

中继辅助协同通信网

Relay-Aided Cooperative Communication Networks

中图分类号:TN929.5 文献标识码:A 文章编号:1009-6868 (2008) 03-0022-05

摘要:下一代移动通信系统对频谱有效性和功率有效性提出了更高的要求,在现有的蜂窝网络结构中引入中继的协作式通信被认为是高速率高覆盖要求下最可行的改进。中继辅助协同通信网与传统蜂窝网相比在覆盖效率、运营成本以及传输容量3方面具有优势。中继辅助通信网络主要有3种典型的传输模型:三终端传输模型、两跳多中继并行传输模型、多跳多中继网络传输模型。中继辅助通信技术已在WiMAX、WIN-NER和3GPP等通信标准中得到深入研究,具有极为广阔的应用前景。

关键词:中继辅助通信;协作通信;多跳网络;下一代移动通信网

Abstract: To facilitate the demand for a higher spectrum and power efficiency arising from the next-generation mobile communication system, the introduction of relay-aided cooperative communication into the existing cellular infrastructure is considered the most practical improvement under high rate and coverage. In comparison with the legacy cellular network, relay-aided cooperative communication network enjoys relative advantages over the following three aspects, namely coverage efficiency, operation cost and transportation capacity. Transportation of relay-aided cooperative network falls into three typical models: three terminal model, two-hop multi-relay parallel model, and multi-hop multi-relay model. For the extensive perspective of relay-aided cooperative communication in application, a profound research has been carried out in communication standards as WiMAX, WINNER and 3GPP, etc.

Key words: relay-aided communication; cooperative communication; multi-hop network; next-generation mobile communication network.

赵睿/ZHAO Rui

俞菲/YU Fei

杨绿溪/YANG Lü-xi

(东南大学 信息科学与工程学院, 江苏 南京

210096)

(School of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

计划^[6-7]也对泛在宽带移动无线中继网络做了详细的规划。

1 中继辅助通信系统介绍

中继辅助通信系统可以由多个中继形成一个虚拟阵列相互协同工作,如图1所示。引入中继技术后宽带无线通信的组网方式与传统的无线接入最大的差异就是接入方式的多样性。移动终端可以直接通过中继站接入无线网络,也可以在中继站的协作下通过基站接入无线网络。作为一种能有效改善网络覆盖质量的技术,无线中继技术为在高频段实现宽带无线接入提供了一种高性价比的解决方案。概括来说,中继辅助通信系统作为一种新型组网技术具有以下优势:

(1) 多个中继可以同时使用相同的时隙和频谱资源,从而节省无线电资源。

(2) 多个中继间可以利用空间分集/空间复用提高系统传输容量。

(3) 中继辅助通信系统不必明显改变现有主干网结构,可实现与现有通信网络的平滑过渡。

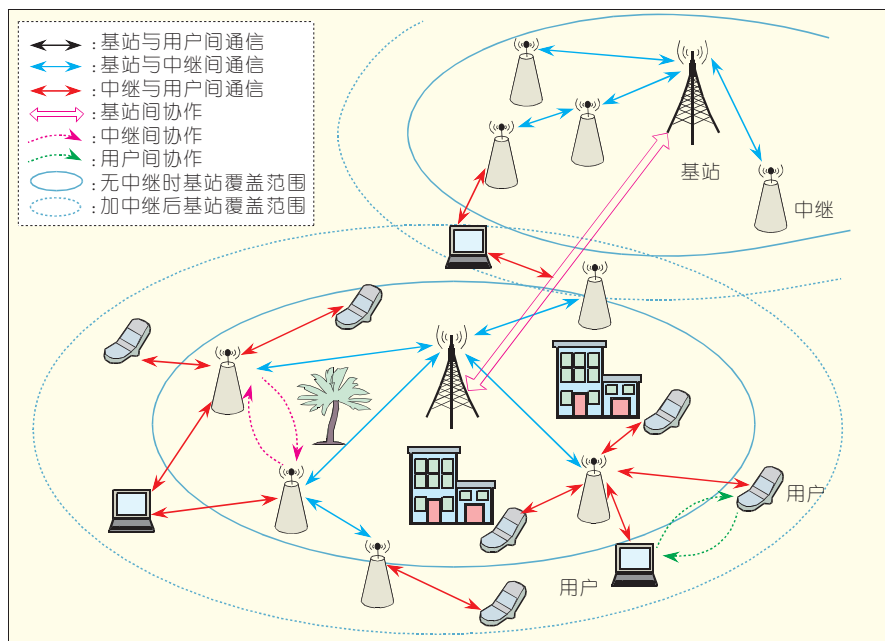
1.1 覆盖能力

由于大尺度衰落效应,在以基站为基本传输单元的小区结构通信系统中,有效的数据传输效率会随着用

MT_advanced (ITU给B3G移动通信系统的正式名称) 要求移动通信的传输速率达到100 Mb/s ~ 1 Gb/s,这至少是高速数据分组接入(HSDPA)的10倍以上,在传统的蜂窝网络中几乎无法实现。如果要达到如此高的传输速率,必然要降低传统小区的覆盖面积(相应要增加基站个数)。基站个数的增加无疑将提高运营商的组网成本,降低其市场竞争力。无线中继的基本

思想^[1-3]是使用中继节点将基站的信号重新处理后再发送出去。应用多跳中继可以扩展小区的覆盖范围,减少通信中的死角地区,同时还可以平衡负载,转移热点地区的业务。另外,引入无线中继还可以节省终端的发射功率,从而延长电池寿命。基于中继的网络结构及其协作分集和协作多路技术已经得到了国内外学者的广泛重视。在未来移动通信(3GPP、3GPP2、B3G、4G)、无限局域网(WLAN)和宽带无线网络(802.16j)^[4-5]等标准的制订中,都引入了中继的概念并考虑了中继辅助通信中存在的问题。欧盟无线世界开创新无线电(WINNER)

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(“863”计划)(2007AA01Z262)、国家自然科学基金资助项目(60672093, 60496310)、国家重点基础研究发展规划项目(“973”计划)(2007CB310603)



▲图1 中继增强型通信网络

户与基站间等效传输距离的增加而减小。因此,在传统蜂窝网结构中,小区边缘的用户很难实现真正意义上的高速率数据传输。另外,由于信号在传输过程中受地形、地貌的影响,如城区环境中建筑物的遮挡,地下环境的影响等,基站往往不能完全覆盖其小区范围内的每一个区域。在基站覆盖能力比较差的区域和小区的边缘地带安放中继站,并通过中继站的接力完成整个通信过程可以有效地减少通信盲区并扩大小区的覆盖范围。与传统的采用微蜂窝的方法相比,中继站的应用能在低组网成本基础上提高通信覆盖能力和提高通信质量。

1.2 切换技术

由于中继节点,尤其是移动中继节点的加入,传统的传输协议也需要发生变化。基站除了要管理用户在小区间的切换,还要对中继站进行管理。原先的切换主体,由单一的用户扩展为用户与移动中继两种。

在中继辅助通信中,切换的场景可以分为两种:小区间的切换与小区内的切换。小区间的切换指用户端或

移动中继从一个小区转入另一个小区;小区内的切换是指用户端在一个小区内的两个中继站间切换,或者在同一小区的中继站与基站间切换。

1.3 传输能力

在蜂窝网中加入中继的新型无线网络,可以通过基站和中继同时向用户传输数据,因此可以通过复用或空间分集获得容量增益。虽然基站通过中继向用户传输数据是一个两跳的通信链路,即中继需要占用一定的频带资源,但是,由于不同的用户可以选择不同的中继站进行数据的传输,因此可以极大地弥补由于两跳通信所造成的容量损失。当建筑物和其他障碍物阻碍了基站到用户的传输路径并造成大尺度阴影衰落时,这个容量损失甚至还可能变成一个增益。

对于中继辅助通信网络的信息论研究表明,在不同的中继工作模式和信息反馈模式下,中继数目的改变对系统容量的影响也是不同的。在基站和移动终端都配备了 M 根天线的通信系统中,如果中继和移动终端都已知信道信息,那么系统的容量不但和 M 呈线性增长的关系,而且还与中

继的个数呈对数增长的关系。

2 中继辅助通信系统研究进展

对于中继辅助通信网络最早源于三终端的中继信道模型,随后又陆续出现了多中继并行传输的模型以及多跳的模型等。由于用户所处位置的差异,其与基站间的通信可以通过一个中继站的协作完成,也可以通过多个中继站的联合协作完成。

下面从网络结构的角度分别考虑三种典型的中继辅助通信系统的传输模型,并介绍运用于其中的典型技术。

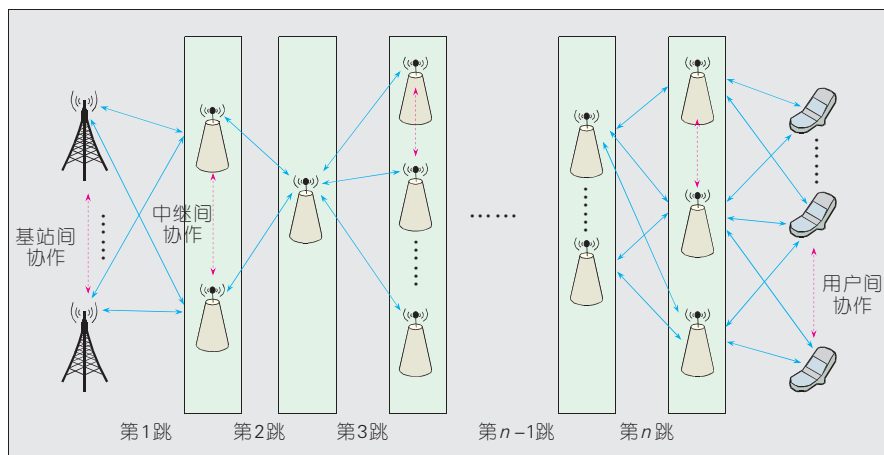
2.1 三终端传输模型

三终端传输模型最早由 Van der Meulen 提出, Cover 和 El Gamal 对其做了详细的理论推导和性能分析。近年来,陆续有学者对不同信道衰落环境下的三终端通信系统做了一些具体的分析。

在三终端传输模式下,除了具体的信道衰落特性会影响系统的性能,中继端具体工作模式的选择也至关重要。按照信号处理的方式,中继的工作模式可以大致分为放大(AF)模式、解码(DF)模式、选择(SR)模式以及编码协作(CC)模式等。

按照接收/发送信号的关系,也可以把它们分为两种基本模式:模拟模式和数字模式。在中继的模拟模式中,信号不需要经过数字化的处理就被中继发送出去,因此又被称为“非再生中继”,AF模式就属于这种中继。相对地,在中继的数字模式下,中继需对信号进行解码、编码后再发送出去,因此又被称为“再生中继”,DF和CC就属于这一类。

在各种模式之间选择时,可以根据中继所处位置的不同来选择不同的中继模式以提高通信质量。如果中继距离用户较近,可采用AF模式,然后利用基站或者中继站处理能力强的特点来进行正确检测和解码;如果



▲图2 多跳多中继网络传输模型

中继距离基站较近,为了对抗衰落,可采用DF模式来提高分集度。

2.2 两跳多中继并行传输模型

基站通过多个并行中继与多个用户进行通信。这里的中继可以由普通的用户来承担,也可以是专门用于转发数据的中继站。用户型的中继与中继站相比最大的差别在于,用户型的中继在协作传输其他用户信息的同时,本身也有通信的需求;而中继站只需要转发用户的数据,本身并不需要发送数据,其只需要收发少量的控制信令,用于信道同步和传递信道信息等。

基于中继站的两跳多中继并行传输网络可以利用多中继站间的空间分集,同时为多个用户提供多数据链路。这样的网络也可以看成是一个分布式的多天线系统。与传统分布式多天线系统不同的是,中继站与基站间的通信是通过无线链接的,而不是通过有线的光纤网络传播。采用高效的发送和接收机制,以保证第一跳的传输性能将是影响整个系统传输能力的关键。

2.3 多跳多中继网络传输模型

前面两种模型都是两跳中继的情况,实际中,通常引入自组织网络的思想形成多跳多中继的网络传输模型。它可以提高蜂窝中基站的通信

覆盖面,增强了抗毁性。图2就是这种模型的示意图。这种多跳多中继网络传输模型的构建源于Mesh网络,但又不同于Mesh网络。在Mesh网络中,网络中的任意节点都可以进行直接的通信,而在图2的多跳多中继网络传输模型中,仍然保留了每一跳间层与层的关系。这时,由于每一个中继站都需要在上层和下层通信节点中寻找通信目标并与之建立通信链路,因此要求每个中继站都必须具备路由的功能。

2.4 分布式空时码的研究

分布式空时码是指空时编码系统的天线不再只排放在发射端或接收端,而是分布在各个中继上,由中继间的相互协作或基站与中继站间相互协作来构建空时信号。基站借助

中继站来构成虚拟发射天线实现发射分集,这时中继站可以看成是基站的远程天线。图3以分布式空时分组码多输入多输出(MIMO)为例给出了具体的解释。

在图3中,基站以两种方式将数据通过中继发往用户。第一种,基站(BS)先将未编码数据发往 RS_1 , RS_1 再以传统方式发送空时码至 MS_1 ;第二种,BS先将未编码数据分别发给两个中继 RS_2 和 RS_3 ,再由两个中继分别编码后协作共同发往用户。

中继的个数可以扩充至多个,形成分布式天线阵列。研究表明,通过中继发送空时码时,空间分集增益正比于中继的个数。在一个给定的服务质量(QoS)要求(目标接受信噪比(SNR)或误码率(BER))的系统中总发送功率与中继个数成反比,因此使用多个中继可以节省功耗。

2.5 中继管理的研究

使中继协作网络发挥最大效用离不开中继管理。中继管理的研究主要集中在两个方面:中继选择和功率分配。中继选择是指如何在众多中继中选择一个或几个中继用来辅助传输。目前中继节点的选择策略主要基于以下几类信息:物理距离、路径损耗和瞬时信道状态。中继协同网络的功率分配是指如何在信源-中继-信宿之间合理分配功率以解决远近效应、增加系统容量和提高系统误码率

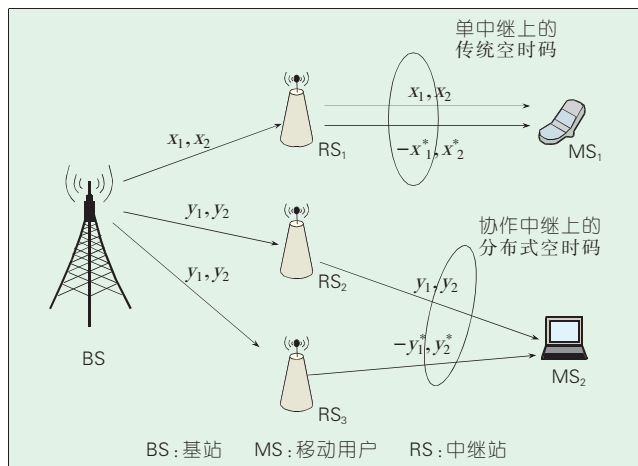
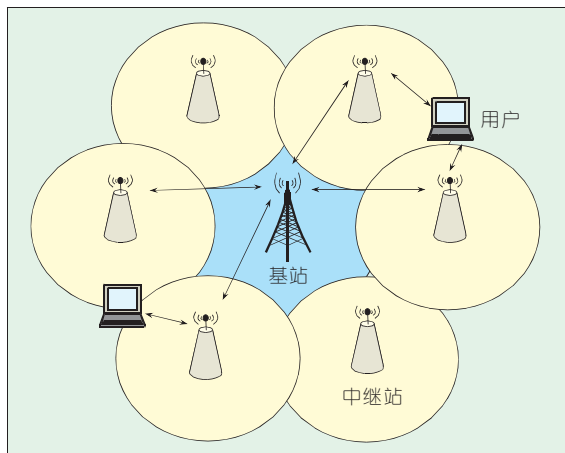
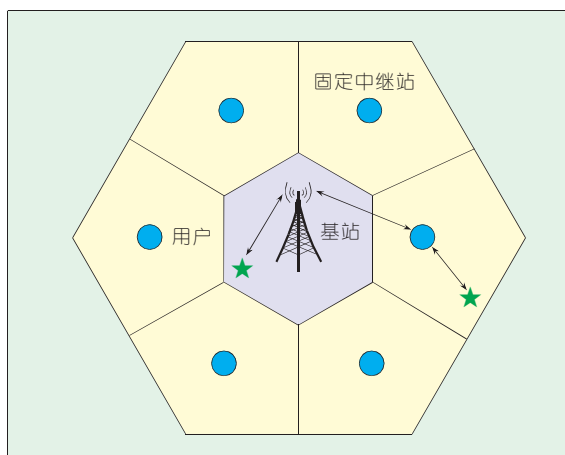


图3 分布式空时码



▲图4 IEEE 802.16j中继辅助蜂窝结构



▲图5 WINNER计划中加入固定中继站的系统模型

性能的问题。

3 中继技术的应用

3.1 中继技术在WiMAX中的应用

IEEE802.16标准组织于2005年9月成立了移动多跳中继(MMR)研究小组,研究在IEEE802.16系统中采用中继技术的可行性和实施方案。通过研究,任务组确定了基于中继辅助的蜂窝结构扩展方向,并最终确立采用基于蜂窝点到多点(PMP)基础的树形架构作为其拓扑结构而放弃了以Ad Hoc为原型的Mesh架构。IEEE 802.16j中继辅助蜂窝结构如图4所示。

在WiMAX中,根据中继工作类型的差异可以分为简单中继、复杂中继和移动中继3种,其中简单中继可以

看成是一个功率直放站,它只具有功率放大的功能,不支持控制功能。简单中继功能单一,操作简单,相对成本也较低。复杂中继与简单中继相比可以支持控制功能,可以进行路由的选择和资源的调度。简单中继和复杂中继都是以固定的形式安置的,可以自由移动的中继被称为移动中继。移动中继可以在相邻小区内切换,以解决负载均衡和热点切换等问题,移动中继具有路由功能。无论是简单中继、复杂中继还是移动中继都可以支持多天系统。

WiMAX采用透明切换技术管理小区与小区间用户的转移。基站利用中继站点的消息集合来断开基站和所属的移动终端的连接,可以有效地避免每个移动终端和基站的交互,减小信令流程,降低多跳传输中的时延,从而提高了系统性能。

IEEE在2007年7月召开的标准制订会议中,针对WiMAX相关系列技术进行了热烈的讨论,其中就包括使用中继增强性网络拓扑结构解决WiMAX网络信号传输死角问题的802.16j。根据IEEE发布的最新消息,被视为提升既有WiMAX网络传输覆盖效能的802.16j标准已在2007年8月8日正式通过第1版标准草案(Draft 1.0)。据权威人士估计,若一切顺利进行,802.16j标准最快将会在2008年内确立。

3.2 中继技术在WINNER计划中的研究

无独有偶,欧盟的WINNER计划在其2006年的技术报告中,用了100多页的篇幅专门介绍中继的概念以

及中继辅助通信技术与传统蜂窝网络的融合。通过传统单基站式的蜂窝小区中添加固定中继节点的方式,WINNER计划提出将一个小区分成数个微小区,如图5所示。其中包括一个以基站为接入点的微小区和数个以中继为接入点的中继增强型微小区。由于位置的差异,同一小区中的用户将会有不同的接入点。以基站为接入点的用户和以中继为接入点的用户在频谱资源的分配和帧结构的设计上也会有所差异。

WINNER计划中继增强型新型小区通信中考虑了时分多址(TDMA)和空分多址(SDMA)两种多址方式并支持TDMA与SDMA相结合的多址方式。由于此时的通信系统包括一跳通信和两跳通信两种异构的帧结构,因此媒体访问控制(MAC)层调度和资源分配显得格外重要。

另外,WINNER计划还针对多中继多跳传输的中继增强通信系统的方案可行性和适用场景进行了论证。此时信号的传输需要通过多个中继间的接力完成,对频谱资源的分配和调度设计提出了更高的要求。基于多中继多跳的传输可以提高通信的抗毁性能,有利于热点通信的转移。

3.3 中继技术在3GPP中的探索

3GPP在其长期演进(LTE)阶段的研究中指出:“在未来演进的通信系统中,为了提高覆盖范围和系统容量,引入多跳的概念是一种行之有效的手段”。与WiMAX和WINNER计划中使用固定中继站的两跳网络不同,这里的多跳是指在原有的网络拓扑结构上,使用用户终端作为中继,将信号传输至更远的节点,从而提高覆盖范围,增大系统容量。另一方面,由于传统点对多点结构任何一条链路的通信都需要经过基站,即使两个终端离得很近,也要先将信号传至归属基站,由基站传至目标终端,再加上信令交互的开销,这样一条链路浪费了很大的资源。为了避免这种浪

费,引入了多点到多点的概念,即指在网络中任意两点都可以自由通信,可以达到更快捷、方便、经济的数据传输。

中国具有自主知识产权的时分同步码分多址(TD-SCDMA)在4G时代的演进将主要在3GPP和ITU-R中推进。其中,中继和分布式天线系统被认为是物理层核心技术之一。

4 结束语

为了实现基站与多中继间的网络协同,达到扩大通信容量的目的,传统的基于物理层的多用户MIMO技术(比如脏纸编码、线性预编码和解码、多用户检测和空时码等)需要往分布式的发展方向,以实现网络中各个节点间的协作数据发送,在这种情况下,面向MAC层的协同策略显得尤为重要。

中继辅助通信系统使得资源配置问题可以利用更多的自由度来优化网络性能,然而此时许多问题都变为非凸问题的求解,这让传统最优问题的求解算法无计可施。通过启发式交互优化或贪婪搜索的方法不失为获得较好的性能与计算复杂度折衷的有效手段。

在中继辅助通信系统中,基站、

中继站以及多用户之间的同步也变得更为重要。另外,如何在减少多中继间信息交换的条件下设计具有鲁棒性的分布式空时码,也是充分利用多中继空间增益的有效技术。

基于中继技术的多跳传输系统已经得到了广泛的关注。在现有的蜂窝网结构中引入中继的中继辅助通信系统被认为是下一代移动通信主流的网络拓扑结构之一。

5 参考文献

- [1] VAN der MEULEN E E. Three terminal communication channels [J]. Advanced Applied Probability, 1971, 3(5):120-154.
- [2] COVER T M, EL GAMAL A A. Capacity theorems for the relay channel [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1979, 25(5):572-584.
- [3] LANEMAN J N, TSE D N C, WORNELL G W. Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2004, 50(12): 3062-3080.
- [4] NI W, SHEN G, JIN S. Cooperative Relay Approaches in IEEE 802.16j. IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group [R]. C802.16j-07/258r1, 2007.
- [5] CHUI J, CHINDAPOL A. Clarifications on Cooperative Relaying. IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group [S]. C802.16j-07/242r4, 2007.
- [6] SCHULTZ D, COLETT L, NAVAIE K, et al. Relaying concepts and supporting actions in the context of CGs [R]. IST-4-027756 WINNER I, D3.5.1. v.1.0.2006.
- [7] DOPPLER K, REDANA S, SCHULTZ K, et al. Assessment of relay based deployment concepts and detailed description of

multi-hop capable RAN protocols as input for the concept group work [R]. IST-4-027756 WINNER II, D3.5.2. v.1.0.2006.

收稿日期:2008-03-17

作者简介



赵睿,东南大学信息科学与工程学院在读博士研究生,主要研究领域为协作通信及分布式资源分配。



俞菲,东南大学博士毕业,东南大学信息科学与工程学院讲师,目前重点研究方向为多跳网络通信技术、下一代无线宽带通信系统中的信号处理,分布式空时码等。已在国内外核心期刊和国际会议上共发表文章7篇,被EI收录文章4篇。



杨绿溪,东南大学信息科学与工程学院教授,博士生导师,主要从事通信信号处理、MIMO通信系统设计、协作通信与分集处理、盲信号处理、阵列信号处理等方面的科研和教学工作。已在国内外核心期刊和IEEE国际会议上发表和合作发表以上领域的学术论文200多篇,其中SCI收录25篇,EI收录100多篇。

IDC:中兴通讯2007年整体销售增速位居行业首位

著名美国咨询机构IDC近日发布多份2007年度电信行业分析报告,其中,在题为《ZTE: Record Growth Amidst a Challenging Market Environment》(《中兴通讯:在挑战性市场环境中的创纪录增长》)的英文报告中显示,于2007年行业竞争更趋激烈的情况下,中兴通讯2007年销售收入增速达49.8%,位居行业首位。

报告指出,按产品分析,“增长尤为显著的是中兴通讯3G、GSM、CDMA为代表的无线产品,销售收入同比增长达到61.7%,是2007年全球主要电信设备商中增长速度最快的。尽管CDMA在中兴通讯无线业务中仍然占据重要地位,但是2007年我们也看到它在GSM方面取得了

显著增长”。

资料显示,2007年中兴通讯GSM同比增长300%,达34万载频,出货量占全球总量约10%。同时,2007年中兴通讯共从西欧、东欧、南亚、非洲等地区获得10个WCDMA建设合同,2008年初以来又在欧洲、南美、亚太多个主流运营商获得WCDMA合同,体现了其在GSM/WCDMA领域快速增长的竞争力。

报告还指出,按区域分析,中兴通讯在亚、非、中国大陆之外的区域,即欧、美等其他区域的销售增长速度达到了155%。据中兴通讯2007年年报,欧美等区域占其整体销售收入的比例显著提升,显示公司正在被越来越多的欧美主流运营商认可。