

# 基于 IEEE 1588 的多基地声呐 湿端时钟同步技术研究

许 乔<sup>1,2</sup>, 张元凯<sup>1,2</sup>, 蔡惠智<sup>2</sup>

(1. 中国科学院声学研究所, 北京 100190; 2. 北京中科海讯数字信号处理技术有限公司, 北京 100107)

**摘要:** 多基地声呐技术将会在未来发挥越来越重要的作用; 而基于以太网的声呐湿端数据采集与传输系统在多基地声呐应用中同时对时间同步技术提出了更高的要求和挑战; 文章提出了基于 IEEE1588 v2 标准的精确时间同步协议方案, 并用支持 IEEE1588 的以太网交换机和 PHY 芯片实现了多基地声呐设备间的同步; 测试结果表明, 同步精度达到了亚微秒级别。

**关键词:** IEEE1588; 时钟同步; 多基地声呐

## Research on Clock Synchronization of Underwater Part of Multistatic Sonar Based on IEEE1588

Xu Qiao<sup>1,2</sup>, Zhang Yuankai<sup>1,2</sup>, Cai Huizhi<sup>2</sup>

(1. Institute of Acoustic, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. Beijing Zhongkehaixun Digital Signal Processing Technology Co., Ltd., Beijing 100107, China)

**Abstract:** Multistatic sonar will play more and more important role in the future. The data acquisition and transmission system based on Ethernet in the underwater part of sonar which is applied in multistatic sonar put forward higher requirements and challenges for clock synchronization. A method of precision clock synchronization protocol based on IEEE1588 v2 is proposed. The synchronization between equipment of Multistatic sonar is implemented using Ethernet switch and PHY chips which support IEEE1588. The test results show that the synchronization precision can reach sub microsecond level.

**Keywords:** IEEE1588; clock synchronization; Multistatic sonar

### 0 引言

如今, 随着科学技术的发展, 声呐系统的发展呈现出日新月异的态势。收发设备分置的多基地声呐由于其同时具有主动和被动声呐的工作特点和诸多优势, 已经逐渐成为研究重点<sup>[1]</sup>。

声呐湿端的数据采集与传输设备集数据采集与传输、电源分配、时钟同步三大要素于一身, 是声呐系统性能的保障。其中, 基于千兆以太网的数据传输技术和网络供电技术已经趋于成熟, 而时钟同步技术一直是以太网应用中的重点和难点, 甚至对系统的可靠性起着决定性影响<sup>[2]</sup>。时钟同步方案对系统拓扑结构有一定的依赖性, 而多基地声呐湿端由于其独特的特点, 对时钟同步技术提出了更高的要求和挑战。IEEE 1588 定义的精确时间协议第二版 (PTPv2) 为多基地声呐湿端时钟同步提供了新的思路<sup>[3-4]</sup>。

本文首先简要介绍多基地声呐和 PTPv2, 并结合多基地声呐的工作特点, 分析基于 PTPv2 协议的时钟同步方式相比其他同步方式的优势。然后制定时钟同步总体技术方案, 用支持 IEEE 1588 的交换机芯片和 PHY 芯片实现了整个系统的时钟同步。最后给出结论。

### 1 多基地声呐

随着船只的噪声越来越低, 传统的纯被动探测方式越来越具有局限性, 而传统主动声呐的隐蔽性较差。多基地声呐系统具有隐蔽自身的优点, 并且, 由于布设了多个接收基地, 其探测能力有了很大提升, 因此正成为重点关注对象。一个典型的收发分置的多基地声呐系统模型的几何关系如图 1 所示, S 为目标位置。T/R 为发射站, 该站一般布设在比较安全的地区, 发射大功率声波照射目标, 同时可以接收目标回波, 具有主动声呐的工作特点。 $R_1, R_2, \dots, R_N$  为 N 部接收机, 一般布设在离目标较近的前沿地带, 被动的接收目标回波, 通过测量得到的目标距离信息来实现目标的定位。

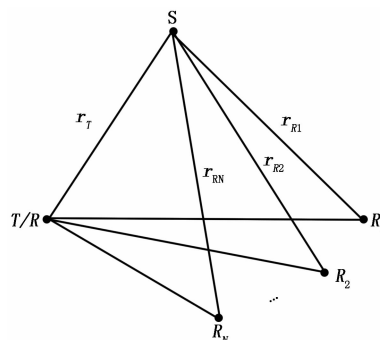


图 1 典型多基地声呐系统模型

收稿日期: 2014-01-21; 修回日期: 2014-03-21。

**作者简介:** 许 乔 (1986-), 男, 湖北恩施人, 博士研究生, 主要从事阵列信号处理与高性能网络方向的研究。

多基地声呐系统具有探测精度高, 隐蔽性与抗干扰能力强等诸多优势。但是与此同时, 多基地声呐的应用也有一些难点和挑战。对于声呐湿端的数据采集与传输设备而言, 由于收发设备分置, 各个设备位置不同, 如何为这些分置的设备提供统一的高精度的时间基准, 如何保证各个收发设备之间的相位同步, 是多基地声呐研究的一个重要技术问题<sup>[5]</sup>。

## 2 时钟同步

### 2.1 同步方案介绍

多基地声呐湿端作为一个分布式数据采集与传输系统, 其时钟同步体现在各个采集单元在限定误差范围内完成采样, 采样时钟的精确性会直接影响到水听器采集数据的相位一致性, 从而影响到整个声呐系统的性能<sup>[6]</sup>。所以, 如何选择适合多基地声呐湿端的时钟同步技术是系统设计需要着重考虑的一个关键因素。时钟同步技术大致有以下几种。

(1) 自定义时钟同步网络: 这是一种最简单的时钟同步方法, 它通过硬线传递时钟和触发脉冲的方法来实现多个采集模块的同步。在多基地声呐湿端系统中, 各个站点之间的距离非常远, 甚至几十公里, 因此传统的硬线传递的方法会因为信号畸变和衰减而导致不够准确, 且需要专用的链路和极强的驱动能力才能满足要求。显然, 这种方法在多基地的时钟同步应用中是不现实的。

(2) GPS 同步: GPS 具有授时精度高, 覆盖面广等优点<sup>[7]</sup>。可是基于 GPS 授时有很多弊端。首先, 这种方式在成本上没有优势; 而且, 其可靠性不高, 维护困难; 最重要的是, 由于受限于美国 GPS 系统, 其安全性能得不到保障, 尤其是在国防产品中, 这种依靠 GPS 授时的方式绝对不可取。

(3) NTP 网络: 网络时间协议 (NTP) 是用来使计算机时间同步化的一种协议, 可以同时实现频率与时间的同步, 被广泛用于 internet 网络定时。可是其在局域网内的精度只能达到毫秒级别, 折算至采样率只能达到 k 级别, 不能满足系统日益增大的数据量需求。

(4) 同步以太网: 属于物理层同步, 从物理层恢复时钟, 它的传播是基于链路的, 要求时钟传播路径上的所有链路都具备同步以太网特性。其可实现高质量的频率同步, 不会因网络高层产生损伤而受到影响, 但不能实现时间同步 (相位同步)。

(5) 基于 IEEE 1588 的网络: IEEE 1588 定义了一个能在测量和控制系统中实现高精度时钟同步的协议 (Precision Time Protocol 简称 PTP)。IEEE 1588 有以下几个特点<sup>[8]</sup>。

①适用于所有通过支持多播的局域网通信的系统, 尤其适用于以太网。

②不需要占用过多的系统资源, 只需要最小限度的网络带宽就可以对系统中各类不同精度, 分辨率和稳定性的时钟实现亚微秒级的同步精度。

③属于分组协议同步技术, 与物理层无关, 能实现频率同步和时间同步。

④仍然使用以太网传送同步信息, 不需要额外的时钟线, 可有效简化组网连接和控制成本。

⑤这种基于分组的同步技术容易受到分组延迟抖动和网络负载变化的影响。

PTPv1 版本于 2002 年发布, 其时钟模型为普通时钟和

边界时钟, v1 版本的缺陷在于, 若系统中存在交换机, 路由器等中继设备, 这些设备对应的边界时钟模型在级联时会导致同步误差累积, 因此只适用于点对点连接的同步; 改进的 PTPv2 版本于 2008 年发布, 不仅改进了数据结构, 提高了时间精度, 而且增加了透明时钟模型, 同步消息经过透明时钟时消耗的时间将被逐级记录下来并发送给接收端用于误差抵消, 这从根本上解决了中继设备的转发延迟问题。所以, PTPv2 协议支持多级交换拓扑, 使得所有节点都可与主时钟同步。

### 2.2 同步方案选择

将各类同步方案进行比较, 如下表所示。

表 1 时钟同步方案对比

	自定义方式	GPS	NTP	同步以太网	IEEE 1588 v2
授时精度	中	高	低	高	高
卫星覆盖	不需要	需要	不需要	不需要	不需要
支持以太网	不支持	不支持	支持	支持	支持
时间同步	支持	支持	支持	不支持	支持
可靠性	中	中	高	高	高
安全性	中	低	高	高	中
成本	低	高	低	低	中
组网难度	中	复杂	简单	简单	简单

通过上面的分析以及表格对比可以看出, 相比其他方案, IEEE 1588 v2 标准无论在功能指标上还是在可靠性安全性方面都更加适合多基地声呐湿端的时钟同步网络设计。尤其需要考虑的一点为, 由于在水下数据采集与传输设备中常常用到交换机, 交换机的层层级联会将以太网传输延时逐级放大, 从而使得各级同步精度误差被逐级放大。IEEE 1588 v2 标准新增的透明时钟模型针对交换机节点提供了很好的解决方案。另外声呐湿端设备的网络负载通常较为稳定, 所以不用担心负载变化对同步精度的影响, 并且可通过提高同步分组的优先级来减小数据分组的延迟产生的影响。综上所述, 尽管 IEEE 1588 v2 协议相对较为复杂, 研发成本不低, 但是由于其具有诸多其他方案不具备的优势, 从长远来看, 将基于 IEEE 1588 v2 的同步时钟网络部署到多基地声呐湿端数据采集与传输设备中是今后多基地声呐湿端发展的必然趋势。

## 3 系统与实现

### 3.1 系统模型

假设多基地声呐的发射站和接收机的位置固定, 收发站之间采用有线链路进行数据传输和时钟同步处理, 则可以建立如下图所示的多条基于线性级联交换式以太网拓扑的湿端数据采集与传输网络。主干网络由  $n$  个级联的全双工千兆交换机构成, 作为  $n$  个收发站内数据汇聚与转发的中继。每个交换机下辖的子网中包含  $m$  个采集板, 每个采集板可以采集  $k$  通道的水听器信号。由于收发站之间的距离通常比较远, 所以使用光纤进行传输, 长度为 10 km 到 50 km 不等。网络终点的处理机用来进行系统管理和信号处理等。

从时钟层面来看, 多基地声呐湿端的主时钟通常是发射站的本地时钟, 来源可以是本地高精度晶振或者北斗授时信

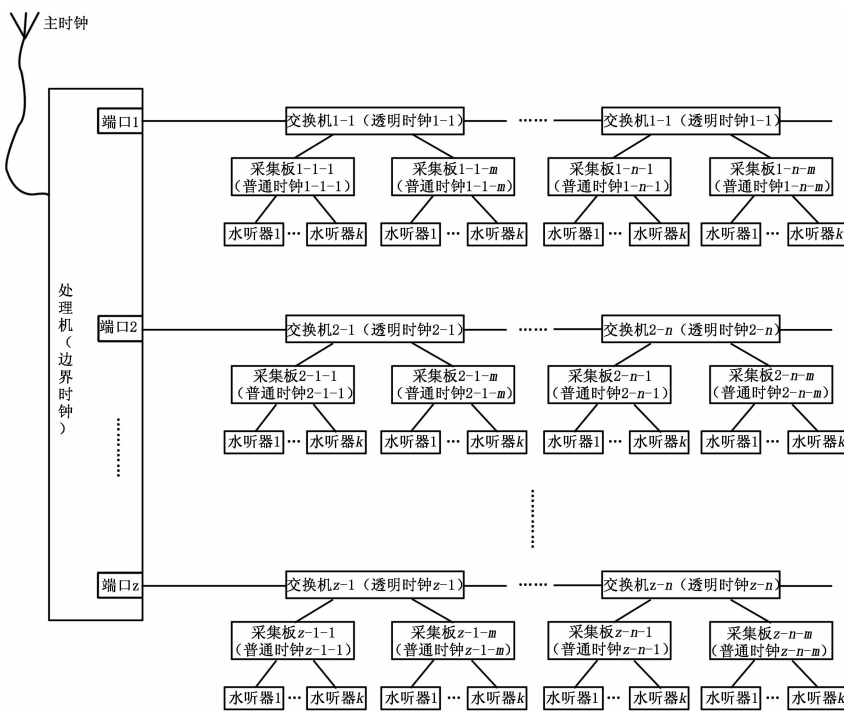


图 2 湿端系统结构

号。处理机内的接口板接收同步时钟, 并将其转换为 PTPv2 时钟输出后通过级联交换式以太网的透明时钟模型分发到各采集节点。图中每个交换机都是一个透明时钟模型, 其多端口支持多个采集板的普通时钟模型, 可使所有采集板都与主时钟同步。采用基于以太网的 PTPv2 方案后, 同步事件通过以太网光纤链路传播, 无需专用链路, 且由以太网规范保证传输质量。

### 3.2 系统实现

2011 年 Vitesse 公司推出的支持 PTP2.0 的交换机芯片 VSC7428 系列降低了工程应用的难度, 结合 NS 公司支持 PTP2.0 的 PHY 芯片 DP83640, 可实现完整的 PTP2.0 同步方案。如图 3 所示, 可对 VSC7428 芯片进行配置使其开启多端口自适应千兆 PHY 模式, 交换机之间通过千兆以太网直接级联形成主干路, 交换机与采集板之间通过百兆以太网连接, 同时采集板上集成一块 DSP 芯片实现以太网通讯协议以及对 DP83640 进行配置和控制。

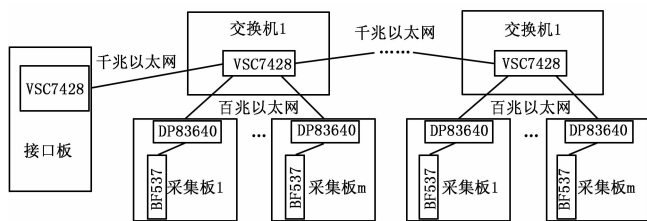


图 3 同步时钟方案

### 3.3 系统测试

同步的精确性指的是主时钟计数器和相应的从时钟计数器之间的瞬间时差。对该采集传输系统而言, 可以测量补偿传输延时后的采集板所有通道间的最大通道延时误差来得到系统的

同步精度。通过抓包软件抓取采集板采集的数据包并由 Matlab 解析后, 得到了采集不同频率正弦信号下的最大延时误差。如图 4 所示, 可以看出, 多基地所有声呐湿端采集板同步精度达到了亚微秒级别, 换算到相位误差为不到  $0.1^\circ$ , 满足数据采集与传输系统的相位一致性要求。

## 4 结论

本文针对多基地声呐环境湿端时钟同步的需求, 首先分析了传统的和现有的时钟同步方法在应用到多基地声呐中的缺陷和不足, 提出将基于 IEEE1588 v2 标准的时钟同步方案应用到多基地声呐湿端。结合最新的支持 IEEE1588 v2 的交换机和 PHY 芯片, 开发了适合多基地湿端数据采集与传输系统的时钟同步网络样机, 并对同步精度进行了测试分析, 可以满足系统对同步精度的要求。下一步将在实际工程环境下进行进一步测试与功能验证。

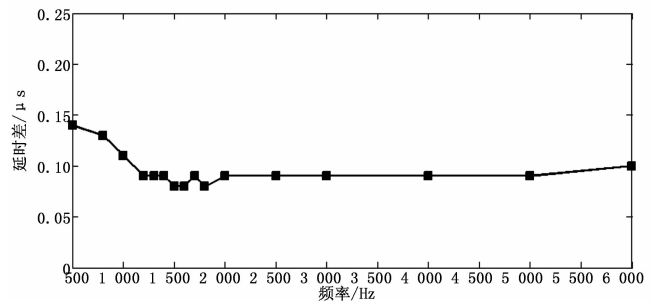


图 4 通道延时误差

### 参考文献:

- [1] Beide W. The Nature of Bistatic and multistatic Radar [A]. 2001 CIE International Conference Proceedings [C]. 2001.
- [2] 张元凯. 网络化一体化声呐系统研制 [D]. 北京: 中国科学院声学研究所, 2010.
- [3] IEEE Instrumentation and Measurement Society, TC-9. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. "Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems", IEEE STD 1588-2008 [S]. New York, 24 July 2008.
- [4] IEEE Instrumentation and Measurement Society, TC-9. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. "Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems", IEEE STD 1588-2002 [S]. July 2002.
- [5] 赵俊渭, 阎宜生, 丁玮. 双基地声呐的性能与展望 [J]. 声学与电子工程, 1991 (3): 29-33.
- [6] 邢 韬. 水下警戒阵列新体系结构研究 [D]. 北京: 中国科学院声学研究所, 2006.
- [7] 马金伟, 江 冰. 基于 GPS/GPRS 的车载卫星定位系统的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (12): 1676-1679.
- [8] 蔡珊珊. 基于 IEEE1588 的同步技术研究与实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.