 网关的公共汽车，该公共汽车往返于 DTN 网关 3 和 DTN 网关 5 之间。区域 D 包括一个定期连接的卫星链路。网关本质上是一个访问点，用来连接两个具有不同网络体系结构和协议栈的区域。它包括两个逻辑部分，分别位于两个相邻区域的相应传输层协议之上。如果两个节点可以不通过 DTN 网关进行通信，那就称这两个节点位于同一区域中。区域边界用来表示不同网络协议栈之间的互联点，图 1.2 是 DTN 网关的逻辑视图。当需要确保消息的可靠交付时，DTN 网关负责将消息存储在持久性存储器中。此外 DTN 网关还需要承担在不同传输协议之间进行映射的责任。

(2) 名称元组 (name tuple)。为了进行消息路由，DTN 采用名称元组的形式来标识目标节点或目标节点组。名称元组由两个长度可变的部分组成，其形式为 {区域名, 实体名}。区域名是全球唯一的，通过分级构建具有严谨的拓扑意义。实体名是节点在某一特定区域中的名称，在区域内是唯一的，而在区域外不唯一，可以是任意结构。

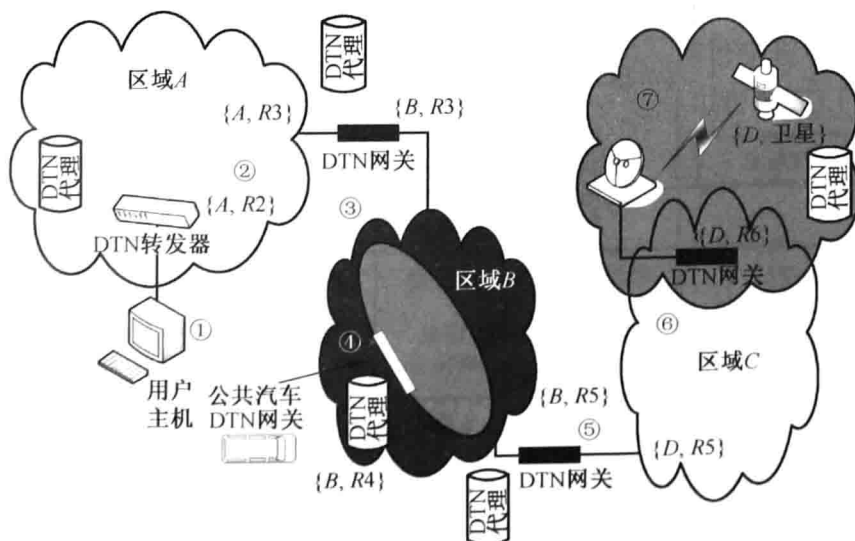


图 1.1 容迟网络中区域的逻辑视图^[17]

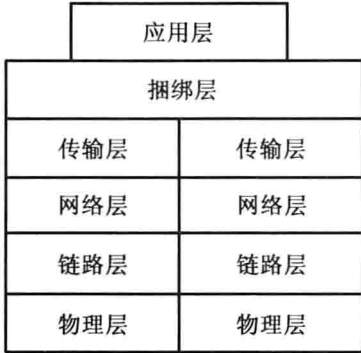


图 1.2 DTN 网关的逻辑视图^[17]

(3) 邮政式投递服务 (postal-style delivery service)。DTN 中的各类网络资源都受到严格限制，因而采用基于优先级的资源分配和消息传输机制是非常有必要的。类似于邮政式服务，DTN 体系结构采取了 Bulk、Normal 和 Expedited 三种优先级，概念上分别对应于低、中、高优先级。

(4) 路由选择 (routing)。在 DTN 体系结构提供的路由和转发框架中，DTN 被定义为一个多重图，即节点之间可能存在多条连接边。基于网络特征，节点

之间的接触被归类为 Persistent、On-demand、Scheduled、Predicted 和 Opportunistic 五种，其中后三种是 DTN 中最常见的。为了在区域设计中提供最大的灵活性，DTN 体系结构本身并不指定任何特定类型的路由机制。

(5) 可靠性 (reliability) 和保管传输 (custody transfer)。保管传输是为了保持端到端连接状态，并应对高丢包率和资源缺乏而提出的概念。其核心是指消息从一个 DTN 节点跳到下一个 DTN 节点，并且实现可靠传递。根据节点的存储能力，DTN 体系结构将节点分为持久的 (persistent) 和非持久的 (non-persistent) 两类，前者拥有足够的存储资源，而后者的存储资源相对不充足。DTN 面临着很高的消息丢包率，需要确保那些不具备足够资源的节点不必去承担和维持端到端可靠性传输的任务。因此，一旦被保管的消息束被传递至一个 Persistent 节点，源节点便不必继续维持该消息束的副本。

(6) 聚合层 (convergence layer)。DTN 体系结构由底层所提供的功能可能存在着显著变化，例如可靠传输、流量控制、拥塞控制等。而假定底层可以实现可靠传输，则需要增加一个包含特定聚合层的协议栈来确保这些底层功能的实现。例如，当可靠交付由底层传输提供时，相应的聚合层只需要提供对应的链路状态管理。图 1.3 描述了典型的 DTN 协议栈。



图 1.3 DTN 协议栈：多个聚合层为捆绑层提供一个统一的接口^[17]

(7) 时间同步 (time synchronization)。DTN 体系结构要求通信节点之间的时间同步。这种要求起源于挑战性环境中许多分布式应用需要时间同步，例如消息束的识别、路由调度、消息生存周期计算等，这些通常是通过一个外部的非 DTN 协议来完成。

(8) 流量控制(flow control)和拥塞控制(congestion control)。DTN 体系结构中的流量控制是指限制 DTN 节点的发送速率以匹配下一跳节点的接收速率。流量控制决策必须在捆绑层内进行, 尽管其可能需要下层传输层的支持。拥塞控制是指处理对 DTN 网关中持久存储资源(persistent storage)的竞争。RFC 标准没有指定特定的拥塞控制机制, 因此拥塞控制机制是一个开放的研究问题。

(9) 安全(security)。DTN 体系结构的安全性要求限制访问可用的稀缺资源, 其主要目标是防止未经授权的应用程序利用网络资源, 并防止被授权的应用程序访问比其自身等级更高的服务。因此, 识别和丢弃损坏的消息束、检测受损节点变得非常必要。一种普遍流行的安全机制是逐跳和端到端的认证及完整性机制, 其目的是利用应用层的数据完整性, 分别对数据转发和存储实施访问控制。

1.2.2 LTP 传输协议

传统的 Internet 等网络中, 传输层的可靠通信协议依赖于 TCP 协议, TCP 协议是会话式协议, 它需要相互通信的双方都保持有通信状态信息, 且状态信息的更新需要双方进行数据交换。而在容迟网络中, 信息传输的端到端时延较高, 依靠交换信息来更新状态信息的速度较慢, 这种太长的时延会导致状态信息过期, 无法跟上实际网络拓扑的变化情况, 因此 TCP 协议并不适用于容迟网络。LTP 协议是容迟网络中的一个非常重要的重传协议, 它使节点之间的通信变得更加可靠。LTP 协议工作于数据链路层以上, 捆绑层以下, 覆盖于各种使用不同协议的区域之上, 向上提供统一的接口, 如图 1.4 所示。LTP 协议主要有下述几个特点。

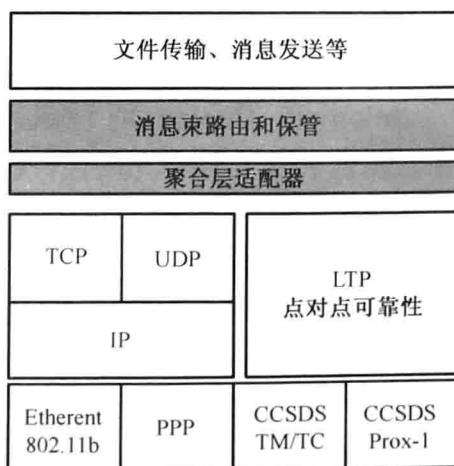


图 1.4 LTP 协议^[17]

(1) LTP 协议中, 数据块分为红部(red-part)和绿部(green-part)两个部分。其中红部数据传输时必须使用确认和重传机制, 这样就保证了红部数据的可靠传输; 而绿部数据的传输是尝试性的, 因而没有采用这种可靠机制。LTP 中的红部数据和绿部数据的传输是尝试性的, 因而没有采用这种可靠机制。LTP 中的红部数据和绿

部数据的传输特点,恰好对应于 Internet 中的运输层协议 TCP 和 UDP,其中红部可以提供类似于 TCP 的可靠传输功能,绿部可以提供类似于 UDP 的不可靠传输功能。

(2) LTP 协议中的数据块是分段的。数据块中红部的最后一段是红部的结束部分(end of red-part, EORP)。当接收者收到这部分数据时,表明红部的传输已经结束,此时接收者必须向发送者发送一条确认信息,表明该部分数据已经全部收到。当发送者发送完这部分数据之后,会启动一个计时器,如果在限定时间内发送者没有收到接收者的确认信息,该红部数据就会被自动重传,这种机制确保了信息传输的可靠性。整个数据块的结束部分叫做 EOB(end of block)。

(3) LTP 数据流只能是单向的,所以数据的确认和重传报文与 TCP 有区别, LTP 的确认和重传报文并不直接附着在数据段之后,而是被封装在一个单独的数据段中。

(4) 推迟传输(deferred transmission)是 LTP 中的一个重要概念。LTP 协议本身提供当前连接的状态,用以确认传输数据的可行性。因此, LTP 会时常产生报文消息,无法立即传输出去的报文就被缓存在队列之中,等待合适的传输时机。

(5) LTP 依赖于对报文到达目的节点时间的准确计算,这样做是为了确保能够在正确的时间实施报文重传。对于报文到达目的节点的时间,下界要比上界更严格。因为严格的下界会使得计算出的时间尽可能的早,其代价是可能会使得数据重传操作多余,但是下界一旦太宽松,计算出的时间可能晚于实际到达的时间,其代价是会使数据重传不及时,增大了数据传送的时延。

(6) 当发送者收到红部数据丢失或损坏的信息时,就会启动重传机制。当数据块中红部所占的比重很大时,更好的做法是使用多个类似于 EORP 的记录点,而不是仅仅只用 EORP 作为唯一的记录点。数据块的传输会话可以被发送者取消,也可以被接收者取消。

(7) LTP 通过 Authentication 和 Cookie 两种机制来解决安全性问题。Authentication 机制可以确保数据段的真实性和完整性, Cookie 机制则增加了 LTP 引擎遭受拒绝服务(denial of service, DoS)攻击的难度。

1.3 容迟网络的典型应用

在现实中的很多应用领域内,由于节点移动性、能量调度和环境干扰等因素,导致节点间的连接频繁中断,无法建立结构化的全连通网络,传统的多跳自组网络协议无法有效运行。而容迟网络作为一种新型的网络体系结构,能够更好地适应这些挑战性环境,满足这些应用的通信需求。目前越来越多的应用场景都在部署和应用容迟网络,如野生动物监测传感网^[18]、移动车载网^[19]、星际网络^[11]、战术通信网^[20]、口袋交换网^[21]、水下传感器网^[22]、空间光通信网^[23]、乡村通信网^[24]、移动社交网等。本节中仅简要介绍一些典型应用^[25]。

1.3.1 移动车载网

随着配备短距离无线通信设备车辆的增多,行驶在道路上的车辆由于移动速度快、密度不均匀形成了一种移动车载网络(vehicular Ad-Hoc network, VANET)。作为一种新型的车辆通信网络,它可以实现车辆与车辆之间(vehicle to vehicle, V2V),车辆与路边基础设施之间(vehicle to infrastructure, V2I)的多跳无线通信,为车辆提供事故预警、交通管理、路况检测、拥塞预报等多种安全应用。此外,利用车辆与路边接入点的机会通信,还可以提供 Internet 访问和多种商业应用。

CarTel^[26]是在美国国家科学基金会(NSF)资助下,由麻省理工学院开发的基于车载通信设备和传感器的信息收集和发布系统,能够用于环境质量监测、车辆状态诊断和交通路线导航等。图 1.5 是 CarTel 的系统结构图,安装在车辆上的 CarTel 节点是一个嵌入式计算机系统,用来收集和处埋车辆上多种传感器采集的数据,例如车辆运行信息和道路信息等。使用 Wi-Fi 或蓝牙等无线通信技术,CarTel 节点可以在车辆相遇时直接交换数据。同时,CarTel 节点也可以通过路边的无线接入点将数据发送到 Internet 上的服务器。

UMassDieselNet^[27]试验台是由马萨诸塞州立大学开发的车辆通信项目,它由运行于阿姆赫斯特分校周围的 30 辆巴士组成,这些巴士的运行区域大约覆盖 150 平方英里。每辆巴士携带一台 Linux 计算机、一套 GPS 设备,巴士间使用 802.11b 方式通信。该实验平台是一个开放的实验环境,用户可以通过网络使用,其相关研究数据也可在 <http://traces.cs.umass.edu> 网站获得。

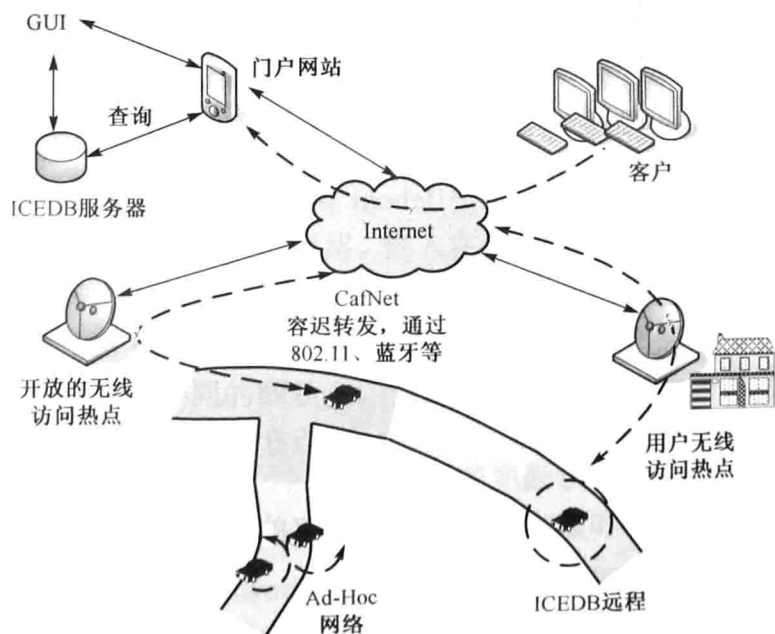


图 1.5 CarTel 系统结构图^[26]