

# 分布式无线通信系统的概念平台

王京,姚彦,赵明,周世东,王艺,粟欣

(清华大学电子工程系,微波与数字通信国家重点实验室,北京 100084)

**摘要:** 为了适应未来通信的发展需要,基于分布式概念提出了一种新型的无线通信系统结构,给出了分布式无线通信系统(DWCS)的逻辑结构以及不同层次的实现方法.分析表明,DWCS具有良好的开放性、灵活性、和扩展性,并能随着技术的发展逐步与 Internet 融合.

**关键词:** 分布式系统;无线通信;软件无线电

**中图分类号:** TN92      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2002) 07-937-04

## Conceptual Platform of Distributed Wireless Communication System

WANG Jing, YAO Yan, ZHAO Ming, ZHOU Shi-dong, WANG Yi, SU Xin

(Department of Electronic Engineering, State Key Lab on Microwave & Digital Communications, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** To satisfy requirements of the future communications, framework of a novel wireless communication system based on distribution concept is proposed in this paper. Logical structure of distributed wireless communication system (DWCS) and implementation methods for different layers are described in detail. Analysis shows that DWCS has the characteristics of distribution, system open, full-coverage, flexibility, scalability and expansibility.

**Key words:** distributed system; wireless communication; software radio

### 1 引言

无线通信是当前发展最快的通信技术之一,每一次概念和技术的突破都实现了工程上的飞跃.蜂窝概念的提出产生了第一代移动通信系统,数字技术的成功应用大大促进了以 TDMA 为标志的第二代移动通信的发展,而 CDMA 和多媒体技术的提出则直接导致第三代移动通信系统的大力发展,并成为当前国内外竞争的焦点.

传统的这些移动系统主要采用集中式处理结构,即小区的所有用户信号送给中心基站集中处理,然后由核心网络统一交换.因此,基站的数据处理量大,系统容易因为某个模块的故障而瘫痪.另外集中式通信系统不能很好地适应未来技术和业务的发展,增加新业务、增加系统容量、增加覆盖区域或引入新型的物理层技术往往需要重新设计系统.

在容量方面,第三代移动通信系统主要采用 CDMA 和蜂窝技术来增加系统容量,并得到了十分广泛和深入的研究<sup>[1]</sup>,从理论和工程上来看,在现有的系统上进行再开发几乎不会有本质的变化,即使将容量提高五倍也是十分困难,因此在未来的高速无线通信系统中必须引入新的系统体系结构.

分布式系统是目前被广泛研究的课题,并应用在不同的领域中,如分布式操作系统、分布式数据库、分布式计算等. Internet 也是基于分布式概念的系统,整个网络没有中心处理节点,任何服务器都可以接入到 Internet 网络并成为一个节

点.显然分布式系统具有易于实现、扩展的优点,同时未来的业务需求和网络都朝着分布式方向发展,可以预见未来通信将是分布式系统为特点的网络.

本文基于分布式系统概念提出了一种新型的无线信息系统—分布式无线通信系统(DWCS),主要阐述 DWCS 的概念、结构和应用.

### 2 DWCS 逻辑结构

从逻辑上来看,DWCS 主要分为四个层次,如图 1 所示.

第一层是分布式天线系统.天线分布在地面的不同位置,发送和接收来自移动台的无线射频信号.由于在未来的高速无线通信中,往往采用比较高的频率发送,使得无线信号的传播距离很短,因此要实现某个区域的无缝覆盖需要很多的天线.另外为了提高系统的容量,也经常采用多天线结构,例如智能天线和直放站.如果在天线端增加复杂的信号处理,不仅损失了信息量,而且增加了系统的成本.因此在 DWCS 中,分布式天线对无线信号只完成功率放大和光电转换等最简单的功能.

第二层是分布式光纤传输系统.光纤分布在地下,完成分布式天线和分布式处理系统之间的信号传输,不对收发端的无线信号进行任何信息处理.从功能上来看,分布式光纤传输系统相当于是空中传输的延续,但是它基本上不会降低信号质

收稿日期:2001-04-17;修回日期:2001-12-27

基金项目:国家自然科学基金(No. 69891030)

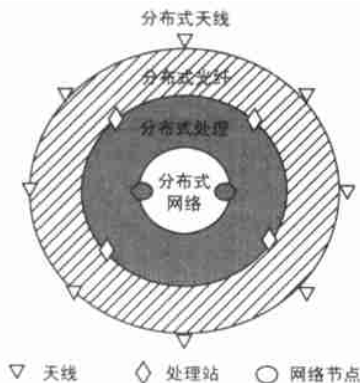


图1 DWCS逻辑图

量,因为光纤传输的误码率很低。当然在DWCS系统中,我们假设未来光纤的成本很低,这是符合当前光纤技术的发展趋势的。

另外为了区分来自不同天线的信号,在这一层里需要给无线信号打包,以表明来自和发送给哪根天线,将要传送给哪个处理节点。一般情况下天线采用内部地址标识,而处理节点则可以采用内部地址或者全球识别的地址,如IP地址,在不同的发展阶段可以有不同规定。

第三层是分布式处理系统。每个处理节点分布在不同的位置,完成对无线信号的一项或多项处理功能,如调制解调、匹配接收机或信道编译码等。处理节点之间相互通信,协调工作任务,共同完成物理层和链路层的功能。

第四层是为虚拟或分布式核心网络。网络节点分布在不同的地理位置上,甚至可以是Internet网络的节点。网络节点主要完成数据交换、路由、安全认证以及相关数据访问等功能,可以认为分布式网络相当于传统无线通信系统中的核心网络。当引入移动IP后,分布式网络还需要承担代理服务器的功能。由于在这一层里主要进行数据的网络层及信令的高层处理,因此可以采用TCP/IP协议进行数据传输,取代传统的建立在七号信令网上的MAP协议和IS-41协议,以便能够和Internet更好的结合,最终完成与Internet的融合,成为Internet的一部分。

DWCS在逻辑上分为上述四个层次,但是可以由不同的实现方式,下面我们分别讨论不同层次的实现方案。

### 3 实现结构

#### 3.1 分布式天线与光纤传输系统

分布式天线的一个主要特点是天线可以根据需要分布在地面的不同位置,完成对空间的无缝覆盖。

考虑到天线接收到的无线信号频率往往很高,未来无线通信的射频信号可能超过10GHz,而最适合光纤传送的是数字信号,如果对模拟射频信号采样量化变成数字信号,那么信号速率可以达到几十甚至上百Gbps,在现有的光器件上是很难实现的。一种解决方法是在天线端对射频信号进行变频处理,将高频信号变成中频信号,然后采样量化变成光纤传输可以接受的数字信号,从而大大降低对光纤的要求。但是这样又

会增加天线端的设备复杂度。

另一种方法是采用副载波光波技术,直接用模拟的RF信号调制光信号<sup>[5]</sup>。对于基带信号而言,一个是光载波,一个是RF载波,我们把相对于光波的RF载波称为副载波。一般情况下,基带信号只占用射频信号的很小一部分带宽,如IS-95系统的RF信号为1.8GHz,扩频信号带宽为1.25MHz,传送10路不同频点的信号所占用的带宽也不超过RF信号的0.1%。如果RF信号不是很高,一般都可以采用副载波光波技术实现。例如Litenna公司已经推出了RF信号在2.5GHz以下的光电转换器件产品,文献[4]给出了一种可实现的光纤无线传输系统结构,而日本在1998年就实现了60GHz的光波-微波无线通信实验系统<sup>[3]</sup>。因此采用副载波光波技术是未来实现分布式天线与光纤传输的一种有效手段。

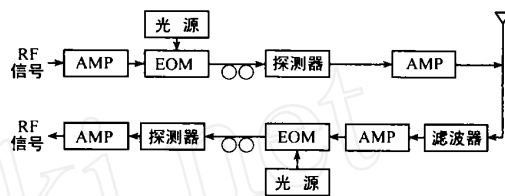


图2 分布式天线与光纤传输结构

图2给出了副载波光波技术实现分布式天线与光纤传输系统的一种结构。在下行链路中,RF信号首先通过外调制器EOM调制光信号,然后光信号通过光纤传送到天线端,天线端通过探测器将光信号变成RF信号,然后经过功率放大器,最后发送给用户。上行链路的基本结构基本相同,但是需要在天线前端增加一个滤波器,以降低有效频带以外的无线电干扰。

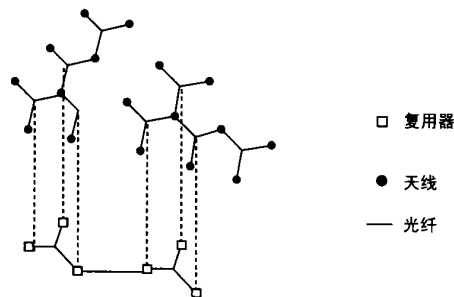


图3 多层Steiner最小树结构示意图

图2中没有考虑光纤的分布连接问题。由于天线数很多,而处理节点可能距离天线比较远,如果每根天线与处理节点之间都用一根光纤连接,势必造成光纤的极大浪费。一种解决方案是多层Steiner最小树(SMT)结构<sup>[6]</sup>,如图3所示,基本思想是对天线进行小区划分,每个小区里采用最小树的方法进行连接,各小区之间再以相同的方法进行光纤连接。采用这种结构的好处是大大减少了光纤长度,但同时需要光复用器将多路光纤信号复用成一路信号,因此在设计中应当综合考虑设备成本和传输性能。

#### 3.2 分布式处理系统

由于光纤延续了无线通信的空中接口,使得天线与处理

节点相互分离,两者可以根据实际需要分布在不同的地理位置,增加了工程设计上的灵活性。

分布式处理系统主要完成物理层和链路层的功能,从功能上看相当于传统移动通信系统的基站子系统。由于分布式处理系统需要处理来自多根天线的信号,数据量远大于传统的小区基站所处理的数据,因此采用分布式结构不仅能降低对每个处理模块的要求,而且提高了系统的稳健性。

在无线通信系统中,不同的系统往往具有不同的空中接口,即使是 IMT-2000 系统中也有好几种标准。解决这种互不兼容的有效方法是软件无线电技术,即在一个通用的硬件平台上,用软件实现不同的通信标准。因此本文提出采用软件无线电技术实现分布式处理系统。

软件无线电的层次化模型如图 4 所示。

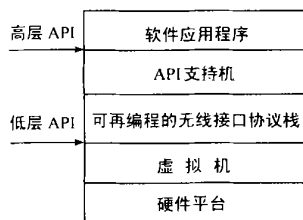


图 4 软件无线电的层次化模型

在该层次化模型中,软件应用程序完成软件无线电应用系统的功能、体制的描述,并规定相应的指标、参数。应用编程接口(API)层主要支持应用程序的再利用,相同的 API 层接口标准的应用程序可以应用在不同的软件无线电系统中。可再编程的无线接口协议栈实际上就是与提供 API 相关的一些软件模块,如信源编码,调制解调算法,多址,数字上/下变频(DUC/DDC)算法等。这些模块与 API 层之间有着标准的接口。只要接口不变,模块的改变不会影响用 API 编写的应用程序的运行。同时这些软件模块又都是可编程的,可以采用不断发展的新的通信体制,以及采用适于软件无线电的新的算法。为了使协议栈与硬件平台无关,引入了虚拟机层,也可以称为硬件抽象层。它的目的就是掩盖无线通信系统的硬件实现。它与无线接口协议栈有一个统一的接口,称为低层 API。采用低层标准 API 可以使同样的软件加载到不同厂商的硬件上,或者说运行不同的低层软件。这种低层的 API 掩盖了特定的硬件实现,如不同厂商的产品或者同一厂商的不同系列的产品。装载到硬件平台上的软件只需按照标准的接口编写即可。该层次化模型中的最后一层就是硬件。一定的硬件与一定的虚拟机相对应,我们称之为硬件平台。

硬件平台是一个通用的平台,其结构主要有三种<sup>[2]</sup>:总线型、交换网络型和胖树型。采用总线结构的好处是实现起来比较简单,而且能够充分利用现有的工业标准。但是它采用的是时分机制,对通信本身实时性的要求来说不十分合适,同时其可扩展性也受到限制。胖树型结构实际上是并行处理中的概念。虽然他具有延迟小、效率高的特点,但是实现复杂度最高,不适合工程应用。

网络型结构<sup>[2]</sup>如图 5。基本思想是对通信功能解耦,并分成多个模块,然后由功能单元或 DSP 完成。模块与模块之间采

用交换网络通信,互不制约对方。实际上这就是一个分布式处理的结构,因此最适合应用在 DWCS 中的分布式处理系统。另外由于所有功能单元采用同样的硬件,所以易于扩展和实现,也是符合软件无线电思想的有效结构。

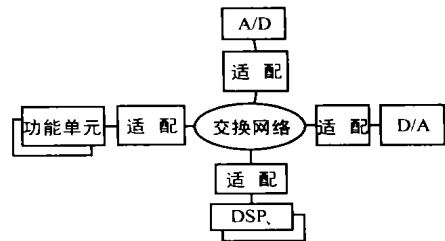


图 5 网络型结构

### 3.3 分布式网络

分布式网络主要完成 DWCS 系统数据的网络层和高层信令的功能,并实现与其它网络的互联。

分布式网络的一种实现结构如图 6,这与目前 IMT-2000 的核心网络结构层次基本相似,骨干网络采用基于 ATM 的 IP 协议。业务数据以 IP 包的形式送到各个节点进行处理,而信令则可以采用 AAL1/2/5 传送。网络节点对数据进行分布处理的过程中,往往需要一些相关的数据,如 HLR、VLR 的数据,以便于对用户进行安全认证和定位等。在分布式网络中,数据库分布在网络节点上,如果某个网络节点需要访问数据库,则可以通过 IP/ATM 协议进行访问。

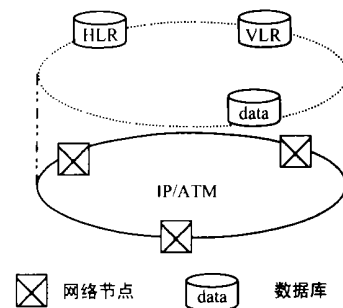


图 6 分布式网络结构

由图 6 可以看出,分布式网络基本上是 Internet 的思想。因此在未来的 DWCS 中,这部分完全可以融合到 Internet 中,每个分布式网络节点就是 Internet 上的一个业务节点。

## 4 DWCS 演进

随着网络技术的发展,Internet 的传输速率、业务质量都将得到不断提高。DWCS 也将随着技术的发展逐步与 Internet 融合,大致要经过三个阶段。第一阶段是 DWCS 与 Internet 在物理实现上相互独立,两者通过路由器或网关互联,如我们上一节所述。第二阶段是分布式网络完全与 Internet 融合,骨干网络就是 Internet,但分布式处理系统与分布式天线—光纤系统在物理上与 Internet 独立。第三阶段是分布式处理网络也完全融入 Internet,无法在物理实现上将 Internet 与 DWCS 分开,可以近似认为 DWCS 就是基于 Internet 的一个虚拟系统。在这个阶段,每根天线与最近的 Internet 节点相连,然后将数字 RF

信号打包传送到 Internet 上,处理节点和网络节点分布在 Internet 的不同位置,并对 RF 信号进行处理.然后,经过低层处理后的信息传送到另外的网络节点,进行网络层及高层的处理以及数据访问等.因此 Internet 相当于 DWCS 的物理传输网络,而分布式处理节点和网络节点成为一些专用的 Internet 节点,从而形成全分布式无线通信系统.当然这一阶段能否实现主要取决于 Internet 技术的发展.

DWCS 采用多层分布式结构,可以灵活地实现一些无线通信系统.如果将第三代移动通信系统中的 UTRAN 部分采用软件无线电实现,每根天线收发某一个小区用户信息,那么 DWCS 就可以完全实现第三代移动通信系统的功能.另外,分布式处理部分可以控制发给每根天线的信号,例如给多根天线发送相同的信号,即实现直放站的功能.

## 5 结论

基于以上分析,可以得到 DWCS 具有以下特点:

⑧ 分布性 DWCS 在逻辑上采用四层分布式结构,各个功能节点按需要分布在不同的地理位置,简化工程实现难度.

⑨ 开放性 在 DWCS 的基本结构上可以实现现有的和可预见未来的协议和技术,并充分利用了有线网络技术,如高速 Internet 网络.

⑩ 无缝覆盖 天线与处理单元的分离可以灵活地设置天线和控制不同天线上的收发信号,实现空间的无缝覆盖.

⑪ 灵活性 采用软件无线电技术实现分布式处理系统,可以灵活地实现不同的无线传输体制,而不需要重新设计硬件平台,有效地解决了无线系统之间互不兼容的问题.

⑫ 可扩展性 DWCS 是一个开放的无线通信平台,基于这个平台可以进行再开发、扩展,实现不同传输体制和业务,如全分布式无线信息系统.

⑬ 可伸缩性 DWCS 可以根据需要在规模和大小方面自行配置,减小设备成本.

## 参考文献:

- [ 1 ] 尤肖虎,曹淑敏,李建东.第三代移动通信系统发展与展望[J].电子学报,1999,27(11A):3-8.
- [ 2 ] Wang J,Zhao M,Xu X,Yao Y. Research on hardware platform of the software radio [J]. IEICE Trans Commun,2000,E83-B(6):1210-1216.
- [ 3 ] Kitayama K,Kuri T,Ogawa T. Error-free optical 156-Mbit/s millimeter-wave wireless transport through 60GHz external modulation [C]. OFC 98 technical digest Japan:OFC,1998.
- [ 4 ] Chu T,Gans MJ. Fiber optic microcellular radio [J]. IEEE Trans. Vehicular Technology,1991,40(3):599-606.
- [ 5 ] Web site:http://www.forxcomwireless.com [Z].
- [ 6 ] Yanikomeroglu H,Sousa E S. Antenna interconnection strategies for personal communication systems [J]. IEEE Journal on selected areas in Commun.,1997,15(7):1327-1336.

## 作者简介:

王京男,1958年1月生于北京市,1986年在清华大学无线电电子学系获通信与电子系统专业硕士学位,现为中国第三代移动通信研究开发项目总体组成员、第三代移动通信技术试验专家组专家、国家“十五”863计划通信技术主题专家、中国电子学会高级会员、中国通信学会无线及移动通信委员会委员、清华大学信息科学技术学院院长助理、微波与数字通信国家重点实验室副主任和无线传输与个人通信研究室主任,研究兴趣包括分布式无线通信系统与网络、虚拟无线移动通信系统与网络、第三代移动通信系统与技术、移动通信系统信道编译码技术和扩频码分多址技术中的多用户检测、时空分集等.



姚彦男,1938年生于浙江省兰溪,1962年毕业于清华大学无线电电子学系,长期在清华大学供职,现为清华大学电子工程系教授,博士生导师,微波与数字通信国家重点实验室主任,无线电电子学研究所副所长,全国高技术重点图书通信技术领域编审委员会委员,中国通信学会微波与卫星通信专业委员会委员,中国通信学会国际学术工作委员会委员,中国通信学会会士,中国电子学会高级会员,IEEE高级会员.

赵明男,1971年10月生于甘肃兰州,1993年在清华大学获得学士学位,1998年在清华大学电子工程系获得博士学位,现为清华大学电子工程系讲师,专业特长为无线个人通信系统的理论与技术,已经发表论文20多篇,目前的主要研究方向为:新一代无线通信系统、软件无线电、无线及个人通信技术.

周世东男,1969年12月生于江苏南京,清华大学电子工程系副教授,1991年毕业于东南大学,1994年在东南大学和硕士学位,1997年在清华大学获博士学位,在国内外发表多篇论文,目前的主要研究领域为移动通信、扩频通信、编码与调制及接收算法.