

受理编号: \_\_\_\_\_

## 海南省重点研发计划申报书

专项（方向）类别：	社会发展		
项目名称：	水下纳米传感器网络		
承担单位：	海南热带海洋学院		
项目负责人：	赵克文	联系电话：88613505	手机：18189850362
项目联系人：	赵克文	联系电话：0898-88613505	手机：15338941352
单位注册地区：	三亚市-市辖区		
项目实施地点：	三亚市-市辖区		
起止时间：	2018年01月01日 -2019年12月31日		
申报日期：	2017年09月18日		

海南省科学技术厅

## 一、单位基本情况表

单位基本信息	单位名称	海南热带海洋学院		统一社会信用代码证	1246000042877703X7	
	单位地址	三亚市育才路1号海南热带海洋学院		邮政编码	572022	
	开户银行	三亚农村商业银行股份有限公司琼大支行		信用等级	良好	
	联系电话	88651861	电子邮箱	86622207@163.com		
	传真	88651866	网站地址	http://www.qzu.edu.cn/		
	单位性质	高等院校		单位特性	已建有省级研究机构	
单位人员情况	职工总数	943 人		技术人员	813 人	
	高级职称	398 人		中级职称	336 人	
		姓 名	职 务	电 话	手 机	电子邮箱
	单位负责人	曹瑜	校长	88651826	13337666819	qzxyxiaoban@126.com
	科研管理人	林炽贤	科技处处长	88651738	15091919799	duyu8883@hotmail.com
单位经济效益	年产值	万元		年销售额	万元	
	出口创汇	万美元				
	年利税	万元		年研究开发经费	万元	
其它参加单位信息	单位名称1					
	单位地址					
	单位性质			组织机构代码		
	联系人		电话		手机	
	单位名称2					
	单位地址					
	单位性质			组织机构代码		
	联系人		电话		手机	
	其他单位					

## 二、项目基本情况表

项目名称	水下纳米传感器网络				
项目总预算 (万元)	66.00	申请财政专项经费 (万元)	50.00	自筹及其他经费 (万元)	16.00
项目简介：（提示：简要介绍项目实施的主要内容和拟解决的主要技术问题等）					
<p>随着纳米技术的快速发展，机器纳米化已成为未来的趋势。为了在更大范围完成更复杂的任务，需要纳米机器之间通过信息共享，以合作的方式组成分布式的纳米网络。国际上纳米网络尚处于初期阶段，我国的“纳米网络”论文也是在2015年才出现，也全都是陆地上的纳米网络方面的研究论文。做为中国唯一深海-南海的接壤省份，本校又是最临近南海的公立大学，本项目确立研究待开垦的水下纳米传感器网络，先研究起奠基作用的几个方面。</p>					
项目技术情况	项目活动类型	<input checked="" type="checkbox"/> 应用研究与产业化开发 <input type="checkbox"/> 成果示范推广 <input type="checkbox"/> 成果引进集成 <input type="checkbox"/> 软科学			
	项目创新类型	<input type="checkbox"/> 原始创新 <input type="checkbox"/> 集成创新 <input type="checkbox"/> 引进消化吸收再创新 <input checked="" type="checkbox"/> 协同创新			
	项目主要优势	<input checked="" type="checkbox"/> 应用前景很好 <input type="checkbox"/> 经济效益显著 <input checked="" type="checkbox"/> 社会效益显著 <input type="checkbox"/> 生态效益显著 <input checked="" type="checkbox"/> 科技成果创新性突出 <input type="checkbox"/> 其它			
预期成效	预期成果	<input checked="" type="checkbox"/> 新产品(含农业新品种) <input type="checkbox"/> 新装置(装备) <input type="checkbox"/> 新材料 <input checked="" type="checkbox"/> 新工艺(或新方法、新模式) <input type="checkbox"/> 计算机软件 <input type="checkbox"/> 技术标准 <input type="checkbox"/> 研究(咨询)报告 <input checked="" type="checkbox"/> 论文 <input checked="" type="checkbox"/> 著作 <input type="checkbox"/> 基地建设 <input checked="" type="checkbox"/> 专利 <input type="checkbox"/> 其他			
		推广规模(亩)	推广新技术(项)	推广新产品(项)	培训人数(人)
		0.00	2	2	30
	预期经济效益	年新增产值 (万元)	年新增利税(万元)		年出口创汇 (万美元)
		0.00	0.00		0.00
参加单位1	名称				
	参与方式	<input type="checkbox"/> 成果提供 <input type="checkbox"/> 技术支持 <input type="checkbox"/> 联合开发 <input type="checkbox"/> 其它			
参加单位2	名称				
	参与方式	<input type="checkbox"/> 成果提供 <input type="checkbox"/> 技术支持 <input type="checkbox"/> 联合开发 <input type="checkbox"/> 其它			

### 三、项目人员情况表

项目人员总数 (人)	11	其中	高级	中级	初级	其他		
			10	1	0	0		
项目组主要成员（包括负责人）：								
编号	姓名	年龄	学历	职务	职称	分工	所在单位	签字
1	赵克文	54	研究生	数学与信息科学研究所负责人	研究员	项目负责人	海南热带海洋学院	
2	曾福庚	35		数学系主任	副教授		海南热带海洋学院	
3	陈德钦	54		二级学院院长	副教授		海南热带海洋学院	
4	俞峰	46		科主任	教授		海南热带海洋学院	
5	陈杰	39		科主任	副教授		海南热带海洋学院	
6	杨其强	38		科主任	教授		海南热带海洋学院	
7	郭新辰	47		科主任	教授		海南热带海洋学院	
8	林越	36		科主任	副教授		海南热带海洋学院	
9	王春红	33		科主任	讲师(高校)		海南热带海洋学院	
10	李足	45		二级学院党委副书记	副教授		海南热带海洋学院	
11	寇福来	60		北方学院原副校长	教授		海南热带海洋学院	

#### 四、项目经费情况表

序号	预算科目名称	合计 (万元)	申请专项经费(万元)			自筹经费(万元)		
			合计	第一年 (2018)	第二年 (2019)	合计	第一年 (2018)	第二年 (2019)
1	一、经费来源	66.00	50.00	25.00	25.00	16.00	8.00	8.00
2	1. 申请专项经费	50.00	50.00	25.00	25.00	/	/	/
3	2. 自筹经费来源	16.00	/	/	/	16.00	8.00	8.00
4	(1) 其他财政拨款	0.00	/	/	/	0.00	0.00	0.00
5	(2) 单位自有货币资金	0.00	/	/	/	0.00	0.00	0.00
6	(3) 其他资金	16.00	/	/	/	16.00	8.00	8.00
7	二、经费支出	66.00	50.00	25.00	25.00	16.00	8.00	8.00
8	(一) 直接费用	66.00	50.00	25.00	25.00	16.00	8.00	8.00
9	1、设备费	44.00	36.00	18.00	18.00	8.00	4.00	4.00
10	(1) 购置设备费	42.00	36.00	18.00	18.00	6.00	3.00	3.00
11	(2) 试制设备费	2.00	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	1.00
12	(3) 设备改造与租赁费	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	2、材料费	2.00	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	1.00
14	3、测试化验加工费	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	4、燃料动力费	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	5、会议费/差旅费/国际合作与交流费	6.00	4.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00
17	6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	6.00	4.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00
18	7、劳务费	2.00	2.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
19	8、专家咨询费	6.00	4.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00
20	9、其他支出	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	(二) 间接费用	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	其中：绩效支出	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## 五、主要研究开发内容、要达到的主要技术、经济指标以及将提供的研究开发成果及形式(提示:此项内容将作为项目立项后任务书的考核指标)

### 1、主要研究开发内容:

研究水下纳米传感器网络的几类稳健的网络拓扑结构。将综合纳米传感器网络和水下传感器网络的特性和共性,提升某些水下纳米网络拓扑结构,研发网络层技术,以多跳方式转发信息能够支持长距离的分子通信。目前纳米网络层的研究多局限于静态路由表机制,不适合水下网络节点的运动和网络条件的变化,因此,本项目要突破局限,以静态路由表机制为基础,进一步研究水下动态路由表机制,以作为实现动态路由系统的基础。

研究水下纳米传感器网络物理层的分子通信系统与其他通信系统(例如电磁波)之间的通信接口问题。未来具备多通信接口和相应信号转换机制的纳米机器可以实现分子纳米网络与其他类型网络系统(例如研发中的基于碳纳米管天线和太赫兹波段的电磁纳米网络)之间的互联。

研发节点定位。特定的应用(例如精确医疗技术)对节点定位技术提出了需求。与水下传感器网络相似,水下纳米网络也可以基于分子信号的特征实现测距及定位。

研究链路层的链路层寻址、差错控制和同步机制。链路层寻址可以通过基于信息分子的种类之间的互联,接收器释放特定类型的诱导剂、DNA标签或定位接收器位置等方式实现。差错控制机制可以通过在DNA分子中增加附加编码序列实现差错校验与纠正。

研发仿真工具。评估网络协议的性能需要适合的仿真工具。

### 2、要达到的主要技术、经济指标(将提供的研究开发成果及形式):

揭示水下纳米传感器网络的某些稳健的网络拓扑结构,以保证大量异构节点良好地参与的纳米网络的信息传输等,解决关键网络层多跳方式转发信息的技术,以支持长距离的分子通信。

解决水下纳米传感器网络物理层的分子通信系统与其他通信系统(例如电磁波)之间的通信接口问题。研发出具备多通信接口和相应信号转换机制并实现分子纳米网络与其他类型网络系统之间互联的纳米机器。

与纳米传感器网络和水下传感器网络相似,水下纳米网络也可以基于分子信号的特征实现测距及定位。本课题将深入考虑网络的动态性,以作为实现动态路由系统的基础。链路层寻址要通过基于信息分子的种类之间的互联,接收器释放特定类型的诱导剂、DNA标签或定位接收器位置等方式实现。差错控制机制通过在DNA分子中增加附加编码序列实现差错校验与纠正。

评估网络协议的性能需要适合的仿真工具。目前纳米网络专用的仿真工具还很少,因此,本课题将借鉴纳米传感器网络和水下传感器网络,建立某些相应的水下纳米网络仿真工具。

## 六、项目计划进度

起止时间	主要工作内容
2018-01-01~2018-12-31	<p>2018年1月--2018年12月：研究“水下纳米传感器网络”的网络拓扑和网络层技术。将综合纳米传感器网络和水下传感器网络的特性和共性，研究某些水下纳米网络拓扑结构本年度研发。也研究网络层的多跳方式转发信息以支持长距离的分子通信技术。</p> <p>创立世界开创性的理论成果，基于纳米网络论文仍比较少，争取在国外重要期刊发表论文3-5篇。</p>
2019-01-01~2019-12-31	<p>2019年1月--2019年12月：研究“水下纳米传感器网络”物理层的分子通信系统与其他通信系统(例如电磁波)之间的通信接口问题。也将深入考虑网络的动态性，以作为实现动态路由系统的基础，研究链路层的链路层寻址、差错控制和同步机制。也研发评估网络协议的性能的仿真工具。</p> <p>争取完成和申报2、3项世界首创的水下纳米传感器网络专利，在国外重要期刊发表论文5-8篇。</p>

草稿

## 七、项目附件清单

序号	附件名称	是否必填
■ 1	统一社会信用代码	是
□ 2	财务审计报告	否
□ 3	会计报表（包括资产负债表、损益表、现金流量表）	否
□ 4	高新技术企业证书	否
□ 5	科学技术成果鉴定证书	否
□ 6	省级以上科技项目验收证书	否
□ 7	成果登记证书	否
□ 8	软件著作权登记证书	否
□ 9	专利证书	否
□ 10	检测报告	否
□ 11	查新证明	否
□ 12	新药证书	否
□ 13	通讯电力入网证	否
□ 14	生物新品种、农产品、农药登记证	否
□ 15	特殊产品生产许可证	否
□ 16	企业各出资方意见	否
□ 17	各类获奖证书	否
□ 18	列入国家计划文件或证书	否
□ 19	环保证明	否
□ 20	用户意见	否
□ 21	有关文章	否
□ 22	其他	否

# 审核意见

承担单位意见	<p style="text-align: right;">盖章 年 月 日</p>	
其他参加单位意见	<p style="text-align: center;">盖章 年 月 日</p>	<p style="text-align: center;">盖章 年 月 日</p>

## 项目可行性报告:

### 一、立项依据

#### (一) 目的意义

随着近年来纳米技术的快速发展,制作技术日益演进,机器微小化、机器纳米化将是未来的重要研究趋势。现在已能通过直接操纵原子和分子来制作一些简单的纳米级大小的纳米机器(nanomachine),而其中能够执行感知、计算、数据存储、收发和驱动等任务的设备即为纳米传感器(nanosensor)。虽然它能更精确识别和测量出上面传统传感器无法识别和测量的新事件,但和传统传感器一样,单个纳米传感器也仅能在有限的空间范围内执行有限简单的任务。为了能够在更大范围完成更复杂的任务,需要纳米机器之间通过信息共享,以合作的方式组成分布式的纳米网络(nanonetworks)。

不过,纳米技术仍在发展中,使纳米网络需要的许多相关纳米器件也正在研发进展中。目前,许多相关技术(如信息感知、数据处理、通信技术)都有待开展深入研究。

在期刊网“中国知网”的“主题”和“摘要”栏输入“纳米传感器网络”都见只有6篇论文,其中3篇是浙江工业大学池凯凯教授为第一作者的,2篇是这浙江工业大学计算机科学与技术学院院长王万良教授和他的2个博士黄龙军、姚信威副教授合作的(王万良教授2008年入选国家级教学名师,是浙江省计算机学会副理事长等),另一篇是同济大学的。在期刊网“中国知网”的“全文”栏输入“纳米传感器网络”见除有这6篇论文外,还有包括池凯凯教授在《计算机学报》合作的另外3篇,这也知道我国2015年才开始有这学科领域的论文,并至今的论文一共仅有约十篇。

中国数学开拓者陈建功院士和苏步青院士的母校-日本东北大学毕业的博士、博士后池凯凯教授不久前就给本项目申请人赵克文来信说:“纳米传感器网络是一种全新的传感器网络,因此从科研的角度来说,将有很多新的问题值得研究,……。虽然目前还没制作出完整的纳米传感器节点,但不久的将来就会实现,因此对其进行研究非常有必要,……。如果赵教授团队从事纳米传感器网络领域研究,预祝在该领域能做出喜人的科研成果!”。

另外,因三亚市面临世界第三大海-“南中国海”,而迄今**世界上唯一一本《水下声传感器网络》**的著者美国Alabama大学肖扬教授几次给本项目申请人赵克文来信表达与海南热带海洋学院合作的期望。

就因上面2个所属领域的权威专家池凯凯教授和肖扬教授的来信、肯定和支持,虽然池凯凯教授还没有做水下的,肖扬教授也还没有做水下纳米传感器网络,但本课题将大无畏的拚博精神坚持一步到位地申请研究《**水下纳米传感器网络**》项目(水下是包括海洋,特别是面对南海的研发),希望能在这世界**新领域**建立某些**世界开拓性的奠基工作**,既要为创建合理性的世界拓荒性理论,也要开发实践建设的可行性技术。

在网上可查到浙江工业大学池凯凯教授2014年主持《无线纳米传感器网络数据通信技术及其理论》国家自然科学基金面上项目80万元。上面这浙江工业大学姚信威副教授也主持《纳米传感网中太赫兹通信机制研究》国家自然科学基金青年科学基金项目,可见我国对陆地纳米传感器网络已开始给予支持。

本申请人赵克文得到上面2个相关领域权威的肯定和支持而开展这世界新领

域,也是因申请人于 2000 年创办的信息科学研究所,在海南热带海洋学院 2006 年被批准为本科大学前一直是全校仅有的 2 个校级研究机构之一。它也一直致力于信息科学的许多相关研究并在某些世界重要领域居世界领先,而被邀请担任包括“传感器网络”方面的杂志编委,见 [www.qzu5.com/sn.htm](http://www.qzu5.com/sn.htm), 并也一直评审“传感器网络”方面的论文成果。如中国工程院的《中国工程科学》杂志至今只发表海南的论文 3 篇-并 1 篇是**黄宗道院士**的、另 2 篇是本申请人赵克文的包括 1 篇英文版的,又如《应用科学学报》只有海南 4 篇-其中 2003 年 2 篇是赵克文的、2016 年 2 篇分别是中国科学院遥感与数字地球研究所张丽教授和薛存金副教授的(他们也在北京市海南省地球观测重点实验室兼职。在中国知网输入这 2 杂志名和“海南”或“热带”就可查),以及其它国内外杂志论文 1 百多篇,使本项目申请人赵克文是世界最严格的出版社-美国 Wiley 出版社的 1979 年创刊的

《**Mathematical Methods in the Applied Sciences**》(即《**应用科学的数学方法**》)杂志编委,它的影响因子一直在 1.0 以上,这在综合应用科学和数学类杂志中是最高的了。Wiley 出版社和 Elsevier (荷兰)、Springer (德国)、Taylor & Francis (英国)并称世界四大学术期刊出版社。赵克文还在这世界四大出版社担任它们的 MSJ、MMOR、JDMC、JRTE、CAEE、AIJEC、JMIS 和 KIJMS 杂志编委,除了在世界四大出版社的每个都至少当 2 个杂志编委外,赵克文还是 2002 年已出版论文的 International journal of computers & technology 的第一主编、2003 年创刊的 European Journal of Scientific Research 第一主编等与本项目许多领域相关的 100 个杂志编委(是以前中国担任编委**最多**的,见 [www.qzu5.com/zc.htm](http://www.qzu5.com/zc.htm), 正如 CCTV、新华社、人民网等报道的《赵克文,担任到 100 个 SCI 等国际杂志编委时三亚仍没有其他人当国际编委的人》,那是以前当的编委,近些年已不如以前珍贵而辞退许多,要知以前当到 30 个编委时海南仍没几个人当国际编委)。

“水下纳米传感器网络”将是在综合“纳米传感器网络”和“水下传感器网络”基础上的发展,并将发挥它们无法发挥的作用。而制约着它发展的最大困难应是“水下纳米传感器网络”必需的个类纳米技术的发展程度和纳米器件研制水平,这有多方面的技术原因。

如前年的《中国科学报》的“成功研制新型感知芯片”一文报道王中林院士 2013 年发表在《科学》的论文成果被认为“芯片的成功研制是纳米科技发展中从单个器件飞跃到阵列器件的里程碑,将可发展出多维度压力传感器等,有望在健康监护、环境监测、物联网及其他信息技术领域形成广泛的应用”。

如此,这为上面池凯凯教授说的“还没制作出完整的纳米传感器节点”的组装制备,带来更多的可能。

另外,美国麻省理工学院的《技术评论》发布“2015 年的可能改变世界的十大创新技术”的其中第 2 项是“纳米架构:美国科学家发明了一种微型晶格,使材料结构可以得到精密订制,从而确保强度和弹性,同时重量非常轻。目前正在探索该技术在高容量电池和绝缘体上的应用”。

其中的纳米“高容量电池”将是“水下纳米传感器节点”的能量单元得以实现的希望。

2015 年 3 月《中国科学报》的“超材料研究获突破”一文报道武汉大学电子信息学院郑国兴教授为第一作者以头条登载于 2015 年《自然--纳米技术》,提出一种新颖的反射式金纳米天线阵列方案。并已应用于激光全息等领域。

其中的“纳米天线阵列”,也将使“水下纳米传感器节点”的通信单元的发射器等更可能接近实现。即上面 3 方面的成果,使“水下纳米传感器节点”的最关键

的 3 个单元的设计充满希望。当然,肯定还需要更加完善丰富的发展,如 Akyildiz 的工作是很有开创性,但大多是设想阶段,就是已设计出的有限部分也被报道过于放大。

纳米天线是自赫兹发明天线以来,所有天线中最小天线,它的工作频段进入太赫兹波频段,即 THz。

而 2004 年,美国政府将 THz 科技评为“改变未来世界的十大技术”之一,日本于 2005 年更是将 THz 技术列为“国家支柱十大重点战略目标”之首,举全国之力进行研发。

关于“水下纳米传感器节点”,若研制出上面 3 个单元,它的其它单元如处理单元、驱动单元、储存单元应该不是问题。如现在已研制出的一个芯片里已集成了超过 11 亿个 MOS 晶体管和 11 亿个电容,如此计算,可知现在已能生产出几十纳米的处理器等了。

如果节点实现,水下纳米传感器网络也就到了“万事俱备,只欠东风”的时候了!

如 IEEE 通信学会标准发展委员会在 2015 年 12 月完成“纳米尺度和分子通信的标准草案”(见 [http://www.techstreet.com/ieee/products/vendor\\_id/5171](http://www.techstreet.com/ieee/products/vendor_id/5171))。也就是现在正在开展分子通信的基本定义、概念模型、通用术语和协议的标准化工作,这将有力地推动分子通信技术的发展与应用推广。特别是基于它的纳米传感器网络。

正是基于上面综合因素,本项目将确立研究“水下纳米传感器网络”(WNSN)。同时,要更透彻深入掌握 WNSN,就要在宏观上掌握“纳米网络”的方方面面。

“水下纳米传感器网络”因集中了比上面“传感器网络”更进一步的 3 个方面的世界前沿技术。如此,若能研制成功,它将可能比“21 世纪新兴技术之首”的传感器网络以及纳米传感器网络发挥所不能发挥的作用,也将极大地丰富传感器的理论,推动了传感器的制作水平,拓宽了传感器的应用领域”。

## (二) 国内外同类产品和技术情况

从上面可知,构成“纳米传感器网络”的 3 种关键器件即纳米传感器、纳米大容量电池、纳米天线,近 2 年取得更实质进展。它们也是构成节点的其中 3 个单元的关键器件。

即这三种纳米器件是分别由王中林院士在 2013 年、美国科学家于 2015 年、武汉大学电子信息学院郑国兴教授为首的专家于 2015 年才获得更为实质的进展。

如此我们也研读王中林院士的相关著作:《纳米相和纳米结构材料手册》《纳米线和纳米带--材料、性能和器件》(清华大学出版社)和《自驱动系统中的纳米发电机》(科学出版社)。当然,具体构建各个纳米器件,不是我们的主要任务。但能从感性或宏观上去认识,也有利于掌握“水下纳米传感器网络”的走向和可能程度。再关于武汉大学电子信息学院郑国兴教授,该武汉大学电子信息学院正院长李德识做为我国水下传感器网络的主要开拓者,去年就给本主持人赵克文来信表达“非常”期望合作我们去年申请到的《水下传感器网络及某些应用》项目,如此更使我们亲切地了解郑国兴教授的纳米成果和最近进展,这利于窥视水下纳米网络的更多方面的可能,今后的工作,李德识院长的来信和对我国水下传感器网络的开拓工作见 [www.qzu5.com/ss.htm](http://www.qzu5.com/ss.htm),很多水下开拓工作是李德识教授带领的团队做的)。

如迄今为止,国内纳米网络的工作主要是上面给本主持人来信的池凯凯教授在国内等发表的“无线纳米传感器网络高节能编码方案”的论文,他在国外也发表一篇论文(发表在 2010 年创刊的 *Nano Communication Networks*)。它们主要是研究节能策略的工作,确实,节能是传感器网络的大问题。至于国外的情况,WNSN 的研究现状稍好一些。如已知道 THz 频带信号由于在纳米器件上易于产生且能耗不高而非常适合于纳米节点之间的数据通信,并已初步研究信道模型特点,如路径衰减、通信距离、噪声、带宽、多径效应、信道容量,也讨论了几类基于某些指标的路由协议、MAC 协议。但因其时各类纳米器件等都还不甚成熟、通信方式不明朗等,不仅很多关键问题还没有研究,就是已做了初步探索的仍带有某些明显不足,某些方面也可能将需要回过头做出一些修正。

## 二、研究开发内容、方法、技术路线

(一) 具体研究开发内容和要重点解决的技术关键问题。

做为一种全新的信息获取和处理技术,水下纳米传感器网络在环保、工业、商业等中具有广阔的应用前景。基于纳米传感器网络感知媒体丰富、数据量大,处理任务复杂等特点,本项目将在水下纳米网络拓扑结构的建立和低层网络协议的开发等方面开展研究工作:

(1) 网络拓扑: 稳健的网络拓扑结构对改善包含大量异构节点的纳米网络性能非常重要。分层拓扑结构由网关和纳米机器 2 类节点组成,每个网关负责管理若干纳米机器。本课题将相应于纳米传感器网络和水下传感网,研究某些水下纳米网络拓扑结构。

(2) 物理层技术: 分子通信系统与其他通信系统(例如电磁波)之间的通信接口也是需要探索的重要问题。未来具备多通信接口和相应信号转换机制的纳米机器可以实现分子纳米网络与其他类型网络系统(如基于碳纳米管天线和太赫兹波段的电磁纳米网络) 之间的互联。

(3) 链路层技术: 链路层寻址、差错控制和同步机制是课题的研究重点。链路层寻址可以通过基于信息分子的种类之间的互联,接收器释放特定类型的诱导剂、DNA 标签或定位接收器位置等方式实现。差错控制机制可以通过在 DNA 分子中增加附加编码序列实现差错校验与纠正。“群体感应”是细菌通过释放并同时检测环境中的自诱导剂的浓度, 确定周围同类细菌的数量并同步群体行为(例如形成生物膜)的机制,为水下纳米网络的节点同步机制提供了良好的研究模型。

(4) 网络层技术: 以多跳方式转发信息能够支持长距离的分子通信。目前网络层的研究多局限于静态路由表机制,不适合网络节点的运动和网络条件的变化。

(5) 节点定位: 特定的应用(例如精确医疗技术)对节点定位技术提出了需求。与无线传感器网络相似,水下纳米网络也可以基于分子信号的特征实现测距及定位。本课题将深入考虑网络的动态性,以作为实现动态路由系统的基础。

(6) 仿真工具: 评估网络协议的性能需要适合的仿真工具。目前纳米网络专用的仿真工具还很少,因此,本课题将借鉴水下水下传感器网络,建立某些相应的纳米网络仿真工具。

(二) 项目的特色和创新之处

目前纳米传感器网络的研究集中于论证网络体系结构的发展方向和探索底层网络协议。由于极有限的节点计算与存储能力为纳米网络技术的研发带来了巨

大的挑战,并且通信原理的差异也使许多纳米网络的协议和算法无法被应用到水下纳米网络,因此如何基于网络特性构建合理的网络架构和系统,开发高效、实用和易扩展的网络协议,以及研究网络拓扑管理、物理层、链路层、网络层等相关技术并应用拓展到水下纳米网络研究中是有待解决的重要问题。

本项目的特色是:

各子课题都是基于上面 IEEE 通信学会标准发展委员会在 2015 年 12 月完成的用于“纳米尺度和分子通信建议草案标准”之上,研究设计的。

特别是,基于上面武汉大学电子信息学院郑国兴教授于 2015 年研发的“新颖的反射式金纳米天线阵列方案”、美国科学家于 2015 年的“纳米高容量电池”、王中林院士在 2013 年的“可发展出多维度压力传感器的感知芯片”,等。以及许多不断成熟并可应用的纳米器件。这是和以前工作不同的特色。虽然,迄今为止,中国在“纳米传感器网络”仅有上面池凯凯教授等约十篇论文。但从上面看到,中国在纳米器件上,有郑国兴教授、王中林院士等越来越多的专家的成熟工作,如此,很多基础技术和构件的中国化的信心应有增强,应是中国“水下纳米传感器网络”走向成熟和先进的特色保证。

本项目的创新点如下:

虽然,国际上已初步对纳米网络拓扑以及物理层、链路层、网络层的相关技术做初步探索,如路由协议、MAC 协议等。但这些技术,因其时各类需要的纳米器件等都还不甚成熟、通信方式不明朗等,如此,其探索仍带来很多不足,某些方面也可能将会需要回过头做出大修正。

如此,创新点也是主要在物理层、链路层、网络层的关键技术。

(三) 采用的方法、技术路线以及工艺流程、组织实施方案等

水下纳米传感器网络系统总的研究思路为:需要实地考察→项目研究状态的相关国内研究机构调研→理论研究方案研讨确认→理论研究→实验仿真验证→实验测试→实地实验测试→理论总结形成→深化发展研讨。

具体拟采区的方法、技术路线以及工艺流程。

(1) 总体采取模块划分诸点击破的方法,进行技术搭接,完成整体方案设计。

(2) 系统实验模拟环境拟采用部分功能演示系统室外化与实验室结合设计整个系统。

(3) 应用现有技术的前提下,充分发挥电子系统设计的 EDA 仿真功能。

(4) 努力在技术上革新创新。以系统稳定耐用为基础,以经济实惠、符合应用为标准,力求创新,走软件实现道路,降低成本。

项目的合作方式:

本课题将和中国纳米传感器网络论文最多的上面给本主持人赵克文来信的日本东北大学博士、博士后的池凯凯教授合作。另外,本课题也将和给主持人赵克文来信表达合作愿望的世界上唯一一本《水下声传感器网络》的著者 Alabama 大学肖扬教授合作。若经费许可,也将和世界上传感器网络首席权威 Ian Akyildiz 教授合作。若经费还许可,将派出更多年轻博士去国外这些权威身边研究合作。

### 三、项目考核指标

(一) 预期成果(要达到的主要技术、经济及社会效益指标)

由于中国在“纳米传感器网络”仅有上面池凯凯教授为主的约十篇论文。以前

也因各类需要的纳米器件等都还不甚成熟、通信方式不明朗等。虽然，国际上在某些方面已有初步的成果，但大多仍处于探索阶段。

据此，要达到的主要技术指标：研发出水下纳米传感器网络的几类稳健的网络拓扑结构，以保证大量异构节点良好地参与的纳米网络的信息传输等，研发几类网络层多跳方式转发信息的技术，以支持长距离的分子通信。

目前纳米网络层的研究多局限于静态路由表机制，不适合水下网络节点的运动和网络条件的变化，因此，本项目要突破局限，以静态路由表机制为基础，进一步研究水下动态路由表机制。

经济及社会效益指标：与传统的传感器相比，纳米传感器尺寸减小、精度提高等性能大大改善，更重要的是利用纳米技术制作传感器，是站在原子尺度上，从而极大地丰富了传感器的理论，推动了传感器的制作水平，拓宽了传感器的应用领域。但单个传感器仅能在有限的空间范围内执行非常简单的任务。为了能够在更大的范围上完成更复杂的任务，需要纳米机器之间通过信息共享，以合作的方式组成分布式的纳米传感器网络。

因 21 世纪之初的 2001 年美国 MIT《技术评论》将“无线传感器网络(WSN)列为 21 世纪的十种改变世界的新兴技术之首”。

如此，“水下纳米传感器网络”的市场预测和发展趋势，都是不可限量的！特别是用于海洋环境资源监测和勘探以及军事、水下工业控制和机器人、海洋网络和通信等方面。

## （二）具体考核指标

水下纳米网络的拓扑和协议纳米网络的通信和仿真

研发出几类稳健的网络拓扑结构，以保证大量异构节点良好地参与的纳米网络的信息传输等，研发几类网络层多跳方式转发信息的技术，以支持长距离的分子通信。

研究物理层的分子通信系统与其他通信系统(例如电磁波)之间的通信接口问题。研发出具备多，通信接口和相应信号转换机制并实现分子纳米网络与其他类型网络系统之间互联的纳米机器。特定的应用对节点定位技术提出了需求。与无线传感器网络相似，纳米网络也可以基于分子信号的特征实现测距及定位。本课题将深入考虑网络的动态性，以作为实现动态路由系统的基础。链路层寻址要通过基于信息分子的种类之间的互联，接收器释放特定类型的诱导剂、DNA 标签或定位接收器位置等方式实现。差错控制机制通过在 DNA 分子中增加附加编码序列实现差错校验与纠正。评估网络协议的性能需要适合的仿真工具。目前纳米网络专用的仿真工具还很少，因此，本课题将借鉴无线传感器网络，建立某些相应的纳米网络仿真工具。

## （三）分年度实施考核指标

2018 年 1 月--2018 年 12 月：研究“水下纳米网络”的网络拓扑和网络层技术。本课题将相应于纳米传感器网络，研究某些水下纳米网络拓扑结构本年度研发。也研究网络层的多跳方式转发信息以支持长距离的分子通信技术。

创立世界开创性的理论成果，基于纳米网络论文仍比较少，争取在国外重要期刊发表论文 3-5 篇，完成和申报相关专利 1、2 件。

2019 年 1 月--2019 年 12 月：研究“水下纳米网络”物理层的分子通信系统与其他通信系统(例如电磁波)之间的通信接口问题。也将深入考虑网络的动态性，

以作为实现动态路由系统的基础，研究链路层的链路层寻址、差错控制和同步机制。也研发评估网络协议的性能的仿真工具。

争取完成和申报 2、3 项世界首创的水下纳米传感器网络专利，在国外重要期刊发表论文 5-9 篇。

#### 四、工作基础和条件和实施地点

(一) 承担单位概况 (人员、资产、业务与管理状况等)。

海南热带海洋学院职工总数 943 人，高级职称 398 人。作为中国唯一深海之滨的海洋大学，人员、资产虽已具备很好的基础条件，但还需要各方面的支持以适应中国唯一深海发展的需要。目前各方面的业务与管理状况也良好。

(二) 本项目现有的研究工作基础 (包括项目组主要人员介绍及现有科研装备条件等)。

湖南大学二级教授李乔良读研究生和做博士后的导师一共是钟集、柳柏濂、陈永川、李乔和朱烈这 5 个教授，而他们 5 个人全都是组合数学图论专家，但在万方数据 [www.wanfangdata.com.cn](http://www.wanfangdata.com.cn) 看到李乔良教授在**湖南大学指导 31 个**和湖南师大指导 28 个共 59 个博士硕士中不少是用组合数学图论研究传感器网络或编码密码 (其实，李乔良教授和本申请人赵克文都是同从事组合数学图论研究的-如这网 [www.qzu5.com/pf.htm](http://www.qzu5.com/pf.htm) 就说导师**第一次**和本申请人赵克文见面就拿着赵克文的论文训导李乔良等高年级的师兄们**一整个上午**，也见此网说 1991 年的全校研究生大会上是数学学院**唯一**的报告者并是全大会报告者中**唯一**受到校长和几千研究生等起立鼓掌的)。

当然，我们海南的特色是研究开创适合复杂的海洋的水下传感器网络，特别是因这学科才有十多年，如此对目前世界上仍几乎是空白的水下纳米传感器网络，作为中国唯一深海之滨的国立大学，将迎难而上，起码先建立某些合理性的基础理论。

海南热带海洋学院是三亚市唯一的公立本科大学。几十年来它在某些学科上一直居于世界领先地位。我们知道，世界首富比尔·盖茨只在杂志发表一篇科学论文，是和其时的哈佛大学教授 Papadimitriou 院士合作发表在我们学科《离散数学》杂志的组合数学论文 (见 [www.qzu5.com/g.htm](http://www.qzu5.com/g.htm))。确实，“离散数学”在此领域和很多计算机领域都具有高层设计作用，特别是这 Papadimitriou 院士在名著中肯定已一千多年世界最悠久的“哈密顿图”是网络图中应用最广泛的领域，而 20 多年前在世界最悠久的“哈密顿图”**全世界做得最多最领先**的是本申请人赵克文，见 [www.qzu5.com/lyb.htm](http://www.qzu5.com/lyb.htm)，如科技强国日本在 2008 年和 2010 年才在高哈密顿图的泛圈性和泛连通性取得突破，可赵克文早在 20 多年前的 1990 年已突破包括泛圈性和泛连通性的所有领域，如此才有上面说导师第一次和本申请人赵克文见面就拿着赵克文的论文训教李乔良等师兄一整个上午。因条件所限，本申请人和当时美国排名第 9 的大学全校学术委员会主席 Gould 合作多篇 SCI 论文，也和美国其它大学的权威以及北京大学、清华大学等的博士导师合作多篇，是海南唯一在美国数学会学报发表论文的人 (当然不能以刊物衡量论文)。中国工程院的《中国工程科学》杂志至今只发表海南的论文 3 篇-并 1 篇是**黄宗道院士**的、另 2 篇是本申请人赵克文的包括 1 篇英文版的，又如《应用科学学报》只有海南 4 篇-其中 2003 年 2 篇是赵克文的、2016 年 2 篇分别是中国科学院遥感与数字地球研究所张丽教授和薛存金副教授的 (他们也在北京市海南省地球观测重点实验室兼职。在中国知网输入这 2 杂志名和“海南”或“热带”就可查)，以及其它

国内外杂志论文 1 百多篇，使本项目申请人赵克文是世界最严格的出版社-美国 Wiley 出版社的 1979 年创刊的《**Mathematical Methods in the Applied Sciences**》(即《**应用科学的数学方法**》)杂志编委，它的影响因子一直在 1.0 以上，这在综合应用科学和数学类杂志中是最高的了。Wiley 出版社和 Elsevier (荷兰)、Springer (德国)、Taylor & Francis (英国) 并称世界四大学术期刊出版社。赵克文还在这世界四大出版社担任它们的 MSJ、MMOR、JDMC、JRTE、CAEE、AIJEC、JMIS 和 KIJMS 杂志编委，除了在世界四大出版社的每个都至少当 2 个杂志编委外，赵克文还是 2002 年已出版论文的 International journal of computers & technology 的第一主编、2003 年创刊的 European Journal of Scientific Research 第一主编等与本项目许多领域相关的 100 个杂志编委(是以前中国担任编委**最多的**，见 [www.qzu5.com/zc.htm](http://www.qzu5.com/zc.htm)，特别是也被邀请担任“**传感器网络**”方面的某些杂志编委，并一直评审“传感器网络”方面的论文成果等。正如 CCTV、新华社、人民网等报道的《**赵克文，担任到 100 个 SCI 等国际杂志编委时三亚仍没有其他人当国际编委的人**》，那是以前当的编委，近些年已不如以前珍贵而辞退许多，要知以前当到 30 个编委时海南仍没几个人当国际编委)。

主要成员有：

陈德钦，男，副教授，二级单位副院长、书记，1986 年于广州华南师范大学数学系本科毕业。硕士学位。发表 SCI、EI 收录论文多篇。

曾福庚，男，博士，副教授。电子科技大学网络通信和密码学博士研究生毕业，发表论文多篇。

郭新辰，男，博士，教授，哈尔滨工业大学硕士，吉林大学博士，东北电力大学教授、研究生导师。去年全职调来我们海南热带海洋学院，他已发表多篇论文。

俞峰，男，博士后，教授。先后获得南京理工大学博士、华南理工大学博士后，在网络模糊信息处理等国内外杂志发表很多论文。

杨其强，男，博士，教授。大连理工大学网络运筹学博士研究生毕业，发表 SCI 论文多篇。

陈杰，男，博士，副教授。中山大学统计管理博士研究生毕业，发表论文多篇。

王春红，女，博士，讲师。西安交通大学统计学博士研究生毕业，发表论文多篇。

李足，男，副教授，副院长，1993 年于海南师范大学数学系本科毕业。硕士学位。发表 SCI、EI 收录论文多篇。

寇福来，男，教授，河北省北方学院原副校长，1983 年于北京师范大学数学系本科毕业，发表论文多篇。

林越，男，讲师，硕士。从海南中学以高分考进兰州大学数学学院本科，毕业后跟广东省政协常委樊锁海教授攻读图论网络硕士生。发表 SCI、EI 收录论文多篇。

琼州学院发表传感器网络论文的还有林元乖、陈作聪、李敬维、李琨、王冬、吴蒋、陈晶、尹成国、苏静、杜岩以及林雄教授等。

### (三) 本项目前期工作及进展情况

本申请人赵克文主持三亚市院地科技合作项目《**传感器网络与海洋环境通**

信与监测》，2015YD14，3 万元。

本项目主要负责人曾福庚教授主持海南自然科学基金面上项目《面向海洋监测的水下传感网节点定位算法研究》，117150，10 万元（海南自然科学基金面上项目至今的资助强度一般是 5 万元，10 万元可能是迄今为止海南自然科学基金资助强度最大的）。

#### （四）本项目实施的具体地点和项目带动区域

本项目实施的具体地点是三亚市近海。项目带动区域：随着功能和应用行业领域的扩大，项目带动区域将是国内部分海域。

### 五、本项目各参加单位工作分工及经费投入、支出情况

分单位对支出预算按照资金开支范围确定的支出科目和不同资金来源分别编制，并对各项支出的主要用途和测算理由等进行详细说明。要求如下：

#### （一）直接费用。

##### 1.设备费：

购买组装水下纳米传感器节点的器件，如各类功能纳米传感器、纳米天线阵列、纳米“大容量电池”，以及水下网关组件，水面接收器组件，水面基站组件等。

列明品牌型号。请说明购置或试制单台价值 10 万元以上设备与研究任务的关系和必要性、现有同样设备的利用情况、设备用途、设备与现有设备的配套情况、设备使用率、设备拟安置单位、购置设备的开放共享方案、试制设备的方案和成本构成等等。另外，购置单价 10 万元以上的进口设备需提供三家以上产品报价单及其联系电话的详细资料；当单价 10 万元以下设备的购置或试制总量较大时，需提供说明。

2.材料费：请说明购置的各种材料与研究任务的关系和必要性、所需数量的测算依据，并详细列示各种材料的名称、购买单价、购买数量以及总金额。

3.测试化验加工费：请说明预算的各种测试化验与加工项目与研究任务的相关性和必要性、测试化验加工次数的测算依据以及委托该单位的理由，并提供三家以上报价单及其联系电话。

4.燃料动力费：请说明预算的各种燃料与研究任务的相关性和必要性、所需数量、单价的测算依据等。

##### 5.差旅费/会议费/国际合作与交流费：

共 5 万元，不超过直接费用 10%的，出访或邀请来华专家主要是国 Alabama 大学肖扬教授等。

请说明预算的各项出差任务与研究任务的关系和必要性，该三项经费预算之合不超过直接费用 10%的，不需要提供预算依据；超过直接费用 10%的，请说明出差次数、出差标准、会议次数、会议标准，并请说明预算的各项国际合作与交流与研究任务的关系和必要性，并详细列示出访或邀请来华专家的国家或地区名称、机构名称、人数、天数、标准的预算依据。超过直接费用 10%，不提供具体数量、标准、详细列示出访或邀请来华专家的国家或地区名称、机构名称、人数、天数、标准的，该三项经费预算之合按不超过直接费用 10%核定。

6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费：请说明预算科目各项开支与项目研究任务和产出成果的相关性、完成考核指标的必要性。

7.劳务费：请说明各种聘用人员承担的任务，以及聘用人数、支付标准的预算依据。

8.专家咨询费：请说明预算的咨询专家与研究任务的关系和必要性，以及咨询专家人数、支付标准的预算依据。

9.其他支出：请说明预算的其他支出的各项支出与研究任务的关系和必要性，并详细列示各项支出的具体用途及预算依据。

(二)间接费用：请说明预算的间接费用支出的各项支出与研究任务的关系和必要性，并详细列示各项支出的具体用途及预算依据。间接费用核定比例为不超过直接费用扣除设备购置费后的 20%。

## 六、效益及前景分析(包括经济效益、社会效益和市场前景等分析)

随着近年来纳米技术的快速发展，制作技术日益演进，机器微小化、机器纳米化将是未来的重要研究趋势。而纳米化的能够执行计算、数据存储、感知和驱动等任务的设备即个体纳米机器，仅能在有限的空间范围内执行非常简单的任务。为了能够在更大的范围上完成更复杂的任务，需要纳米机器之间通过信息共享，以合作的方式组成分布式的纳米网络。这是当今面临的非常重要、非常艰巨的课题。

由于与传统的传感器相比，纳米传感器尺寸减小、精度提高等性能大大改善，更重要的是利用纳米技术制作传感器，是站在原子尺度上，从而极大地丰富了传感器的理论，推动了传感器的制作水平，拓宽了传感器的应用领域。

我们知道，21 世纪之初的 2001 年美国 MIT《技术评论》将“无线传感器网络列为 21 世纪的十种改变世界的新兴技术之首”。

而“水下纳米传感器网络”将拥有“纳米传感器网络”和“无线传感器网络”所不具备的更多功能，在各方面的作用都是革命性的！

如此，“水下纳米传感器网络”的经济效益、社会效益及市场前景，都是不可限量的！特别是作用于海洋环境资源监测和勘探、军事、水下工业控制和机器人、海洋网络和通信等

## 七、其他需要说明的事项

## 附件