

第六讲 水下声学传感器网络的发展和应用*

李淑秋[†] 李启虎 张春华

(中国科学院声学研究所 北京 100080)

摘要 文章主要介绍了正在发展中的水下声学传感器网络的一些概念和发展现状.在回顾了水声通信和水下网络的发展历史之后,首先从网络拓扑结构出发,指出多跳对等网络是适合于水声应用的一种网络结构,接着根据网络协议栈的概念,说明水下声学传感器网络在各协议层上所涉及的问题,并从物理层面,分析了水声介质的特殊性,和水下声学传感器网络所面临的一些主要的技术挑战.介绍了组成水下传感器网络的关键部件,以美国海网(Seaweb)为例,给出了一个水声传感器网实现的实例,对它的年度实验进行了介绍,最后,给出了中国未来的发展应用前景.

关键词 水下,声学,通信,传感器,网络

Development and applications of underwater acoustic sensor network

LI Shu-Qiu[†] LI Qi-Hu ZHANG Chun-Hua

(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences Beijing 100080)

Abstract The concepts and applications of developing Underwater Acoustic Sensor Network (UASN) were introduced. After a review of underwater acoustic communication and network in the past, firstly in view of network topology indicated that multiple hop peer-to-peer network is suitable for underwater network application. Secondly according to network protocol stack conception, illuminated the corresponding problems on each protocol layer in the UASN. Thirdly made a physical analysis for the special characteristics in the underwater channel and narrated the main technique challenge in the UASN. Next introduced the key components that the UASN comprise. Then provided an illustration of UASN concept by used "seaweb" as an example. Finally gave the perspective on development and application of the UASN in the future in China.

Keywords underwater, acoustics, communication, sensor, network

1 水下声学传感器网络的基本概念和历史

水下声学传感器网络,是全球网络化技术普及的产物.既然陆上通过有线光或电的手段实现了 Internet 连接,空中通过无线网络甚至通信卫星实现了网络连接,水下网络也许是唯一所剩的未经全面开垦的处女地了.可以想象,有一天,你打开电脑,连上 Internet,可以立刻获得大西洋深处洋流的实时数据,如果安装了水下摄像机的话,甚至可以看到大

堡礁的斑斓的鱼儿在你的屏幕上游曳.这就是水下声学传感器网络面临的任务:以水下声学网络作为信息传输的手段,以水下传感器作为信息获取的窗口,并最终以一种方式把水声网纳入常规网络,把水下数据送往观察者.

由于声波是唯一一种能在水介质中进行长距离传输的能量形式,而无线电波在水中的传播距离非常短,光也因为在水中受到高衰减和散射的影响,不适用于水下环境.水下声学网络,就是以水下声波作为信息载体而组成的无线网络.类比于空中的无线

* 2006-04-25 收到初稿,2006-06-20 修回

[†] 通讯联系人. Email : shuqiu_li@hotmail.com

网络,只不过空中的信息载体是无线电波,水中的信息载体就是声波。水下声学网络要解决两个技术问题,一是水下声通信,二是在声通信基础上的组网。水声通信解决的是点到点的两个用户(或信息源)之间的通信,组网解决的是多个用户(或信息源)共享水介质信道时的信息交互问题。

作为一个正在发展的新兴技术,水下声学网络发展之所以远远滞后于空中无线网络,很大程度上是受限于水声通信技术的发展。最早的水声通信可以追溯到20世纪50年代针对模拟数据的幅度调制(AM)和单边带(SSB)水下电话^[7];70年代之前有少数的模拟系统,由于水声混响环境中幅度调制的困难,以及随着VLSI技术的发展,80年代早期水下数字频移键控(FSK)技术得到应用^[8],它对信道的时间、频率扩散有一定的鲁棒性。80年代后期出现水声相干通信,与非相干通信相比,相干水声通信技术可以提高有限带宽水声信道的带宽效率,但是由于水声信道的严酷和复杂性,水声相干通信开始并不被接受,当时的水声通信的距离和速率乘积是大约 $0.5\text{km} \cdot \text{kbit}^{[10]}$ 。90年代由于DSP芯片技术和数字通信理论的发展,使许多复杂信道均衡技术可以实现,带动了水声相干通信技术的发展^[9],并转向对水平信道通信的研究,因为在浅海环境中水平信道的多途效应要比深海的垂直信道复杂得多。90年代中期浅海环境的水声通信的速率和距离乘积达到 $40\text{km} \times \text{kbit}^{[10]}$,使水下网络的建立成为可能^[9]。水下网络一个里程碑式的关键部件,是水下声学调制解调器的出现^[11]。最早提出的水下声学网络应用概念的是1993年的自主海洋采样网(AOSN)^[12]。美国自1998年开始了称为海网(Seaweb)的年度实验^[13],意在验证水下声学网络的概念。90年代中期至今,水声通信技术和水下网络技术在同时稳步发展着,但由于水介质的特殊性和复杂性(如高时延、大衰减、多途和频移),使用于陆地的无线网络的技术,并不能直接应用于水下网络,对水下信道、水下通信、水下网络协议的研究方兴未艾^[13-26]。

与此同时,20世纪90年代到现在,基于短距离的无线通信的陆地无线传感器网络的发展也非常迅速^[5]。可以说,水下传感器网络是陆地传感器网络概念向水下应用的延伸。水下声学传感器网络,由多个传感器节点组成,节点可以是固定的,如水下锚定的浮标或潜标,也可以移动的,如水下机器人(UUV或AUV)。目前,水下声学传感器网,可以根据水下传感器类型的不同,获取不同的信息,可应用于海洋

学数据获取、海洋污染监控、近岸开发、灾难预防、水下导航定位的辅助、海洋资源勘测和科研数据获取、分布式战术监测、水雷侦察、以及水下目标的探测、跟踪与定位。

简言之,水下声学传感器网,就是在一定的水下区域内,通过各种传感器节点获取水下信息,并对水下节点进行声学通信和组网,最终通过特定的节点,重新以无线电和有线的形式把在覆盖区域中所获取的信息纳入岸上的常规网络,并发送给观察者的水下水子网。

可以看到水下声学传感器网的几个特点:第一是可移动性,由于是可移动的,所以必须是能够自组织的自主网络,遵循一定的网络路由方式;第二是水下无线和水声通信,由于采用水下声通信,必须是对海洋环境特性自适应的,解决物理层的技术挑战;第三是能量限制的,因为无线,所以是电池供电;第四是具有数据转播功能,可把监测数据传达到岸上,为了对数据进行有效和可靠的传输,必须遵循一定的网络协议。

网络拓扑结构决定了网络的路由方式、能量损耗、网络容量和可靠性,所以要首先介绍网络的拓扑结构。

2 水下声学传感器网络的拓扑结构

和陆地上的无线传感器网络结构一样,水声传感器网的拓扑结构可分为两大类:中心化的网络(centralized network)和分布式的对等网络(distributed peer-to-peer network)。

在中心化网络中,节点之间的通信是经过中心节点实现的,并且网络是通过这个中心节点接入骨干网。这种配置的主要缺点就是存在单一故障点,即这个节点的失效,将导致整个网络的失效。并且由于单个调制解调器的作用距离有限,所以中心化网络的覆盖范围有限。图1为中心化网络的拓扑结构示意图。

对等网络,是指没有一个中心节点“管辖”它们,每个节点具有较为平等的权限。根据路由方式的不同,对等网络中又有一些差别。完全连接的对等网络对网络中的两个任意节点提供直接“点对点”连接,这样的拓扑结构,对路由的需求减少了,然而当节点分散在很大的区域时,对通信所需的功率却大大地增加了,并且还会产生“远近”问题^[1,2],即当一个节点A正在往远端的某节点发送数据包时,会阻塞与节点A相邻的节点接收其他信号。

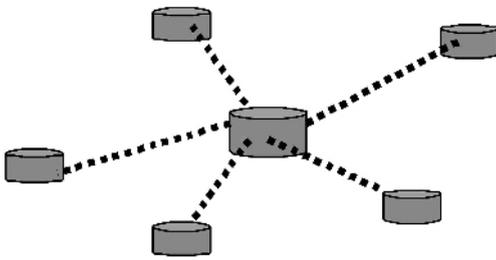


图1 中心化网络的拓扑结构示意图(虚线表示声通信)

多跳对等网络则仅在相邻节点之间进行通信,一个信息从源到达目的经过节点间的多次跳接来完成。多跳系统可以覆盖较大的区域,因为网络的作用距离,取决于节点的数量,而不再受限于单个调制解调器的作用距离。图2为多跳对等网络拓扑结构示意图。

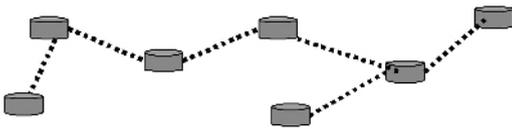


图2 多跳对等网络拓扑结构示意图

Ad Hoc 网络,是针对无线移动应用的一种网络,它属于多跳对等网络。它不需要先期建好基础设施,也称为无架构网络(infrastructureless networks)。它的特点是:自主网络、动态拓扑、带宽限制和变化的链路容量、多跳通信、分布式控制、能量有限的节点和有限的安全性。因为不依赖于基础设施,所以可以快速布放,并且覆盖较大的区域。因为水中可依赖的基础设施有限,并且可移动的AUV将是水声传感器网络中的重要组成部分(AUV可以增强水下传感器网络的性能),它所具有的自组织能力和动态拓扑结构,使Ad Hoc网络很适合应用于水下声学传感器网中。Ad Hoc网络虽然适合于水声网的应用,但它的安全性问题也始终是一个研究课题。

事实上,水下声学传感器网络应该是一种中心化和对等网络的混合。在文献[16]中介绍了一种二维和三维的水声传感器网,二维是指获得的信息维数。在二维水声传感器网中,传感器节点以及数据转发器(Sink)被布放在海底,在小的区域内是以Sink为中心(中心化网络),而每一个传感器的数据可以在水平链路上以直接或多跳的方式到达Sink(多跳对等网络),而传感器数据只有通过Sink在垂直链路上转发,才能到达水面站。因为只能获得海底某一区域的信息,称为二维传感器网。在三维水声传感器网中,可以控制潜标的深度,使某一区域内的多

传感器节点位于不同的深度,因此可以获得一定区域的、不同深度的海洋信息,所以称为三维水声传感器网。在网络拓扑结构上,也是多跳对等网络。AUV可以到达海洋中的不同深度,与固定水底的传感器网络结合,也可以构成三维水声传感器网络。

值得指出的是,因为水下声学传感器网络,总有一个接入水上其他常规网络的问题,有一个称为水面站、网关或主节点的特殊节点,来完成这一工作。它不但要有声学调制解调器,用于与水下网络的通信,而且要有无线电或有线的调制解调器与卫星或岸基的网络进行通信。水面站可以以浮标为载体,也可以以水面舰船为载体。

网络拓扑结构决定了网络的路由方式、能量损耗、网络容量和可靠性。有研究显示^[15],一个延直线等间距分布的多传感器节点构成的网络,按完全连接的对等网络的路由方式功耗大于多跳对等网络;而网络容量也受网络拓扑结构的影响。

3 水下声学传感器网络层的相关概念

水下声学传感器网络,的确是一个崭新的领域,但它所遵从的概念是与常用的网络协议栈的概念是相同的。表1是常用的网络层概念。为简化起见,本文只讨论基础的三层:物理层、数据链路层和网络层^[3]。

表1 网络协议栈

应用层(application layer)
传输层(transport layer)
网络层(network layer)
数据链路层(data link layer)
物理层(physical layer)

物理层要解决的问题,就是怎样利用传输介质的特性(即信道特性)和相应的调制方法,使数据进行有效的传输。基于水介质的声通信,是网络协议层中典型的物理层问题。在发射端要把信息比特变成信道能够传输的信号(声信号),在接收端又要把介质中的信号变回信息比特,这就是水下声学调制解调器的任务,主要涉及三方面的问题:媒体转换(如:电-声信号变换)、频带利用效率、信道适应性。

水声通信中常用的调制方法分为两类:一类是非相干调制,如频移键控(FSK)方法;另一类是相干调制方法,如相移键控(PSK)和正交幅度调制(QAM)。非相干调制对严酷的水声环境有较好的鲁棒性,但速率低;相干调制方式中的编码效率高、频带利用率高,但传输距离有限。有些技术既是物理层

的编码手段,也是复用手段,如 CDMA 扩频技术。目前又出现了广泛引起兴趣的多载频调制技术,如正交频分复用(OFDM)扩频技术。

数据链路层,解决的是多个用户怎样合理有效地利用信道,即媒体访问控制 MAC。主要涉及媒体访问方式和纠错控制两方面的因素。媒体访问方式可细分为多址访问方式和随机访问方式^[3]。多址方式就是多个节点共享有限的多条通信信道,利用空闲信道进行通信的方式,也称为复用方式,复用方式决定了可同时使用信道的节点数。随机访问方式,是多节点使用一条通信信道,对媒体使用的方式和次序进行控制。纠错控制,就是通过一定的机制保证发射和接收数据的正确性。在水声网络中,常见的复用方式有频分复用(FDMA)、时分复用(TDMA)、还有对水声信道有较好鲁棒性的码分复用(CDMA)技术,它具体又分为直接序列扩频(DSSS)和跳频扩频(FHSS)技术。这些复用技术,将针对不同的水下应用,有不同的优缺点。水下网络中常见随机访问方式有ALOHA、载波侦听复用(CSMA)、避免冲突复用(MACA)等。在数据链路层的常见的错误控制机制有检错重发(ARQ),即接收机根据接收数据的情况,请求重发,和前向纠错(FEC)技术,即事先在发射时就增加一些冗余代码,接收机根据冗余代码就能进行纠错,不需要重发。

网络层,解决的是路由问题,即怎样确定源节点(通常是提供信息的水下传感器节点)和目的节点(通常是与水面有关的主节点)之间的路径。而路由方式,取决于网络的拓扑结构。

Ad Hoc 网被认为比较适合于水声传感器网的应用。在 Ad Hoc 网中,有三种路由协议,先应式(proactive)、反应式(reactive)和地理式(geographical)。先应式,也被认为是表驱动式(table driven),这些协议是通过广播包含了路由表的控制包,来维持每一个节点到每一个其他节点的最新路由信息。反应式,也被认为是随选式(On-demand),就是仅在达到目的的路由被需要时,节点才启动一个路由发现的过程。路由发现之后,需要路由维持,直到它不再被需要。地理式,是通过利用定位信息,来建立源和目的的路由。所有这些路由协议,由于水声信道的特殊性,都面临一些应用上的困难。

4 水下声学传感器网络的物理分析和 技术挑战

水下声学传感器网的传播介质是水,与陆地传感器网的介质空气,有很大的不同,因此造成在陆地上可以有效使用的网络协议,不能适用于水下声学网络。我们将从水的声学传播特性入手,讨论影响声学通信的因素,分析它对网络协议栈各层协议所造成的困难。

4.1 影响水声通信的物理因素

4.1.1 传播延迟长和延迟方差大

电磁波在空气中的传播的速度是声波在水中的传播速度的 20 万倍,慢的声速使得传播延迟很大,每公里约延迟 0.67s,同时水声信道的时变特性又使延迟方差很大。前者影响网络的吞吐率,后者使一些基于时间的协议无法工作。

4.1.2 传播损失大(也称为路径损耗)

根据 Urick^[4]的传播模型,传播损失,是由扩展和衰减所引起的损失之和。衰减损失包括吸收、散射和声能泄露出声道的作用。吸收是由于声能转换为热能而引起,它随频率和距离的增加而增加。扩展损失是指波前扩张引起的声能的扩展,主要有深海环境下点源的球面扩展(全向扩展),传播损失随距离的平方而增加;以及在浅水环境下的柱面扩展,仅在水平面上进行扩展,传播损失随距离而增加。由于声信号的传播损失随着频率和距离的增加而增加,因此水声信道可用的频段非常有限,传播的距离也有限。因此,在水下通信网中,要进行长距离通信,只能选择低码速率,要选择高码速率,只能进行短距离通信。一般来讲,要使传播距离达到 10—100km,可用带宽在 2—5kHz 范围,中距离传输 1—10km,带宽在 10kHz 量级;如果所用频带大于 100kHz,传播距离就必须小于 100m^[6]。

4.1.3 多途严重

多途现象是由于声源和接收器之间存在不止一条传播路径而引起,在浅海和远程传播中经常出现。简单的说,单一声源发出的信号,由于多途的存在,在接收端可以收到多个不同时间到达的信号。多途会引起信号振幅和相位的起伏,由于不同路径的传播时间不同,会导致严重的信号畸变,会导致不同接收机之间接收信号的去相关,多途还会造成频带展宽。这些都会使通信信号严重退化,产生码间干扰。多途还与声源与接收机之间的位置和距离有关。以海底平面为参考,垂直信道的多途影响小,水平信道的多途影响大。

4.1.4 浅海环境噪声强

环境噪声是多种因素的集合,它与潮汐、湍流、海面的风浪和雷雨都有关系,船舶噪声也是重要的噪声源.与深海的噪声比较确定的情形不同,浅海,特别是近海、海湾和港口,环境噪声会随时间和地点的不同而显著的变化.噪声主要由船舶和工业噪声、风成噪声和生物噪声组成.环境噪声会使信号的信噪比降低,影响水声通信的性能.

4.1.5 多普勒频散严重

多普勒频移,是由声源和接收器的相对运动而引起.由于声速比电磁波的速度慢 20 万倍,很小速度就能引起多普勒频移,并且由于信道的因素水下声载波频率较低,这两个因素加起来使水中多普勒的影响比空中无线通信大得多.多普勒如果只产生一个简单的频率变换,接收器的补偿是相对容易的.但由于多途的存在,当声信号一次或多次碰到海面时,在各个路径之间会产生不同的多普勒频移,它很难补偿.当高速数据通信时,它会产生码间干扰,还会降低频带效率.

总之,浅海水声信道在时间、空间、频率上都有扩散,是高度时变的系统,并且比空气中的无线电信道复杂得多.对水声通信来讲,它是一个严峻的挑战.

4.2 浅海声学环境对网络各层的技术挑战

下面我们将根据网络协议栈各层的功能,分析水下声学传感器网络所面临的问题.

4.2.1 物理层

频移键控(FSK)是非相干的调制方法,因为多普勒频散的缘故,相位跟踪难于做到,所以依赖能量检测.考虑多途的影响,可在两个相邻的脉冲之间插入一段保护时间(time guard);考虑水下多普勒频散的存在,也可以在子带之间加入保护频段.尽管非相干调制的方法是高效能的,但它带宽利用效率低,加之水声信道的带宽有限,所以它不适合水下高速的、多用户的通信.另一种可以提高数据率的方法是相干调制技术,如:相移键控(PSK)和正交幅度调制(QAM),它必须对载波的相位进行跟踪,但是由于浅水介质的频散和时变特性,使得码间干扰加大,错误比特增加,因此需要采用信道均衡技术并结合锁相环技术补偿相位的偏移.实现信道均衡的是一些非常复杂的滤波器,如:决策反馈均衡器,它的复杂性不适合实时通信.但一些简化算法,引起算法的不收敛,最终引起接收机性能的下降.

目前在水声通信中正交频分复用(OFDM)扩频技术引起广泛关注,它也称为多载波调制,因为它同

时在多个子载波上发射信号.可以根据信道的情况,对衰减小的子载波分配较高的比特数,对衰减高的子载波分配较低的比特数.在保持同样的数据速率下,因为可以在多个子载波上同时发射信号,就使每一个子载波的符号持续时间可以加长,所以 OFDM 对多途有较好的鲁棒性,并且能够取得较高的频谱效率.但是由于信道的时变性,对子载波比特数的分配,也是一个繁重的任务.

4.2.2 数据链路层

就多址访问方式而言,频分复用(FDMA)技术由于水声可用的信道很窄,并且对衰减和多途的敏感性,不适合水下声学网络,但对于短距离的通信,倒是一种简便易行的方法.时分复用(TDMA)由于水声信道延迟长和延迟方差大,时间同步很难做到,因此基于公共时基的时隙分配就难以在水下声学网中做到.如果使用,就必须插入较长的时间保护(time guard),使系统的带宽效率大大降低.码分复用(CDMA)通过伪随机编码信号把发射信号扩频到整个可用带宽.因为伪随机编码的相关特性,可以使采用不同伪随机编码的不同用户区别开来.高带宽对频率选择性衰落有较好的抵抗性.在直接序列扩频(DSSS)的接收端采用 Rake 接收机,主动利用多途能量,补偿多途的影响,因此它对水声信道产生的多途衰落有较好的鲁棒性,但由于多普勒频散的存在,也会使伪随机码的相关特性降低;另外一种扩频技术跳频扩频(FHSS),由于它发射的是多个窄带信号,更容易受到多普勒频移的影响.但它在对付复用干扰(MAI)上比 DSSS 更有效,并且它的接收机比较简单.

就随机访问方式而言,避免冲突复用(MACA)是一种握手协议.它通过发射和接收 RTS/CTS 控制包对,实现发射和接收的握手.由于水声信道大的延迟特性,而握手协议的几个来回,更加重了信号延迟之外的延迟,造成网络吞吐率降低.载波侦听复用(CSMA)技术,也会由于水声信道的延迟特性,会发生信道侦听为空闲而发射却正在进行的情况,因为发射信号此时尚未到达接收器,造成冲突的发生.

4.2.3 网络层

水下 AD Hoc 网中,先应式(proactive)路由方式,在使用网络通信之前,就要每时每刻维持网络中所有节点的路由表,这不仅造成珍贵的信道资源的浪费,对水声应用也不是很必要.地理式(geographical)路由方式,依赖于节点的地理位置进行路由,在陆地传感器网中,可以很好的利用全球定位系统(GPS)来获得所需信息,在水下声学传感器网络中,

获取精确的节点定位信息是很困难的事,而且节点的定位,本身就是水下声学网络要解决的问题之一。反应式(reactive)路由方式,虽然在需要时才启动路由发现的过程,仍然需要大量的控制包来建立路由,并且由于水下底质和信道的变化,使得有时链路变成一个单向的链接,这对所有依赖于对称链接的协议,造成使用上的困难。

综上所述,水下声学传感器网络面临严酷的水下环境,遭遇了陆地传感器网络所不曾遇到的困难,或者是更严重的困难。水声工作者的任务就是根据使用条件的不同,针对这些方法的优缺点进行有益的借鉴和改进,并取得有利的成果。

5 水下声学传感器网络的关键部件

从目前已经进行了实验的水下声学传感器网的例子分析,一个基本的水下传感器网络主要由传感器节点、转发器和主节点部件组成。

传感器节点主要是通过不同类型的传感器用来获取水下生物的、化学的和物理现象的参数,并通过声学调制解调器(modem)把信息发送出去。如图3所示,一个传感器节点主要由六部分组成。

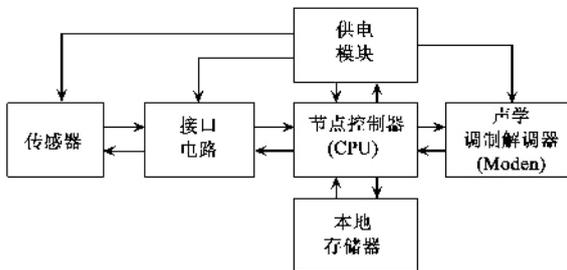


图3 传感器节点的基本组成

传感器(sensor),可获取水下的生物、化学或物理现象的参数,并转换成电信号,通过接口电路,变成数字信号,送给节点控制器。节点控制器根据一定的网络协议,把获取的数据按协议包,通过声学调制解调器发送给其他节点。除此之外,节点控制器还可以负责电源管理、本地数据的存取或一些本地的计算等功能。电源模块多数为电池组,负责节点上所有模块的供电。不同的应用决定了所使用的传感器类型不同,如测量海水特性的温度、盐度、深度传感器CTD;测量海流的声学多普勒流速剖面仪(ADCP);测量化学成分的传感器,如热液硫化物、硅酸盐的测量;测量金属离子的沉积层的电极传感器。或者就是声学传感器,用于监测海洋的各种声学信息,民用可以获取海

洋声学数据,如海啸的预报、鱼类丰量分析;军用则可以用于敌方潜艇的警戒与探测。传感器还可以是定位传感器。传感器节点通常同时使用多种传感器。

转发器(repeater),主要用于转发来自传感器节点或别的转发器的数据,它本身可能并不具备传感功能,而把接收的声信号转换成电信号经过整形或变换,再按照一定的路由协议,重新变换成声信号转发出去。它的功能是延长传感器数据传播的深度或广度,增加传感器网络的作用范围。其中完成收发功能的模块,还是声学调制解调器。

主节点和网关(master and gateway),是指通过它才能把水下声学传感器网接入陆地或空中常规网络的关键节点。主节点的功能是集中接收水下声学网络的数据包,网关(gateway)的功能就是把主节点收到的声学数据包,经过它的变换,变成无线(电)网络和有线(电)网络所接收的数据包,再转发出去。对于下发给水下声学传感器网络的命令控制包,过程相反。主节点和网关可以在一个载体上合而为一,也可以分开布放。如果这个网关用于无线电网的接入,这个节点可能就是一个水面站,它可以专用浮标或水面船为载体。如果这个网关用于有线网络的接入,那么这个节点就可能是一个岸基站。无论如何网关都包含水下声学 modem。对于无线接入,水下是声学 modem,水面是无线电 modem。对于有线接入,水下是声学 modem,陆上是网络接入和服务器。根据数据流量的需要,可以有多个主节点和网关。

由水下传感器网络的组成部件,可以看出水下声学 modem 是构成水下传感器网络的关键部件。也有人把它称为“telesonar”,即具有远距离通信能力的声纳。第一代的 telesonar modem 称为 Datasonics ATM850^[14],产生于1995—1997年。它的研制成功,可以看成是水下声学传感器网的里程碑。后来在美国海军小型商务创新研究(SBIR)资金的支持下,1997—1999年产生了第二代的 telesonar modem 称为 Datasonics ATM875。在美海军的继续支持下,于2000年完成了第三代的开发,称为 the Benthos ATM885^[27]。

6 当前水下传感器网的实现——Seaweb 实验介绍

海网(Seaweb)水下声学网络^[13,14]是目前美国比较成功的水下网络的一个概念。依据海网的概念,

对于军事应用,构建可布放的自主分布系统 DADS (deployable autonomous distributed system),用于沿海广大区域的警戒、反潜战和反水雷系统,实施命令、控制、通信和导航功能。对民用,构建对沿海大陆架的监测的 FRONT 网(the front-resolving observational network with telemetry)和气象海洋系统。它们的共同点是,都以 Telesonar 为水下通信的工具,以 Seaweb 的概念构成水下网络;不同点是根据应用的需求不同,采用了不同类型的水下传感器。

就 Seaweb 本身的概念而言,就是建立水下网络,这个概念本身的可行性也需要验证,因此,美国海军的海网计划,从 1998 年开始启动了一个每年度的 Seaweb 实验,目的在于推动 Telesonar 和 Seaweb 技术的发展。从 1999 年起启动了 FRONT 的年度实验。

在 Seaweb 98 中,采用 MFSK 调制技术,10 个节点分为三个簇,在本簇中采用的复用技术是 TDMA,在簇之间采用的是 FDMA,信道利用率较低,纯的传输速率只有 50bit/s。采用的 telesonar 是 ATM875,其声学带宽是 5kHz。一个网关浮标,称为 racom(无线/声学通信)浮标,首先接收来自水下网络主节点的传感器数据,然后通过无线电链接到岸上的命令中心。

Seaweb 98 强调了水下声学网络与常规网络的差别,在有限的功率、有限的带宽和长的传播时延等严酷条件下,证明 Seaweb 是可行的。数据压缩、前向纠错(FEC)和滤波技术必须采用,以降低误码率;网络各层要认真设计,自适应调制和功率控制被认为是提高信道容量和效率的关键因素。在 Seaweb 99 的实验条件下,水深 10m,实验结果节点间的有效连接可达 4km,网关到节点的有效距离是 7km。

Seaweb 98 的意义在于它验证了水下声学网络的概念,也推动了对 ATM875 的大量改进。同时它也验证了军用 DADS 的概念的可行性:网络化的传感器;广泛的区域覆盖能力;racom 网关;对浅海环境的鲁棒性;远程控制能力等。美军对 DADS 系统的设想是,遵从 ad hoc 拓扑结构和 Seaweb 的概念,能够自组织,包括节点识别、秒级的时钟同步、在百米量级的节点几何定位和新节点的同化和节点失效后的自愈能力,所希望的节点持续能力可达 90 天。

Seaweb 99,15 个节点,仍然采用 ATM875,复用采用 FDMA 的一个变形。Seaweb 99 的一个重要发展是引入了 Seaweb 服务器,服务器管理 Seaweb 的网关和成员节点,监视、显示和记录网络状态,服务器还可以建立网关与网关的路由。Telesonar 允许服务器远程地配置路由拓扑结构,这为未来的网络自配

置和网络动态控制建立了雏形。同时,Seaweb 99 也暴露了 ATM875 的局限性:所采用的 DSP 有限的存储器和处理速度,限制了固件的改进;FDMA 的复用方式牺牲了珍贵的带宽。

Seaweb 2000,共有 17 个节点,采用全新的 Telesonar ATM885,具有数据记录功能,复用方式采用混合的 CDMA/TDMA 技术。核心特色是,实现了一个紧凑的、结构化的网络协议。通过信道宽容的 64-bit 功能包和信道自适应的任意长度数据包,有效地把网络层和 MAC 层映射到物理层,共有 7 种功能包类型。另一个特色是把协议和信道测量结合起来。复用协议是避免冲突复用(MACA)。过程是 A 节点发射一个 RTS(request-to-send)信号,同时兼做信道测试信号;节点 B 检测到请求,并唤醒,处理 RTS 信号,从中估计信道,B 节点根据信道估计的结果,响应一个 CTS(clear-to-send)信号,给出合适的调制参数;A 节点根据参数,以接近最优的比特率、调制方法、编码、和声源级来发送数据包。

Seaweb 的成功带动了美国的多种 Seaweb 应用计划:海洋研究(FRONT 项目)、海洋警戒(DADS 演示项目)、舰队作战实验(FBE-I)、浅海反潜战 ASW(Hydra 项目)、水下通信(Sublink 项目)以及 UUV 的命令与控制(SLOCOM 和 EMATT 项目)。Seaweb 还可以用于导航和反水雷系统^[28]。

7 我国的现状和发展前景

我国在“八·五”期间就开始进行水声通信的研究,最早的研究单位有厦门大学、哈尔滨工程大学和中国科学院声学研究所,主要有低码速率的远程通信和高码速率的近程通信两个方向。低码速率的水声通信采用扩频通信技术,高码速率多采用相干通信技术,两者都取得了很好的成果。在“十·五”期间,开始进行水声通信网的相关研究,已经有 3—4 个节点的实验系统的出现。预计在“十一·五”期间可以有一个长足的进步。

我国广阔的海岸线,为水下声学传感器网的应用带来广阔的前景。不论何种应用,水下传感器网络的概念是相同的,所不同的是根据应用的不同更换水下传感器的种类,便可获得不同的水下信息。民用可以建立近海地震监测网,为地震监测和海啸预报获取数据,在海上石油平台附近建立小范围的监测网,为石油平台的生产提供环境和安全参数,还可以利用水下声学传感器网络的自组织能力,对水下移

动平台(如UUV)提供导航参数,建立沿海立体监测网络,获取物理的、化学的、气象的和声学信息。民用可为海洋资源的利用、海洋灾害的预防、海洋气象的准确预报、和海洋科学数据的获取创造条件;军用可以建立沿海广大区域的警戒侦察网,并以它的灵活性,对快速事件作出反应,提高我国海防水平。

Seaweb的成功带给我们很多启示,但仍有一些开放的研究课题需要研究。针对水声通信与组网的研究,如水声信道的测量和自适应均衡算法研究、鲁棒性水声通信技术研究、延迟宽容网络(DTN)的研究、水声网络安全研究、跨层协议的研究,针对应用的研究,如水下网络的时间同步、定位和跟踪算法研究、数据融合算法、水下传感器节点平台技术的研究等。

参 考 文 献

[1] Rappaport T S [蔡涛等译. 无线通信原理和应用. 第二版. 北京: 电子工业出版社, 1999]
 [2] 曹志刚, 钱亚生. 现代通信原理. 北京: 清华大学出版社, 1992 [Cao Z G, Qian Y S. Modem Communication Principles. Beijing: Tsinghua University Press, 1992 (in Chinese)]
 [3] [日] 小野濑一志著. 张秀琴译. 局域网技术. 北京: 科学出版社, 2003 (in Chinese)
 [4] [美] R. J. 尤立克著. 洪申译. 水声原理. 第3版. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1985 (in Chinese)
 [5] 孙利民等编著. 无线传感器网络. 北京: 清华大学出版社, 2005 [Sun L M. Wireless Sensor Network. Beijing: Tsinghua University Press, 2005 (in Chinese)]
 [6] Istepanian R, Stojanovic M. Underwater Acoustic Digital Signal Processing and Communication System. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2002
 [7] Miller N. IRE Transactions on Communication System, 1959 7 (4): 249

[8] Baggeroer A. Oceans, 1981, 13(9) : 48
 [9] Stojanovic M. Electro/95 International. Professional Program Proceedings. 1995(6) : 435
 [10] Kilfoyle D B, Baggeroer A B. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2000 25(1) : 4
 [11] Merriam S, Porta D. Sea Technology, 1993 34(5) : 24
 [12] Curtin T B, Bellingham J G et al. Oceanography, 1993 6 : 86
 [13] Rice J A, Creber R et al. Proc. IEEE Oceans, 2000 Conf., 2000 3 : 2007
 [14] Rice J A, Creber R K et al. Biennial Review 2001. SSC San Diego Technical Document TD 3117, 2001 234
 [15] Sozer E M, Stojanovic M, Proakis J G. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2000 25(1) : 72
 [16] Akyildiz I F, Pompili D, Melodia T. Ad Hoc Networks, 2005, 3(3) : 257
 [17] Rice J A, Baxley P A. SSC San Diego In - House Laboratory Independent Research 1998 Annual Report, 2000(4) : 33
 [18] Buckner H. J. Acoust. Soc. Am. 1994 95(5) : 2437
 [19] McDonald V K, Rice J A, Fletcher C L. Proc. IEEE Oceans '98 Conf., 1998 2 : 639
 [20] McDonald V K, Rice J A, Porter M B et al. Proc. IEEE Oceans 99 Conf., 1999 2 : 1002
 [21] Scussel K E, Rice J A, Merriam S. Proc. IEEE Oceans Conf., 1997 1 : 247
 [22] Stojanovic M, Proakis J G, Rice J A et al. Proc. IEEE Oceans 98 Conf., 1998 2 : 650
 [23] Sozer E M, Proakis J G, Stojanovic M et al. Proc. IEEE Oceans 99 Conf. 1999 1 : 228
 [24] Green M D, Rice J A. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2000 25(1) : 28
 [25] Creber R K, Rice J A, Baxley P A et al. Proc. IEEE Oceans 2001 Conf., 2001 4 : 2083
 [26] Xie G G, Gibson J H. Proc. MTS/IEEE Ocean '2001 Conf., 2001 4 : 2087
 [27] www.benthos.com
 [28] Rice J A. 5th International Symposium on Technology and the Mine Problem, 2002(4) : 21





北京欧普特科技有限公司

光学元件库—欧普特科技 欢迎访问: www.goldway.com.cn

北京欧普特科技有限公司严格参照国际通常规格及技术指标, 备有完整系列的精密光学零部件(备有产品样本供参考) 供国内各大专院校、科研机构、实验室随时选用, 我公司同时可为您的应用提供技术咨询。我公司可以提供美国及欧洲产的优质红外光学材料, 如硒化锌、硫化锌、多光谱硫化锌等。



- 光学透镜: 平凸、双凸、平凹、双凹、消色差胶合透镜等。
- 光学棱镜: 各种规格直角棱镜及其他常用棱镜。
- 光学反射镜: 各种尺寸规格的镀铝、镀银、镀金及介质反射镜, 直径5mm—200mm。
- 光学窗口: 各种尺寸规格、材料的光学平面窗口, 平晶, 直径5mm—200mm。
- 各种有色玻璃滤光片: 规格为直径5mm—200mm (紫外、可见、红外) 及窄带干涉滤片。
- 紫外石英光纤: 进口紫外石英光纤, SMA 接口光纤探头, 紫外石英聚焦探头。

地址: 北京市海淀区知春路49号希格玛大厦B座306室
 电话: 010-88096218/88096217 传真: 010-88096216 网址: www.goldway.com.cn
 联系人: 徐勇小姐, 陈镭先生, 施楠小姐
 Email: xuyong@goldway.com.cn kevinchen@goldway.com.cn shinan@goldway.com.cn