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: 2012140042

姓 名: 欧远彪

学 院: 信息与通信工程学院

专业(领域): 电子与通信工程

研究方向: 无线和移动通信技术

导师姓名: 贺志强

攻 读 学 位: 工程硕士

2013年11月20日

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 论文题目 | 基于Turbo单载波频域均衡的高速水声MIMO通信系统设计与技术研究 | | |
| 选题来源 | 其他 | 论文类型 | 基础研究 |
| 开题日期 | 2013-12-20 | 开题地点 | 北京邮电大学 |
| **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）**  1.研究意义  近几年来水声通信愈来愈受人们的关注，尤其是在它的应用从军事领域扩展到商业方面后。考虑到光波，电磁波在水声信道中的衰减极为严重，声波被认为是到目前为止在水中可能实现中远距离无线通信的唯一手段[1]。早期的有缆信息传输方式由于受通信范围约束、设备安装的困难、高额维护、以及给水下航行造成阻扰等弊病的影响，应用受到极大限制。相对于陆地无线通信来说，水声通信的发展是滞后的，这与水声信道的复杂性严重相关：水声信道的时空变换特性难以真实模拟、水下尤其是海洋中衰耗因素多、多普勒效应明显、声波的海面海底障碍物反射以及各种散射导致的严重多途效应还有海水对声波的吸收与声波的频率有关而导致的通信带宽严重受限，这些都阻碍了水声通信朝着高质量、高速率方向发展[2]。  人们对水声通信的研究热情并没有因为困难重重而消减，水声通信最初应用于军事领域，服务于战争，最近十几年，随着人类对海洋资源的不断开发和利用显示了水声通信广阔的商用前景。现在水声通信已广泛应用于潜艇之间的通信、水面舰艇与潜艇的通信、海上遥控和遥测遥感、海上环境系统的污染监测、石油勘探工业、水下图像语音传送等等[3]，人们对水声通信实时性的需求已从点对点通信转向了水下局域网通信。  2.国内外研究现状和发展趋势  水声通信和空陆通信一样经历了最初的模拟通信阶段到现在的数字通信，经历了有线通信过程到无线通信的蜕变。水声通信和空陆通信一样经历了最初的模拟通信阶段到现在的数字通信，经历了有线通信过程到无线通信的蜕变。美国海军实验室于1945 年研制的水下电话是世界上第一个具有实际意义的水声通信系统[4]，该通信系统采用模拟的单边带调制技术，主要用于潜艇之间的通信。随后的几年也有一些模拟的水声通信系统问世，但由于模拟调制系统抑制水声信道对信号产生畸变的能力不强，还有对功率利用率不高，水声通信系统的性能难以提高。早期对水声信道的研究就表明声波的传播损失和海水吸收会使得信道可用带宽窄和传输距离受限[5]。所以这一时期问世的水声通信系统大多以降低速率、非相干解调和频率调制的方式来克服上述困难和多径以及由此引起的相位起伏问题。FSK 或者MFSK 一度被认为是水声通信中克服多径的最佳调制方式[6]，但它们的频率利用率低，通信速率不高。我实验室就曾做过基于FSK 体制的水声通信系统，湖试的结果是能实现通信，它确实不受多径的影响，但是通信速率比较低。  随着各种处理技术的发展以及计算机运算能力的增强，相位相干的水声通信系统陆续出现。起初的相位相干调制采用的是差分相干调制，例如DPSK，采用这种方式的解调不需要相干载波，在抗多径和抗相位抖动方面都有一定的成效，但受噪声影响较大。  从上个世纪90 年代至今，高速相干的水声通信系统一直是研究热点，各种相干调制方式的水声通信系统试验结果相继发表出来。现在水声通信又有了新的研究方向，将多载波调制技术，各种分集技术和接收均衡以及编码等技术和谐的应用到水声通信系统中去。  总的来说，与空陆通信相比，水声通信的发展较缓慢，空陆通信的飞速发展刺激着水声通信的发展。虽然目前相位相干的高速传输技术是水声通信的热点，但应保密通信的需求，国内外对水声扩频通信技术也进行了较深入的研究。国外，研究水声扩频通信的单位相对较多，具有较大领先优势的是美国、西班牙及俄罗斯的海军。国内，中科院声学研究所、哈尔滨工程大学、厦门大学、西北工业大学以及东南大学等一些科研机构和大学也开始加大力度研究水声通信，从发表的文章上看也取得了一些成果[7]。  3.参考文献  [1] R. Galvin, R.F.W. Coates. Analysis of the performance of an underwater acoustic communications system and comparison with a stochastic model [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1994,3(2):478-482  [2] Byran Woodward, Hayri Sari. Digital underwater acoustic voice communications [J].IEEE Journal of Oceanic Engineering,1996,21(2):181-192  [3] 刘孟庵,连立民. 水声工程[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,2002:10-12  [4] Stojanovic, M. Underwater acoustic communications [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering ,1995,16(3):435-440  [5] 涂峰,黄瑞光. 水声信道的建模与仿真研究[J]. 微计算机信息,2003,19(5):9-11  [6] 阎振华,黄建国,张群飞等. 水下通信信号发射系统的设计与实现[J]. 测控技术,2007,26(5):181-183  [7] 朱昌平,韩庆邦,李建等. 水声通信基本原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2009:34-39  [8] M. Stojanovic and J. Preisig, “Underwater acoustic communication channels: Propagation models and statistical characterization,” IEEE Commun. Mag., vol. 47, pp. 84-89, Jan. 2009.  [9]A. Baggeroer, “An overview of acoustic communications from 2000 – 2012,” in Proc. Underwater Communications: Channel Modelling & Validation, Sestri Levante, Italy, Sep. 12-14, 2012.  [10]J. Zhang and Y. R. Zheng, “Frequency-domain Turbo equalization with soft successive interference cancellation for single carrier MIMO underwater acoustic communications,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 10, pp. 2872-2882, Sep. 2011.  [11]F. Pancaldi, G. M. Vitetta, R. Kalbasi, N. Al-Dhahir, M. Uysal, and H. Mheidat, “Single-carrier frequency domain equalization,” IEEE Signal Process. Mag., vol. 25, pp. 37-56, Sep. 2008.  [12]N. Benvenuto and S. Tomasin, “On the comparison between OFDM and single carrier modulation with a DFE using a frequency-domain feedforward filter,” IEEE Trans. Commun., vol. 50, pp. 947-955, June 2002.  [13]N. Benvenuto and S. Tomasin, “Iterative design and detection of a DFE in the frequency domain,” IEEE Trans. Commun., vol. 53, pp. 1867-1875, Nov. 2005.  [14]B. Ng, C. Lam, and D. Falconer, “Turbo frequency domain equalization for single-carrier broadband wireless systems,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 6, pp. 759-767, Feb. 2007. | | | |

|  |
| --- |
| **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）**  1.研究内容  本课题的研究内容是应用于高速水声通信环境中的单载波频域均衡通信系统的设计。  在单载波相干水声通信中，随着通信速率的提高，码间干扰可持续几十甚至上百个符号，导致均衡器结构复杂、收敛困难、计算量大，这样的均衡器在实时高速水声通信中应用是很困难的，而多载波通信将可用的频带划分为一系列的子载波，增加了码元的持续时间，进而可以有效地对抗多径时延扩展，并且采用了简单的频域均衡。多载波OFDM技术为实现实时高速水声通信提供了一种可行的选择。在OFDM技术的实验室研究日渐成熟，其峰均比过高的弱点逐渐成为系统实现和性能提高的瓶颈时，Sari于1994年首先发起重新讨论单载波频域均衡(Single Carrier Frequency Domain Equalization，SC-FDE)技术，接着各国的研究者就SC-FDE的原理、性能以及符号结构和信号处理算法等开始了研究。特别是近几年，该技术在无线通信以及超宽带通信中，引起了广泛关注，并于2003年4月与OFDM一起被IEEE802.16a协议收录为两种高速传输模式。在单载波传输技术中，需要在接收端采用均衡器来补偿码间干扰，均衡可以采用传统的时域均衡器，也可以在频域进行，相应的系统分为单载波时域均衡系统(Single Carrier Time Domain Equalization，SC-TDE)和SC-FDE系统。  考虑到光波，电磁波在水声信道中的衰减极为严重，声波被认为是到目前为止在水中可能实现中远距离无线通信的唯一手段。但由于声波频率远低于电磁波频率，导致水声通信系统中的载波频率（约10kHz）要远小于空中无线通信的载波频率（约1GHz）。载波频率的大幅度减小以及声波在水中传输的快速衰减，使得水声通信系统的带宽也变得十分受限，大约只有10kHz。因此设计合适的系统带宽、载频和采样率至为重要，这将直接决定设计的水声通信系统是否可行。  在浅海环境中，海底海面的边界效应以及海洋生物、海水气泡等散射体的散射，使得水声信道具有严重的多径效应。单载波频域均衡通过在频域上补偿信道的不完美特性，以期达到消除多径引起的符号间干扰。要在频域上对接收信号进行补偿操作，在时域上跟OFDM相似，需要使用循环前缀，把线性卷积转化为循环卷积。为了完全克服因多径带来的符号间干扰（ISI），一般要求循环前缀序列的长度大于信道的最大多径时延。此外，如果循环前缀还用作系统同步，那么同步算法也需要有较长的序列长度。因此设计系统的帧结构时，需要保证循环前缀足够长。为了保证通信速率，一帧中的有用数据部分的长度至少要占50%以上的，所以当循环前缀过长时，一帧的持续时间也会过长，水声信道特性会发生明显的变化，这会大幅降低频域均衡的性能。因此，循环前缀需要设计合适的长度，既能满足ISI消除和同步需求，又能保证通信速率和均衡性能。此外，考虑到系统同步和信道估计的需要，循环前缀将使用特殊序列，选择满足特性的特殊序列作为循环前缀，关系到同步和信道估计的准确度，因此合理的设计作为循环前缀的导频序列也十分重要。  课题通过对单载波频域均衡的发展历程进行调研，寻找在恶劣的水声信道中依然能确保水声通信系统性能的均衡算法，并尝试对均衡算法进行改进。  （1）单载波频域均衡的发展历程  1994年，Sari首先发起重新讨论单载波频域均衡技术；  1998年，Clark提出了几种非自适应和自适应频域均衡方法；  2002年，Falconer对单载波频域均衡进行了总结，并且比较了单载波频域均衡与正交频分复用（OFDM）的优劣性，分析了单载波频域均衡所具有的优势；  2005年，Morelli，Sanguinetti，Mengali对单载波自适应均衡进行了研究，提出了几种更加实用的自适应均衡算法，并且给出了需要在频域均衡中使用的噪声方差的估计方法。  2007年，Banjamin Ng依据迭代的思想，提出了Turbo均衡的概念，给出了时域反馈频域均衡以及频域反馈频域均衡两种Turbo频域均衡算法，并且还给出了与Turbo均衡相连的信道估计算法。  2008年，由Fabrizio Pancaldi，Giorgio M.Vitetta，Reza Kalbasi，Naofal Al-Dhahir，Murat Uysal，and Hakam Mheidat等大师详细梳理了单载波频域均衡近年来的发展历程，总结并提出了CPM SC-FDE、Turbo SC-FDE、 MIMO SC-FDE等几个未来的研究方向。  （2）单载波频域均衡的算法分类  线性均衡：最简单的单载波频域均衡方式，包括迫零均衡（ZF）和最小均方误差均衡（MMSE）。其中迫零均衡以完全补偿信道不完美特性为目标，不考虑噪声的影响，因此当信道频域特性出现深衰频点时，会极大地放大噪声，导致恢复出来的信号噪声干扰过大。综合考虑信号恢复和噪声放大问题，以恢复信号与原始信号间的最小均方误差为目标的MMSE均衡，在信道频域衰落较严重时，性能明显优于迫零均衡。  非线性均衡：在信道特性变得更加复杂的时候，线性均衡的性能将迅速下降，因此需要在线性均衡的基础上，加入判决反馈均衡（DFE），通过对原判决信息的再利用，来提升系统稳定性。非线性均衡引入的判决反馈方式包括了频域反馈和时域反馈。在计算复杂度上分析，频域反馈要优于时域反馈。  简单的迭代均衡：在非线性均衡的基础上，对同一帧数据进行多次迭代均衡，形成封闭的环路系统，通过不断地迭代，逐步更新均衡系数，使得均衡性能逐渐收敛于最佳点。简单的迭代均衡并为涉及到信道译码部分，多次迭代只是不断修正接收到的符号，并未将译码模块联合到迭代过程中。  Turbo均衡：将简单的迭代均衡进行改进，把信道译码部分与信道均衡联合进行迭代，通过硬信息或软信息的交互，更新均衡系数，把信道译码部分的增益加入到迭代过程中，不断修正码字，进一步提升系统性能。  2.研究目标  针对水声信道多径干扰剧烈，多普勒效应严重以及信道时变迅速的特点，课题将设计出合理适用的单载波频域均衡通信系统，其中包括通信系统的带宽、载频、采样率、帧结构、导频序列、编码译码结构、调制解调方式、同步算法、信道估计算法、信道均衡算法等方面，保证设计出的水声通信系统的可行性、可靠性和有效性。课题重点研究的算法是信道均衡算法，拟采用Turbo均衡技术，保证复杂水声信道中通信的可靠性。研究的最终目标，是设计出一个实用可行的高速水声单载波频域均衡通信系统，能投入到海洋实验甚至应用中。  3.拟解决的关键科学问题  单载波频域均衡中的关键技术有：系统同步、信道估计和信道均衡。课题设计的水声通信系统的同步拟采用m序列作相关搜索峰值的方式，信道估计拟采用基于压缩感知的信道估计算法。  本课题的研究重点是其中的信道均衡技术。相对于之前的均衡原则和方法，Turbo均衡通过将信道均衡和信道译码部分联合进行迭代处理，利用译码输出的硬判决信息或软判决信息的反馈，不断更新均衡系数，甚至包括信道响应估计，循环迭代的过程，以更大的复杂度提升了系统对抗信道深衰落和快衰落的能力，进一步提升了系统的误码性能。本课题针对复杂的水声信道，拟采用Turbo均衡作为水声通信系统的信道均衡技术，虽然复杂度会有所增加，但对于复杂的水声信道，希望以此来保证系统的误码性能。 |

|  |
| --- |
| **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）**  研究方法  通过前期的调研和大量的文献阅读，结合目前的研究热点、前人的研究成果以及已有的方案，作者选择“基于Turbo单载波频域均衡的高速水声MIMO通信系统设计与技术研究”作为课题的研究方向。  一个通信系统的设计，需要考虑多个方面，为了保证设计出来的系统各个参数的合理性，需要有大量的理论基础和实测数据做铺垫，因此前期的研究方法主要进行调研和文献阅读，总结前人的研究成果以及已有方案，整理单载波频域均衡技术的发展历程，对各阶段的均衡技术进行研究学习。  第二阶段的研究方法是对之前阅读的文献整理分析，总结出水声信道的特点，以此为基础设计合理的通信系统参数，包括采样率、带宽、载频、帧结构、调制解调方式、编译码方式等，给出适用于水声信道中的单载波频域均衡通信系统的大体框架设计方案。并且，对设计的方案进行仿真测试，保证仿真条件下系统的性能。  第三阶段将上一阶段设计的通信系统投入到海洋实验当中，在浅海域做实验，收集现实实验场景中的数据，对接收到的数据进行处理分析，检验通信系统的性能，如系统性能不满足要求，需要对原设计进行相应修正。  技术路线  系统同步采用m序列作为导频，对接收到的m序列与本地生成的m序列作相关，逐步搜索峰值位置，寻找同步点。信道估计拟采用基于压缩感知的信道估计算法。  信道均衡拟分别采用迫零均衡、MMSE均衡、简单的迭代均衡以及Turbo均衡四种方式，相互对比，寻找合适的方案。Turbo均衡通过将信道均衡和信道译码部分联合进行迭代处理，利用译码输出的硬判决信息或软判决信息的反馈，不断更新均衡系数，甚至包括信道响应估计，循环迭代的过程，以更大的复杂度提升了系统对抗信道深衰落和快衰落的能力，进一步提升了系统的误码性能，因此研究的重点将放在Turbo均衡上。  可行性分析  本课题针对水声信道的特性拟设计适用于高速水声通信环境的单载波频域均衡通信系统，前人对水声信道的特性已有大量的研究，分析了水声信道的系统带宽及载波频率范围，基于前人研究的基础上，设计合理实用的水声通信系统是切实可行。  Turbo均衡的思想在2007年，由Banjamin Ng提出，经过几年的研究应用，其在误码性能上的提升已经得到验证，应用于复杂的水声通信系统中，以对抗复杂水声信道引起的误码性能的降低，这是切实可行的。  我实验室与澳洲Curtin大学达成合作，共同研究水声通信系统的设计项目，因此在海洋实验中收集实际数据并检验通信系统设计方案也是切实可行的。 |

|  |
| --- |
| **四、本研究课题可能的创新之处（不少于500字）**  1.应用于水声信道环境中的单载波通信系统的设计，需要针对水声信道的特点进行相应的调整设计，包括帧结构、导频序列的设计等，以保证通信系统的可行性、可靠性以及有效性。这需要大量地总结前人的研究成果，结合实际需求，给出个人的设计方案。  2.Turbo均衡算法以增加一定复杂度的代价，换来了误码性能的提升。但在实际的水声通信中，投入使用时需要保证系统的实时性，Turbo均衡的计算复杂度不能过大。寻找一个优化算法，对Turbo均衡的计算复杂度进行优化，将成为本课题的一个创新点。  3.Turbo均衡是将信道均衡部分与信道译码部分联合起来进行迭代，逐步更新均衡系数。虽然能提升系统误码性能，但也在一定程度上造成了通信速率的下降，在实际设计中，是否一定要把信道译码加入迭代过程，以及采用何种信道编码方式，这都需要根据具体情况进行相应地调整设计。研究一种在误码性能和通信速率上折中的均衡算法以改进Turbo均衡，也会是本课题的一个创新点。  4.单载波频域均衡使用的假设前提是一帧数据的持续时间内，信道的冲激响应变化缓慢，可以认为是不变的。但在水声信道中，由于水声载波速率远低于空中电磁波载波速率，因此多普勒效应更加严重，此外还有水流的变化等因素，导致水声信道的冲激响应在一帧数据的持续时间里是变化的，且变化趋势无法预测。如何在时变信道下对Turbo均衡算法进行调整，是将Turbo均衡应用与实际水声通信系统中的一大挑战，也将是本课题的一大创新点。 |
| **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）**  1.研究基础  作者在攻读硕士学位的第一学年主要参与实验室高速水声通信相关的科研项目，在该项目中一直专注于信道均衡问题的研究，对于水声信道的特性、系统同步的方法、信道估计的主流算法、信道均衡的基本原理、Turbo编译码等方面都有比较清晰的认识和理解，对于单载波频域均衡系统的设计流程也比较熟悉，掌握并实现了单载波Turbo频域均衡的算法，能熟练运用各种频域均衡方法，并且能熟练使用仿真语言。    2.已经具备的实验条件  作者已阅读了大量的参考文献，对水声信道的特性以及信道均衡的原理有了一定程度的认识和理解，已完成了AWGN信道下迫零均衡、最小均方误差均衡、迭代均衡等算法，并有已在多径瑞利衰落信道中分别测试，得到初步的仿真结果。  此外，依据对水声信道特性的了解，已初步设计了一个单载波水声通信系统，并投入到第一次海洋实验当中，收集到了一定的数据，运用迭代均衡算法进行初步分析。  3.尚缺少的实验条件  由于最初设计系统时考虑不够周全，信道编码方式选择以及帧结构设计不够合理，有待修正，可能还需要进行第二次海洋实验。  4.拟解决途径  根据第一次实验数据的分析结果，对设计的通信系统结构进行相应地调整，信道编码方式选择更适合Turbo均衡算法的编码方式，帧结构针对水声信道的时变特性进行相应地调整。此外，还需对迭代均衡算法进行优化或改进，进一步提升系统性能。 |

**学位论文工作计划**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 时间 | 研究内容 | 预期效果 |
| 2013.12-2014.1 | 阅读信道均衡与水声通信方面的文献，了解水声通信和单载波频域均衡的研究现状和相关研究热点 | 选择合适的研究点，确定合理的研究方案 |
| 2014.2-2014.4 | 深入了解单载波频域均衡算法，并初步设计水声通信系统 | 理解频域信道均衡算法，设计合理的水声通信系统 |
| 2014.5-2014.8 | 对设计的水声系统在AWGN、瑞利衰落信道下进行理论评估和仿真分析，并进行海洋实验收集实验数据 | 完成水声通信系统的设计，并进行性能测试 |
| 2014.9-2014.10 | 对研究课题的其它创新之处作可行性探索 | 完善课题研究成果，实现可能的创新之处 |
| 2014.11-2014.12 | 对之前的研究成果进行书面总结 | 完成毕业论文撰写 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 评  定  小  组  成  员 | 姓 名 | 职 称 | 单位名称 | 职务 |
| 田宝玉 | 教授 | 信息与通信工程学院 | 成员 |
| 牛凯 | 副教授 | 信息与通信工程学院 | 成员 |
| 贺志强 | 副教授 | 信息与通信工程学院 | 成员 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 导师意见： | | | | |
| 本课题的研究重点是其中的信道均衡技术。相对于之前的均衡原则和方法，Turbo均衡通过将信道均衡和信道译码部分联合进行迭代处理，利用译码输出的硬判决信息或软判决信息的反馈，不断更新均衡系数，甚至包括信道响应估计，循环迭代的过程，以更大的复杂度提升了系统对抗信道深衰落和快衰落的能力，进一步提升了系统的误码性能。本课题针对复杂的水声信道，拟采用Turbo均衡作为水声通信系统的信道均衡技术，虽然复杂度会有所增加，但对于复杂的水声信道，希望以此来保证系统的误码性能。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 | | | | |