Inline Text Wrapping Picture

北京邮电大学

硕士研究生学位论文开题报告

学 号: 2014110091

姓 名: 黄欣睿

学 院: 信息与通信工程学院

专业(领域): 信息与通信工程

研究方向: 无线和移动通信理论与技术

导师姓名: 贺志强

攻 读 学 位: 工学硕士

2016年1月13日

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 论文题目 | 面向5G移动通信系统的非正交多址信号设计技术 | | |
| 选题来源 | 973、863项目 | 论文类型 | 基础研究 |
| 开题日期 | 2016-01-16 | 开题地点 | 北京邮电大学新科研楼 |
| **一、立题依据（包括研究目的、意义、国内外研究现状和发展趋势，需结合科学研究发展趋势来论述科学意义；或结合国民经济和社会发展中迫切需要解决的关键科技问题来论述其应用前景。附主要参考文献目录）（不少于800字）**  随着第四代移动通信系统（4G）在世界范围内的普及与商用，移动互联网业务得到了快速增长。可以预见，在未来5-10年，移动互联网业务仍会呈现爆发式增长。移动互联网和智能终端数目的快速增长，将使移动数据业务以每年翻一番的速度递增。据预测，到2020年时，数据业务将增长1000倍。移动互联网的迅猛发展，海量网络节点和智能终端的出现，更加多样的业务种类和更加广泛的服务范围，意味着未来移动通信系统需要迎接多种接入技术和多层网络共同部署带来的挑战，也为第五代移动通信（5G）提供了广阔的应用前景。  近年来，各国政府和标准化组织也成立了各种形式的5G研究计划，具有代表性的包括：欧盟于2012年11月成立的METIS（构建2020年信息社会的无线移动通信关键技术）以及后续成立的5GPP；韩国成立的5G Forum；日本成立的2020 and Beyond Ad Hoc 研究组；美国提出MBB，更强调下一代网络开放自由，降低门槛，培育业务应用；我国的5G研究也拉开大幕，2013年2月成立了IMT-2020推进组，致力于推进国内5G的需求、频谱、技术等方面研究，目标在于“组织国内各方力量、积极开展国际合作，共同推动5G国际标准发展”，在5G核心技术上形成突破，在全球5G的研究和标准化中占据领先地位。  目前，国内外对于5G移动通信系统的性能需求已达成普遍认识，首要需求仍然是大幅提高数据传输能力与系统容量。为了满足其10倍峰值传输速率和1000倍系统容量提升需求，主要的技术手段包括：1）寻找和分配更多的频谱资源，采用更大的传输带宽；2）研究新型的无线空口传输技术，大幅度提升频谱利用效率。其中，对于频谱效率的提升，除了采用大规模天线阵列技术以及超密集组网等关键技术外，还需要进一步研究和挖掘物理层调制和编码基础传输技术的潜力，通过研发新型多址接入、信道编码、波形传输和编码调制联合优化等技术手段，大幅度提升5G系统的频谱效率。  多址接入技术对于移动通信系统具有重要意义，是一个系统信号的基础性传输方式。传统的移动通信（1G-4G）采用正交多址接入技术（Orthogonal Multiple Access, OMA），如频分多址（FDMA）、时分多址（TDMA）、码分多址（CDMA）、正交频分复用多址（OFDMA）。从多用户信息理论的角度来看，正交方式只能达到多用户容量界的内界[1]，针对5G移动通信系统对于频谱效率和传输容量的更高要求，传统的正交多址设计思路已经面临性能瓶颈，很难再有大幅提升。  非正交多址接入技术(Non-orthogonal Multiple Access, NOMA)相较于传统的正交多址接入技术，在相同的时频资源上承载了更多的用户信息，可以有效提升频谱利用率，使系统容量显著提高，其作为5G移动通信系统的有力备选技术方案，也成为时下的研究热点。如上所述，多址接入技术代表了系统信号的传输方式，那么对于非正交多址接入技术的研究来说，对该系统中的信号传输的设计与研究正是重点内容。目前，非正交多址技术方案中的信号设计可以按照不同的信号域划分为功率域、广义空域和编码域。本课题基于传统的NOMA方案，在功率域上对信号传输进行设计，在充分提升系统频谱效率的同时有效提升用户资源分配的灵活性，获得多用户的适配增益，可应用于5G的连续广域覆盖、低功耗大连接等典型技术场景中。  参考文献：   1. D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of wireless communication*, Cambridge University Press, 2005. 2. Thomas M. Cover and Joy A. Thomas, *Elements of Information Theory*, Jone Wiley & Sons, Inc. 1991. 3. Thompson, John, et al. "5G wireless communication systems: prospects and challenges [Guest Editorial]." *IEEE Communications Magazine*52.2(2014):62-64. 4. Dai, Linglong, et al. "Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends." *Communications Magazine IEEE* 53.9(2015):74-81. 5. Benjebbour, Anass, et al. "Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access." *Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS), 2013 International Symposium on* IEEE, 2013:770-774. 6. Saito, Yuya, et al. "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access." *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2013 IEEE 77th* IEEE, 2013:1-5. 7. Rimoldi, B., and R. Urbanke. "A rate-splitting approach to the Gaussian multiple-access channel." *Information Theory IEEE Transactions on*42.2(1996):364-375. 8. A. Grant, B. Rimoldi, R. Urbanke, and P. Whiting, “Rate-splitting multiple-access for discrete memoryless channels,” *IEEE Trans. Inform.Theory*, vol. 47, pp. 873 – 890, Mar. 2001. 9. Cao, Jian, and E. Yeh. "Differential quality-of-service in multiple-access communication via distributed rate splitting." *Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM '05. IEEE* IEEE, 2005. 10. Kim, Jihyung, and J. Shin. "Performance analysis for interference cancellation at the receiver in D2D communication." *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2015 International* IEEE, 2015. 11. 3GPP TS 36.211 V12.1.0， “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation，” March 2014. 12. 3GPP TS 36.213 V12.1.0， “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures，” March 2014. 13. 沈嘉. *3GPP长期演进 (LTE) 技术原理与系统设计*. 人民邮电出版社, 2008. | | | |

|  |
| --- |
| **二、研究内容和目标（说明课题的具体研究内容，研究目标和效果，以及拟解决的关键科学问题。此部分为重点阐述内容）（不少于2500字）**  2.1研究内容  基于传统的非正交多址框架， [7]中提出了一种速率分割多址接入（Rate Splitting Multiple Access, RSMA）技术。该技术在理论上可以实现信号传输的和速率达到系统容量域边界上的任意点，能够有效提升系统性能及用户资源分配的灵活性，获得多用户的适配增益。  本课题基于RSMA技术的优良特性，同时面向5G移动通信系统的实际需求，包括更加稳定的系统容量域边界可达性以及更加灵活的无线信道资源分配，结合5G典型技术场景，包括需求更高用户连接能力、更高频谱效率的连续光域覆盖场景和大量用户接入的低功耗大连接场景，将RSMA技术与面向5G的新型非正交多址技术相结合，利用信号在功率域上的非正交特征，进行全新的信号设计，实现多用户在时频域上的非正交传输，有效提升信号传输的频谱效率和用户资源分配的灵活性。RSMA技术的主要思想是通过将原系统中的实际用户拆分为更多的虚拟数据流，增加了系统的信道容量域维度。通过容量域维度的增加，当前系统中传输和速率可以等效为遍历原系统中低维信道容量域边界上的任意一点，有效提升了信道资源利用率和传输灵活性。  在如图2.1-1所示的5G具体场景中，假设所有用户间均通过终端直通技术（D2D）进行通信。我们假定如下场景：用户Tx1和用户Tx2同时向用户Rx1传输信号。此时，用户Tx1和用户Rx1间的信道条件较好（绿色箭头所示），用户Tx2和用户Rx1间的信道条件较差（红色箭头所示）。若实际情况中，用户Rx1对于用户Tx1的业务传输要求较低，而对于用户Tx2的业务传输要求较高，则出现了信道条件与传输需求不匹配的情况。若直接采用传统的NOMA方案，对于用户Tx2而言将造成较差的传输性能。此时，若对于用户Tx1采用RSMA技术，即对两个用户的信号在功率域上进行重新设计，使得用户Tx1的部分速率用于传输用户Tx2的信息，便可以完成两个用户之间的协作，达到用户性能的整体改善。    图2.1-1 5G具体通信场景（D2D）  本课题所提出的面向5G的非正交多址中的信号设计方案即采用RSMA技术，主要是针对用户的传输速率进行拆分，其主体框架如图2.1-2所示。在发送端，实际用户被拆分为多路虚拟数据流，利用不同的功率进行区分，从而也等效于将各路虚拟数据流分割成不同的速率，以达到传输速率与传输需求的有效适配；在接收端，基于不同虚拟数据流所分配的功率之间的非正交特性，可以采用串行干扰消除型多用户检测（SIC-MUD）方法实现准最优多用户检测接收。    图2.1-2 RSMA技术整体框图  本课题针对信号设计方案的主要研究内容为RSMA技术的适用信噪比区间以及在此区间内使用RSMA技术进行速率分割时的分割因子的具体计算方案与优化思路。   1. RSMA技术的适用信噪比区间   RSMA技术的核心思想是通过对实际用户在功率上分割成虚拟数据流，从而实现速率的分割。在实际的应用场景中，我们主要希望通过分割信道条件好的用户的部分速率以帮助信道条件差的用户来传递信息，此时则应要求在采用RSMA技术前，信道条件好的用户的传输速率高于信道条件差的用户，才有进行速率分割的必要性。因此，对于已知发送功率、信道条件等参数情况下的通信系统，均可以通过理论计算得到适用于RSMA技术的信噪比区间，也正是本课题进行信号设计的前提条件。   1. RSMA技术中的分割因子确定方案   本课题结合实际的通信系统特性进行考虑，在RSMA技术的适用信噪比区间内，应当结合RSMA技术的自身特性要求与实际通信系统中的信号的调制与编码策略（Modulation and Coding Scheme, MCS）的自适应选择进行联合优化，对分割因子进行选择与确定。  a）合适的解调顺序  根据[7]中所提出的RSMA技术的具体方案，在接收端，所有的虚拟数据流都被视作单用户处理，统一进行多用户干扰消除检测和解调译码。其具体流程为，首先，计算出所有虚拟数据流的接收信干噪比，由大到小进行排序后，每次仅检测一路虚拟数据流，且最先解调出的是接收信干噪比最强的数据流；然后，从总的接收信号中减去上一步重构出的最强数据流干扰；接着再重构和抵消次强数据流干扰，依次类推，直至完成全部虚拟数据流的检测。  依据RSMA技术的基本原理，其中未被分割的用户的数据流的解调顺序，必须处于被分割的虚拟数据流之间，才能达到通过调整从而调整各用户的传输速率的目的。因此，在选择分割因子时，首先应当保证上述要求，并以此计算出的可选区间。  b）合理的能量信噪比  根据信息论的编码定理，可以从理论角度计算出通信系统的可靠通信区域。采用RSMA技术时，我们也希望每一路虚拟数据流都能尽可能达到可靠的信息传输。此时，首先考虑处于解调顺序最末位的那一路虚拟数据流，在保证其可以进行可靠传输时，进一步约束的可选区间。此时，计算出解调顺序排列在最末位的那一路虚拟数据流的能量信噪比，尽可能保证其落在可靠通信区域内，从而对进行进一步约束。  c）合适的MCS等级选择  本课题以实际通信系统为考虑，传输信号的调制方式及数据块长度均采用反馈信道质量指示符（Channel Quality Index, CQI）的自适应选择方式。因此，分割因子的选择应当与MCS等级的自适应选择进行联合设计。由理论分析可知，当系统内采用RSMA技术时，未被分割的数据流的传输速率随着的改变，较采用RSMA技术之前是降低的，此时其对应选择的MCS等级也会降低。为了避免未被分割的数据流的吞吐量过度降低，在选择时，我们定下准则，即保证未被分割的数据流的调制阶数在系统内采用RSMA技术的前后不会超过指定要求。  综合上述三条准则，在可选区间内遍历所有的，找到令三路虚拟数据流的吞吐量之和达到最大的一组分割因子。此时，根据系统需求，若需要分割出的虚拟数据流尽可能多地帮助原来未被分割的用户传输数据，则应在中选择尽可能大的、同时保证三路虚拟数据流的能量信噪比都尽可能落在可靠通信区域内的值作为最佳的分割因子。  2.2研究目标  根据当前通信系统中的用户的信道条件和传输速率，确定适合使用RSMA技术的信噪比区间。结合RSMA技术的自身特性与实际通信系统中的信号的调制与编码策略（Modulation and Coding Scheme, MCS）的自适应选择进行联合优化，构造一套完整的基于RSMA技术的信号设计体系，使无线信道资源得到更加充分地利用，同时使系统用户的传输速率选择更加灵活，获得多用户的适配增益。  2.3拟解决的关键科学问题  面向2020年及未来，移动互联网和物联网业务将成为移动通信发展的主要驱动力，5G将解决多样化应用场景下差异化性能指标带来的挑战，不同应用场景面临的性能挑战有所不同，用户体验速率、流量密度、时延、能效和连接数都可能成为不同场景的挑战性指标。面对数据流量的千倍增长、千亿设备连接和多样化的业务需求等严峻挑战，5G移动通信系统对于系统频谱效率和用户连接数目都有更高的要求。本课题基于RSMA技术，提出全新的面向5G的非正交多址中的信号设计方案，旨在充分提升系统频谱效率的同时有效提升用户资源分配的灵活性，获得多用户的适配增益，提升系统的整体性能。 |

|  |
| --- |
| **三、研究方案设计及可行性分析（包括：研究方法，技术路线，理论分析、计算、实验方法和步骤及其可行性等）（不少于800字）**  3.1研究方案设计  本课题具体的研究方案设计主要是针对RSMA技术的适用信噪比区间计算以及在此区间内使用RSMA技术进行速率分割时的分割因子的具体计算方案。   1. RSMA技术的适用信噪比区间的理论计算   根据RSMA技术的应用前提，以图2.1-1所示的具体通信场景为例，用户Tx1和用户Tx2同时向用户Rx1传输信号，此时在用户Rx1的接收信号为    其中，和分别为用户Tx1和用户Tx2的发送功率，和分别为用户Tx1和用户Tx2到用户Rx1的信道响应矩阵，为噪声。  对用户Tx1采用RSMA技术后，假设对于用户Tx1的分割因子为，此时在用户Rx1的接收信号为    其中，为用户Tx1的原始数据流，和为用户Tx2分割后的数据流。由（3.2）可见，RSMA技术相当于把实际的用户Tx1拆分为两路虚拟数据流，分别传输和。系统等效于从两个实际用户变换为三路虚拟数据流，进行数据传输。  作为初步研究，本课题均采用固定增益的恒参信道进行分析。此时，用户Tx1与用户Tx2与用户Rx1之间的信道信息可以简化表示为和。在采用RSMA技术之前，我们认为用户Rx1端的信号的解调顺序为用户Tx1优先于用户Tx2，即，此时，两者的传输速率分别为    其中，为噪声功率，为当前信噪比。  如前文所述，此时若需要采用RSMA技术，则应当满足用户Tx1的传输速率高于用户Tx2的传输速率的前提，即，才能通过分割用户Tx1的速率来帮助用户Tx2传输数据，即    当用户Tx1和用户Tx2的发送功率和信道条件满足(3.4)时，在此之前的信噪比区间内，都适合采用RSMA技术。   1. RSMA技术中的分割因子具体计算方案   a）合适的解调顺序  根据RSMA技术的基本原理对于解调顺序的要求，同样以图2.1-1所示的场景为例进行分析。对用户Tx1采用RSMA技术后，三路虚拟数据流的信干噪比分别为    此时，可以根据的数值分两种情况进行讨论。  当时，显然，此时需要保证三路虚拟数据流的信干噪排序如下    同理，当时，则有，此时需要保证三路虚拟数据流的信干噪排序如下    b）合理的能量信噪比  主要考虑解调顺序排在最末位的那一路虚拟数据流，根据其能量信噪比落在可靠通信区域内的划定对进行约束。同样，可以分为两种情况讨论。  当时，此时需尽可能保证虚拟数据流Tx21达到可靠的信息传输；而当时，此时需尽可能保证虚拟数据流Tx11达到可靠的信息传输，两种情况均应满足    其中，为每比特的信号能量，为当前系统自适应选择的MCS等级所对应信息速率，为系统带宽。  c）合适的MCS等级选择  以实际通信系统为考虑，分割因子的选择还需要与MCS等级的自适应选择进行联合设计。令，表示传输数据流的调制阶数，其中为调制符号的进制数。为防止采用RSMA技术后，未被分割的数据流的吞吐量过度降低，在选择时，我们定下准则，即保证未被分割的数据流的调制阶数在系统采用RSMA技术的前后不会超过2。对应于图2.1-1所示的场景，对用户Tx1采用RSMA技术后，则用户Tx2在系统应用RSMA技术后，应满足    其中，和均为自适应选择的调制阶数。  综合上述三条准则，遍历所有可选的，找到令三路虚拟数据流的吞吐量之和达到最大的一组分割因子，此时根据系统需求，若需要分割出的虚拟数据流Tx21尽可能多地帮助原来的实际用户Tx2传输数据，则应在中选择尽可能大的，同时保证三路虚拟数据流的能量信噪比都尽可能落在可靠通信区域内的值作为最佳的分割因子，即满足下式    当存在一个使得（2.10）中的三项条件都尽可能达到最大时，此时所得到的即为本课题所提出的RSMA技术中的分割因子确定方案中的最佳分割因子。  3.2可行性分析  本课题提出的面向5G的非正交多址中的信号设计方案，以RSMA技术为核心，提供了全新的用户区分和信号设计方式：将实际用户拆分为不同速率的虚拟数据流进行数据传输，与自适应选择的MCS等级进行联合设计。根据多用户信息理论，RSMA技术可以等效达到系统容量域边界上的任意一点，在实际系统中可以充分利用无线信道资源。同时，通过分割速率的用户划分方式与数据传输的自适应MCS等级进行联合设计，使得系统用户的传输速率选择更加灵活，同时能够获得多用户的适配增益。RSMA技术作为新型非正交多址框架下的创新方案，在发送端和接收端都有较为成熟的理论和技术作为支撑，是面向实用化的可行性方案。同时，RSMA技术在收发送端的处理相对集中，易于进行模块化设计，对于未来移动通信系统具有良好的后向兼容性。因此，以RSMA技术为核心的信号设计方案在理论上具有可行性，在实际工程应用中的可行性也因其性能优势而大幅提升。 |

|  |
| --- |
| **四、本研究课题可能的创新之处（不少于500字）**  针对5G移动通信系统的实际应用需求，本课题创新性地提出了以RSMA技术为核心的面向5G的非正交多址中的信号设计方案。  1）采用RSMA技术将通信系统中的实际用户拆分为更多的虚拟数据流进行数据传输，等效增加了系统中的用户数，也即增加了系统的信道容量域维度。此时，当前系统中的传输和速率可以等效为遍历原系统中低维度信道容量域边界上的任意一点，通过调节分割因子使得传输和速率在低维度信道容量域边界上滑动，有效提升了无线信道的资源利用率，也大大增加了用户资源分配的灵活性。  2）本课题提出的研究方案以实际通信系统作为考虑，根据各用户在实际通信系统中面对的信道质量、传输场景和需求不同， 将RSMA技术将对虚拟数据流的速率分割与传输信号的MCS等级的自适应选择进行联合设计，在提升用户资源分配的灵活性的同时获得多用户的适配增益，具有实用价值。  3）本课题提出的信号设计方案是面向5G移动通信系统，应对其实际通信需求和挑战，其应用场景也是主要针对5G的典型技术场景，包括需求更高用户连接能力、更高频谱效率的连续光域覆盖场景和大量用户接入的低功耗大连接场景，将RSMA技术与新型非正交多址技术相结合，利用信号在功率域上的非正交特征，进行全新的信号设计，实现多用户在时频域上的非正交传输。本课题的具体场景分析也是基于D2D技术的应用场景，符合未来移动通信的应用场景，具有良好的创新性。 |
| **五、研究基础与工作条件（1.与本项目相关的研究工作积累基础 2.包括已具备的实验条件，尚缺少的实验条件和拟解决途径）（不少于500字）**  5.1研究基础  1）已经对本课题所涉及的理论知识基础有了一定的掌握，包括多用户信息理论和传统非正交多址方案，从发送端的功率分配到接收端的多用户串行干扰消除技术，均已熟练掌握。同时，对5G移动通信系统和RSMA技术进行了深入调研。对于5G移动通信系统所面临的主要性能需求、严峻技术挑战及典型应用技术场景，都有了较为清晰地认识。对于RSMA技术也进行了深入学习，包括其基本理论原理和具体实现方法。  2）LTE通信系统的链路级仿真平台已经搭建，系统支持多用户的通信场景。该平台可以对用户的信道状态和发送功率进行不同的配置，可以模拟不同通信场景和传输需求下的性能仿真。同时，该平台已经具备自适应选择MCS等级的CQI反馈机制，可以根据当前的信道质量反馈对应的CQI，从而确定传输信号的调制方式和数据块长度。基于此，可以完成分割因子与MCS等级自适应选择的联合设计。  3）已经在此仿真平台上完成过传统NOMA方案的性能仿真，可以达到良好的吞吐率性能。同时，也已在平台完成过CQI反馈机制的性能测试，已验证MCS等级自适应选择的有效性。基于上述仿真基础，可以在平台上继续添加RSMA技术及分割因子的计算方案，最终仿真验证方案的可行性，评估设计方案的性能。  5.2工作条件  1）硬件：  联想IdeaCentre K450 微型计算机 处理器：Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU 3.40 GHz  戴尔PoweEdge R410 服务器 处理器：Intel(R) Xeon(R) E5620 CPU 2.40GHz 2.39GHz  2处理器  2）软件：  Windows操作系统；Microsoft Visual Studio 2010  所需的实验条件均已具备。 |

**学位论文工作计划**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 时间 | 研究内容 | 预期效果 |
| 2016.1-2016.2 | 完成RSMA技术的仿真部分 | 采用RSMA技术前后的传输和速率性能无较大差异 |
| 2016.3-2016.4 | 完成分割因子选择的仿真部分 | 可以根据既定方案选择出最佳的分割因子 |
| 2016.5 | 优化分割因子的选择方案 | 系统获得更优的性能或者降低计算复杂度 |
| 2016.6 | 对仿真结果进行分析和总结 | 仿真结果与理论分析吻合，研究方案可以获得部分性能优势 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 评  定  小  组  成  员 | 姓 名 | 职 称 | 单位名称 | 职务 |
| 牛凯 | 教授 | 北京邮电大学 | 组长 |
| 贺志强 | 副教授 | 北京邮电大学 | 成员 |
| 许文俊 | 副教授 | 北京邮电大学 | 成员 |
| 郭莉 | 教授 | 北京邮电大学 | 成员 |
| 林家儒 | 教授 | 北京邮电大学 | 成员 |
|  |  |  |  |
| 导师意见： | | | | |
| 同意开题。 | | | | |
| 导师（签名）：  日期： 年 月 日 | | | | |
| 开题报告小组意见： | | | | |
| 组长（签名）：  日期： 年 月 日 | | | | |
| 学院意见（签章）： | | | | |
| 负责人：  日期： 年 月 日 | | | | |