

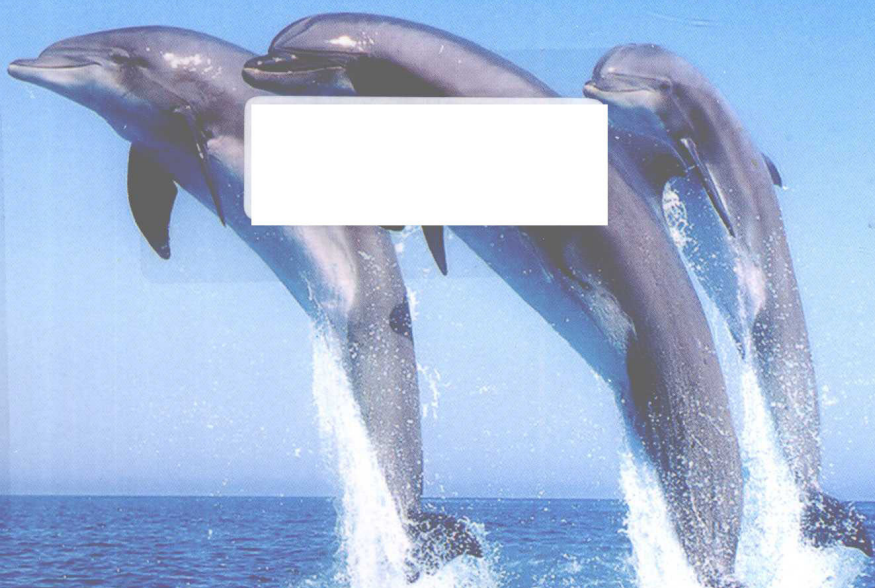


国防科技著作精品译丛

Underwater Acoustic Sensor Networks 水下声传感器网络

【美】 Yang Xiao 著

颜冰 刘忠 罗亚松 刘志坤 胡生亮 译



CRC Press
Taylor & Francis Group



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

水下声传感器网络

Underwater Acoustic Sensor Networks

[美]

Yang Xiao

著

颜冰 刘忠 罗亚松

译

刘志坤 胡生亮



国防工业出版社

National Defense Industry Press

著作权合同登记 图字: 军 -2011 -119 号

图书在版编目 (CIP) 数据

水下声传感器网络 / (美) 肖扬著; 颜冰等译.

— 北京: 国防工业出版社, 2012.12

书名原文: Underwater Acoustic Sensor Networks

ISBN 978-7-118-07920-3

I. ①水… II. ①肖… ②颜… III. ①水声通信—传
感器—研究 IV. ①TN929.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第105319号

Translation from the English language edition:

Underwater Acoustic Sensor Networks by YANG XIAO;

ISBN 978-1-4200-6711-8

Copyright©2010 by Taylor & Francis Group, LLC

All Rights Reserved.

Authorized translation from English language edition published

by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC.

本书简体中文版由 Taylor & Francis Group LLC. 授权国防工业出版社独家出版发行。

所售图书若无 Taylor & Francis 的防伪标签, 则为非授权的非法出版物。

版权所有, 侵权必究。

水下声传感器网络

[美] Yang Xiao 著

颜冰 刘忠 罗亚松 刘志坤 胡生亮 译

出版发行 国防工业出版社

地址邮编 北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048

经 售 新华书店

印 刷 北京嘉恒彩色印刷有限公司印刷

开 本 700 × 1000 1/16

印 张 19

字 数 337 千字

版 印 次 2012 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

印 数 1—2000 册

定 价 88.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777 发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755 发行业务: (010) 88540717

译者序

水下声传感器网络由于其在工业和国防等领域的广阔应用前景,近年来得到了国内外研究者的普遍重视并取得了蓬勃发展,作为传感器网络的重要分支,水下声传感器网络具有非常鲜明的特点,使得许多原本适用于陆地传感器网络的技术、协议及算法无法满足水下环境的特殊要求,因而需要重新探讨并设计。译者从事水声信号处理和无线传感器网络研究多年,深感需要一本专门介绍、研究水下声传感器网络的指导性书籍。希望本书的翻译出版能有助于我国国防装备技术人员对水下声传感器网络关键技术的突破,为我军装备建设事业的发展尽一份绵薄之力。

本书的编者 Yang Xiao 博士目前供职于阿拉巴马大学计算机科学系,IEEE 高级会员,并担任多本传感器网络方面的国际杂志主编。本书各章节的作者均为在水下传感器网络方面研究成果卓著的专家。

本书的特点是:

(1) 选材独到,特色突出。虽然近年来国内外已经出版了大量涉及传感器网络的优秀著作,但其中具体关于水下声传感器网络构建的几乎没有,本书针对水下环境特点,具有鲜明的特色,为水下声传感器网络的应用奠定了理论基础。

(2) 内容全面,结构完整。本书涵盖了水下声传感器网络的各个方面,如分簇问题、拓扑控制、路由协议、容错机制、时间同步、介质访问控制、软硬件问题等。每章逻辑关系紧密而又具有一定的独立性,既可以帮助读者全面了解该领域,又可以满足研究某一专门问题的需要。

(3) 研究成果新颖。书中采用了大量水下声传感器网络研究领域的最新成果,其辑录的文献大多数为国际上近十年来发表的高水平学术论文,因此具有很强的时效性和权威性,足以代表当前该领域发展的国际先进水平。

(4) 理论与实践结合紧密。书中不仅展示了该领域的理论成果,更难得的是充分考虑了实际工程中可能遇到的难题,给出了大量实例,充分体现了“学以致用”、“知行合一”的学术精神。既可以作为研究生的教学用书,又可以供该领域的工程技术人员阅读参考。

本书的翻译由海军工程大学颜冰教授和刘忠教授负责,具体分工为:颜冰(第1章,第2章,第10章),刘忠(第8章,第11章,第12章),罗亚松(第3章,第4章,第7章),刘志坤(第5章,第6章,第9章),颜冰负责全书统稿。

译者感谢原书编者 Yang Xiao 博士、原书出版社 CRC Press 和国防工业出版社对本书翻译引进工作的大力支持。感谢武汉大学系统工程研究所王先甲教授、西北工业大学张效民教授、海军工程大学兵器工程系程锦房教授和林春生教授对本书翻译工作提出的中肯意见和建议。感谢海军工程大学电子工程学院彭鹏菲副教授为本书的出版所做的大量细致工作。特别地,译者还衷心感谢华中师范大学徐茜硕士在本书成书过程中做出的贡献。

由于译者水平有限,加之时间仓促,翻译过程中难免存在一些疏漏和错误之处,恳请读者斧正。

译者

2012年9月

前言

水下声传感器网络在很多方面不同于陆地基于无线电的传感器网络,如传输时延、带宽、转换能量、多途效应等。举例来说,声信号的传播速度比无线电信号速度小大约 5 个数量级,因此,从应用层到物理层的很多算法和协议需要重新设计。

本书研究水下声通信的基础问题,汇集了水下传感器网络领域的最新进展,是世界范围内传感器网络领域杰出研究人员的集体结晶。本书包含 12 章共分 5 个部分,涵盖了水下传感器网络的各个方面,如关键研究问题、分簇问题、拓扑控制、路由协议、容错机制、时间同步、介质访问控制、软件和硬件问题、信道建模等,实际上书中所包含的内容远不止这些。我相信本书对有兴趣研究、开发、设计和应用水下传感器网络的研究人员、从业人员和学生是一份颇有价值的参考资料。

本书的完成是撰稿人和出版社共同努力的结果,感谢撰稿人夜以继日地将这些章节整理出来呈现给我们的读者;感谢出版社,由于他们的鼓励和质量工作,本书才得以顺利出版。

肖杨 (音译: Yang Xiao)

计算机科学系

阿拉巴马大学

托斯卡路萨,阿拉巴马,美国

目录

第 1 章 水下传感器网络通信协议设计关键问题研究	1
1.1 引言	1
1.2 设计关键问题	3
1.2.1 与陆地传感器网络的差异	3
1.2.2 水下传感器	4
1.2.3 影响水下协议设计的因素	5
1.3 通信体系结构	8
1.3.1 二维水下传感器网络	8
1.3.2 三维水下传感器网络	9
1.3.3 自主水下航行器	10
1.4 介质访问控制层	11
1.4.1 基于 CSMA 的介质访问控制协议	12
1.4.2 基于 CDMA 的介质访问控制协议	12
1.4.3 开放性研究问题	14
1.5 网络层	14
1.6 传输层	17
1.7 结论	19
参考文献	19

第 2 章 水下声传感器网络的最佳分簇	24
2.1 引言与研究动因	24
2.2 预备知识	26
2.2.1 水声基础	26
2.3 最佳分簇	28
2.3.1 问题描述	28
2.3.2 随机布放的解决方案	29
2.4 仿真结果分析	31
2.5 结论	33
致谢	33
参考文献	33
第 3 章 三维水下无线传感器网络的拓扑控制	35
3.1 引言	35
3.2 问题描述	36
3.2.1 三维稀疏网络的拓扑控制问题	37
3.2.2 三维密集网络的拓扑控制问题	37
3.3 基础知识	38
3.3.1 多面体	38
3.3.2 空间填充多面体	38
3.3.3 Voronoi 分割	39
3.3.4 开尔文猜想	40
3.4 稀疏网络的拓扑控制	40
3.4.1 与开尔文猜想的相似点	41
3.4.2 其他几种空间填充多面体	42
3.4.3 问题分析	43
3.5 密集网络的拓扑控制	47
3.5.1 分析	49
3.6 讨论	54
3.7 结论	56
参考文献	56

第 4 章 水下传感器网络的多路径虚拟汇聚节点结构	59
4.1 引言	60
4.2 水下组网面临的挑战	61
4.2.1 较长的时延及有限的带宽	61
4.2.2 噪声、高误码率以及传播损失	62
4.2.3 可靠性	62
4.2.4 能量及成本约束	62
4.2.5 多变的通信链路质量	63
4.3 网络结构	63
4.3.1 虚拟汇聚节点	64
4.3.2 多路径数据传输	64
4.3.3 多路径和重发机制的重定义	65
4.4 利用空间分散路径完成数据传输的分析	66
4.4.1 空间分散多路径 (MP) 路由机制	67
4.4.2 停止等待式自动重传 (ARQ) 的单路径 (SP) 路由机制	68
4.4.3 数值结果	70
4.5 数据传递机制的比较	75
4.5.1 MVS 转发机制	75
4.5.2 向量转发机制	76
4.5.3 仿真和结果分析	77
4.5.4 总体分析	86
4.6 多路径虚拟汇聚节点结构的应用	87
4.7 结论及未来的工作	90
参考文献	91
第 5 章 ad-hoc 网络和传感器网络容错性研究	93
5.1 网络容错性	93
5.2 抗毁 Ad-Hoc 网络的设计	94
5.3 一种抗毁性无线局域网结构	94
5.4 动态任务型任播	96
5.4.1 引言	96
5.4.2 基于任务图的架构	97
5.4.3 任务和任务图	98

5.4.4	数据流的元组架构	99
5.4.5	采用分布式算法的任务图节点实例	99
5.5	拜占庭容错机制 —— 一种实用的方法	101
5.5.1	引言	101
5.5.2	算法描述	101
5.6	随机故障和设计故障 —— 抗毁性和安全性的 范式融合	102
5.6.1	引言	102
5.6.2	两类故障	103
5.6.3	问题式故障	103
5.6.4	范例转移	104
5.7	容错技术	105
5.7.1	实现移动 ad-hoc 传感器网络容错的动态源节点路由 缓存管理	105
5.7.2	Ad-Hoc 无线网络中的抗毁性路由协议	106
5.7.3	无线 Ad-Hoc 传感器网络中的容错技术	109
5.7.4	无线传感器网络中的容错问题	109
5.7.5	Ad-Hoc 路由服务在对抗环境下容错性	113
5.7.6	移动 Ad-Hoc 网络中的容错性广播传输	115
5.8	容错机制的分布一致性	117
5.8.1	一致性问题综述	117
5.8.2	同步系统的一致性	118
5.8.3	概率一致性	119
5.9	结论	120
	致谢	120
	参考文献	120

第 6 章 传感器网络及水下传感器网络中的时间同步 124

6.1	引言	124
6.2	传感器网络中时间同步的必要性	127
6.2.1	时间同步的必要性	127
6.2.2	有线网络中的时间同步	129
6.2.3	有线网络与无线网络时间同步的比较	129

6.2.4 无线传感器网络时间同步协议设计中的挑战	130
6.3 时间同步的基本概念	131
6.3.1 两个节点的同步	132
6.3.2 多节点同步	133
6.4 传感器网络的时间同步	134
6.4.1 同步的时间戳	134
6.4.2 传感器网络的 Tsync 协议	134
6.4.3 全局同步	135
6.4.4 自适应时钟同步	137
6.4.5 延迟测量时间同步	138
6.4.6 参考广播同步	139
6.4.7 洪泛式时间同步协议	139
6.4.8 时分同步	140
6.4.9 基于时间间隔的同步	141
6.5 安全时间同步	142
6.5.1 安全对同步协议	143
6.5.2 安全机会多跳同步	144
6.5.3 安全指示多跳同步	144
6.5.4 安全传递多跳同步	144
6.5.5 组同步	144
6.5.6 安全网络同步	145
6.5.7 抗攻击同步	146
6.5.8 拒绝休眠攻击	147
6.6 水下传感器网络中的时间同步	149
6.7 结论	150
致谢	151
参考文献	151

第 7 章 水下网络 MAC 协议设计	155
7.1 引言	155
7.2 挑战 1: 传播时延	157
7.3 挑战 2: 能量消耗	163
7.4 挑战 3: 可移动性	165

7.5 结论	167
参考文献	169

第 8 章 分布式拓扑水下声网络的动态 TDMA 与基于 MACA 的协议..... 173

8.1 引言	173
8.2 拓扑结构	175
8.2.1 空间复用、信道化及信道分配技术	177
8.2.2 数据信道动态分配的一般协议模型	178
8.2.3 UAN 对动态信道化及动态分配的需求	180
8.3 UAN 中 MAC 协议的选择	180
8.3.1 静态 TDMA、FDMA 以及 CDMA 的一般等价性	181
8.3.2 CDMA、FDMA 以及 TDMA 的优缺点	182
8.3.3 CDMA 和 FDMA 协议对全双工的要求	183
8.3.4 对 CDMA 系统的进一步讨论	184
8.4 动态分配协议	186
8.4.1 动态 TDMA 协议以及基于 MACA 的协议	187
8.4.2 复用、拓扑结构选择以及 IEEE 802.11 的适用性	190
8.4.3 基于 MACA 协议的其他讨论	190
8.5 性能分析	193
8.5.1 算法概述	194
8.5.2 成功 RTS 传递的期望时间	194
8.5.3 CTS 接收的期望时间	196
8.5.4 吞吐量期望	197
8.6 总结	198
参考文献	199

第 9 章 水下传感器网络的 MAC 层 202 |

9.1 引言	202
9.2 水下声传感器网络 (UASN) 的通信结构	204
9.2.1 两种结构类型	204
9.2.2 水下网络运行机制	205

9.3	水下声传感器网络 MAC 协议设计面临的挑战	207
9.3.1	水下通信信道	207
9.3.2	声传播的影响	207
9.3.3	水下协议设计的几点考虑	208
9.4	水下声传感器网络的 MAC 协议	209
9.4.1	关于水下 MAC 协议的最新研究	209
9.4.2	Tone Lohi MAC 协议	210
9.4.3	时隙 FAMA 协议	212
9.4.4	一种用于水下无线声传感器网络的 高能效 MAC 协议	214
9.4.5	用于水下声数据通信的改进 MAC 协议设计	215
9.5	水下声传感器网络中的路由协议	218
9.5.1	水下传感器网络时延敏感与时延不敏感 应用中的三维路由算法	218
9.6	结论	220
	致谢	221
	参考文献	221
第 10 章	软件驱动水下传感器网络	225
10.1	引言	225
10.2	相关工作	227
10.2.1	水下网络结构	227
10.2.2	硬件调制解调器	227
10.2.3	软件调制解调器	228
10.3	软件驱动水下声传感器网络	229
10.3.1	网络综述	229
10.3.2	激发应用	230
10.3.3	目标平台	230
10.3.4	系统部件	231
10.4	维护考虑	235
10.4.1	防水和包装	235
10.4.2	校准	236
10.4.3	海生物附着	237

10.4.4 布放	237
10.5 结论	238
参考文献	238

第 11 章 具有智能、安全水声通信能力的低成本

水下传感器节点的 HW/SW 协同设计	241
11.1 引言	241
11.1.1 陆上和水下传感器网络	241
11.1.2 水下通信关键问题	243
11.1.3 相关工作	243
11.2 系统结构 —— HW/SW 协同设计	244
11.2.1 硬件设计	245
11.2.2 软件设计	251
11.3 系统测试	256
11.4 水下通信安全	258
11.5 总结和未来工作	260
致谢	261
参考文献	261

第 12 章 水下声传感器网络的信道建模 263

12.1 引言	263
12.2 背景	263
12.2.1 BELLHOP	263
12.2.2 相关工作	264
12.3 建模方法	265
12.3.1 环境文件生成	266
12.3.2 BELLHOP 处理	269
12.3.3 到达文件分析	270
12.3.4 噪声分析	271
12.4 实例研究	271
12.4.1 环境文件的生成	271
12.4.2 BELLHOP 程序的处理	276
12.4.3 到达文件分析与信道响应	279

12.4.4 噪声分析	280
12.5 实际应用	281
12.5.1 数字化的信道模型	281
12.5.2 仿真模型	285
12.6 总结	287
参考文献	287

第 1 章

水下传感器网络通信协议设计 关键问题研究

水下传感器网络可以实现多方面的应用, 诸如海洋数据搜集、污染控制、离岸勘探、灾难预防、辅助导航和战术观察等, 因此能提高人类观察和预测海洋的潜力, 水下声网络是这些应用的关键技术。本章研究了水声通信的某些基础关键问题, 提出了二维和三维水下传感器网络结构, 详细概述了用于介质访问控制、网络和传输层协议的现代水声通信方案, 讨论了协议设计的开放性研究课题。

1.1 引言

水下传感器网络有能力使许多未开发的应用成为可行, 可以提高观察和预测海洋的能力。装有水下传感器的无人或自主水下航行器 (UUV, AUV) 可以在勘探自然水下资源和搜集科学数据的联合监控任务中得到应用, 当水下装置间可以相互通信时, 这些潜在的应用将成为可能。水下声传感器网络 (UW-ASN) 将由布设在水下的传感器和航行器构成, 并且通过声链接组网来完成联合监控任务。

水下声传感器网络能实现广泛的应用, 包括:

(1) 海洋数据采样网络。传感器网络和 AUV 可以对三维沿海海洋环境进行整体的、协同的和自适应的数据采样。

(2) 环境监控。UW-ASN 可执行污染监控 (化学、生物和核的)、海流和风浪监控以及生物监控, 如鱼类和微生物跟踪。UW-ASN 也可改进天气预报, 检测气候变化, 了解和预测人类活动对海洋生态系统的影响。

(3) 水下探索。水下传感器网络有助于检测水下油田或资源、确定铺设海底电缆的路线、辅助勘探有价值矿藏。

(4) 灾难预防。传感器网络通过测量远距离地震活动为海岸区域提供海啸警报或研究海底地震的影响。

(5) 地震监控。常用的地震监控对于水下油田抽样, 评估油田性能至关重要。水下传感器网络能实现资源管理措施的实施。

(6) 设备监控。传感器网络使得远距离控制和对贵重仪器设备布放后的即时监控成为可能, 从而能评估在初始运行时出现的布放故障或检测问题。

(7) 辅助导航。传感器可用于识别海底的障碍物, 对浅水水域、停泊地点、水下沉船水域中的危险岩石或浅滩进行定位, 还可绘制海洋轮廓图。

(8) 分布式战术监视。自主水下航行器和固定的水下传感器可以协同监视海域, 以便监控、侦察、目标定位和入侵检测。

(9) 水雷侦察。携带有声学和光学传感器的复合 AUV 的同步操作可快速对环境进行评估以检测之类的水雷目标。

在水下网络中, 声通信是典型的物理层技术。事实上, 无线电波只能以极低频率 (30 Hz ~ 300 Hz) 通过导电盐水远距离传播, 且需要大型天线和高传输功率。光波不会有如此大的衰减, 但受散射影响。另外, 传输光学信号在窄激光波束对准时需要较高的精度, 因此, 水下网络的链接通常是基于声无线网络的。

对海底或海水传统的监控方法是布设在执行监控任务期间可记录数据的水下传感器, 而后恢复仪器数据^[2]。这种方法有以下缺点:

(1) 非实时监控。只有恢复仪器数据才能访问记录的数据, 这可能是在开始监控任务几个月之后了。这是非常危险的, 特别是在诸如地震监控这类观察或环境监控应用中。

(2) 缺乏在线系统重新配置。岸上控制系统和监控仪器之间的交互是不可能的, 这既阻碍了仪器的自适应调节, 又使得特殊事件发生后不能重新配置系统。

(3) 无故障检测。如果发生故障或错误配置, 在仪器数据恢复之前不可能检测到, 这会轻易导致监控任务完全失败。

(4) 有限的储存能力。在执行监控任务期间, 每一个传感器可记录的数据量受其携带的储存装置容量限制 (存储器、硬件)。

采用依赖于水声通信的无线链接手段, 通过连接那些未锚底的水下仪器装置可克服这些缺点。尽管已有很多最近开发的无线传感器网络协议,