

# DGPS 组合定位的大型船舶靠泊技术与应用分析

彭国均<sup>1</sup>, 吴勇军<sup>1,2</sup>, 刘洋<sup>1</sup>, 柯冉绚<sup>1</sup>, 杜志秀<sup>1</sup>

(1. 集美大学船舶助航技术研究所, 厦门 361021; 2. 中国卫星海上测控部, 江阴 214431)

**摘要:** 为了保障大型船舶靠泊操纵工作更加安全、高效, 本文介绍了船舶靠泊仪及其发展, 分析了大型船舶靠泊过程, 研究了 DGPS 组合定位技术, 建立以 DGPS 组合定位技术的大型船舶靠泊数学模型。在此模型基础之上, 建立了船基平面坐标系, 并通过此坐标系计算船舶靠泊时船首、船尾相对码头的距离与速度, 船首向与船舶转向率等船舶动态参数。最后, 采用 DGPS 定位组合技术、AIS 技术和 WIFI 技术等设计大型船舶靠泊系统(包括硬件和软件), 并通过实例验证此靠泊仪的可行性和有效性。实例证明: 大型船舶靠泊仪为引航员靠泊操纵时提供高精度的船位信息, 船舶移动速度和船舶与码头岸线距离等辅助信息, 船舶位置精度可达 60cm, 速度精度可达 5m/s, 有效地提高了大型船舶靠泊安全性和工作效率, 为引航员的船舶靠泊工作提供了更加直观、方便、快捷的航行靠泊导航过程。

**关键词:** DGPS; 组合定位; 大型船舶; 辅助靠泊

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2012.00788

## 1 引言

随着世界航运经济的不断推进, 船舶逐渐向快速化、大型化发展。目前, 世界上最大的船舶已达到五、六十万载重吨, 尤其是超大型油轮、散货船和大型集装箱船的出现, 使安全靠泊成为引航员和船长迫切关心的问题。

由于获取船舶实时运动参数的延迟、错误导致船舶操纵失误, 从而造成船舶碰撞码头事故时有发生, 如 2010 年 11 月发生在上海某电厂码头的船舶触碰码头事故, 2011 年 12 月发生在大丰港某码头的船舶靠泊过程中与他船碰撞等事故, 这些事故给国家和人民生命财产造成较大损失。如何通过现代化助导航设备解决船舶操纵过程中遇到的这些难题是航海科研人员关注的焦点<sup>[1-5]</sup>。

本文通过分析大型船舶的靠泊过程, 建立大型船舶靠泊时的数学模型, 利用此模型计算船舶靠泊时船首、船尾相对码头的距离与速度, 研发了大型船舶靠泊技术方法和应用系统。该系统能为引航员靠泊操纵时提供高精度的位置和速度等辅助信息, 为引航员的船舶靠泊工作提供更加直观、方便、

快捷的航行靠泊导航过程。

## 2 靠泊仪及其发展

自 2006 年 IMO 提出 E 航海战略以来, 船舶导航领域的高科技产品陆续问世, 用来辅助大型船舶靠泊的靠泊仪也加快了发展速度。目前, 全世界的靠泊设备可以分为岸基与船基两种。

岸基辅助靠泊仪通过安置在码头前端的激光、声纳或雷达等探头采集信号回波, 探测船与码头前沿的距离, 从而得到各类精确数据, 在一定程度上对靠泊船舶起到辅助作用, 但是, 它们都存在一些问题, 例如, 作用距离短、设备维护麻烦、受天气因素影响大、只能提高相对于码头固定点的导航数据等。目前的岸基辅助靠泊设备有诞生于 20 世纪 70 年代的声纳靠泊仪、80 年代的雷达靠泊仪, 后来又相继面世的激光靠泊仪<sup>[6]</sup>、红外线靠泊仪及空气声波靠泊仪<sup>[7]</sup>等。岸基靠泊仪的工作原理都是通过安装在码头固定位置的不同探测装置分采集信号回波, 对靠泊船舶进行测量以获取当前船舶的运动参数。声纳靠泊仪有效距离仅为 200m, 并且存在

**收稿日期:** 2012-11-01; **修回日期:** 2012-12-01.

**基金项目:** 福建省高校产学研合作科技重大项目“基于 3G 和 AIS 的船舶引航系统”(2012H6015)。

**作者简介:** 彭国均(1973-), 男, 博士, 副教授, 从事地理信息系统, 海上交通信息工程及控制和船舶助航方向的研究。

E-mail: penggj1314@126.com

折射、散射、发射以及干涉现象,对仪器使用产生严重干扰,当通过屏幕显示读取数据时难以判断数据的真伪。雷达靠泊仪在遭遇雨雪等不良天气时,由于飘荡在雨雪中的回波产生的干扰使得系统精度和作用距离大打折扣,影响船舶的正常靠泊辅助作业。红外线靠泊仪和激光靠泊仪寻找目标的能力较差,且设备故障率极高。

早期的船基靠泊系统主要是根据多普勒计程仪测速原理制成的多普勒声纳靠泊系统(Doppler Sonar Docking System),可为船舶提供前进、后退和纵向速度,也可以提供船舶靠泊时船首、船尾的横移速度和方向,可有效提高船舶靠泊时的安全性,但精度较低。当前船基靠泊仪多采用 DGPS 定位获取信息,国外有丹麦 marinmateck 公司的 E-Sea Fix CAT 2&3、新西兰 Navicome Dynamics 公司的 Harbor Pilot 等。国外有些 DGPS 系统<sup>[8]</sup>采用实时动态差分法(RTK),可实现对船舶定位、转向角、航行速度等参数的计算。系统可全程(航道引航+靠泊)使用,精度高,安装方便,可适用于任何一个码头,不受天气等不良因素的影响。我国在这个领域还是研究空白。本文提出的 DGPS 辅助靠泊技术采用 DGPS 定位方法,通过设计数学模型,实现船舶靠泊时船首、船尾相对码头的距离与速度,船首向与船舶转向率的计算。在此核心算法的基础上进行相关的硬件与软件设计。

### 3 DGPS 组合定位技术

#### 3.1 DGPS 技术

我国的 GPS 用户无法利用 P 码,单点一次定位平均精度在 15m 之外。DGPS 技术由此应运而生。DGPS 分为局域差分 GPS<sup>[9]</sup>(LADGPS, Local Area Differential GPS)、广域差分 GPS<sup>[9-12]</sup>(WADGPS, Wide Area Differential GPS)以及广域差分增强系统 WAAS(Wide Area Augmentation System)。

DGPS 组合定位技术是利用两个或者多个带有广域差分增强系统的接收机模块的接收机,采用单点与多点组合定位<sup>[13]</sup>的方法,设计相应的数学算法模型,以精确获取移动目标的位置、方向。DGPS 组合定位技术充分利用了 GPS 的实时位置信息资源,根据用户的需求设置算法模型,获得用户所需要的

数据,具有很好的应用价值。

#### 3.2 多点 DGPS 组合定位技术

GPS 单点定位分为传统单点定位和精密单点定位。传统单点定位精度比较低。精密单点定位用的载波数据,经过周跳探测与修复后,再进行处理(各种改正,相位平滑伪距,参数估计)得到精度比较高的坐标<sup>[14]</sup>。精密单点定位虽然精度提高了,但对于船舶航向数据获取却无能为力。因此,为了得到船舶航向数据,需要采用 GPS 的两点定位,即通过两台 GPS 接收机同时得到船头和船尾两点的精确位置信息,然后通过计算两点间的斜率获得船舶航向,并采用多个 GPS 接收机同时得到多个点的地理位置。本文主要应用单点与多点 DGPS 相结合的组合定位技术,实现高精度的船舶航向、航速、船首、船尾与相对码头距离的计算。

目前,几乎所有的商船上都安装有 GPS 或者 DGPS 设备,为船舶进行定位与导航,有些商船上甚至不安装计程仪,直接利用 GPS 获得的航速数据作为船舶航行的参考速度。大型船舶靠泊所需定位精度需优于 1m<sup>[15]</sup>DGPS 组合定位技术可满足精度要求。

### 4 DGPS 组合定位算法的实现

#### 4.1 船基平面坐标系的建立

本文在描述船舶运动时采用船基二维平面坐标系,如图 1 所示,坐标系以驾驶台中心为坐标原点,以正北为纵轴、正东为横轴建立坐标系,图中 AB 或 AB1 两点是辅助靠泊仪终端放置点,M、N 表示码头前沿,E 点表示船首、F 点则表示船尾。E、F 是船体俯视图矩形中的两个端点。

#### 4.2 船首、船尾相对码头距离及速度的计算

为了实现计算船首点 E 与船尾点 F 垂直于码头的距离和速度,先需确定两个变量:船舶中心点 O 和当前的船首向。

首先确定船舶中心点 O,这里设定以驾驶台中心为船舶中心,码头前沿 M、N 点是已知的,根据这两点确定码头岸线在此坐标系下的直线方程  $L1: aX+bY+c=0$  中的 a、b、c。按照定位终端使用位置不同,确定中心 O 点的坐标有两种方式,一种是定位终端分别位于船舶两舷,如图 1 中 A、B 点;第

二是定位终端分别位于船舶左舷和船首,如图1中A、B1点。

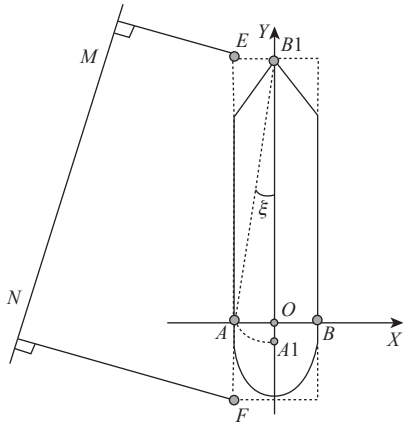


图1 船舶靠泊坐标系

Fig. 1 The berthing coordinate system

第一种方式中,船舶中心点坐标计算如下:

$$\begin{cases} O_x = (A_x + B_x)/2 \\ O_y = (A_y + B_y)/2 \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $(O_x, O_y)$ 、 $(A_x, A_y)$ 、 $(B_x, B_y)$  分别表示中心点  $O$  和终端  $A$ 、 $B$  的坐标。

第二种方式中,将  $AB1$  线段围绕  $B1$  点逆时针旋转  $\xi$  度,旋转后  $B1OA1$  位于同一条直线上,而后根据定比分点公式计算中心点  $O$  的坐标<sup>[16]</sup>:

$$\begin{bmatrix} A_{1x} \\ A_{1y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \\ S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\xi + \sigma) \\ \sin(\xi + \sigma) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{1x} \\ B_{1y} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{cases} O_x = \frac{B_{1x} + \lambda A_{1x}}{1 + \lambda} \\ O_y = \frac{B_{1y} + \lambda A_{1y}}{1 + \lambda} \\ \lambda = \frac{|B_1O|}{|OA_1|} \end{cases} \quad (3)$$

其中,(2)式中角  $\xi$  为直线  $AB$  与直线  $A1B1$  之间的夹角,  $\sigma$  为向量  $B1A$  与  $X$  轴正方向的夹角,  $S$  为两个定位终端点之间距离即  $|B1A|$ 。此时  $(A_x, A_y)$  为船舷的定位终端的坐标,  $(B_x, A_y)$  为船首定位终端的坐标,  $L_f$  为驾驶台距离船首的距离。

设初值时刻默认船首真北向上,则在任何时刻船首向都可以由  $A$ 、 $B$  点坐标与船舶中心  $O$  点来确定,船上任意一点在下一刻的位置都可以计算得到。

假设此时船舶恰好行驶到  $T_1$  时刻,定位终端  $A$ 、 $B$  点所在坐标接到新的数据后进行更新,根据式(1)或式(3)计算新的船舶中心点为  $(O_x, O_y)$ ,此时

$Y$  轴正方向与船首所在直线  $OH$  的逆时针夹角为  $\theta$ ,则在新时刻船首点为:

$$\begin{bmatrix} E'_x \\ E'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \\ R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\beta + \theta) \\ \sin(\beta + \theta) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O'_x \\ O'_y \end{bmatrix} \quad (4)$$

同理可计算新的船尾  $MG$  点:

$$\begin{bmatrix} F'_x \\ F'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R' \\ R' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\beta' + \theta) \\ \sin(\beta' + \theta) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O'_x \\ O'_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中,  $R$  表示初始时刻船首点  $E$  到中心  $O$  点之间的直线距离,  $R'$  表示船尾  $F$  点到中心  $O$  点的距离,  $\beta$  表示初始时刻矢量  $OF$  与  $X$  轴正方向的逆时针夹角,  $\beta'$  表示初始时矢量  $OF$  与  $X$  轴正方向的逆时针夹角。船首、船尾相对于码头岸线根据点到直线距离公式,在  $T_0$  时刻船首、船尾距离码头岸线的距离为:

$$\begin{cases} D_1 = \frac{|aE'_x + bE'_y + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\ D_2 = \frac{|aF'_x + bF'_y + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $D_1$ 、 $D_2$  分别表示船首、尾与码头岸线的垂直距离。用同样的方法可求得在  $T_1$  时刻船首、船尾与码头岸线距离  $D_1'$  和  $D_2'$ 。通过连续测量可得到连续两次测量之间的时间差和船首、船尾与码头岸线的距离差,则船首与船尾相对码头岸线的横移速度  $V$  计算如下:

$$V = \frac{\Delta_d}{\Delta_t} \quad (7)$$

其中,  $\Delta_d$  是船首、尾两次分别计算所得与码头岸线  $MN$  距离差:  $D_1' - D_1$ 、 $D_2' - D_2$ 。  $\Delta_t$  是相邻两次测量的时间差。

按照第二种方式可以采用  $A$ 、 $B$  点放置定位采集系统获取船首、船尾的速度。

船舶平行于码头岸线的横移速度计算如下:

$$D = \frac{|aO_x + bO_y + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (8)$$

$$V = \Delta_D / \Delta_t \quad (9)$$

其中,  $D$  表示中心  $O$  点到  $MN$  之间的垂直距离,用  $\Delta_D$  表示两次测量中心点  $O$  与码头岸线  $MN$  的距离差。

#### 4.3 船首向与船舶转向率计算

图2中  $OH$  为船首线所在矢量,此时的  $\theta'$  是从  $x$  轴起逆时针旋转所得的角度,如图2中A图所示。船首向由基准北线顺时针旋转得到,基准北线

为 0 度,顺时针旋转可得到船首向角,如图 2 中 B 图中的  $\epsilon$  即为船首向角:

$$\epsilon = 90^\circ - \theta'$$

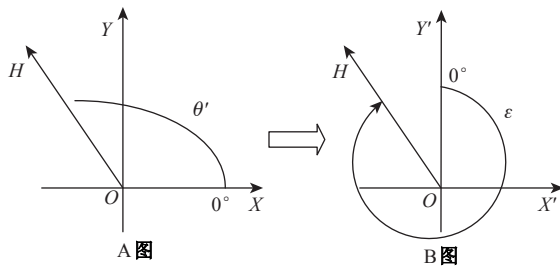


图 2 船首向计算示意图

Fig. 2 Scheme of bow course calculation

船首向的取值范围是:  $0 \sim 360^\circ$ , 因此, 需要对所求的  $\epsilon$  作角度转化, 即: 若  $\epsilon > 360^\circ$  则减  $360^\circ$ , 若  $\epsilon < 0^\circ$  则加  $360^\circ$ 。船首向是以真北向为  $0^\circ$  顺时针旋转得到的, 所以, 上述的  $\theta$  为  $360^\circ - \theta'$ 。

船舶转向率为:

$$\omega = \frac{\Delta \epsilon}{\Delta t}$$

其中,  $\Delta \epsilon$  为两个时刻船首向之差。

### 5 辅助靠泊仪软硬件设计

#### 5.1 软件设计

根据模块化设计原则, 大型船舶辅助靠泊仪的软件设计采用分块设计, 软件系统构成如图 3 示。

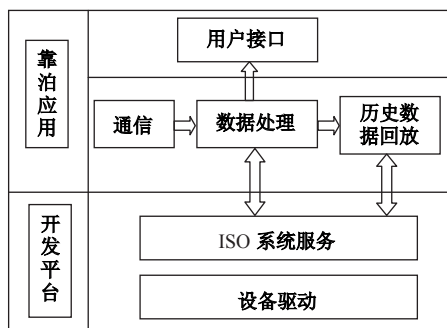


图 3 软件系统构成

Fig. 3 Composition of the software system

如图 3 所示, 软件设计采用分层结构, 具有硬件无关性。首先, 系统中所有的硬件设备都由 IOS 操作系统接管, 靠泊系统不直接对硬件进行访问; 其次, 所有涉及硬件的操作都通过应用程序接口函数来完成。大型船舶辅助靠泊仪软件系统包含了

通信模块、靠泊数据处理模块、历史数据回放模块、用户接口模块。通信模块采用 WiFi 实现定位终端与辅助靠泊仪软件系统的网络通信; 数据处理模块是大型船舶辅助靠泊仪显示终端的核心模块, 它主要负责解析报文和靠泊数据计算, 历史数据回放模块是把系统记录的船舶引航靠泊时船舶动态信息, 如航迹、航速等信息, 以回放的形式显示在辅助靠泊仪显示终端上; 用户接口模块相当于靠泊显示终端应用程序前台, 负责建立辅助靠泊仪显示终端与用户之间的联系, 包括接收来自用户的请求和返回请求结果。

#### 5.2 硬件设计

辅助靠泊仪定位终端硬件如图 4 所示, 定位终端硬件设计分为 A、B 两部分, 称之为 A 机和 B 机, 其中, A 机由 ARM 嵌入式模块、AIS 模块、差分 GPS 模块、WiFi, 以及锂电池模块组成, B 机由 ARM 嵌入式模块、差分 GPS 模块、WiFi 以及锂电池模块组成。这种设计是考虑到仅依靠一个 GPS 接收机定位的传统船舶引航系统中, 船舶进行靠离泊操作时, 由于速度较慢甚至接近静止, 容易造成定位漂移, 由此获取的船首向就会因速度的下降而出现大角度摇摆, 影响用户作出精确判断。在进行靠泊船位显示时, 辅助靠泊仪只有正确显示船舶与所靠码头岸线的相对位置才能辅助船长/引航员进行安全作业。通过采集两个定位信息, 结合长宽等船舶尺寸信息, 系统可正确刻画船舶的相对位置。

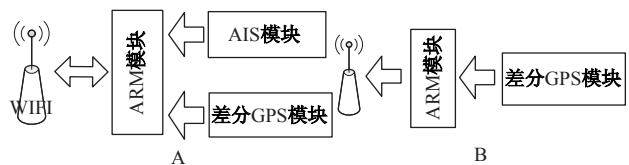


图 4 辅助靠泊仪硬件组成终端

Fig. 4 The composed hardware terminal of the assisted berthing instrument

大型船舶辅助靠泊仪定位终端采用 Hemisphere 公司的 Crescent OEM 广域增强差分 GPS 模块, 并接收日本的多功能卫星增强系统 (MSAS) 定位信号, 它可覆盖亚洲大陆。Crescent OEM 广域增强差分 GPS 模块采用了最新的 ASIC 芯片和 Coast 等专利算法, 可保证在差分信号丢失 30 - 40 分钟内, 仍保持亚米级别的稳定定位精度。同时具

有 20Hz 的原始数据、定位数据更新率。

## 6 平台应用实例分析

我们通过实际测试,验证了本文所提出的算法和所研发软件平台的可用性。实验时间为 2012 年 7 月 1 日 18:06 分;船名:IRON YANDI, MMSI: 503 012 000,船长:289m,船宽:45m,船尾到驾驶舱中心的距离:39.8m,目标泊位:曹妃甸 4 号泊位, A 机放置于船首, B 机放置于右舷。

登船前,通过采集位于四号码头碰垫沿的位置信息从而设定泊位信息。靠泊当天,曹妃甸四号码头附近海域海况良好,从曹妃甸港区 1 号登船点到安全停靠,用时 2 小时零 9 分,采用左舷平行靠泊。所引船舶为油轮,故靠泊模式右舷 A 机船首 B 机。按照引航员的习惯,设置靠泊模式的进入距离即屏幕上显示的靠泊圈为 600m,参数设置完后,船舶从起锚点开始起航,此时靠泊仪可以作为普通的电子海图设备,起导航作用,一旦船舶与码头距离小于 600m,即进入靠泊圈时,进入靠泊模式。如图 5 所示。



图 5 靠泊仪靠泊功能界面截图

Fig. 5 A screenshot showing the instrument's berthing function

在船舶靠泊时,靠泊仪终端界面上可以清晰地看到船舶航向、船首、船尾速度,以及离岸距离。在进行了多次的靠泊实践后发现采用左舷 A 船首 B 的靠泊模式,船首向误差很小,说明通过两点 DGPS 所得到的航向数据比较稳定,引航员视觉终端能很好地反映实际船舶航向动态。船舶首尾距离相对稳定、首尾速度变化基本在正常范围之内,无大范围跳动,数据良好。

## 7 结论

本文通过分析 DGPS 组合定位技术,结合大型

船舶靠泊时的特点,研究了计算大型船舶靠泊时的船速、船首向、船舶转向率和船首、船尾相对码头的距离与速度的数学模型。鉴此,研发了大型船舶靠泊仪,经大量测试,船舶靠泊仪可为引航员提供更加可靠、及时、准确的船舶靠泊时的运动参数,提高引航效率和安全。

### 参考文献:

- [1] 邓涛. 现代船舶发展趋势[C]. 中国航海协会 1995 - 2009 航海技术论文选集,第 2 集.
- [2] 李开荣,雷云花. 大型船舶操纵[M]. 青岛:中华人民共和国港务监督局编印,1999.
- [3] 李勇. 船舶操纵[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [4] 杨东晓. 关于船舶平行靠泊的研究[C]. 第二十三届苏浙闽沪航海学术会议论文集, 2010, 48 - 52.
- [5] 茅开松. 大型集装箱船平行靠泊研究[J]. 港口科技, 2011, 59(3): 1 - 4.
- [6] 陈航. 激光靠泊技术研究与工程实现[D]. 大连理工大学, 2005.
- [7] 施修祥. 靠泊声纳研制成功[J]. 应用声学, 1982(2): 41 - 41.
- [8] Hiroyuki Oda, Etsuro Okuyama, Yasushi Kawamori. New berthing support system using high accuracy differential GPS[J]. JIME, 2009, 44(1): 1 - 12.
- [9] 冯贵年,杨久龙. 广域差分 GPS 系统与广域差分增强系统[C]. 中国空间科学学会空间探测专业委员会第十七次学术会议论文集, 2009, 516 - 521.
- [10] 张惠,张健,刘超. 全球定位系统(GPS)技术的发展现状及未来发展趋势[J]. 中国计量现代计量仪器与技术, 2012(1): 70 - 92.
- [11] 刘经南. 广域差分 GPS 原理和方法[M]. 北京:测绘出版社, 1999.
- [12] 郭际明. GPS 与 GLONASS 最新发展[J]. 测试信息与工程, 2002, 27(2): 28 - 30.
- [13] 韦高,许家栋. 多点转发定位方法研究[J]. 西北工业大学学报, 1996(11): 12 - 16.
- [14] 白贵霞. DGPS 的精度及应用前景[J]. 测绘标准化, 1995(4): 17 - 20.
- [15] 陈天恩,长井正彦,柴崎亮介. 带有差分 GPS 的多传感器无人直升机航测遥感系统[J]. 测绘科学, 2012, 37(1): 158 - 160.
- [16] 刘洋,张杏谷,彭国均,等. 大型船舶辅助靠泊仪的研究[D]. 厦门:集美大学, 2012.

## Research on Large Ship Berthing Technology Based on DGPS Combination Positioning

PENG Guojun<sup>1</sup>, WU Yongjun<sup>1</sup>, LIU Yang<sup>1</sup>, KE Ranxuan<sup>1</sup> and DU Zhixiu<sup>1</sup>

(1. *Ship Navigation-aids Technique Research Institute of Jimei University, Xiamen 361021, China;*

2. *China Satellite Marine Tracking and Control Department, Jiangyin 214431, China*)

**Abstract:** Along with world shipping economy continues to push forward and the progress and development of science and technology, the number and size of large vessels are enlarging continually. The largest vessel in the world has reached five or six hundred thousand dwt, especially very large oil tankers, bulk carriers and large container vessels. The safe berthing becomes a pressing concern of the pilot and the captain. The workload of harbor is heavier and heavier. However, there is no advanced system assisting pilots to guide large vessels to enter and leave port safely. As a result of that, the pilots are faced with a lot of pressure. In order to improve the security and efficiency of the berthing process of large vessels, lighten the heavy burden of the pilots and decrease the possibility of the accident during the process of pilotage, this paper introduced the berthing system's history and development, analyzed large ships' berthing process, researched the technologies of the DGPS combination positioning, WIFI and AIS, built up the ship-based plane coordinate system, shaped the large vessels' berthing mathematical model based on the technology of DGPS, provided the means of calculating the dynamic and static parameters and then gave the structure of the whole system. In this ship-based plane coordinate system the model can accurately calculate the berthing ship's dynamic parameters, such as the exact position of the vessel, the distance between the vessel and the pier, the relative velocity between the bow and the pier, etc. With the help of the combination technologies of AIS, WIFI and two-point positioning technology DGPS, the large vessels' berthing system which has passed the test of reliability and availability is finally designed. In the test, it can be shown that this system could provide high-precision information such as the latitude and longitude, movement speed, the distance to the wharf line and other auxiliary information which the pilot need in the progress of pilotage. The accuracy of the position can be within 60 cm, and the speed accuracy can be within 5 m/s, which provides more intuitive, convenient, and fast sailing navigation for the pilot and then effectively improves the security and efficiency of large vessel's berthing progress.

**Key words:** DGPS; combination positioning; large vessels; assisted berthing