一言难尽的TDMA（第一回）——《马路上的卫星》之二

原创 一席VSAT 卫星与网络 2019-08-08

收录于话题

#马路上的卫星

8个 >

融入人民生活，推动文明进步

——谈“航天+”的理念与实践设想

2015年3月，《卫星与网络》杂志在腾讯、搜狐、新浪、和讯等100多家网站与相关媒体重磅推出了“航天+”理念及系列专题共6篇深度阐述文章，并于2015年6月和7月分两次，刊发于《卫星与网络》杂志。为了持续不断地推广航天+的理念与实践设想，《卫星与网络》公众号自2015年起，持续多次将这些深度文章推送给各位读者，链接如下，期待交流：

新的社会形态将如何发生？
浅结合、深结合与融合
新常态下的“航天+”
鼓励创新，也包容失败
中国航天产业突围正逢时
航天技术民用的新发展、新机遇

（卫网君温馨提示：点击标题可直达内容哦）

作者 | 一席VSAT
本文原载于《卫星与网络》杂志2019年6月刊

“客有歌于郢中者，其始曰《下里》、《巴人》，国中属而和者数千人。其为《阳阿》、《薤（xiè）露》，国中属而和者数百人。其为《阳春》、《白雪》，国中有属而和者，不过数十人。引商刻羽，杂以流徵，国中属而和者，不过数人而已。是其曲弥高，其和弥寡。”

——《宋玉对楚王问》

上面是战国时期宋玉和楚王之间很有名的一段对话。对话虽短，但却包含了好几个成语——阳春白雪、下里巴人和曲高和寡，而用这三个成语来形容移动通信技术的发展倒是颇为贴切。

的确，移动通信刚开始第一代（1G）的时候，采用的是最为简单的FDMA（频分多址）技术，那时懂得其原理的人不计其数，几乎所有人都能说出个子丑寅末，可谓下里巴人；但等到了2G以TDMA（时分多址）技术为主的时候[1]，懂得其原理的人就一下子少了许多，只有为数不多的人才能真正理解，可谓阳春白雪；而等到了3G的CDMA和4G的OFDMA的时候，一般人也就只知道个词儿了，真正懂得其原理的人已然凤毛麟角，可谓曲高和寡。

这一现象同样也适用于卫星通信。虽然卫星通信的起源早于移动通信，但其发展却远没有移动通信那么快，迄今为止常见的技术也仅仅只相当于移动通信中1G的FDMA和2G的TDMA。而SCPC[2]、MCPC[3]、MF-TDMA[4]、TDM/TDMA[5]、TDM/MF-TDMA、DVB/RCS[6]等等，则基本上仍是这两种技术的变形和组合，并没有什么本质上的改变。

在卫星通信的所有体制中，TDMA技术，尤其是纯TDMA技术[7]最为复杂，相比于SCPC、MCPC等FDMA技术都要难懂得多。不过虽然看似复杂，但倘若用马路交通来作比喻，理解起来也并非难事。

马路上的TDMA

如果我们把天上的卫星比作一座城市，那么卫星上的那些转发器就好比是这座城市中的一条条大街。在这些大街上都铺设有宽宽的马路，而马路上则划分有好几条车道。这些车道有的宽，有的窄，有的可以行驶高速的机动车，有的则只能通行低速的非机动车，而这就好比卫星上不同带宽的频率信道。

马路两旁有各种各样的单位，如酒店、商场、学校、医院、政府机关、写字楼等等。这些单位就好比是卫星网中的各个地面站，这些单位中各种各样的物品就好比是地面站中的数据、话音和图像等业务，而这些单位中负责运送物品的车辆就好比是把业务发射上星的载波。这里的对应关系是：

★ 卫星转发器——马路
★ 卫星信道——车道
★ VSAT卫星地面站——单位
★ 载波——车辆
★ 用户业务——单位中的物品

有的单位大，物品多，数据、话音、图像，大大小小、形形色色什么货都有；有的单位小，物品少，只有零零星星一点点数据。这些单位虽然有很多不同，但有一点却是一样的，那就是出门儿在外都要上马路。

01 基本的TDMA

来自不同单位的车辆在马路上行驶的时候都是一辆接着一辆，按照一定的顺序分时占用车道，这就是TDMA（时分多址），即按照“时”间把马路上的车道划“分”给“多” 个不同地“址”的单位。（参见图1）

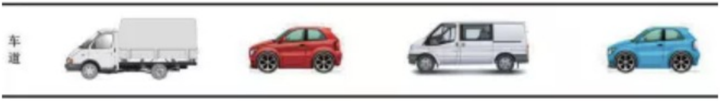


图1 TDMA（时分多址）示意图

这样的车道如果不止一条，而是有多条，就叫MF-TDMA（多频时分多址）。（参见图2）为了避免追尾，在同一车道上行驶的车辆必须保持相同的速度，这就是TDMA同步（Synchronization）。

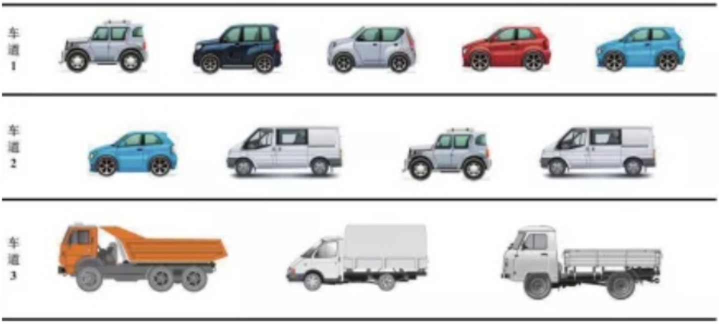


图2 MF-TDMA（多频时分多址）示意图

而为了实现TDMA同步，就必须有一个能够让大家都听从的统一口令，比如“齐步走”和“一二一”等，这就叫作同步参考（Reference）。而负责喊发这一口令的站点就叫作同步参考站（Reference Station）。在一些VSAT网络中，同步参考站也被叫作网络控制中心（NCC—Network Control Center）、网控站（Network Control Station）或主控站（Master Station）等等。

当有多条车道时，车辆从一条车道转移到另一条车道上继续行驶，就叫作MF-TDMA中的跳频（Frequency Hopping）。（参见图3、图4）单位把车辆从路边驶入车道的方式有好几种，有随机式的、固定式的等等。这些在卫星通信中就叫作信道的访问方式（Access Scheme），有关详情将在后续章节中逐一介绍。

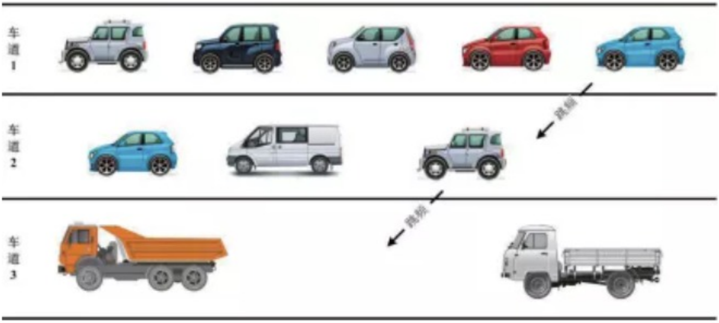


图3 MF-TDMA跳频之前

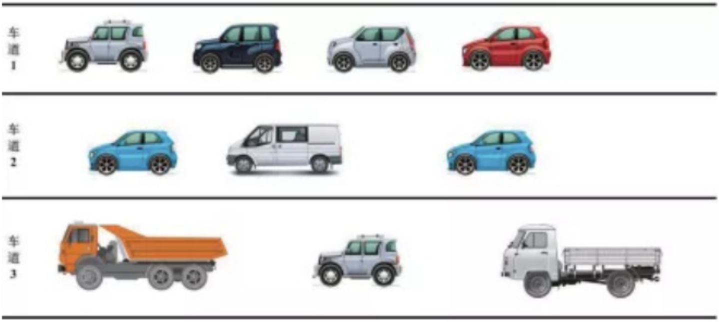


图4 MF-TDMA跳频之后

如果车道不是被一个单位所独占，而是为多个单位所共用，则为带宽共享（Bandwidth Sharing）。带宽共享的方式也有很多，包括DAMA[8]和PAMA[9]等等。其中，根据各个单位的出车要求和实际车流量，把车道上的空间和时间按需进行分配，就叫作带宽的按需分配（DAMA和BoD）[8]；但倘若不管单位的实际需要，就把车道上的空间和时间预先固定地摊派给各个单位，则叫作带宽的固定分配或预分配（PAMA）。

当然，带宽也可以不共享。比如某条车道在一段时间内被一个单位独占，即仅允许该单位的车辆在这条车道上行驶，其它单位的车辆全部禁行，就是带宽不共享。如前所述，在TDMA中，车道本来是可以按照DAMA或PAMA方式为多家单位所共享的，但倘若把整条车道都只分配给一个单位使用，即该车道上只有一个单位的车辆行驶时，通信模式就和FDMA技术中的SCPC相似了。不过其间的差别是，虽然TDMA可以被当作SCPC使用，但SCPC却不能反过来变作TDMA。

如果某条车道发生了拥堵，大家自然而然地把车辆转移到其它较为宽松和通畅的车道上继续行驶，从而使各个车道上的流量趋于平衡，这就叫作负载均衡（Load Balancing）。（参见图5、图6）

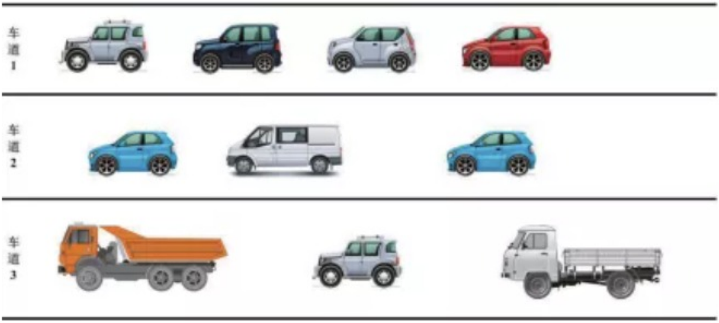
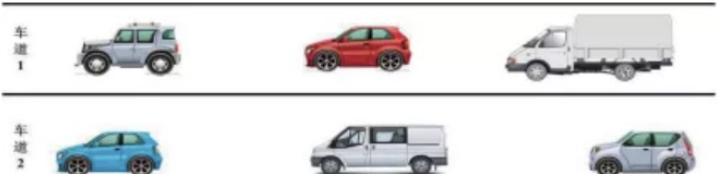


图5 负载均衡（前）



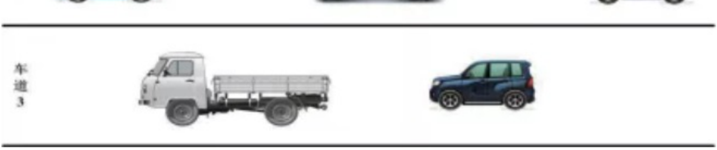


图6 负载均衡（后）

某些车辆与众不同，有的带有特殊标志，比如闪灯鸣笛的救护车和消防车；有的则出自特殊场所，比如从皇宫里开出的贵宾车队。相比于其它普通车辆，这些特殊车辆具有更高的级别，可以优先占用车道通行，而其它车辆则必须让行，这就是QoS。

QoS直译为服务质量（Quality of Service），而其含义则是指：由于不同种类的业务具有不同的性质，对网络的要求也不一样，如话音和视频会议等实时业务对于带宽、时延和抖动的要求很高，而文件传输、电子邮件和网页浏览等非实时业务则要求相对较低等，所以这些业务可以被划分为不同等级，在分配带宽时予以区别对待。如前文提到的PAMA，以及图7中所示的消防车和救护车为灭火消防和抢救病患而优先占用车道2的情形， 就是两种优先级非常高的QoS。（参见图7）

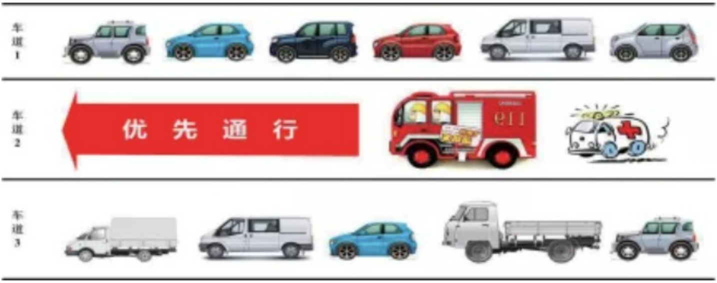


图7 QoS（服务质量）

02 TDMA的“能出没”

TDMA技术广泛出没于星状网和网状网等各种茂密的VSAT卫星通信网络中。

每条马路上都汇集着各种各样的车辆，这些车辆从四面八方来，到四面八方去。当它们必须经由某一交通枢纽（Hub）进行中转才能到达目的地的话，这就是星状网；而如果它们

不必经由Hub中转即可直达目的地的话，这就是网状网[10]。（参见图8）

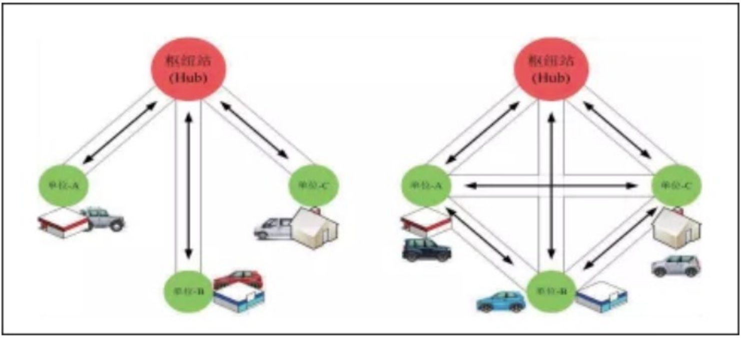


图8 星状网（左）和网状网（右）

在历史上，大型的稀路由星状网多采用TDM/TDMA技术，其中TDM意为时分复用，是主站（Hub）将发往所有VSAT远端站的信息在时间上进行复用后，以广播的方式发送出去，所以其占用的信道及发射的载波被叫作出境信道和出境载波，英文上则有Outbound、Outroute和Downstream等多种叫法（见图9左）。与出境信道和出境载波相对应，VSAT远端站回传给主站所占用的信道和发射的载波叫作入境信道和入境载波，英文上也有Inbound、Inroute和Upstream等几种叫法，而TDMA则其实只出现在了入境信道里，即只是VSAT远端站在向主站回传信息时才是TDMA方式（见图9右）。所以说，TDM/TDMA星状网实际上只有一半采用了TDMA技术，并不是纯正的TDMA网。

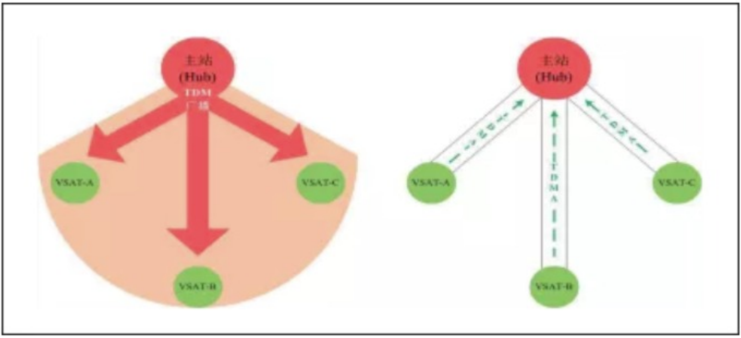


图9 TDM/TDMA星状网中的出境（左）和入境（右）

而纯正的TDMA网，不管是星状网，还是网状网，包括主站和VSAT远端站在内的所有站点发射出来的载波都是TDMA（参见图10）。

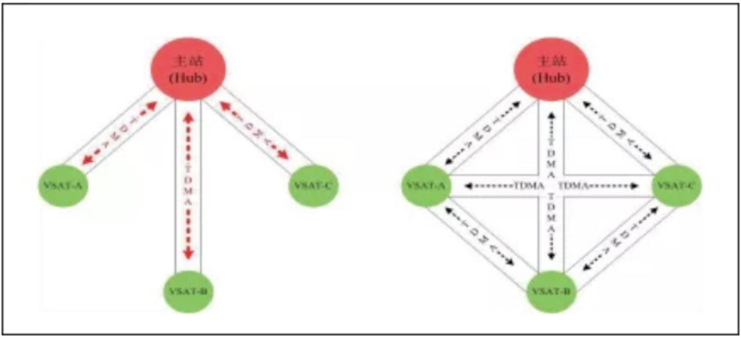


图10 TDMA星状网（左）和网状网（右）

不仅于此，必须提到的是，即便是在很多的SCPC网络中，也有用到TDMA技术。比如在SCPC/DAMA网络中，虽然每个站点的主要业务都是通过SCPC载波进行传输的，但主站和VSAT远端站相互之间的信令传输，却常常是专门通过一个小型的TDM/TDMA网络来支持的，而其中VSAT远端站至主站方向的入境信令，则相应的也是TDMA方式。

最简单的TDMA

常常听到一些有关TDMA相互矛盾的说法：有的说TDMA技术适合于简单的、稀路由的、业务量很轻的VSAT小站应用，比如超市、加油站和农村电话等；有的则说TDMA技术适合于复杂的、综合的、业务量较重的大型地面站应用，比如石油天然气、航空管制和电信骨干网等。这一轻一重，一大一小，可谓冰火两重天，很容易令人迷惑和不知所措。可实际上，这些看似矛盾的说法都没有错，它恰恰发映出了TDMA技术宽广的适应性。所以，下面就从几种最常见的TDMA通信方式出发，揭示一下TDMA技术在不同场合中的运用。

01 从A开始

“When you read you begin with A-B-C,when you sing you begin with Do- Re-Mi.”读书先学A - B - C， 唱歌先学哆 - 来 - 咪。这是电影《音乐之声》歌曲“哆来咪”中

的一句歌词，它告诉我们凡事都应从A开始，所以我们首先就先学习一个英文单词-Access。

这是一个在无线、蜂窝、移动和卫星通信网络中出镜率都非常高的词汇，FDMA、TDMA、CDMA、PAMA和DAMA中最后的那个A就都是Access。Access本意为“存取”，在卫星通信中则常被译作“访问”或“接入”，其意是指网络中的各个站点在发射载波时，是以何种方式去访问、占用和分享卫星的带宽资源和功率资源的。比如FDMA为频分多路访问（或接入）方式，TDMA为时分多路访问（或接入）方式，CDMA为码分多路访问（或接入）方式等，而专业术语则都分别简称为频分多址（FDMA）、时分多址（TDMA）和码分多址（CDMA）等。

因为本文只介绍TDMA，所以就以马路交通为例专讲各个单位的车辆是如何以时分多址的方式去占用车道的，而这其中则又可进一步细分为随机访问（RA）、固定访问（DA），以及这二者相互组合而得到的几种访问方式。

02 RA随机访问方式- Aloha

如果每个单位在开车上路时从不听从什么调度或指挥，也从不预先观察一下路况，而是随心所欲就往马路上冲，那么这就叫作随机访问（RA- Random Access）方式。（参见图11）

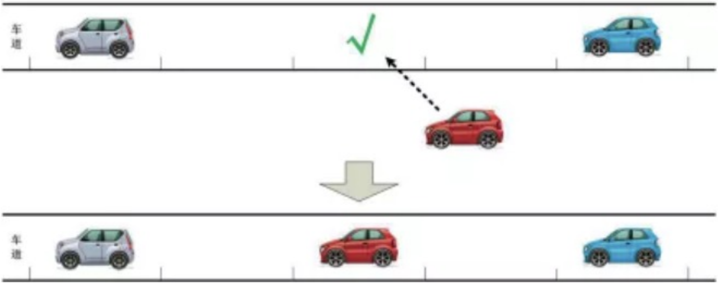


图11 RA随机访问方式

VSAT网络中有一个非常有名的随机访问技术叫作Aloha。Aloha很有趣，应用也很广，在TDM/TDMA、SCPC/DAMA和TDMA/DAMA网络中都能见到它的身影。这里首先引用几段与Aloha有关的叙述：“因为世界上最早的无线电计算机通信网络是1968年由美国夏威夷

大学研究的，目的是希望通过无线广播、无线通信和分组交换计算机网络，实现一点到多点的数据通信，使得散布在夏威夷群岛上的多个用户都能够访问并使用中心计算机，从而解决这些岛屿之间的通信问题，故以当地人的问候语Aloha命名。”

“Aloha技术于70年代初研制成功，成为最早和最基本的无线数据通信协议，之后又进行了一些改进，出现了时隙Aloha、预约Aloha等技术，并被广泛应用于卫星通信网络中。如在TDM/TDMA星状网中的TDMA入境信道上，以及SCPC/DAMA网络的TDMA信令信道上，就常常采用Aloha 技术。”

这里不妨用一个住户较多、分布却较为分散的太平洋别墅小区来给Aloha技术打个比方（图12-14）：

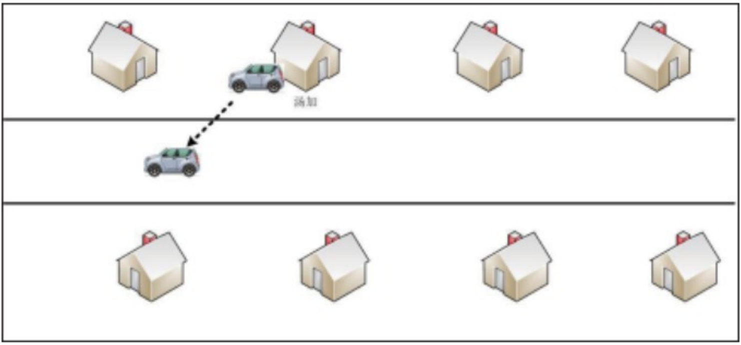


图12 Aloha无碰撞

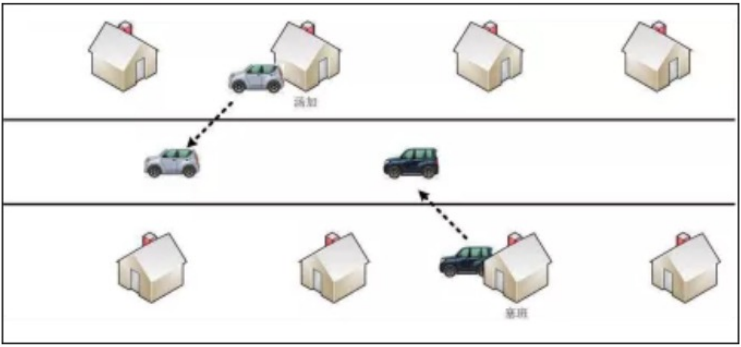


图13 Aloha几乎无碰撞

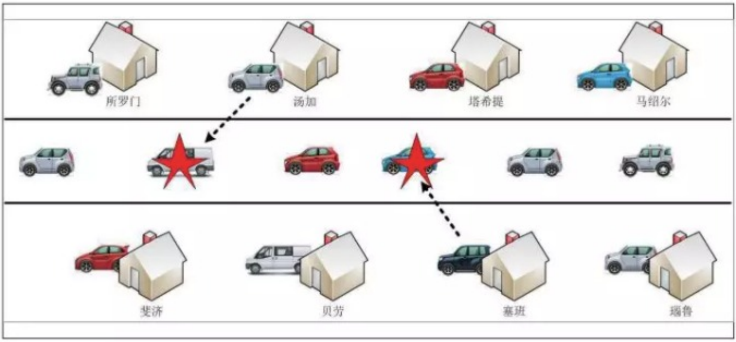


图14 Aloha有碰撞

起初，小区里只有一家名叫汤加的住户（图12）。由于只有一户人家，没有邻居，所以没有什么过往车辆，汤加可以独享小区中的车道。尽管冷清，但好处却是汤加在开车上路时可以非常随意，直接往路上冲就行（亦即RA随机访问），而从来不必担心和其它车辆发生碰撞。

但不久，小区搬来了一户名叫塞班的邻居，这就变成了两户人家共用小区中的车道。尽管汤加和塞班谁都没能独享车道，但由于每户人家的私车都只有两三辆，平时车道上仍然还是没有什么过往车辆，所以开车上路时还是可以很随意的，基本不会发生碰撞（图13）。

但随着小区的日益兴旺，入住的人家越来越多，汤加和塞班的旁边又陆陆续续搬来了马绍尔、贝劳、所罗门、瑙鲁、塔希提、斐济等等更多的新邻居，小区中的道路也日益繁忙，过往车辆也逐渐增多。这时，如果各家各户还是冒冒失失、随随便便就开车上路的话，就容易与其他人家的车辆发生碰撞了。随着住户及车辆的增多，发生碰撞的几率也就越来越大（图14）。

发生碰撞后，Aloha的处罚方式也很简单，那就是碰撞车辆必须全都撤回各家，在等待一段时间以后才可以再试一次重新上路，这就叫重传（Retransmission）。由于是推迟了一段时间之后的重传，而且还是随机的，所以再次碰撞的可能性就会减小，而成功上路的机会也就会相应增大。

当然有可能在重传的时候再一次发生碰撞，那根据Aloha的罚则就都再撤回各家，等待一段时间之后再次重传。不过按照规定，这一回的处罚力度就要加大了，等候时间就要延长

了，比如要在前一次等候时长的基础上再推迟一倍，才可以再次重传。即每撞一次，就推迟一倍。如此加倍加倍再加倍，推迟推迟再推迟，只要传输尚未成功，加倍推迟仍需努力，直到传输成功为止。

显然，这样做是有代价的。一个就是时间被耽误了，即传输时延会变长。如果是交互式通信，还需要等候回信儿的话，那响应时间也就更慢了；另一个就是空间也被浪费了，即在发生碰撞的那段时间里，因为乱七八糟全是乱码，信号根本无用，所以带宽也就被浪费掉了。随着碰撞的增多，响应时间和整个信道的利用率都会逐渐恶化，而根据理论计算，卫星信道的利用率在采用时隙Aloha技术时最高也只有36.8%（11）（见图15，有关时隙的含义在后文中有相应介绍），即卫星信道中将近2/3的带宽都被浪费了。

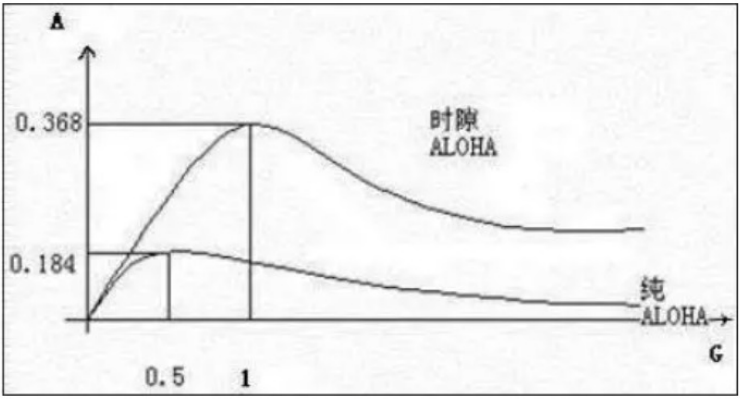


图15

既然可能会出现碰撞，响应时间随之也会变慢，信道利用率也很低，那为什么还要用Aloha这么个劳什子？这是因为Aloha虽然看起来有些冒失，吊儿郎当不着调，但却有着两个相当可贵的优点和诱人之处。

一是倘若出门撞大运没有碰上其它车辆，那么信号就可以被一次性地成功发送出去了。由于是先斩后奏，没有什么先申请、再批准、后发送等来来往往、反反复复、啰里啰嗦的过程，所以Aloha在卫星通信中反而能够成为一种传输时延最短，响应时间最快，完成业务最为干脆利落的上佳选择了。

二是当用户的业务都是非常随机的、零零散散的、小数据量的业务时（即术语中常说的稀

路由业务），“仅需很少带宽即可支持大量用户”，这对于追求一本万利的VSAT网络运营商和服务提供商来说诱惑力太大了，而典型应用则是遍布全国的成千上万家超市连锁店和加油站等信用卡交易业务。（图16）

图16 加油站和超市连锁店

比如购物客户在某一超市挑选好一大堆商品后排队等待付款，而营业员从开始点货到结束收款，麻利点儿的话大概也需要一两分钟的时间。如果是用信用卡结算，则整个交易过程就是超市的VSAT远端站与总部的Hub中心站之间往返几次的信用卡信息传递，而每次传输的信息量只不过几个到几十个字节而已。显然，为这样的站点分配固定的带宽并不合算，因为它并不是持续或固定频率的业务，业务发生了数据量也不是很大。所以针对这种典型的、大型的稀路由数据业务，利用很少很少的带宽，采用Aloha 这样的随机访问技术来支持是再合算不过的了。

如果专业一点儿的话，在TDMA网络中通常会整出个帧结构，画出其中的时隙组成。如图17所示即为RA随机访问时示意性的TDMA帧结构（注意这里仅仅是示意性的，并不严格）。

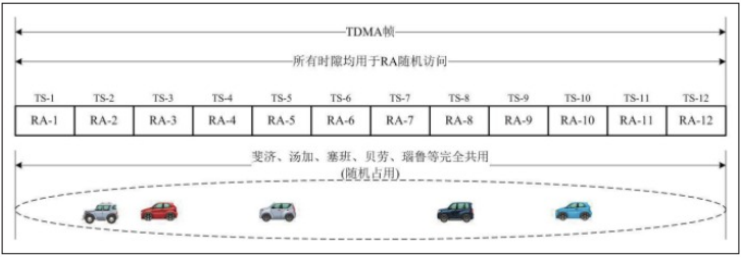


图17 全RA时隙TDMA帧结构

如图17所示，在TDMA网络中， 沿着时间可以把信道划分成为一个接一个的小小的时间段，这些时间段被称作时隙（Time Slot，缩写为TS），其大小单位可以用“比特/秒

（bps）”来表示，如16kbps时隙、64kbps时隙等。这些时隙可以是等长的，也可以是不等长的。在TDMA网络中，带宽就是以时隙的数量来表征的，比如站点-A占用了1个16kbps时隙传输话音，或站点-B占用了6个64kbps（共计384kbps）时隙传输视频等等。这与在SCPC和MCPC等FDMA频分多址网络中带宽以频率的宽度来表征，如某个站点发射的载波的带宽是多少kHz或多少MHz是不一样的。

在图17所示的帧结构中，从TS-1到TS-12的所有时隙都是RA时隙，意思是说这里的每个时隙都是自由的，都可以被用于任意站点的随机访问。

看到这里，对于在采用Aloha技术的TDMA卫星通信网络中出现碰撞，虽然大家会感到无可奈何（花落去），但如果对计算机网络通信有一些了解的话，或可对Aloha有一种似曾相识（燕归来）之感。因为在计算机通信中，以太网的数据链路层上就有一种叫作CSMA/CD带冲突检测的载波侦听多路访问的技术（英文原文为Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection），其实就与卫星通信中的Aloha技术同诞生于那所夏威夷大学。但二者不同的是，CSMA/CD进行了一些改进，多了个载波侦听的前奏，即计算机终端首先要侦听一下以太网总线上是否已经有数据业务在传输，只有发现总线处于空闲状态时才可以发射数据。

而在很多卫星通信网络中，比如在典型的TDM/TDMA星状网的Aloha操作中，由于VSAT远端站只能接收主站从另外一个独立的信道中专门发出的TDM出境载波，而接收不了TDMA入境载波，所以无法直接知道TDMA入境信道（相当于计算机网络里的以太网总线）上的忙闲状态，因而就只好简单处理，没摸着石头就过河。

当然，通过接收主站的TDM载波，VSAT远端站也可以间接获知TDMA入境信道中哪些时隙可用，哪些时隙不可用，从而避免发生冲突，提高信道的利用率。但这一过程是被动的，和以太网中CSMA/CD中的主动侦听还是不一样的。

VSAT卫星通信网络中的这一原理和过程，会在以后的章回中做进一步介绍。不过籍此或许大家都已经可以感觉到，在卫星通信网络、无线通信网络，以及移动通信网络，甚至地面有线通信网络和计算机通信网络中，其实有很多技术都是相通的。

卫星通信并不是那么的高高在上、遥不可及、神秘莫测，而是完全可以走下神坛、返璞归真，和大家融合在一起天地一家亲的。理解这一点并进行更加宽广的探讨和深入的研究，对于在不久的将来部署LEO（低轨）和MEO（中轨）卫星星座，实现天地一体化会是十分有益的。

03 DA固定访问方式- TDMA/ PAMA

但是，如果VSAT远端站并不是稀路由业务，而是另外一种截然不同，甚至完全相反的情景，即每个站点的业务都是持续不断的，或者都是非常繁重的重型业务，例如：

- 电信骨干网中的E1数字电路：业务量为每路2.048Mbps；
- 专用通信网中的视频会议：业务量为每路256kbps~2Mbps；
- 应急通信网中的高清视频传输：业务量为每路2Mbps~20Mbps；
- 数据采集（SCADA）网中的实时数据采集和实时视频监视：每路业务量不大（如4.8~128kbps），但却连续不断，要求持续和稳定的高QoS优先级带宽保证；
- 数字集群、一键通（PTT）、HF/VHF话音通信和雷达数据传输：每路业务量不大，如话音为8kbps，数据仅为2.4~16kbps等，可一旦出现， 就要求稳定的带宽、固定的时延和极小的抖动（jitter）等最高QoS优先级保证；
- 等等……

在这些情况下，倘若还采用任性的Aloha技术无拘无束、自由散漫、恣意妄为的话，可就要出大麻烦了。可以想象，在各个单位都有浩浩荡荡的大队车辆蜂拥而至、横冲直闯的马路上，碰撞一定会频频发生，交通一定会严重阻塞，直至最后完全瘫痪（参见图18），就像在获悉申奥成功之后北京长安街上的那个夜晚。而在时隙Aloha中，随着业务量的不断增长，TDMA信道的利用率在达到36.8%的最高值后就会开始下降，业务就会越来越难以传出，响应时间也会越来越慢，而带宽也就会越来越多地被浪费掉。

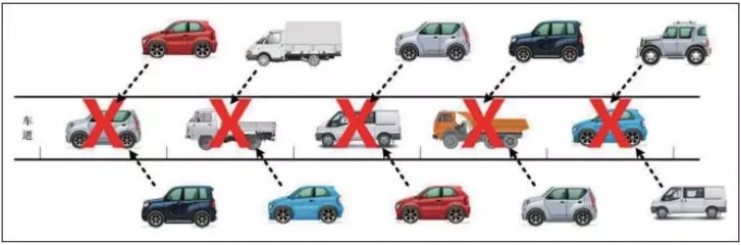


图18 Aloha严重碰撞

当然解决这一问题最简单的办法就是征用土地、拓宽马路、增加车道，以获得更多带宽，缓解交通压力。但这种作法未免有些粗暴，不仅经济性差，而且还容易引发民怨。所以Aloha这样的随机访问技术并不适用于业务量持续稳定或非常繁重的卫星通信网络，而在这种情况下，对应于RA随机访问方式，还有一种DA固定访问方式可供采用。

如果预先划分好时间段（时隙），并计划好每个单位只允许在其中的一个或几个固定的时间段里才可以开车上路，其它时间则必须按车不动，那么在TDMA中这种访问方式就叫作固定访问（DA- Dedicated Access）（13）。为了能够对剪不断、理还乱的TDMA技术由浅入深、循序渐进地进行了解，这里暂且先描述一种DA固定访问中最为简单和原始的形式-PAMA。如图19所示，在这种DA方式中大家都事先做好了约定，在行车的时序上都预先进行了规划并固定进行了分配，所以各个单位只要按时开车上路，就不用担心遭到碰撞。即时隙在这种DA方式中不会因碰撞而被浪费，所有时隙都能用于传输业务，故信道利用率在除去额外开销（14）的情况下可以达到100%。这对于支持各站均有连续不断的、持续稳定的，以及业务量很重的应用是十分有益的。

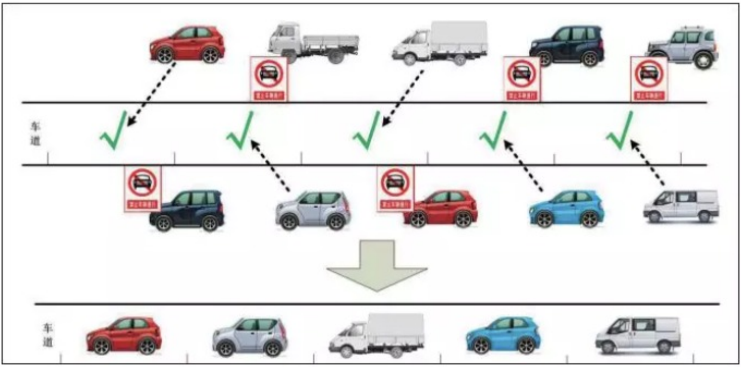


图19 DA固定访问无碰撞

比如TDMA技术早年就曾经在电信骨干网中应用于洲际间、国际间和城际间的局用交换机互联，支持大型电信关口站之间的E1/T1干线电路连接及业务传输，而国家与国家之间，都市与都市之间的话音通信则可谓日日夜夜、奔流不息，是非常典型的重型业务。

例如，一条标准的E1数字中继电路的速率为2048kbps，可同时承载30路传统的64kbps（PCM编码）话音。如果在卫星转发器上开设一路速率为120Mbps的高速TDMA信道，即使在没有采用数字压缩、数字插空（DSI）、按需分配（DAMA）、统计时分复用

（STDM）等技术的情况下，也能够在几座大型关口站之间同时传输1800路话音。

倘若平均到4个站点，则每个站点在使用一个TDMA Modem的情况下就可以实现与所有其它站点的全网状网连接，并传输450路话音，或15条E1电路。由于各个站点以及卫星转发器上均为单载波操作，无需考虑多载波回退，所以网络的传输容量，以及地面站功放和卫星转发器的功率效率都远远优于FDMA网络。

二三十年前，在地面通信网络还不发达的时候，当时的邮电部设置在北京、上海、广州和乌鲁木齐的4座电信关口站采用的就是这种高速TDMA的卫星通信方式。

如图20所示即为这一DA固定访问方式的示意性TDMA帧结构：如图所示，从TS-1到TS-12的所有时隙都是DA时隙，而且每个时隙都已经被预先分配给了某一站点，并只用于该站点的业务传输。这就是前面提到的PAMA，其英文全称 为 “Preliminary Assigned Multiple Access”，意为预分配多址。如TS-1至TS-3被预先分配给了北京，专用于北京传输业务；TS-7至TS-9被预先分配给了广州，专用于广州传输业务等等，以此类推。

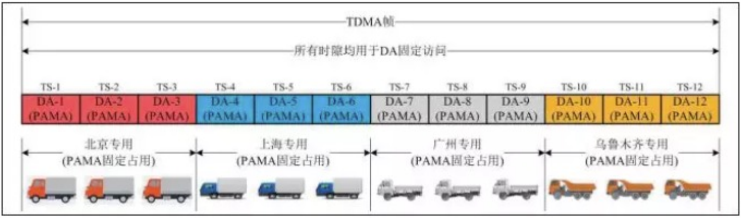


图20 全DA时隙TDMA帧结构

由于每个时隙相当于被永久地、固定地分配给了某个站点，所以在英文中也有把这种方式叫作“Permanent Assigned Multiple Access”，其中Permanent译为永久的、不变的，全文缩写也为PAMA，而实际功用则与预分配是一样的。又因为这个PAMA出现在了TDMA网络中，所以又常被连写成TDMA/PAMA，意为在TDMA网络中采用了时隙（即带宽）预分配技术 [15]。

注意这里的时隙并不一定被平均PAMA，而是可以根据各个站点的业务量，有的站点分得多，有的站点分得少，如图21所示。

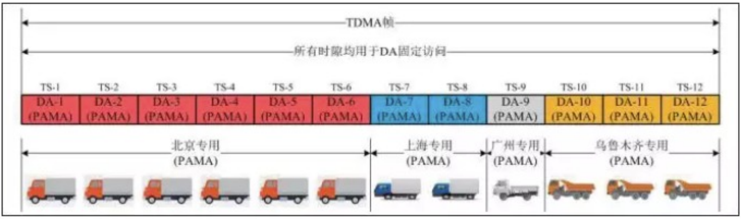


图21 DA时隙的不平均PAMA分配

甚至在极端情况下，所有时隙都被PAMA给一个站点使用，即整条车道都被某一单位独占，而不与其它单位共享，那么此时的情形就相当于SCPC（单路单载波）或MCPC（多路单载波）（16）了，如图22所示。

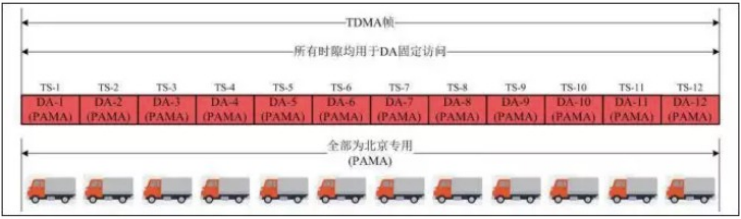
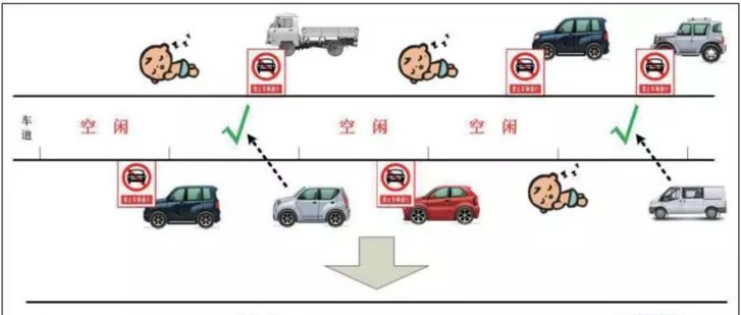


图22 DA时隙全部PAMA分配给一个站点

虽然相比于RA中的Aloha，在DA的PAMA方式中马路上不会发生碰撞，可倘若预先分配给某个单位的时间段已到，但该单位却没有开车上路，那么这个时间段上的马路就会出现空闲，因为按照约定，别的单位此时此刻都必须按车不动。反映到卫星信道上则是出现了空闲的时隙，也就是带宽上产生了浪费。（参见图23）



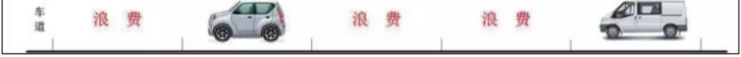


图23 DA固定访问中的时隙浪费

如此一来，RA有浪费，DA中的PAMA也会有浪费。那又该如何是好呢？且听下回分解。

后记：高速TDMA和低速TDMA的变迁

如前所述，虽然高速TDMA系统的传输容量很大，地面站功放和卫星转发器的功率效率也都很高，但由于每个站点不管其实际业务量有多少，Modem出口的突发速率都必须一样高，所以都需要安装大口径天线（如16~32米）和配备大功率功放（如700~3000瓦）。加之早期的TDMA技术在很多方面还不是十分先进和成熟，如解调门限高和同步不稳定等，除了需要配备大功率功放外，还需要配置高精度的时钟，所以地面站不仅造价高昂，维护起来也非常麻烦，因而只适用于站数很少的场合，没能被广泛地应用于VSAT领域中。

与之形成鲜明对比的，反倒是低速的TDMA技术在稀路由的VSAT星状网中却得到了相当广泛的应用，这就是前面讲到的Aloha。相对于在只有少数几个站点之间传输重型业务的网状网，TDMA在大型星状网中支持千百个VSAT远端站向中心站（Hub）传输稀路由业务，则完全是另外一番光景。

由于VSAT远端小站的业务量非常稀小，发射的TDMA载波的速率只有几kbps至几十kbps，最多也不过几百kbps，而且又由于是星状网，VSAT远端站只需与中心站互通，而中心站安装的又通常是大口径天线和大功率功放，所以VSAT远端站的收发压力就可以减轻很多，只需要安装一面小口径天线（如0.6~1.8米）和一枚小功率功放（如0.5~2瓦）就可以了，实现起来比网状网的TDMA要轻松得多。（参见图16中的天线）

但是，随着TDMA技术在多频TDMA（MF-TDMA）、纠错编码和时钟同步等诸多方面的不断进步和成熟，如今即使是相当高速的TDMA网络也不必配备大功率的功放和高精度的时钟了。由此而导致的费用下降，则使得TDMA无论在稀路由业务网络，还是在重型业务网络都能够一显身手，得到越来越广泛的应用。

注释：

[1]2G移动通信网络以TDMA技术为主，但也有一些运营商的2G网络部分采用了CDMA技术。

[2]SCPC意为单路单载波（Single Channel Per Carrier），属于FDMA频分多址通信体制。

[3]MCPC意为多路单载波（Multiple Channels Per Carrier），属于FDMA频分多址通信体制。

[4]MF-TDMA意为多频时分多址（Multiple Frequency TDMA），是有多路频率信道的TDMA技术，相当于TDMA+FDMA两种通信体制的组合。

[5]TDM意为时分复用（Time Division Multiplexing）。

[6]DVB意为数字视频广播（Digital Video Broadcasting），RCS意为通过卫星信道回传（Return Channel via Satellite）。DVB/RCS是一种国际标准化的TDM/TDMA卫星通信系统，其出境统一采用DVB标准（包括DVB-S、DVB-S2和DVB-S2X等），而入境则统一遵循RCS标准，其目的是期望不同厂家所生产的主站和VSAT远端站设备能够在同一网络中彼此兼容互通。而本质上，DVB/RCS则仍属于TDM/TDMA 卫星通信体制。

[7]卫星通信中的TDMA技术包括纯TDMA（含MF-TDMA）和TDM/TDMA（含TDM/MF-TDMA）两种。其中纯TDMA技术是网络中的所有站点及所有方向上的载波均为TDMA方式；而TDM/TDMA技术则只有VSAT远端站发往主站的入境载波才为TDMA方式，主站发往VSAT远端站的出境载波则为TDM连续载波，仍需以频分方式独占一段带宽，所以整个体系并不是纯正的TDMA。

[8] DAMA意为按需分配多址（Demand Assigned Multiple Access），BoD意为带宽按需分配（Bandwidth on Demand）。虽然两者在按需分配方面功能一样，但BoD则更突出了带宽的分配会根据实际业务量的变化而进行调整。

[9]PAMA意为固定分配多址（Permanent Assigned Multiple Access），或预分配多址（Preliminary Assigned Multiple Access）。

[10]有关网状网的辨析可参阅《马路上的卫星之4—从路由看网络》。

[11]在采用时隙Aloha技术时，TDMA信道的利用效率$A=(1/e)\times100\%=36.8\%$。有数学控的读者如果想知道这个可爱的e是个什么劳什子，1/e又是怎么得来的话，就请自行查阅资料和推导吧，据说跟个什么叫泊松分布的有瓜葛。

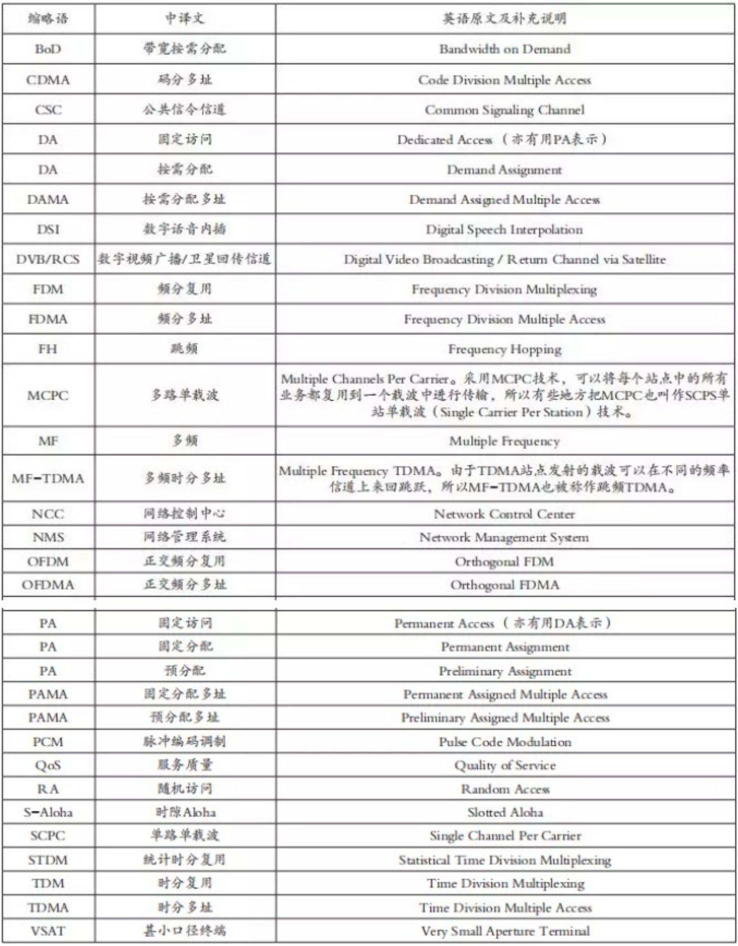
[12]DA在有些地方也是Demand Assignment(按需分配)的缩写，很容易与这里的Dedicated Access(固定访问)相混，所以需要额外注意。

[13]TDMA中的额外开销包括TDMA包头和时隙保护间隔等。

[14]倘若这样的PAMA发生在SCPC网络中，则被写作SCPC/PAMA。

[15]SCPC和MCPC是有差别的。有些实为MCPC的VSAT系统，却常常被有意或无意地叫作SCPC，从而引发不少误解，其缘由可参阅《马路上的卫星之3-SCPC单车和MCPC班车》。

附录：英文缩略语及中译文注释一览表



缩略语	中译文	英语原文及补充说明
BoD	带宽按需分配	Bandwidth on Demand
CDMA	码分多址	Code Division Multiple Access
CSC	公共信令信道	Common Signaling Channel
DA	固定访问	Dedicated Access （亦有用PA表示）
DA	按需分配	Demand Assignment
DAMA	按需分配多址	Demand Assigned Multiple Access
DSI	数字语音内插	Digital Speech Interpolation
DVB/RCS	数字视频广播/卫星回传信道	Digital Video Broadcasting / Return Channel via Satellite
FDM	频分复用	Frequency Division Multiplexing
FDMA	频分多址	Frequency Division Multiple Access
FH	跳频	Frequency Hopping
MCPC	多路单载波	Multiple Channels Per Carrier。采用MCPC技术，可以将每个站点中的所有业务都复用到一个载波中进行传输，所以有些地方把MCPC也叫作SCPS单站单载波（Single Carrier Per Station）技术。
MF	多频	Multiple Frequency
MF−TDMA	多频时分多址	Multiple Frequency TDMA。由于TDMA站点发射的载波可以在不同的频率信道上来回跳跃，所以MF−TDMA也被称作跳频TDMA。
NCC	网络控制中心	Network Control Center
NMS	网络管理系统	Network Management System
OFDM	正交频分复用	Orthogonal FDM
OFDMA	正交频分多址	Orthogonal FDMA
PA	固定访问	Permanent Access （亦有用DA表示）
PA	固定分配	Permanent Assignment
PA	预分配	Preliminary Assignment
PAMA	固定分配多址	Permanent Assigned Multiple Access
PAMA	预分配多址	Preliminary Assigned Multiple Access
PCM	脉冲编码调制	Pulse Code Modulation
QoS	服务质量	Quality of Service
RA	随机访问	Random Access
S−Aloha	时隙Aloha	Slotted Aloha
SCPC	单路单载波	Single Channel Per Carrier
STDM	统计时分复用	Statistical Time Division Multiplexing
TDM	时分复用	Time Division Multiplexing
TDMA	时分多址	Time Division Multiple Access
VSAT	甚小口径终端	Very Small Aperture Terminal