**项目情况简介（省科学技术奖）**

**1、项目名称**

智能高效短波通信网产业化及应用

**2、主要完成人**

王陈春、李波、马卓、李振友、王铁勇、王宁、董小文

**3、提名单位**

陕西电子信息集团有限公司

**4、提名意见**

该项目针对现有短波无线通信网组网成本高、通信时延不可控，传输容量小、宽带功放线性化要求高等难点，通过采用多模式复合同步组网技术、自适应跳频主动传输技术、子块分解的单载波频域均衡技术、深度学习的预失真技术构建了远距离自适应高可靠扁平化网络，成功研制了智能高效短波通信网系列创新性产品。

该项目在实施过程中，与合作单位共同取得了多项创新性成果。研制的智能高效短波通信网系列产品已大量应用于国民经济的各个领域及海外市场，取得了良好的社会和经济效益。

经审查，认为该项目国内先进，同意推荐该项目参加陕西省科学技术奖评奖，并建议参评“提名三等奖及以上”。

**5、项目简介**

该智能高效短波通信网属于无线通信领域的技术创新项目。

短波通信经过九十多年的发展历史，传输方式从点对点通信到综合组网，实现了高性能数据传输及智能化的业务管理，紧密联系着国防事业，成为国家不可或缺的无线通信手段之一。尽管现在的卫星通信蓬勃发展，但是短波通信凭借着具有无需中继便可远距离通信的能力不仅一直无法被取代，反而发展更加迅速。

智能高效短波通信网是针对短波通信中频率资源有限，频段窄，通信容量小，信号传输稳定性差，抗干扰能力差等缺陷，以及组网性能达不到预期效果等实际情况，于2014年开展了本项目研究，并以此为研究基础，在陕西省科学技术研究发展计划（工业攻关）的资助下，完成了第一版智能无线通信网（VOS信息传输系统）的研制和交付。同时又开展了第二版智能无线通信网的研究。

在本项目新技术开发中重点对如下主要创新内容进行了研究：

1. 多模式复合同步组网技术

项目基于同步组网的工作模式，因此设备之间如何获得时间同步是一个关键的问题。由于短波通信是一种具有高度的抗毁性的通信方式，其抗毁性能是优于卫星通信的，因此基于现有的GPS或北斗等定位系统所提供的时钟信息进行全网同步将会降低短波通信所固有的顽健性。本项目在基于GPS和北斗的全网同步方案中增加了一种利用现有的短波授时信号进行全网同步作为备选方案，以最大化的保证短波通信系统在极端环境下的可用性。

1. 自适应跳频主动传输技术

基于自适应跳频的主动传输技术是一种无需建链即可进行通信的高效的短波传输方案。传统的短波通信大都需要在数据传输之前进行链路建立，保证数据传输采用了合适的频点，但是也降低了传输的效率。本项目通过应用自适应跳频技术，使得发送端无需建链即可直接开始数据传输，并在数据传输过程中对跳频序列进行调整，最终使得传输特性更好的频率点被更多的使用，而传输特性较差的频率点被选中的概率较低，从而传输频点能够收敛到具有最佳的传输特性的频点上，进而实现可靠的数据传输。同时由于方案中使用了取值为整数的权值等效为概率值，在实际应用中便于实现。

1. 基于单载波频域Turbo均衡的宽带短波接收技术

本方案具有3kHz到24kHz的带宽智能选择的功能，因此实现多种带宽下的可靠的数据传输也是本方案需要解决的问题。在宽带传输条件下，短波信道固有的高达若干个ms的多径时延将会引入多达上百个符号的码间串扰。本方案采用基于子块分解的单载波频域均衡方案，其均衡过程仍然在一个FFT块内进行，不需要消除各个子块间的干扰，大大降低了运算复杂度，并且其误码性能优于现有技术，适用于更加恶劣的信道传输环境。本项目还将上述频域均衡方案推广到了Turbo均衡中，实现了针对时变信道的高计算效率的Turbo均衡方案。

1. 短波大功率放大器线性化技术

功率放大器是实现本系统的关键部件，在宽带模式下，需要使用非恒定包络调制技术，但容易受到功率放大器非线性特性的影响，产生带内失真和带外杂散，直接影响到系统性能。通过功率放大器线性化技术可以有效弥补非线性效应，平衡高频谱利用率和系统指标的矛盾。

该项目成果已申请国家专利5项，其中获授权发明专利5项，获授权实用新型专利5项，发表论文4篇，专著1篇。

该项目研究成果已陆续在国内某部取得应用，通过了项目验收。通过中电科某所出口埃及。而且在本项目的支撑下，研制的短波终端设备先后以军贸、军援形式出口非洲、东南亚、中东、中亚等多个国家和地区，累计实现销售收入达1亿多元。埃及、苏丹、老挝、吉布提、安哥拉等国家是本项目重点推广市场，以本项目技术创新为出发点，短波终端技术得到大幅提升，产品在各地区市场占有率逐年提高，在苏丹、埃塞俄比亚等国家产品占有率达99%，取得了良好的社会效益和经济效益。

**6、客观评价**

1、本项目运用了具有自主知识产权的多项发明专利技术，构建了智能高效短波通信网，为本项目的开发提供了技术支撑；

2、现有短波综合业务网通过架设短波基站解决了短波可通率低的问题。该模式下短波移动节点只和基站通信，移动节点到移动节点通信需要多次中继，延时较大，占用资源较多，本项目是一种专用通信网，主要解决紧急信息如边防雷达空情或自然灾害预警等低时延信息远距离传输，网络不依赖基站，架设简单，适用于远距离应急通信，具有很好实用价值。本项目中的接收站设备采用了多信道接收模式，可以对任意频段或者全频段进行监听接收，结合短波频率信息库和网络选频机制可以保障短波链路可通率达到99%。

3、本项目获得陕西省电子学会科学技术奖二等奖；

4、本项目在国内大量应用，在反恐、应急、人防、气象、海监、气象等部门取得了广泛应用；而且通过国际贸易公司或相关研究所出口到东南亚、非洲、中亚、西亚等多个国家。通过中电科第二十八所已出口埃及的VOS信息传输系统已经完成了一期交付，二期研制工作已基本结束。准备交付；苏丹项目已签订合同，准备执行；

5、国内外同行在重要学术刊物、学术专著和重要国际学术会议公开发表的学术性评价意见等，可在附件中提供证明材料；

6、与国内海格、海能达、熊猫电子、中原电子、天津712等国内大型专业通信企业相比，采用本项目技术的智能高效短波网项目属国内首家完成研制并交付国内外用户的工程建设项目；系统技术指标及功能在国内处于领先水平，与欧、美等国外同类产品标准技术相当，整体性能接近国际先进水平。在创造经济效益和社会效益方面，尤其在社会效益上，不劣于国际先进技术系统。该系统数核心技术为公司自有，并且与欧、美等先进国家相比，成本较低、集成度高、更适合国外欠发达国家和地区组网需求，通过技术升级在国内已取得应用，市场竞争优势明显。除已授权的发明专利和实用新型专利外，已申请的其他发明专利已进入实审阶段。

**7、应用情况**

该项目研发成功后，系统产品和系统单体设备先后完成了多批次的生产和销售，已累计实现销售收入1亿多元，创汇1千多万美元，上缴利税3500多万元。

在国内市场应用方面，完成了保障指挥控制系统（短波IP化改造项目）的项目交付和验收。而且基于本项目研制的通信系统和新一代单体设备，已陆续在国内各省、市人防部门和气象部门取得了广泛应用。

在国际市场应用方面，研发的VOS信息传输系统（短波通信系统）通过中电科第二十八所已出口埃及，并通过了验收。新一代单体设备也分别出口到肯尼亚、苏丹、埃塞俄比亚、老挝、吉布提、印度尼西亚等多个国家和地区。目前已与多家国外用户签订了合同或达成了意向需求。

总之，本项目已在应对国内反恐、突发事件中发挥了关键作用。基于本项目研制的新一代短波气象传输系统，实现了高速图文传输，海洋气象图文显示，为远海作业船只提供了有力的气象信息和通信保障，提升了渔业部门的防灾减灾能力。在国外市场，已与多个国家建立了长期友好的合作关系，通过设备采购、技术转让、技术服务等多种方式，为这些国家提供了先进的通信设备，培养了大量的当地技术人才。近年来，用户已不满足于基本通信设备的采购，对采用新技术的先进设备需求更加强烈，采购新设备和老产品技术升级已成为签订合同的第一条件。因此，用户需求的变化，不但促进了公司持续的技术进步和技术创新能力，而且也给公司带来了可观的经济效益和外汇收入

**8、主要知识产权和标准规范**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **知识产权类 别** | **知识产权**  **具体名称** | **国家**  **（地区）** | **授权号** | **授权日期** | **证书编号** | **权利人** | **发明人** |
| 1 | 发明专利 | 基于压缩映射的自适应随机跳频序列生成方法 | 中国 | ZL201511024056.1 | 2018年4月17日 | 2887057 | 西安电子科技大学 | 马卓、郭彦涛、杜白、杜栓义、史健康 |
| 2 | 发明专利 | 基于子块分析的单载波频域均衡方法 | 中国 | ZL201510412966.0 | 2018年3月6日 | 2835324 | 西安电子科技大学 | 马卓、杜栓义、孙婷婷、孙霖楠 |
| 3 | 发明专利 | 利用短波授时信号校准本地时钟的方法 | 中国 | ZL201710255509.4 | 2018年11月16日 | 3151290 | 西安电子科技大学 | 马卓、张伟、刘维、杜栓义 |
| 4 | 发明专利 | 一种包络跟踪自适应预失真功率放大器 | 中国 | ZL201510504307.X | 2018年5月15日 | 2924712 | 西安邮电大学 | 李波、韩磊、张琦、王佳敏、耿凡越 |
| 5 | 发明专利 | 适用于短波电台网络性能测试的业务模拟装置和方法 | 中国 | ZL201510869408.7 | 2018年5月4日 | 2910366 | 烽火实业 | 王宁、路彬、汪全国、罗程、李辉 |
| 6 | 实用新型 | 可进行组网切换的电台侦查系统 | 中国 | ZL201621470414.1 | 2017年7月4日 | 6271393 | 烽火实业 | 王莹、陈志恒、马雅楠、王宁、张博 |
| 7 | 实用新型 | 一种综合接入与交换系统 | 中国 | ZL201620078283.6 | 2016年6月29日 | 5318036 | 烽火实业 | 董克成、杨恒煜、郭永刚、王铁勇、王宁 |
| 8 | 实用新型 | 一种适用于短波电台的网络通信装置和系统 | 中国 | ZL201721266933.0 | 2018年5月4日 | 7300685 | 烽火实业 | 杨恒煜、杨天鹏、 |
| 9 | 实用新型 | 一种电台无线遥控装置及系统 | 中国 | ZL201520984465.5 | 2016年5月11日 | 5194955 | 烽火实业 | 陈志恒、杨恒煜、郭永刚、王铁勇、王宁、张博 |
| 10 | 实用新型 | 一种短波多路信号侦测与并发处理系统 | 中国 | ZL201621467484.1 | 2017年8月11日 | 6377084 | 烽火实业 | 董克成、杨恒煜 |

**9、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **公示姓名** | **排 名** | **行政职务** | **技术职称** | **工作单位** | **完成单位** | **对本项目贡献** |
| 1 | 王陈春 | 第【1】完成人 | 副总经理 | 高工 | 烽火实业 | 烽火实业 | 项目总负责人 |
| 2 | 李 波 | 第【2】完成人 | 西邮 | 副教授 | 西安邮电大学 | 西安邮电大学 | 系统架构负责人 |
| 3 | 马 卓 | 第【3】完成人 | 西电 | 讲师 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 本项目3项关键技术负责人 |
| 4 | 李振友 | 第【4】完成人 | 总经理 | 正高工 | 烽火实业 | 烽火实业 | 本项目技术攻关负责人 |
| 5 | 王铁勇 | 第【5】完成人 | 部长 | 高工 | 烽火实业 | 烽火实业 | 项目系统研发和实施项目管理负责人 |
| 6 | 王 宁 | 第【6】完成人 | 室主任 | 高工 | 烽火实业 | 烽火实业 | 项目单体设备软件负责人 |
| 7 | 张毅 | 第【7】完成人 | 室主任 | 工程师 | 烽火实业 | 烽火实业 | 项目短波接收机负责人 |
| 8 | 董小文 | 第【8】完成人 | / | 工程师 | 烽火实业 | 烽火实业 | 项目结构设计负责人 |
| 9 | 张 博 | 第【9】完成人 | 室主任 | 工程师 | 烽火实业 | 烽火实业 | 项目短波发射机、短波电台负责人 |

**10、主要完成单位及创新推广贡献**

**1）陕西烽火实业有限公司**

本单位是国有、高新技术企业。是智能高效短波通信网项目的研制单位、生产单位和产品推广应用单位。公司组织并实施了本项目调研、研制、批量生产和销售。项目研制成功后，已销售到埃及、老挝、苏丹、吉布提等国，直接创汇1000多万美元，直接或间接带动了出口行业、机械加工业、电子装配业等相关电子行业产业的发展。

本项目是公司大型系统集成项目，涉及多种新技术的应用，除自有技术外，通过联合西安电子科技大学、西安邮电大学、北京邮电大学完成了本项目的研制。实现了科技成果在本企业的快速转化，推动了我省高校科技成果本地产业化发展。

为了进一步开展新技术、新产品的研究和生产，已建成的长安烽火通信产业园将于2019年底竣工搬迁，实现规模化经营，促进企业发展和我省经济腾飞。

在科技成果方面，我公司已授权发明专利5项，实用新型专利40项。

以本项目为基础，公司在融合短波、超短波、有线及网络等多种通信手段的应用领域，研制了多种综合通信系统，形成了新的利润增长点。

公司目前已形成了以短波、超短波、数字集群通信系统、综合通信网、低空防御为支柱产业的科技创新型企业，产品已大量装备武装警察部队、海警 、人防、渔政、安全、森林防火、地质、水利、航运、路桥、抗震、气象、铁路以及各大研究所等国民经济的各个领域；并以军援、军贸形式出口非洲、东南亚、中亚、中东、拉美等20多个国家和地区，已成为我国电子信息设备出口的骨干企业。

**2）西安电子科技大学**

西安电子科技大学拥有综合业务网理论及关键技术国家重点实验室。实验室依托于信息与通信工程以及军队指挥学两个国家一级学科，目前主要研究方向包括“通信网络体系架构及关键技术”，“高效信源和信道编码技术”，“信息传输理论与技术”，“信息安全及密码理论与技术”。

目前，实验室科研场地面积7200平方米，仪器设备1796台（套），设备总值6864余万元，实验室构建了五个开放性共享研究实验平台，拥有多款大型科研软件，其中芬兰EB公司的射频信道模拟器为项目的后期测试提供了强有力的设备支持。

实验室以 “通信与信息系统”国家重点学科为主要依托、以“信号与信息处理”、“密码学”与“军事通信学”等学科为支撑，覆盖“通信与信息系统”、“信号与信息处理”(部分)、“密码学”3个二级学科点，均有硕士、博士学位授予权，并设有博士后流动站。

西安电子科技大学的深厚的通信专业背景和完善的研发测试环境条件以及所提供的研发用房和仪器设备为项目的顺利进展提供了有力地支持。其中包括基于短波授时信号的全网始时钟同步方案的设计与实现，基于压缩映射的自适应跳频序列的方案设计以及基于子块分解的频域均衡系统的设计实现以及基于该技术的短波宽带迭代接收机的设计实现与测试。

本项目由西安电子科技大学与陕西烽火实业有限公司及西安邮电大学省信息通信网络及安全重点实验室共同完成。

**3）西安邮电大学**

西安邮电大学建有国家级工程实验室，国家级实验教学示范中心，国家级工程实践教育中心及20个省部级实验室和研究中心。学校以信息学科为主干，在通信专用集成电路设计、移动通信、图像处理、信息安全和信息产业经济等研究方向形成特色和优势。

陕西省信息通信网络及安全重点实验室依托 “信息与通信工程”省级一级优势学科建设形成了宽带无线通信网、新型频谱管理、信息通信网络安全技术等国内有一定影响的研究方向。相关成果对促进通信及其安全领域的技术进步以及解决陕西经济和社会发展重大关键问题做出了积极贡献。

实验室一方面及时推出符合产品发展趋势且具有自主知识产权的新一代国产移动终端产品；另一方面在自主产品研发和产业化方面积累经验并实现突破。相关技术的积累为短波组网的产业化提供了相关的技术支持，并重点承担了短波大功率放大器线性化技术。针对现有记忆多项式和广义记忆多项式预失真器存在的性能受限和功放模型选择性问题，提出了一种正交记忆多项式预失真器方法。提出多项式的优点是有限阶时可以提高逼近的精度和平滑度。该技术可以充分挖掘短波功放的潜力，提升系统性能。

本项目由西安邮电大学省信息通信网络及安全重点实验室与陕西烽火实业有限公司及西安电子科技大学共同完成。

**11、完成人合作关系说明**

1）西安电子科技大学/马卓

本项目完成单位中，西安电子科技大学与陕西烽火实业有限公司自2010年以来，长期合作研究短波宽、窄带技术、智能组网技术、纠错算法、高速数据传输技术、智能通信技术和网络融合通信技术，针对该项目，重点解决了多模式复合同步组网、自适应跳频主动传输、单载波频域均衡在本项目中的应用，并通过软、硬件相结合的方式形成新一代系列化新产品和构建组网机制。

本项目中，陕西烽火实业有限公司通过与西安电子科技大学签订技术协议和研制合同等方式进行合作。西安电子科技大学的相关人员负责对项目中的短波宽带数据传输、自适应跳频以及全网时钟同步中的关键技术进行研究，解决其中的关键问题。双方通过分工合作共同完成了原理样机及其相关模块的研制，按照研制合同由陕西烽火实业有限公司支付西安电子科技大学研制本项目的研制费用。本项目涉及的相关专利权和论文著作权，除另有说明外。分别归属各方所有。

2)西安邮电大学/李波

本项目完成单位中，西安邮电大学与陕西烽火实业有限公司自2013年开始进行技术合作，先后研制了基于OFDM的调制解调、DMR体制数字集群通信协议和模块、智能短波通信网方案和系统架构设计、短波通信波形、多载波技术、预失真技术的研究。重点解决了本项目系统架构的搭建与设计，预失真功放线性化设计并实现了产品化，提升了原有短波大功率发射机宽带通信的技术难点。

本项目中，陕西烽火实业有限公司通过与西安邮电大学签订技术协议和研制合同等方式进行合作。西安邮电大学完成人与陕西烽火实业有限公司完成人共同完成了本项目系统架构的搭建和系统方案设计以及预失真功放等的产品化设计。本项目涉及的相关专利权和论文著作权，除另有说明外。分别归属各方所有。

西安邮电大学

2020年5月29日