

移动通信网络中的协作通信

郝博

重庆信科通信工程有限公司 重庆 401121

摘要：本文探讨了移动通信网络中的协作通信。阐述了其发展历程，从早期埋下种子到如今广泛应用。介绍了基本原理，包括源、目的和中继节点的作用及通信阶段。重点分析了关键技术，如多天线技术、多用户检测与鉴权技术、协同编码技术等。还论述了在一般移动通信、应急移动通信、车联网通信和物联网通信中的应用场景。协作通信在提高通信质量、扩大覆盖范围、保障应急通信及提升车联网和物联网性能方面发挥着重要作用。

关键词：移动通信；网络；协作通信

引言：在移动通信领域，不断追求更高的通信质量与更广泛的覆盖范围是永恒的主题。随着技术的发展，协作通信逐渐成为关注焦点。协作通信并非一蹴而就，其发展历经多年探索与创新。从Cover和Gamal的早期研究到如今在多个领域的广泛应用，协作通信展现出强大的潜力。它通过多个节点的协作，为解决移动通信中的诸多难题提供了新的思路。

1 协作通信的发展历程

协作通信的发展历程犹如一部波澜壮阔的科技史诗，见证了人类在移动通信领域的不断探索与创新。1979年，Cover和Gamal在中继信道的研究中不经意间埋下了协作通信的种子。他们提出的协作通信模型如同夜空中的一颗启明星，虽然光芒微弱，却为后来者指明了方向。这个模型的出现，让人们开始意识到通过多个节点的协作可以改善通信质量，为未来的研究奠定了基础。随后，Laneman、Sendonaris等一批杰出的学者接过了接力棒。他们以敏锐的洞察力和深厚的学术造诣，深入钻研协作通信，标志着这项研究正式拉开帷幕。他们就像勇敢的探险家，在未知的领域中开拓前行，不断挖掘协作通信的潜力。2003年是协作通信发展的一个关键节点。Sendonaris等人精心构建了两个用户进行协作通信的信道模型，犹如搭建了一座坚固的桥梁，连接了理论与实践。通过对吞吐量、中断概率、可达速率等重要指标的推导和分析，人们对协作通信的性能有了更清晰的认识。这一成果如同催化剂，加速了协作通信技术的发展。此后，研究的热潮持续涌动。众多科研人员在协议、资源分配策略、协作伙伴选择方法等方面不断探索。他们如同勤劳的工匠，精心雕琢着每一个细节，力求让协作通信技术更加完善。

2 协作通信的基本原理

协作通信作为一种创新的通信方式，在现代移动通

信中发挥着至关重要的作用。其基本原理蕴含着精妙的设计和深刻的技术内涵。在协作通信系统中，三个关键节点——源节点、目的节点和中继节点，共同构建起了一个高效的通信网络。通信过程清晰地分为两个阶段，每个阶段都有着独特的作用和意义。第一阶段充满了可能性。源节点如同一位勇敢的信息使者，向广阔的通信空间发送出特定的信息。中继节点则时刻保持警觉，专注地接收着源节点发出的信号，为后续的信息传递做好准备。目的节点具有灵活性，它可以选择接收信息，提前捕捉源节点的信号，为后续的处理打下基础；也可以选择暂不接收，等待更合适的时机。进入第二阶段，中继节点开始发挥关键作用。它将第一阶段接收到的信息进行转发，为信息的传播开辟新的路径。源节点在这个阶段有多种策略可选，它可以选择沉默，让中继节点独立发挥作用；也可以重复发送与第一阶段相同的信息，增强信号的稳定性和可靠性；或者大胆地发送新的信息，为通信带来更多的变化和惊喜。目的节点则对通过不同衰落信道到达的信号进行精心合并处理，就像一位技艺高超的工匠，将不同的材料融合在一起，提高信噪比，获得宝贵的分集增益，从而提升通信的质量和稳定性。中继节点在转发信息时，可以采取不同的中继方式，每一种方式都有其独特的优势和挑战^[1]。放大转发（AF）方式就像是一个放大器，中继节点将接收到的受到噪声污染的信号进行线性放大后再转发给目的节点。这种方式的好处在于可以获得满分集阶数，极大地提高了信号的传输效率。

3 协作通信的关键技术

3.1 多天线技术

多天线技术在协作通信中具有极其重要的地位。在下行链路，多天线发送方式丰富多样，包括发送分集、空间复用、多用户MIMO和波束赋形等传输模式。发送

分集技术通过在发射端对信号进行预处理,引入接收端可利用的分集,降低信号衰落的影响。例如延迟发射分集,人为地为不同天线上发射的信号引入不同延迟,使各延迟路径的信号在统计意义上相互独立,将空间分集转化为频率分集,从而降低系统的差错概率。空间复用则可以在相同的时间和频率资源上传输多个独立的数据流,大大提高了系统的传输速率和频谱效率。多用户MIMO技术允许多个用户同时使用相同的时频资源进行通信,进一步提高了系统的容量。波束赋形技术通过调整天线阵列的加权系数,使发射信号在特定方向上形成波束,增强信号的传输质量和覆盖范围。

3.2 多用户检测与鉴权技术

多用户检测技术是消除或减弱CDMA中多址干扰的有效手段。在传统的接收机中,各个用户的接收是相互独立进行的,由于用户之间所用的扩频码通常难以保持正交,造成多个用户之间的相互干扰并限制系统容量的提高。而多用户检测把所有用户的信号都当作有用信号来处理,充分利用各用户信号的用户码、幅度、定时和延迟等信息,大幅度地降低多径多址干扰。其主要优点包括消除或减弱CDMA中的多址干扰、多径衰落干扰和远近效应,简化CDMA系统中的功率控制等。然而,该技术也存在一些缺点,如增加了系统的设备复杂度和处理时延,并且需要知道很多附加信息,如所有用户的扩频码、衰落信道的主要统计参量等,这对于时变信道的实时估计是非常困难的。鉴权技术则确保了通信系统中用户的合法性和安全性,防止非法用户接入系统,保障了通信的可靠性和保密性。

3.3 协同编码技术

(1) 空时编码协作:空时编码通过在空间和时间域内引入冗余,在不牺牲带宽的情况下,可以同时获得发射分集与编码增益,还可以与多天线接收一起来对抗多径衰落,提高信道容量。例如Alamouti提出的两发送天线的空时编码方案,待发送信息比特经过星座映射之后以两个符号为单位进入空时编码器,在不同的时刻通过不同的天线发送信号,接收端可以利用这些编码信息进行正确的解码。

(2) 分布式空时编码:分布式空时编码将空时编码的概念扩展到分布式网络中,多个节点协同工作,共同完成空时编码的传输。这种方式可以充分利用网络中的节点资源,提高系统的性能和可靠性。在分布式环境下,节点之间需要进行有效的信息交互和协作,以确保编码的正确性和有效性。

(3) 网络编码协作:网络编码允许中间节点对接收

的信息进行编码操作,然后再转发出去,这样可以提高网络的吞吐量和传输效率。在协作通信中,网络编码可以与其他技术相结合,如多天线技术和空时编码技术,进一步提高系统的性能。例如在多个用户协作传输数据的场景中,中间节点可以对来自不同用户的数据进行网络编码,然后再转发给接收端,接收端可以通过解码恢复出原始数据。

(4) 协同多天线编码:协同多天线编码结合了多天线技术和编码技术,多个天线协同工作,对数据进行编码和传输。这种方式可以充分利用多天线系统的空间分集和复用优势,提高编码的效率和可靠性。比如在多用户MIMO系统中,多个用户的天线可以协同工作,对数据进行编码和传输,提高系统的容量和性能。

(5) 协同中继编码:中继节点在协作通信中起到了重要的作用,协同中继编码就是针对中继节点的编码技术。中继节点接收源节点发送的信息,对其进行编码处理后再转发给目的节点,通过合理的编码设计,可以提高中继传输的效率和可靠性,降低传输的误码率。

(6) 分布式编码调制:分布式编码调制将编码和调制过程分布到多个节点上进行,节点之间通过协作完成数据的传输。这种方式可以提高系统的灵活性和适应性,在复杂的网络环境中具有较好的性能表现。例如,在无线传感器网络中,传感器节点可以采用分布式编码调制技术,将数据进行编码和调制后发送给汇聚节点,汇聚节点再对接收的数据进行解码和处理。

3.4 信号编码和调制技术

(1) 信号编码技术

信号编码技术在协作通信中是必不可少的。除了上述提到的各种协同编码技术外,传统的信道编码技术如卷积编码、Turbo编码等也在协作通信中发挥着作用^[2]。这些编码技术通过在信号中添加冗余信息,提高信号的抗干扰能力。比如在无线协作通信环境中,由于存在多径衰落、噪声等干扰因素,采用信道编码技术可以使得接收端能够检测和纠正传输过程中的错误。

(2) 调制技术

调制技术决定了如何将数字信号转换为适合在无线信道中传输的模拟信号。在协作通信中,常用的调制技术有相移键控(PSK)、正交幅度调制(QAM)等。不同的调制技术具有不同的频谱效率和抗干扰能力。例如QAM调制技术可以在有限的带宽内传输更多的信息,但对信道质量要求较高;而PSK调制技术相对简单,抗干扰能力较强。在协作通信的不同场景下,可以根据信道状况和传输要求选择合适的调制技术。比如在信道质量较

好的近距离协作通信场景下，可以采用QAM调制技术以提高传输速率；在信道质量较差的远距离协作通信场景下，则可以采用PSK调制技术以保证信号的可靠传输。

4 协作通信的应用场景

4.1 一般移动通信

(1) 提高小区边缘用户通信质量：在传统蜂窝通信系统中，小区边缘的用户由于距离基站较远，信号在传输过程中会经历较大的衰减，导致通信质量下降。通过协作通信，基站可以与中继站协作，或者移动台之间相互协作，将信号进行中转和增强。在一些偏远地区的基站覆盖边缘，设置中继站来接收基站信号并转发给边缘用户的移动台，从而有效提高边缘用户的信号强度和通信质量。

(2) 扩大基站覆盖范围：基站的覆盖范围受到多种因素的限制，如地形、建筑物遮挡等。协作通信可以利用中继站或移动台的协作，将信号传播到基站原本无法覆盖到的区域，减少信号盲区。比如在城市的高楼大厦之间，信号容易被遮挡，通过移动台之间的协作转发信号，可以让信号在建筑物间穿梭，扩大通信覆盖范围。

4.2 应急移动通信

(1) 自然灾害场景下的通信保障：在地震、火灾、洪水等自然灾害发生时，通信基础设施往往会受到严重破坏，导致部分地区的通信中断。此时，协作通信可以利用移动终端之间的协作，快速建立起临时的通信网络。在地震灾区，基站可能被损坏，灾区内的用户可以通过手机等移动终端相互协作，将信息进行转发和传递，保证应急指挥和救援工作的顺利进行。

(2) 多跳中继通信保障对外联系：当小区内的基站瘫痪时，小区内的用户可以通过中继站进行通信。如果需要与外部网络进行通信，可以通过多跳中继站的方式，将信息逐步转发到外部网络。这种方式虽然通信容量有限，但在紧急情况下可以保证重要信息的传递。

4.3 车联网通信

(1) 车辆间协同驾驶与避撞：车辆之间通过协作通信可以实时共享路况信息、行驶速度、车辆位置等信息。例如，当一辆车检测到前方道路有障碍物或突发情况时，可以立即将信息通过协作通信传递给周围的车辆，让其他车辆提前做好减速或避让的准备，从而实现车辆之间的协同驾驶和避撞，提高行车安全性。

(2) 车辆与路边基础设施的信息交互：车辆与路边的基础设施，如交通信号灯、路侧传感器等之间也可以通过协作通信进行信息交互^[3]。交通信号灯可以根据车辆的流量和行驶速度等信息，实时调整信号灯的时间，提高交通效率；路侧传感器可以将道路的路况信息，如路面湿滑程度、道路施工等信息传递给车辆，让车辆提前知晓并选择合适的行驶路线。

4.4 物联网通信

(1) 提高数据传输的成功率：物联网中的设备数量众多，分布广泛，通信环境复杂，信号容易受到干扰和衰减。传感器节点之间通过协作通信，可以将采集到的数据进行多路径传输或中继转发，提高数据传输的成功率。例如，在一个大型的工业物联网场景中，工厂内的传感器节点可以相互协作，将数据传输到汇聚节点，即使部分节点出现故障或信号不佳，也可以通过其他节点的协作保证数据的传输。

(2) 降低设备能耗：协作通信可以通过优化数据传输路径和方式，降低物联网设备的能耗。例如，设备可以根据周围其他设备的位置和信号强度，选择最优的协作节点进行数据转发，减少设备自身的发射功率和传输时间，从而延长设备的使用寿命。在一些对能耗要求较高的物联网场景，如智能农业、环境监测等，降低设备能耗尤为重要^[4]。

结束语：协作通信在移动通信网络中具有重要地位。其发展历程见证了科技的进步，基本原理为实际应用提供了理论基础，关键技术不断推动性能提升，应用场景广泛且不断拓展。随着技术的持续创新，协作通信有望在更多领域发挥关键作用，为人们的生活带来更大的便利。

参考文献

- [1]张语昕.移动通信网络中的协作通信[J].通信电源技术,2020,37(7):225-227.
- [2]王毓祥.协作NOMA通信网络的中继选择算法研究[D].黑龙江:哈尔滨工程大学,2022.10-15.
- [3]张超超.协作通信中的中继技术研究[D].电子科技大学.2024.10-21.
- [4]吴明英.无线协作通信中的双向中继技术研究[D].西安电子科技大学.2024.12-16.