

文章编号: 1000-8349(2008)03-0278-10



# Loran-C 和 GPS 组合系统 在海上定位与导航中的应用进展

郑作亚, 卢秀山

(山东科技大学 测绘科学与工程学院, 青岛 266510)

**摘要:** 海上远程高精度定位与导航是海洋开发与应用的基础与保障, 该文首先介绍了 Loran-C 技术的发展以及目前存在的问题, 并讨论了 Loran-C 系统的改进, 简单分析了大家比较关注的 Loran-C 系统的去留问题, 讨论了单独 GPS 系统海上导航的局限性, 重点分析了 Loran-C 系统和 GPS 系统的组合, 包括组合类型和组合系统的优点, 组合系统应用情况等, 在此基础上, 作者提出一种新的 Loran-C 系统和 GPS 系统的组合方案——基于单参考站信息的区域海上 GPS 实时定位与导航技术方案, 以供同行商榷。

**关键词:** Loran-C ; 海上导航; 参考站信息; GPS 实时单点定位

**中图分类号:** P225.1, P228.4      **文献标识码:** A

## 1 引 言

随着我国海洋战略的实施, 海洋科研、海洋开发、海洋工程、海上精密导航和海上防务等海上活动日益增加, 对定位精度的要求也呈现出多样化。如精密的海洋划界、精密海洋工程测量、海岛测图、海上精密制导等要求能够达到 1~2 m 甚至分米级的定位精度。而采用伪距差分定位只能提供十米级甚至几十米级的定位精度; 如果使用 RTK 模式, 作用距离仅为 10~15 km; 网络 RTK 作用距离也只能达到 100 km 左右; 局域差分的距离约为 100~150 km, 不能满足海上长距离定位与导航的要求。广域差分的作用距离原则上是有限制的, 但是广域差分系统复杂、成本高, 并且对数据传输的技术要求也很高。GPS 单点定位无距离限制, 但在远距离的海洋上, IGS 产品获取困难。

Loran-C 是低频、双曲线远程无线电导航系统, 于 1958 年建成, 最初主要用于航海, 后来逐渐开始用于航空和陆地, 它的前身 Loran-A 是由美国在第二次世界大战期间发展

收稿日期: 2007-05-30 ; 修回日期: 2008-01-17

起来的。

虽然 GPS 定位与导航技术有其他系统不可比拟的优点, 但是, 对于一些安全性和完备性要求极高的系统, 如飞机、空间飞行器或海上轮船、军用系统等, 为了系统的安全性、可靠性和完备性考虑, 都不提倡甚至不允许单系统操作。为提高系统的安全可靠性, 至少需要一个备份系统或检核系统, 这样万一某一个系统出现故障或在一些紧急情况下, 另一个系统能够立刻启动, 以免带来重大损失甚至灾难。

图 1 为美国从 1997 年到 2005 年对 Loran-C 系统的资金投入统计情况<sup>[1-3]</sup>。其中, 横坐标表示年份, 纵坐标表示经费投入 (单位:  $10^6$  美元)。从统计图中可以看出, 虽然每年的资金投入有升有降, 但是总体逐年的资金投入呈现上升趋势。这也恰说明, 美国对于 Loran-C 系统的重视程度不但没有“降温”反而“升温”。同一时期, 世界其他国家对于 Loran-C 系统也越来越重视。

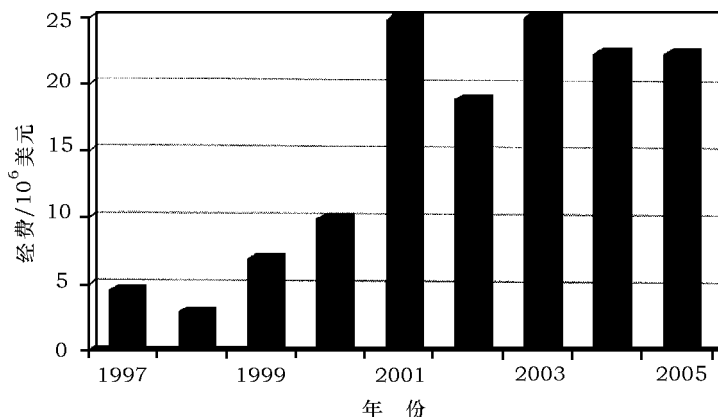


图 1 美国在 Loran-C 系统中的资金投入统计

## 2 Loran-C 技术的发展及存在的问题

### 2.1 Loran-C 定位与导航原理

Loran-C 系统的导航基本原理是<sup>[4]</sup>: 在至少 3 个已知陆地参考站上安置发射台, 一个主台 ( $M$  台) 和 2 个副台 ( $X$  台和  $Y$  台), Loran-C 系统专用接收机测量到  $X$  台和  $Y$  台与  $M$  台的时间差, 根据双曲线原理进行定位。具体来说, 在陆地参考站播发 100 kHz 信号作为载波的脉冲信号, 利用脉冲及相位两个信息, 测定海上用户到两个导航台的距离之差,

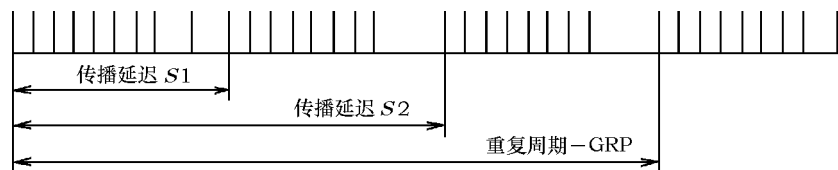


图 2 罗兰-C 系统发射信号示意图

可得到距离差位置线。导航台发射的脉冲信号,采用相位编码,以提高接收机抑制干扰的能力,并且可实现自动识别主副台以及自动测量时差。

## 2.2 Loran-C 数据链

如果在 Loran-C 脉冲相位编码的基础上,对脉冲信号附加其他调制, Loran-C 脉冲可以携带更多的信息,如差分修正信息、GNSS 信息,甚至用于应急的“短信息”等。也就是说,在利用 Loran-C 的导航定位功能的同时。近年来, Loran-C 的通信功能得到重视, Loran-C 通信系统主要包括 3 个部分:信号的发射装置、信号的接收装置和信号的编码规则,利用 Loran-C 导航信号作为载体建立数据通讯系统,它用信息源数据对 Loran-C 信号脉冲时间、位置进行调制,以广播方式发送给用户,用户接收机在收到 Loran-C 信号后,再从信号调制中解调出数据,经检错纠错后输出,称之为 Loran-C 数据链<sup>[4-6]</sup>(见图 3)。

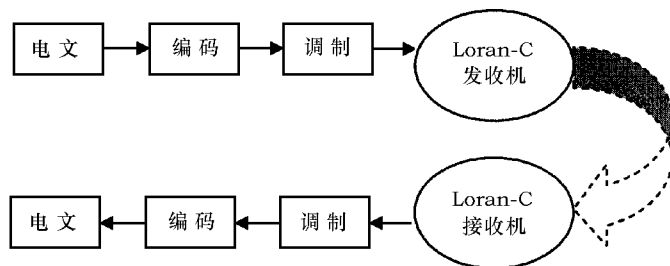


图 3 Loran-C 数据链系统示意图

这种附加调制,需将要播发的各类数据形式的信息,附加调制在 Loran-C 信号上同时播发,要求既要完成本系统设计的数据传输任务,又不应该因此而影响原有系统的工作程序及用户的正常接收定位。因此,这种附加调制需要满足:(1)根据 Loran 接收机接收定位原理,为保持原有导航定位的功能, Loran-C 脉冲群的前 2 个脉冲不能被调制;(2)这种附加调制不能引进跟踪偏置,需采用平衡调制;(3)为了防止有用信号能量损失,调制的序号应该尽量小。

这种 Loran-C 数据链可以从 Loran-C 台站向用户传输信息,原则上可以向用户传输任何形式的信息,该数据链可以携带完整的 GNSS 系统的差分信息,还可以用于其他的数据通信。

## 2.3 存在的问题

Loran-C 信号受陆地路径介质(如地形、地质和土壤)的影响所造成的场强衰减和相位时延要比海上情况大得多;当 Loran-C 信号从陆地进入海上传播时,在海岸附近产生所谓的“海岸效应”现象。

Loran-C 数据链的关键技术问题是发生误码,造成此问题的主要原因是干扰,包括发送端干扰和接收端干扰。发送端干扰主要是将数据发送到 Loran-C 发射机上时受到 Loran-C 信号的干扰;接收端干扰主要包括大气噪声干扰、连续波干扰、Loran-C 台链之间的交叉干扰。

因此,作者认为在卫星钟差信息传输方面,主要有三个方面的问题:(1)场强衰弱和相位延迟;(2)海岸效应;(3)干扰问题。

## 2.4 Loran-C 系统的改进

由于 GPS 单独导航存在一些局限性, 美国也提倡并鼓励民用用户进一步发展与使用 Loran-C 系统, Loran-C 在区域覆盖和导航行为的发展对于今后用户将 Loran-C 系统作为 GPS 系统的一个备份系统至关重要。Loran-C 系统的改进主要包括以下两个方面<sup>[7]</sup>。

### 2.4.1 改进精度

Loran-C 电波传播修正的研究, 即除了考虑 Loran-C 信号在自由空间的一次相位因子 SF 之外, 另加一项附加二次相位因子 ASF(Additional Secondary Factors, 即由陆地或海岸效应引入的相对于海上传播相位时延的增量)。组合 DGNS 和 Loran-C 信号的同时, 实时地利用 DGNS 信号校正 Loran-C 导航, 有效地提高系统的精度、可靠性和完备性。进一步, 将来可以将 Loran-C 参考站作为伪卫星(或虚拟卫星)来改善 GPS 的空间几何构型。

### 2.4.2 覆盖范围问题

扩大 Loran-C 的区域覆盖范围是该系统的另一个挑战。俄罗斯热切希望 Eurofix 系统测试成功后, 能在俄罗斯的 Chayka 播发站上应用, 我国的“长河二号”已经基本覆盖我国的海域。

目前的 Loran-C 系统虽然没有完全覆盖全球, 但已经覆盖了大部分的工业发达国家地区, 包括: 美国、加拿大、俄罗斯、印度、欧洲各国、远东地区和沙特阿拉伯国家等。

## 2.5 Loran-C 系统的去留问题

自 GPS 星座完全完善以后, 美国认为 GPS 完全可以代替现有的所有导航系统, 20 世纪 90 年代末到 21 世纪初的“信号错误”事件让美国彻底改变了对 Loran-C 系统的看法。1996 年, 一个错误的时间纪录偶然进入了 GPS 控制中心的其中一颗卫星文件, 只错误播发了 6 秒的卫星信号广播星历, 结果导致美国东部海岸 1/8 手机网络(超过 100 个手机网络系统)信号传输失败, 很明显, 这是信号网络同步系统只由 GPS 独立控制的结果<sup>[8]</sup>。因此 PCCIP(the President's Commission on Critical Infrastructure Protection)开始重新重视 Loran-C 系统。1998 年, 在 ICAO(International Civil Aviation Organization)会议上, 美国宣布赞成“GPS 并不是唯一使用的导航系统, 必须要有一个备份系统”的观点。

同样, 有了美国 GPS 系统后, 我国还要不要发展长河二号系统, 从以下几个不同角度讨论:

1) 我国拥有 18 000 多公里海岸线和辽阔的海洋, 应该拥有能为国家独立控制的远程导航手段。GPS 虽好但由美国军方控制, 我国作为主权独立的国家, 不可能把自己的导航定位需要寄托在外国军方控制基础上。

2) Loran-C 体制从经济和技术角度考虑都非常适合我国的国情。

3) 系统的用户设备使用方便、性能可靠、价格低廉、具备广泛装备各类用户的基础, 广泛应用于海上导航、陆地、航空、水下、差分和授时等方面。

世界上目前选择 Loran-C 体制的国家有亚洲的中国、沙特、日本和韩国; 西欧的法国、德国、挪威; 地中海的意大利; 南美的委内瑞拉; 北美的墨西哥、加拿大和美国, 东欧的俄罗斯等。

综上所述, 我们必须拥有能为本国独立控制的远程导航系统, 其性能应该能满足主要的导航需要, GPS 系统或其他系统应该研究, 也可以利用, 但是不能代替本国自己掌握的导航系统。

### 3 单独 GPS 系统海上导航的局限性

毫无疑问,到目前为止 GPS 是最完备、最可靠的高精度、全天候、全球覆盖的全球定位与导航系统,但是,在 GPS 远距离定位与导航过程中,存在一些局限性。

#### 3.1 太阳活动影响

我们知道,即使大部分接收机有相对稳健的抗电离层能力<sup>[9]</sup>,电离层活动的破坏性干扰仍然难以完全消除,在周期为 11 a 左右的太阳耀斑活动高峰期,在地磁赤道和极光区,电离层活动的破坏性干扰更加强烈,在这种情况下,许多接收机可能会好几个小时跟踪不到卫星,太阳耀斑活动干扰在某种意义上是可以预报的,但是具体到某接收机上就难以预报。

#### 3.2 SA 影响

GPS 的最高精度码(P-code)只对美国或被授权的他国军方使用,而其他用户只能使用对外开放的、精度受限制的 C/A 码,直到 2000 年 5 月 1 日,鉴于美国厂商、非军用户等的压力,取消了 SA 影响,C/A 码精度得到了很大的提高。但是,美国可以在紧急时刻将 SA 重新应用于 USCG 导航信息服务中<sup>[10]</sup>,SA 影响的重新加入可以使 C/A 定位精度大大降低,当然,我们可以采用差分定位模式将大部分误差消除。但是,SA 对非美国军方的用户的影响依然存在。

#### 3.3 干扰与欺骗

在 GPS 现代化中,一个重要内容就是提高接收机的信号抗干扰性,美国已经在这方面做了大量研究,但是完全抗干扰能力依然不可能实现,现在国际上有多个国家掌握 GPS 干扰技术,甚至可以购买到干扰设备,只要 1 W 的干扰波信号发射就可以干扰 85 km 范围的 GPS 服务区,据估计<sup>[2]</sup>,1 W 的电子欺骗将会导致平面上 350 km 范围的 GPS 信号中断。对于自动驾驶应用可想而知。

#### 3.4 易受破坏性

大部分 GPS 信号破坏主要是干扰和欺骗,但是,2001 年美国遭到“911”恐怖袭击后,美国意识到要警惕其他可能针对基础设施破坏,如 GPS 系统的破坏,如果地面主控站、监控站和注入站等受到破坏,则系统精度将会急剧下降。更加复杂、深层次的攻击空间卫星系统的可能性已经展开讨论<sup>[3]</sup>。

#### 3.5 其他因素

到目前为止,GPS 系统还并非一个非常完美的定位与导航系统,在某些情况下依然比较脆弱。而且,在 GPS 现代化过程中,还有很多问题亟待解决,如完备性、GPS 的定位精度、GPS 多路径等。也就是说,GPS 并非一个 100% 可靠、安全的空间定位与导航系统。

## 4 Loran-C 和 GPS 组合系统

在海上或空间导航中,我们主要目标是确保安全有效的导航,为达到这个目标,我们必须需要 2 个独立可靠的导航系统,Loran-C 是当前在远距离导航中唯一能作为 GPS 备份的系统,Loran-C 是 GPS 或其他 GNSS 的有效补充和增益系统<sup>[18-20]</sup>。Loran-C 和 GPS 组合导航系统就是利用 Loran-C 数据链携带 GPS(也可以携带 GLONASS/Galileo 等其他信息)的差

分修正信息, 组成了 Loran-C 和 GNSS 的组合导航系统, 这两个子系统之间存在很强的互补性, 下面简单讨论 Loran-C 和 GPS 组合导航系统的几种主要组合类型、组合系统的优点、以及目前国际上组合系统的应用情况。

#### 4.1 组合类型

根据 Loran-C 和 GPS 的差分与非差可以分为四类: (1) DLoran-C 和 GPS 组合导航系统, 即由陆地多个 Loran-C 播发站对用户播发差分信号, 同时播发单站的 GPS 信息; (2) DLoran-C 和 DGPS 组合导航系统, 即由陆地多个 Loran-C 播发站对用户播发差分信号, 同时播发各个站的 GPS 差分改正信息; (3) Loran-C 和 GPS 组合系统; (4) Loran-C 和 DGPS。

#### 4.2 组合系统的优点

Loran-C 系统和 GPS 系统各自有不可替代的优点, 两者之间有很强的互补性。具体地讲, 组合后的系统主要具有以下几个方面的优点:

1) 由于 GPS 具有高频率 (L 波段)、短波长 (约 20 cm), 对大建筑物的绕射能力差的特点; Loran-C 具有低频率 (100 kHz)、长波长 (3 km), 对建筑物具有高绕射能力的特点。两者形成互补, 即使在一些大建筑物密集区, 也能进行正常定位与导航。

2) 对于远距离的定位, DGNSS 信息无法直接发送给用户, 通过空间中继卫星转发, 系统复杂而且成本高, 所以可以通过信息调制后通过 Loran-C 导航信号或其他发射器播发。

3) 组合 GNSS 系统和 Loran-C 系统信号, 两个系统各自都具有导航功能, GNSS 定位精度高, 但是容易中断或信号堵塞, Loran-C 虽然定位精度较低 (10~20 m), 但是信号连续, 这样, 即使 GNSS 信号中断几小时, Loran-C 仍然可以继续导航定位, 互相起到外部完备性和安全性检核的作用。而且, 在困难地区, 可以利用 Loran-C 定位结果来修复 GPS 的周跳和模糊度, 以此作为模糊度搜索的初始值, 大大提高模糊度搜索与固定的效率。

4) 在 GNSS 信号连续时, 由 GNSS 信号连续不断校正 Loran-C 信号, 将校正后的 Loran-C 信号作为备份, 这样能增强组合系统的可靠性和连续性。

#### 4.3 组合系统应用情况

##### 4.3.1 Eurofix 系统

Delft 大学早在 1989 年就提出了 Eurofix 的概念<sup>[10-13]</sup>: Eurofix 是集无线电导航与通讯于一体的 8 通道、长距离、窄波段、用 Loran-C 信号作为载波的高可靠性播发系统, 应用于航空导航、地面导航和海上导航。该系统的基本思路是: 在参考站上安置 GPS 接收机 (尽量利用 Loran-C 播发站作为参考站以免重复建站), 计算参考站给定的精确坐标和由 GPS 观测信息计算的坐标之间的差值, 认为在数百公里内各用户的误差影响相同, 将 GPS 差分信息 (或 DNSS) 信息捆绑到 Loran-C 系统本身的导航信号上, 由 Loran-C 系统向海上用户播发, 海上用户用专门的接收机 (DGPS/Loran-C 组合接收机) 接收 Loran-C 播发的信息, 解调后计算用户位置。这样, 有两个优点: (1) 有两种导航信息, 分别为 GPS 导航信息和 Loran-C 导航信息, 有多余观测值, 起到互相检核作用; (2) 公用一个参考站和一台集成的接收机, 以免重复建站 (见图 4)。但值得注意的是, 只有在有效距离范围内, GPS 改正信息才有效, 而且随着距离增大, GPS 改正信息的有效性越来越差, 甚至 GPS 改正信息是完全错误的。因此, GPS 改正信息的有效距离的限制是该系统的一个关键制约。

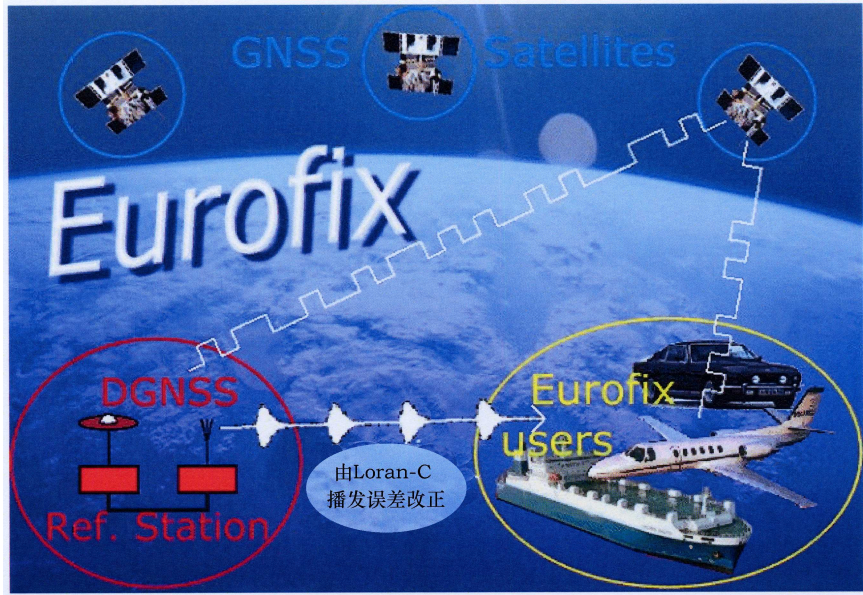


图 4 Eurofix 系统示意图<sup>[15]</sup>

#### 4.3.2 我国的长河二号系统

长河二号系统<sup>[14]</sup>是国家确定的重点工程项目,也是我国自行设计和建设的第一个大型远程高精度大型无线电导航系统。属于陆基、低频、脉冲相位导航体制。作为陆基导航系统,长河二号系统由陆基设施、用户设备、传播媒介和应用方法四大部分组成,工作载频为 100 kHz,长河二号系统与国际上的 Loran-C 系统类似,其用户设备相互兼容。长河二号系统设计有 6 个地面发射台、3 个系统工作区监测站和 3 个台链控制中心,最大作用距离为 900~1 300 海里,定位精度在南海 600 海里以内,东北海 1 000 海里以内优于 0.4 海里,最大作用距离以内优于 1.2 海里。信号可利用性优于 99%,覆盖范围为渤海、黄海、东海、南海的几乎全部海区,部分邻国海区和公海以及东北、华北、华东和华南部分内陆,台站分布在吉林、山东、安徽、广东、广西 5 个省,以及上海市,分为北海台链、东海台链和南海台链。具有远距离数据传输功能。长河二号系统能满足我国海上导航需求,系统的建设和运行投资适合我国的国情国力,建设和发展我国的长河二号导航系统在今天仍然是必要的和重要的。

#### 4.3.3 其他系统

##### 4.3.3.1 美国 SYLFA(Synchronised Low-Frequency Augmentation of GPS) 系统

1957 年美国建成第一个 Loran-C 台链。近 50 年的时间里, Loran-C 系统技术、设备、建设和应用都在不断地发展和提高。1974 年,美国政府把 Loran-C 导航系统列为美国海岸汇流区的主要导航手段,从而使该系统正式由军用转为军民共用。

##### 4.3.3.2 俄罗斯 ChayKa 系统

ChayKa 是俄罗斯的 Loran-C 系统,一个现代 Loran-C 接收机也可以接收 ChayKa 信号。因此,同样 ChayKa 也可以和 GNSS 集成一个高完备性的导航系统。

##### 4.3.4 一种新的 Loran-C 和 GNSS 组合系统方案

作者在上述几种方案基础上,结合了他们的优点,针对这几种系统的不足,提出了一

种基于单参考站信息的区域海上GPS实时定位与导航技术方案。该方案的基本思路是:利用单参考站上GPS观测信息反算得到测站上可见GPS卫星间的卫星钟差星间差分信息,将与海上用户共视的卫星轨道信息和同轨共视卫星钟差星间差分信息调制到“长河二号”系统本身的导航信号中;由“长河二号”系统向海上用户播发,海上用户用专门的接收机(GPS/Loran-C组合接收机)接收Loran-C播发的信息。由于传播时间延迟,需要对参考站卫星钟差信息进行短期预报(预报时间长度为传播延迟时间),海上用户利用解调后IGS超快星历的轨道信息(精度10cm)和由参考站传输过来的预报后钟差信息对自身进行实时动态单点定位与导航(如图5所示)。

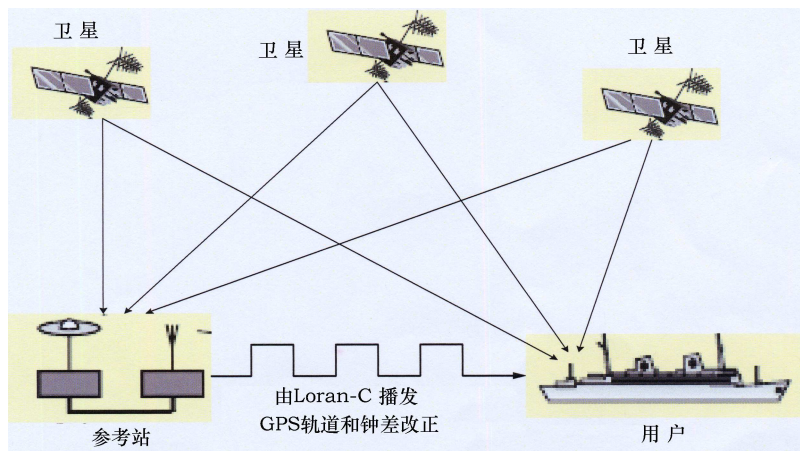


图5 基于单参考站信息的区域海上实时GPS单点定位与导航示意图

基于单参考站信息的区域海上实时GPS单点定位与导航技术<sup>[16]</sup>既不同于传统RTK、网络RTK、长基线差分静态定位、局域差分 and 广域差分等相对定位模式,也不同于仅利用IGS产品的静态或实时动态单点定位,以及Eurofix等DGNSS和Loran-C组合导航系统。这是一个具有区域海上大范围定位与导航特色,不同于现有任何定位模式的创新性技术方案。差分定位模式受距离限制,在远距离的海上定位或导航难以实现;仅利用IGS产品的单点定位,IGS产品发布时间延迟长,即使超快产品也要6h以后才能得到,实时应用时必须预报得到,而且卫星钟差平均精度在5~10ns,有时甚至超过20ns的误差,加上轨道误差、预报误差和模型误差等,基线方向上误差达到2m以上,这严重影响模糊度的收敛时间和固定精度;DGNSS和Loran-C组合导航系统是将参考站上的GNSS改正信息调制到Loran-C导航信号上,它也受有效距离的限制。本方案的创新之处在于实时利用单参考站上的卫星钟差信息,只需要预报钟差信息传播延迟时间,可以提供高精度、实时的卫星钟差信息,该项精度的提高促进了模糊度的收敛时间和固定精度,从而也提高了定位与导航的精度。因此,该技术方案具有低成本、无距离限制、高精度和实时动态的特点。在近海岸边没有参考站的情况下,利用陆地高级基准网在近海岸边补设一个流动参考站可为海上导航传输卫星钟差信息。

具体地说,基于单参考站信息的区域海上实时GPS单点定位与导航技术方案有以下特点:

1) 操作简单,只需要一个参考站和用户接收机,卫星轨道资料由IGS超快产品提供,卫星钟差信息由单参考站提供,实施海上实时动态单点定位。



2) 作用范围理论上能覆盖 15 000 km 左右的范围, 完全满足我国海域的定位与导航范围要求。

3) 定位精度高。本方案直接由参考站解算得到卫星钟差的星间差分信息, 而不能得到每颗卫星的独立卫星钟差。参考站上利用星间差分模式进一步消除或减弱了部分公共误差的影响, 提高了参考站卫星钟差解算的精度, 高精度的钟差信息也加速了模糊度的收敛时间。对于用户而言, 该模式进一步消除了测站钟差的解算, 减少了待估参数个数, 进一步提高了参数解算精度和收敛速度。因此, 静态或动态定位精度会高于目前相应的静态或动态单点定位技术。

4) 具备单点定位的所有优点, 不受同步要求的限制, 数据处理方便、简单。

5) 不仅适用于海上定位与导航, 而且适用于陆地的定位与导航, 尤其一些条件恶劣地区的单点定位应用。

6) 利用“长河二号”作为参考站信号播发载体。“长河二号”系统本身具有二维定位与导航功能的优点, 即使在 GPS 信号中断情况下, 短期内(几 h) 仍然可以对海上用户定位与导航, 只是定位精度会下降(约 10~20 m)。

## 5 结论与展望

Loran-C 的低频特性决定了其强绕射能力, 因此, Loran-C 不仅广泛应用于海上导航, 而且在陆地、航空、水下、差分和授时方面也有广泛的应用。根据 GNSS 系统以及 Loran-C 的特点, GNSS/Loran-C 组合在城市环境下的定位与导航系统的应用也将有一个很好的前景。

### 参考文献:

- [1] US-Gov. Federal Radio-navigation Plan, Washington: US-Gov, 1999
- [2] Volpe. Vulnerability assessment of the transportation infrastructure relying on the Global Positioning System [R]. Washington: Volpe National Transportation System Center, 2001
- [3] US-Gov. Report of the Commission to Address United States National Security Space Management and Organization [R]. Washington: US-Gov, 2001
- [4] 李君一. 罗兰 C 数据链的设计与实现. 信息与电子工程, 2006, 4: 356
- [5] 杨利英, 柯熙政. 基于罗兰 -C 导航系统的数据链方案设计. 战术导弹控制技术, 2006, 52: 56
- [6] 黄新保, 杨利英, 柯熙政. 罗兰 -CPPM 编码通信的频谱特性研究. 战术导弹控制技术, 2005, 49: 35
- [7] 马松涛, 王仕成, 邓方林, 等. 罗兰 -C 电波传播修正方法研究. 战术导弹控制技术, 2006, 52: 59
- [8] Carlson-00, "Protecting Global Utilities", Lt.Gen. Bruce Carlson (USAF), Aerospace Power Journal, 2000
- [9] 陆万宏, 薛磊, 刘小秋. 罗兰 C 接收机抗载波干扰分析. 舰船电子工程, 2006, 155: 77
- [10] van Willigen D, Offermans G W A, Helwig A W S. Eurofix: Definition and Current Status, Proceedings of the IEEE 1998 Position, Location and Navigation Symposium, 1998
- [11] Norvald Kjerstad, the Role of Loran-C in Present and Future Navigation: from a Norwegian Nautical Perspective, the Journal of Navigation. 2002, 55: 185
- [12] Offermans G W A, Helwig A W S, van Willigen D. The Eurofix Datalink Concept: Reliable Data Transmission Using Loran-C, ET4-022-Radio Navigation, 2005
- [13] Borje F. Loran-C in a European Navigation Perspective. the Journal of Navigation, 1998, 51: 243
- [14] 迈迪. 长河二号工程 - 远程无线电导航系统. 北京: 北京电子工业出版社, 1993
- [15] <http://www.eurofix.tudelft.nl/dgps.htm>, 2007
- [16] 郑作亚. 基于单参考站信息的区域海上 GPS 实时定位与导航技术研究. 青岛: 山东科技大学, 2006
- [17] Locus. Technical Specification Locus SatMate/Cs Sync Loran-C receiver, Wisconsin, 2001

- [18] Sterngold-01, "California in State of Emergency Over Power", James Sterngold. The New York Times, New York, NJ, USA, 18 Jan. 2001
- [19] Chris Hide, Terry Moore, Chris Hill et al, Integrated GPS, Loran-C and INS for Land Navigation Applications, ION GNSS 19th International Technical Meeting of the Satellite Division 26-29 Sep. 2006
- [20] Last D. Is Loran-C the answer to GPS vulnerability. European Journal of Navigation, 2003, 1: 3

## Progress in Applications of Integration System of Loran-C and GPS in Marine Positioning and Navigation

ZHENG Zuo-ya, LU Xiu-shan

*(Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)*

**Abstract:** There are more and more marine campaigns and marine science is carrying out with the development of marine stratagem and marine applications, such as marine research, marine exploit, marine engineering, marine precise navigation and marine affairs and so on. Marine exploit and its applications are the main research area for the future, long-distance marine precise navigation is the precondition and insurance of marine exploit and applications. The Long Range Navigation radionavigation system (Loran) is a main means to position over the marine for long time, is a terrestrial, high power, hyperbolic navigation system operating in the 90 to 110 kHz frequency band. The Loran system became operational in 1958 and has been in service since then primarily serving the maritime community. Now, to ensure the security of rapidly positioning and navigation, multi-sensors integration is a optimal way in dynamic positioning and navigation. Firstly, the development and limits of Loran-C is introduced in this paper, what is more, based on the limits, the improvement of Loran-C system, abandon or saving attended by people is also discussed, next, we introduce the others system by Loran-C, such as Eurofix system, SYLFA system, ChayKa system and so on, is an integrated radionavigation and communication system which is proposed and developed by Delft University of Technology. Loran-C or Chayka stations are upgraded to broadcast low-speed data reliable over ranges up to 1,000 km. Data are separated into 8 channels which are assigned to DGPS, DGLONASS, DLoran -C/DChayka, navigation integrity messages and short message services. Three channels are reserved for future applications; secondly, the limits of only GPS in marine navigation and others sensors are discussed, including the effect of sun active, SA, disturbance, and vulnerable and so on; thirdly, we investigate the integration of GPS and Loran-C, including integration type, the merit of integration, and applications of integrations and so on. Finally, based on above mentioned ideas, a new integration idea of GPS and Loran-C, that is regional marine GPS real-time positioning and navigation based on single reference station information for discussion.

**Key words:** Loran-C; Marine Navigation; Reference Station Information; GPS; Real-time Precise Point Positioning (RT-PPP)