

多维网络技术

陶 洋 著

非外借



科学出版社

多维网络技术

陶 洋 著

科学出版社

内 容 简 介

本书重点研究通信网络的时空及制式差异对异构网络的影响,努力构建多维网络概念和技术架构,并从多维网络的资源分析、路由系统与协议、接入系统与标准、动态性分析、业务融合、安全分析、终端及应用方面进行阐述和研究。

本书适合用作高等院校通信网络专业的研究生和本科生教材,也适合深入学习和研究多维网络的研究人员和高级工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

多维网络技术 / 陶洋著. —北京: 科学出版社, 2018.10

ISBN 978-7-03-058955-2

I. 多… II. 陶… III. 计算机网络-技术 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 222029 号

责任编辑: 魏英杰 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 铭轩堂

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>

保定市中华美凯印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 10 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2018 年 10 月第一次印刷 印张: 12 1/2

字数: 251 000

定价: 80.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

对于多维空间、多维信息、多维信道等，由于时空的差异和信息传递模式的异构已使我们所处的信息网络环境呈现出多维的特性。网络的纷繁使我们的选择在丰富的同时也多了一些困惑，这不仅体现在应用上，也体现在我们的技术研究中，甚至对网络社会管理、网络思维产生了不小的影响，然而对于网络的多维特性我们又知道多少呢！

新网络的不断呈现，现有网络的渐渐退出，使网络的多维状态不断变化，并影响着网络互联综合、一体化、网络融合、未来网络等发展演变和业务应用。从专业角度而言，自网络物理底层至应用高层都受到其变化的促进和限制，我们应依据新的网络特性进行归纳分析，以便展开新技术、新理论的研究和应用开发。

本书集多年研究和成果开发于一体，力图开辟新的网络认知角度，推动确立新的网络技术理论基础，促进网络新技术的研究和应用开发，同时起到抛砖引玉的作用。本书从多维网络概念出发，依据网络元素与结构对相应的多维特性进行分析，并描述其较为典型的应用。我们努力构建的多维网络概念和技术架构，研究重点在于网络的时空及制式差异对异构网络形成的资源集合利用、网络之间互联及融合、跨网业务过渡和切换等，目的在于更好地利用任何地域所叠加的网络资源集合，以提供网络最大优化程度的业务服务，并保障其高质量和低代价。书中描述的不少技术已在实际应用中得到验证，对研究开发者的进一步研究和开发具有较高的参考价值。

陶洋教授负责本书学术定位、内容及组织架构的确定，撰写各章节的内容核心，且审校全书。全书共8章，分别由梅思梦、许湘扬、杨飞跃、代建建、谢金辉、章思青、邓行、李朋等按照所确定的核心内容及撰写方式各完成一章的具体编写和研究工作整理。

本书主要内容源自我们的研究成果，包含但不限于科研技术报告、公开发表论文、专利、软件系统，以及已出版的著作等。

由于较多内容具有探索性，难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

陶涌

2017年初冬于重庆南山

目 录

前言

第 1 章 多维网络概论	1
1.1 网络现状	1
1.1.1 公共电话交换网	2
1.1.2 互联网	2
1.1.3 无线局域网	2
1.1.4 城域网	3
1.1.5 广域网	3
1.1.6 卫星网络	3
1.1.7 WSN	4
1.1.8 Ad Hoc 网络	5
1.2 网络资源	5
1.3 多维网络	6
1.3.1 网络的多维因素	6
1.3.2 多维网络概念	9
1.4 网络的发展趋势	10
1.4.1 制式异构	10
1.4.2 结构异构	11
1.4.3 网络融合	13
1.5 多维网络特性	14
1.5.1 动态特性	14
1.5.2 互联特性	14
1.5.3 多维网络的虚拟特性	16
1.6 多维网络架构	16
参考文献	17
第 2 章 网络资源分析	19
2.1 网络基础资源	19
2.2 网络资源的多样性	20
2.2.1 因特网	20

2.2.2	移动互联网	24
2.2.3	电信网	25
2.2.4	物联网	27
2.3	网络资源虚拟化	28
2.3.1	网络传输虚拟化	28
2.3.2	存储虚拟化	31
2.3.3	计算资源虚拟化	33
2.4	网络资源多维扩展与应用	36
2.4.1	多径并行传输技术	36
2.4.2	多径并行传输架构	39
	参考文献	40
第3章	多维路由系统与协议	41
3.1	概念	41
3.2	多维路由结构	42
3.2.1	多维网络节点	42
3.2.2	多维网络节点通信方式	44
3.3	多维选择算法	45
3.3.1	混合节点发现算法	45
3.3.2	基于路径质量的路由算法 RAQ	48
3.4	多维路由协议	55
3.4.1	网络互联协议概述	55
3.4.2	多维网络环境下的自组织网络路由协议 HC-AODV	56
3.4.3	AODV_RAQ 路由协议	63
	参考文献	69
第4章	多维接入系统与技术	70
4.1	多维接入概念	70
4.2	多维网络接入算法	71
4.2.1	算法概述	71
4.2.2	基于马尔可夫模型的接入选择算法	71
4.2.3	基于神经网络的多维网络接入算法	74
4.3	多维网络的接入切换	79
4.3.1	切换流程	80
4.3.2	切换分类	82
4.3.3	多维网络切换方法	84
	参考文献	89

第 5 章 多维网络的动态性分析	90
5.1 多维网络的结构动态性	90
5.1.1 结构动态性	90
5.1.2 动态拓扑结构实例	93
5.2 业务的自适应	97
5.2.1 业务的概念与定义	97
5.2.2 网络信息资源的业务	98
5.2.3 网络业务的自适应性	98
5.2.4 垂直切换技术	99
5.2.5 基于业务的切换判决策略	103
5.2.6 基于业务的多接入网络选择算法	104
参考文献	114
第 6 章 业务融合	115
6.1 概述	115
6.2 基于优先级的切换判决及分组调度策略	115
6.2.1 引言	116
6.2.2 调度模型	116
6.2.3 基于优先级的切换判决策略	117
6.2.4 基于优先级的分组调度策略	119
6.3 无线资源管理	125
6.3.1 引言	125
6.3.2 多路并行传输中的数据乱序	125
6.3.3 基于卡尔曼滤波的端到端时延估计	132
6.3.4 基于时延差控制的拥塞控制算法	135
6.3.5 有效吞吐量优化算法步骤归纳	141
参考文献	143
第 7 章 安全分析	144
7.1 多维安全威胁分析	144
7.1.1 概述	144
7.1.2 Internet 连接攻击	146
7.1.3 AN 移动性攻击	147
7.1.4 解决方案	149
7.2 多维网络中的安全机制	150
7.2.1 Diameter 协议和上下文转移	151
7.2.2 基于 Diameter 的安全上下文转移机制	157

7.2.3 对 DSCT 方案的安全分析	160
参考文献	165
第 8 章 多维网络终端及应用	166
8.1 多维网络终端结构	166
8.1.1 多维网络终端结构	166
8.1.2 多维网络终端分类	167
8.2 多维网络终端功能	171
8.2.1 多维通信终端功能	171
8.2.2 多维路由终端功能	173
8.3 应急网络应用	175
8.3.1 应急网络的定义	175
8.3.2 国内外应急通信系统建设现状	176
8.3.3 应急通信指挥系统	182
8.3.4 应急指挥系统涉及的关键技术	184
8.3.5 应急指挥系统的应用	191
参考文献	192

第 1 章 多维网络概论

众所周知,通信网络自出现以来,随着社会需求及应用的增多,得到了飞速发展,网络类型也随之变得复杂多样,如有线网、无线局域网(wireless local area network, WLAN)、无线网状网(wireless mesh network, WMN)、公众移动通信网、卫星网络、Ad Hoc 网络,以及无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)等。有线网又包括多种不同的网络,如同轴电缆网、双绞线网、光纤网等;无线局域网包括 WIFI、蓝牙等;公众移动通信网也分为 2G/3G/4G 等不同的通信网络。如此多种类的通信网络使我们的网络环境变得纷繁复杂,不同网络间的差异给通信网络的未来发展带来困难,同时也会造成网络资源的浪费。

在这种复杂多样的网络环境下,我们发现网络会表现出多维的属性。不同时间段存在的网络性能和网络种类会有所不同,这使网络具有时间属性。在不同的空间,网络的强度和类型也存在不同,这使网络具有空间属性。网络的调制方式及通信频段等使网络具有不同的制式。

我们知道,不同的网络具有不同的特性,例如不同类型网络的传输速率和覆盖范围往往不同,不同网络的入网方式和传输制式也往往不同,且各有优劣,因此很难找到一种网络能够以绝对的优势代替另外一种网络。目前,仅靠单一的网络根本无法满足未来人们对移动通信业务个性化和多样化的需求。我们逐渐意识到,未来移动通信的发展趋势必然是将多种不同的网络进行融合,实现网络间互联互通,有效地整合资源,充分发挥不同网络的优势,为用户提供高质量、多种类、个性化和无处不在的服务。因此,下一代网络的发展目标不是建立一个全新的、统一的,并且功能完善的强大网络,而是智能地进行网络融合和互通,在这种网络融合的必然趋势下,我们引入维度的概念来分析这种融合网络,并由此提出多维网络的概念。

1.1 网络现状

我们知道当前的网络环境是由大量不同类型的网络混合形成的,也知道不同网络拥有不同的特点。例如,不同网络的传输介质、覆盖范围、传输速率、传输质量、网络接入方式,以及应用场景等均不尽相同。下面简要介绍公共电话交换

网(public switched telephone network, PSTN)、互联网(Internet)、无线局域网、城域网(metropolitan area network, MAN)、广域网(wide area network, WAN)、卫星网络、WSN、Ad Hoc 网络的特性。

1.1.1 公共电话交换网

PSTN 是常用的电话网络,是一种国际通用的语音通信电路交换网,具有如下特性。

① 传输介质。PSTN 以标准的电话线路为传输介质。

② 传输范围。在当前通信网中, PSTN 拥有庞大的应用用户,是人们经常选择的一种十分重要的通信方式,传输范围很广。

③ 传输速率和质量。PSTN 的技术基础是模拟技术,由于模拟技术本身和 PSTN 通信线路建立的特点,导致 PSTN 的传输速率和传输质量都较差。

④ 应用。PSTN 应用比较早且广泛,生活中用到的电话大多采用 PSTN 的通信方式。

1.1.2 互联网

Internet 又称网际网络,是网络与网络之间串连成的庞大网络。Internet 的用户遍布全球,拥有超大的用户数量,具有如下特性。

① 传输介质。Internet 以光纤或双绞线为传输介质。

② 传输范围。Internet 拥有十分广泛的传输范围,是网络间连通形成的庞大网络,因此其信息传输可达的范围十分广泛。

③ 传输速率。互联网的传输速率差异较大,从几十兆比特到几十吉比特不等,用户可以根据个人实际情况自由选择。

④ 网络服务。Internet 提供的服务包括 WWW 服务、电子邮件服务、远程登录服务、文件传输服务、网络电话等。

⑤ 入网方式。用户可以通过 Modem 拨号入网、ISDN 入网、DDN 专线入网、xDSL 入网,也可以通过电缆调制解调器或无线网络等多种可选方式。

1.1.3 无线局域网

相对于前期的有线传输方式, WLAN 是利用微波或红外线在空间进行数据信息的传输,是当下工作生活中一种十分重要的通信方式,主要网络特性如下。

① 传输介质。WLAN 主要利用微波和红外线作为数据传输介质。

② 传输范围。WLAN 的传输距离与空间复杂度有关,在较空旷的区域 WLAN 的传输距离为 300 米左右;如果为半封闭性空间或空间有较多物品, WLAN 的传

传输距离就会受到不同程度的影响,传输距离在 35~50 米。WLAN 还可借助外接天线进行信号发射,在这种情况下,WLAN 可以传输 30~50 千米,甚至更远。

③ 传输速率。WLAN 的传输方式属于空间传输,这种传输方式比有线信道低很多,最大传输速率为 300Mbit/s,只能满足个人终端和小范围的应用需求。

④ 通信技术。WLAN 的通信技术为射频(radio frequency, RF)技术。

1.1.4 城域网

MAN 是可以覆盖城市的计算机通信网络,负责将一个城市内不同地点的网络设备或局域网连接起来,具有如下特性。

① 传输介质。MAN 以光缆为主要的传输介质。

② 传输范围。MAN 的传输范围较大,可以覆盖一个城市,甚至更广。

③ 传输速率。MAN 的传输技术为大容量的 Packet Over SDH 传输技术,可使其数据传输速度达到 100Mbit/s,甚至 1000Mbit/s。

1.1.5 广域网

WAN 是覆盖范围可以达到几十千米,甚至几千千米的一种远程网。PSTN 其实也是一种 WAN,Internet 是世界范围内最大的 WAN。WAN 的基本网络特性如下。

① 传输介质。WAN 可以利用的传输介质种类较多,如光纤、微波、卫星信道等多种途径。

② 传输范围。WAN 的传输范围可达世界范围,远超 LAN 和 MAN。

③ 传输速率。WAN 典型的传输速率介于 56Kbit/s~155Mbit/s,目前已有的最高传输速率可达 622Mbit/s、2.4Gbit/s,甚至更高。WAN 的数据传输速率往往比 LAN 的传输速率高,但是由于 WAN 的传输范围很广,传输产生的时延也比 LAN 或者 MAN 大很多。

1.1.6 卫星网络

卫星通信网就是利用人造卫星作为中继站,支持实现地球上不仅限于地面的任何两个或多个无线电通信站之间的通信技术。

① 覆盖范围。卫星通信距离远,覆盖范围几乎可以达到全球覆盖。在卫星系统的视区内,对于任何地面站而言,只要其与卫星间的信号传输满足技术要求,通信质量就能得到保证,因此通信站的建设受地面自然条件的影响程度大为减小。对于远距离、大范围通信,卫星通信相比地面电缆、光缆、短波、微波等通信方

式方便经济。在一些人迹较少,通信设施建设不完善的地方,卫星通信的优势更加明显。

② 传输速率。卫星通信采用微波进行信息的传输,因此传输速率与电磁波相同。

③ 通信容量。利用卫星网络进行通信时,由于卫星通信使用微波频段,可以使用的频带很宽,因此具有相对较大的通信容量。例如,C 和 Ku 频段的卫星带宽可达 500~800MHz,在 Ka 频段下的卫星带宽可达几个 GHz。

④ 通信方式。卫星网络由于其自身的特殊性,一般采用广播方式,可以实现多址通信功能。卫星网络由于其组网的特殊性,一颗在轨卫星的信号可以到达一定区域内的任何一点,进而提高卫星通信网组网的效率和灵活性。

1.1.7 WSN

WSN 是一种分布式传感网络,主要由传感器节点组成。WAN 受应用环境影响较大,一般采用无线通信方式传输数据,且在组网方面是一个多跳自组织的网络系统。需要注意的是,有些应用场景下的传感器数量十分庞大,并且各个传感器还实时的进行动态变化。与其他网络相比,这些都是 WSN 独有的特点。

① 无中心性和自组织性。在 WSN 中,所有的传感器节点在整体网络中都处于同一位置,地位均等。进行信息传输时,分布在各个不同的地理位置上的节点通过一定的算法相互协调,利用这种算法,节点可以自动组织起一个测量网络。

② 动态变化性。WSN 一般应用场景都具有高不稳定性特点,网络中的节点也随之不断变化。除此之外,综合考虑无线通信信道的不稳定性,WSN 具有很高的动态变化性。

③ 传输能力有限。WSN 利用无线电波进行数据传输,与传统有线的通信方式相比,无线通信的带宽就会低很多。由于 WSN 网络中信号分布较密集,不同的信号在传递过程中还会造成互相干扰。与此同时,信号自身也在不断地衰减,造成 WSN 的传输能力有限。在 WSN 中单个节点传输的数据量并不大,有限的传输能力基本可以满足网络需求。

④ 能量的限制。为了测量真实世界的具体值,各个节点会密集地分布于待测区域内,人工补充能量的方法已经不再适用。因此,要求每个节点都要储备可供长期使用的能量,或者自身从外汲取能量(太阳能)。

⑤ 安全性问题。无线信道、有限能量、分布式控制方式都使得无线传感器网络更容易受到攻击。被动窃听、主动入侵、拒绝服务则是这些攻击的常见方式,因此安全性在网络的设计中至关重要。

1.1.8 Ad Hoc 网络

Ad Hoc 网络与其他无线网络,以及有线固定网络相比,具有网络的自组织性、网络拓扑结构的动态变化性、网络传输带宽的有限性、网络传输方式的多跳性、分布式网络控制、移动终端设备的局限性、网络生存时间较短,以及网络安全性差等特点。

① 网络的自组织性。移动 Ad Hoc 网可以满足在任何时间、任何地点,以任意一种通信方式进行通信组网,其间并不需要人工干预或其他预设基础网络设施。

② 网络拓扑结构的动态变化性。在移动 Ad Hoc 网络环境下,设备终端会随机移动,导致网络链路频繁的连接或断开。同时,由于无线发送装置的多样化、发送功率的多样化,以及无线信道之间的相互干扰,最终导致网络拓扑结构的高度动态变化性。

③ 网络传输带宽的有限性。移动 Ad Hoc 网络底层通信手段采用的是无线传输技术,无线信道之间存在的信号衰减、碰撞、阻塞、噪声等因素,造成 Ad Hoc 网络的实际传输带宽比理论带宽小得多。

④ 网络传输方式的多跳性。由于移动终端设备发射功率有限,导致通信范围被限制。当目的节点不在起始节点的通信覆盖范围内时,就需要中间节点充当中继转发数据,形成传输方式的多跳性。

⑤ 分布式网络控制。移动 Ad Hoc 网络中任意节点地位相同,既是主机,又是路由器,没有绝对的控制中心。在这种分布式的结构下,出现任意单点故障都不会影响整个网络的运行。

⑥ 网络生存时间短。由于移动终端依赖于自身携带电池的能量运行,电池能量会限制每个节点的生存期,从而使整个网络的生存期也受到制约。

⑦ 网络安全性差。移动 Ad Hoc 网络不需要固有的基础设施,不能直接应用传统的网络安全方案,又因为无线信道防止网络攻击的能力本身就较为薄弱,导致移动 Ad Hoc 网络的安全性能较低下。

1.2 网络资源

网络要达到通信和信息共享的目的,必须具备传输能力、处理能力和存储能力,因此网络也必须具备传输资源、存储资源和处理资源的能力。通常状况下,对于任何一个网络,其功能与各种资源是相互匹配的。在此前提下,如果一个网络中存在资源不平衡的情况,不仅会造成大量的资源闲置和浪费,甚至会引起网络性能的下降。在我们周围存在不止一种网络,而每种网络都有各自不同的资源,

下面从不同的网络出发,简要介绍不同网络拥有的资源。

- ① 因特网。因特网拥有典型的网络资源,如域名、IP、存储、计算资源等。
- ② 移动互联网。移动互联网拥有的典型网络资源有信道、编码、网络信息资源。
- ③ 电信网。电信网拥有丰富的号码和用户资源。
- ④ 物联网。物联网拥有最特殊的网络资源就是传感器。
- ⑤ 卫星网络。卫星特有的通信信道及以卫星为主体的中继站资源是卫星网络中最特殊的网络资源。

在此我们先对网络资源进行简单的介绍,网络资源不仅是指网络中存在的各种信息资源,还包括构成网络本身所需的物理资源和逻辑资源。在后续章节中我们会对网络资源进一步介绍。

1.3 多维网络

多维网络概念是在维度概念的基础上提出的。维度(维)从数学层次而言是指独立的时空坐标的数目,每个坐标描述的便是一个维度的信息。因此,从更高角度来讲,维度是指一种视角,而不是一个固定的数字,是一个判断、说明、评价和确定一个事物的多方位、多角度、多层次的条件和概念。多维是指影响网络中资源共享和通信的多种因素,如通信介质、覆盖范围、传输速率、入网方式等。由于人们关注和研究无线网络的角度不同,因此形成了网络的多维属性。

无线网络受外界因素影响较大,不同时间段的网络性能和网络种类往往不同,因此无线网络具有时间属性。现阶段不同网络的覆盖面积不同,不同空间可能存在多种不同网络,多种网络也可能存在于同一空间,因此网络具有空间属性。网络的调制方式及通信频段等都会使这些网络存在多维的属性,由此提出多维网络概念。

1.3.1 网络的多维因素

随着计算机的普及和无线通信技术的迅速发展,接入网络的类型日益多样化,不同网络之间的差异也越来越大,下一代网络的发展趋势是朝着无线网络方向发展,支持无线、可移动性、异构性、多无线接入技术汇聚融合。各种网络在传输介质、覆盖范围、传输速率、接入方式、网络制式等方面均存在差异性,这些特性共同构成了网络的多维因素。下面对网络中存在的多种因素进行介绍。

1. 覆盖范围

不同类型的网络由于其应用场景及规模大小的不同,覆盖范围也不尽相同。

LAN 的覆盖范围比较小,一般在 2 千米以内,最大距离不超过 10 千米。

MAN 的覆盖范围可以从几千米到几十千米不等,比 WAN 的传输范围大,但比 LAN 的传输范围小。

WAN 的覆盖地域范围较大,覆盖范围从几十千米到几千千米,甚至几万千米不等。

卫星通信网是由一个或数个通信卫星和指向卫星的若干地球站组成的通信网,卫星通信的覆盖范围大,通信距离远,几乎可以达到全球范围。

2. 传输速率

传输速率是网络性能的一个主要指标。表 1-1 列出了几种代表网络的传输速率与出错率。

表 1-1 几种代表网络的传输速率与出错率

序号	网络类型	传输速率	出错率
1	LAN	10~100Mbit/s 传输速率较高	出错率低
2	MAN	Mbit/s~Gbit/s 中等传输速率	中等出错率
3	WAN	一般 56Kbit/s~155Mbit/s (可达 622Mbit/s、2.4Gbit/s, 甚至更高速率)	出错率较高

3. 接入方式

目前可供我们入网的方式主要有 PSTN、ISDN、DDN、LAN、ADSL、VDSL、Cable-Modem、PON 和 LMDS。不同接入方式的特点如表 1-2 所示。

表 1-2 不同接入方式的特点

序号	入网方式	特点
1	PSTN	利用普通电话线入网,不能同时上网和接听电话;入网方便、普及、便宜
2	ISDN	可以同时上网和接听电话;上网速度快
3	DDN	通信速率可变,用户可以根据自身需要在 $N \times 64\text{Kbit/s}$ ($N=1 \sim 32$) 中任意选择
4	LAN	利用光缆或双绞线为传输媒介;可提供 10Mbit 以上的共享带宽,并可升级到 100Mbit 以上;专线速率低
5	ADSL	通过普通电话线提供宽带数据业务的技术;数据传输带宽由每个用户独享;无须拨号,始终在线,支持上行速率 640Kbit/s~1Mbit/s,下行速率 1~8Mbit/s

续表

序号	入网方式	特点
6	VDSL	用铜线作为传输媒介,有效传输距离可以达到 1000m; 传输速率较高,短距离内的最大下传速率可达 55Mbit/s,上传速率可达 2.3Mbit/s,但端点设备的普及率低
7	Cable-Modem	一种超高速 Modem; 以现有的有线电视 CATV 网作为传输介质
8	PON	利用点对多点的光纤传输和接入技术; 下行采用广播方式,上行采用时分多址方式; PON 用户使用的带宽可以在 64Kbit/s~155Mbit/s 自由划分
9	LMDS	社区宽带接入的一种无线接入技术,每个终端用户的带宽可达到 25Mbit/s; 带宽总容量 600Mbit/s,每基站下的用户共享带宽

4. 网络制式

我国常见的无线广域通信网络主要有码分多址(code division multiple access, CDMA)、通用分组无线服务(general packet radio service, GPRS)和蜂窝数字式分组数据交换网络(cellular digital packet data, CDPD)等网络制式类型。

① CDMA 网络制式。CDMA 是在无线通信上使用的技术,允许使用者同时使用全部频带,并且把其他使用者发出的信号视为噪声,完全不必考虑信号的碰撞问题。CDMA 网络是中国电信运营的网络,之后又推出 CDMA 1X 网络系统,CDMA 1X 网络是对 CDMA 网络的升级,速度更快,容量更高。

② GPRS 网络制式。GPRS 是利用包交换发展的一套基于 GSM 系统的无线传输方式。GPRS 采用分组交换技术,具有实时在线、按量计费、快捷登录、高速传输、自如切换的优点。GPRS 理论传输最大传输速度是 171.2Kbit/s,实际使用中速度受外界环境影响,特别是与附近基站的载荷相关性较大,所以在实际的传输中网络传输速率比理论传输速度慢。

③ CDPD 网络制式。CDPD 是以分组数据通信技术为基础,利用蜂窝数字移动通信网组网的无线移动数据通信技术,被人们称为真正的无线互联网。CDPD 网是以数字分组数据技术为基础,以蜂窝移动通信为组网方式的移动无线数据通信网。使用 CDPD 只需在便携机上连接一个专用的无线调制解调器,即使坐在快速移动的车厢内,也可以正常上网。CDPD 拥有专用的无线数据网,信号不易受干扰,同时具有安装简便、反应快捷、终端系统灵活等诸多特点。

5. 通信协议

网络通信协议是一种网络通用语言,为连接不同操作系统和不同硬件体系结构的网络提供通信支持,是一种网络通用语言。网络通信协议也可以理解为网络