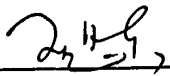


分 类 号 _____
U D C _____

密 级 _____
单位代码 10151

气象信息与电子海图叠加的研究与实现

刘 琦

指导教师	庞福文	职称	教授
学位授予单位	大连海事大学		
申请学位级别	工程硕士	学科与专业	信息与通信工程 (电子与通信工程)
论文完成日期	2011 年 6 月	论文答辩日期	2011 年 6 月
		答辩委员会主席	

大连海事大学学位论文原创性声明和使用授权说明

原创性声明

本人郑重声明：本论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果，撰写成硕士学位论文“气象信息与电子海图叠加的研究与实现”。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表或未公开发表的成果。本声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名：刘琦

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者及指导教师完全了解大连海事大学有关保留、使用研究生学位论文的规定，即：大连海事大学有权保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权大连海事大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，也可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文。同意将本学位论文收录到《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》（中国学术期刊（光盘版）电子杂志社）、《中国学位论文全文数据库》（中国科学技术信息研究所）等数据库中，并以电子出版物形式出版发行和提供信息服务。保密的论文在解密后遵守此规定。

本学位论文属于： 保 密 ☐ 在____年解密后适用本授权书。

不保密 ☒ （请在以上方框内打“v”）

论文作者签名：刘琦 导师签名：刘琦

日期：2011年6月30日

**Study and Realization for Overlaying Meteorological
information and Electronic Navigation Chart**

A thesis Submitted to

Dalian Maritime University

In partial fulfillment of the requirements for the degree of

Master of Engineering

by

Liu Qi

Information and Communication Engineering

(Electronics and Communication Engineering)

Dissertation/Thesis Supervisor: Professor Pang Fuwen

June 2011

摘要

随着海洋经济的不断发展,海上航运日益频繁,海洋气象环境对船舶航行安全起着举足轻重的影响,因此为船舶驾驶人员提供及时的气象信息,来掌握未来海上气象的变化显得尤为重要。GRIB 数据 (GRIdded Binary, 二进制格点加工数据) 是使用世界气象组织建议使用的表格驱动码中的一种 GRIB 码编写的,主要用于表示数值天气分析和预报的格点数据,并可直接作为气象信息的标准格式存档。

本文在国家船舶导航工程研究中心设计研发的电子海图显示与信息系统的基礎上,利用 VS2008 开发工具设计并实现了气象信息与电子海图叠加的功能,完成对 GRIB 编码的气象信息的解析、标识并与电子海图叠加,为船舶驾驶人员提供图像清晰,操作简单的护航信息,有效地保证航线安全。

本文首先利用 WTL 框架设计了人机交互界面,用于实现实效时间的选择和即时信息的显示,接着为实现其功能,又相继设计了数据处理模块和数据描画模块。数据处理模块主要负责处理通过 Email 获取的 GRIB 数据,以八位组为基本单位对 GRIB 数据进行解析,并对解析完的数据以接口的形式对外提供调用。数据描画模块通过调用数据处理模块的接口,读取解析后的风场数据和气压数据,并对风场数据以风标的形式,按照数据格点的位置标绘到海图上,对于气压数据,则是通过调用外部的等值线 COM 组件,完成等压线中等压数据的计算、等压值的追踪、等压线的生成,并以一定的间隔在海图上对等压线进行标注,完成对 GRIB 数据的图像化和可视化的处理,实现气象信息与电子海图的叠加显示。

本文最后为了验证设计实现的结果,截取2011年一号台风在台湾附近海面活动时,一天内四个时间段的气象数据,然后对叠加完后的结果进行对比。实验结果表明,本设计思路正确,实现方法切实可行,并有一定的价值。

关键词: 电子海图; 气象信息; 叠加显示; 坐标变换; 数据解析

ABSTRACT

With the constant development of marine economy, the voyage is frequently increasing. The marine meteorological environment plays such an important part in ship navigation safety that it is important to provide timely meteorological information for marine navigators to grasp the future of the sea climate changes. Gridded Binary (GRIB) uses the GRIB code which belongs to the TDCFs (Table Driven Code Forms) suggested by the world meteorological organization. It is mainly used for the lattice point data of the numerical weather analysis and forecast, and can be directly filed for the standard pattern of the meteorological information.

The essay bases on the Electronic chart display and information system which is designed by the National Research Center of Maritime Navigation System, encodes under the developer kits of VS2008 and realizes the superposition function of meteorological information and electronic chart and analyses meteorological information encoded by the GRIB to offer the convoy information including clear image and simple operation to marine navigators. On this way, the safety of the sea route gets effective guarantee.

The essay firstly designs human-computer interface using WTL frame to realize the choice of actual time and the display of instant message. And then, designs data processing module and data painted module. The former is mainly responsible for handling the GRIB data obtained through Email, analyzes the GRIB data with eight groups as a basic unit, after that, provides external calls of the analyzed data. And the latter reads the wind data and air pressure data by calling the data processing module interface. For the wind data, plots to the chart according to the position of the data lattice point with the wind mark form. And for the air pressure data, calculates the data with same pressure, traces isophasm and generates isopiestic by calling COM component of the external isoline. Labels the isoline in the chart with certain interval to complete GRIB data visualization and visual processing and realize the superposition of the meteorological information and electronic chart.

This paper in order to verify the results of design and implementation, intercepted four times meteorological data in one day of the first typhoon in 2011 near Taiwan sea area, and then compared the result after overlaying. Experimental results

show that the thought of this design is correct and the method is feasible, and the results have a certain reference value.

Key Words: Electronic Navigation Chart; Meteorological Information; Superimposition Display; Coordinate Transformation; Data analytical

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 选题背景	1
1.2 课题研究的意义	2
1.3 国内外发展现状	2
1.3.1 电子海图显示与信息系统发展概况	2
1.3.2 航海气象的发展概况	4
1.4 论文主要研究内容及结构安排	4
第 2 章 气象信息简介	6
2.1 气象信息概述	6
2.2 GRIB 概述	7
2.2.1 GRIB 的数据结构	7
2.2.2 GRIB 的编码格式	8
2.2.3 GRIB 的数据压缩	9
2.3 本章小结	9
第 3 章 气象信息与电子海图叠加的设计思想	10
3.1 系统设计思路及原则	10
3.1.1 系统设计思路	10
3.1.2 系统设计原则	10
3.2 系统设计方案	11
3.2.1 系统数据处理流程	11
3.2.2 系统的总体结构与设计	11
3.3 开发环境及工具	12
3.3.1 C++和面向对象编程	12
3.3.2 wxWidgets 简介	13
3.3.3 WTL 简介	13
3.3.4 Visual Studio 2008 简介	14
3.4 本章小结	15
第 4 章 气象信息与电子海图叠加的设计实现	16
4.1 坐标变换的设计实现	16
4.1.1 坐标变换的设计	16
4.1.2 坐标变换的关键技术	16
4.1.3 坐标变换的具体实现	19
4.2 UI 模块的设计实现	21

4.2.1 UI 模块的功能设计	22
4.2.2 UI 模块的界面设计	22
4.2.3 UI 模块的关键技术	23
4.2.4 UI 模块的具体实现	28
4.3 数据处理模块的设计实现	30
4.3.1 GRIB 数据获取	31
4.3.2 GRIB 数据解析	31
4.3.3 GRIB 数据的存储与读取	40
4.3.4 GRIB 数据的插值	41
4.4 数据描画模块的设计实现	42
4.4.1 风标符号的设计	42
4.4.2 风标符号的计算	44
4.4.3 风场数据描画的实现	46
4.4.4 气压数据描画的设计	47
4.4.5 气压数据描画的关键技术	48
4.4.6 气压数据描画的实现	49
4.5 本章小结	52
第 5 章 气象信息与电子海图叠加的实现结果	53
5.1 界面显示	53
5.2 叠加显示	54
5.2.1 气压数据叠加	54
5.2.2 风场数据叠加	56
5.2.3 气象数据叠加	57
结 论	59
参 考 文 献	60
致 谢	63
研究生履历	64

第 1 章 绪论

1.1 选题背景

为了提高海上航行安全水平,以适应国内外航运业的快速发展,国际海事组织航行安全分委会第 54 次会议于 2008 年 6 月 30 日至 7 月 4 日在伦敦召开^[1]。本次会议通过了电子海图和信息显示系统配备要求的草案。这些草案于 2009 年 5 月 27 日至 6 月 5 日召开的国际海事组织于第 86 届海上安全委员会上审议通过^[2],要求船舶强制配备 ECDIS (Electronic Chart Display and Information System, 电子海图显示信息系统)。

ECDIS 意指一种导航信息系统,它具有足够的支持设备,符合 1974 年 SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea, 海上人命安全公约) 大会决议 V/20 有关对最新海图的要求^[3]。可以有选择的从 SENC (System Electronic Navigational Chart, 系统电子航海图) 显示所需的信息和来自导航传感器的位置信息,以便辅助航海人员计划航线、进行航线监控,并能够按要求显示与航海有关的其他辅助信息^[4]。目前,有两种电子海图设备,一种是符合 IMO 国际标准 ENC 的 ECDIS,另外一种是符合国家标准 ENC 的 ECS (Electronic Chart Systems, 电子海图系统)。

气象信息是影响海上船舶航行安全、可靠性的重要因素,同时也是 ECDIS 中与航海有关的重要的辅助信息。安全方面,气象信息的合理利用有利于提高航行安全,减少货物海上运输的损失,对气象信息的预测能够避免和减少由于海上恶劣的环境给船舶航线带来的不利影响和损失^[5];经济方面,根据船舶的性能、技术条件与航行任务、结合未来的气象信息,来选择最佳的航线,有利于提高船舶运输效率,降低运营成本,因此对气象信息的预测显得尤为重要。

通过网络获取气象预测信息,对其进行解析、标识并与电子海图叠加,为船舶驾驶人员提供图像清晰,操作简单的护航信息,有效地保证航线安全,为达到以上目标,本文研究并实现了气象信息与电子海图的叠加。

1.2 课题研究的意义

海洋气象环境对船舶航行安全起着举足轻重的影响。其中,风是航运人员最关心的气象要素,风作用于船体产生的风压作用会使船舶偏移,从而危及船舶安全,如发生触礁、搁浅事故;气温、湿度和大气压力的条件则会影响动力装置和电子装备的工作状态,使机械设备老化,货物受潮或受热变质,影响海面水平能见度;大气压力虽然不会对船舶的航行直接造成危害,但是气压梯度的大小会直接影响到风的大小,从而影响到航行安全^[5]。然而,海上船舶目前获取气象信息的方式主要是通过 EGC 和 NAVTEX 等渠道接受的气象文字信息,和通过气象传真机接受的图像形式的气象信息。这两种形式的气象信息使用起来虽然比较方便,但是文字和图像信息本身不包含物理属性,无法用计算机直接进行进一步处理^[6]。而 GRIB (GRIdded Binary) 码是 WMO (World Meteorological Organization, 世界气象组织) 建议并通过的一种二进制比特流代码,它适用于表示数值天气分析和预报的格点场气象资料。GRIB 码具有与计算机硬件无关的特点,采用压缩数据表示形式,压缩率一般在 50% 以上^[7],将数据打包成 GRIB 码,比用字节来打包的数据压缩效率更高,从而在计算机之间的网络上传输有更高的效率,加快数据传输速度,减少存储空间,可用计算机直接做进一步处理^[7]。

本课题主要研究在电子海图系统下,通过网络获取用 GRIB 码编码的气象资料,解析出气象资料中的风场、气压这两种气象要素,将其叠加在电子海图上,在海图上清晰的显示未来几天或几周内的风场和气压的可能的变化趋势,为船舶驾驶人员提供图像清晰,操作简单的护航信息,有效地保证航线安全。

1.3 国内外发展现状

1.3.1 电子海图显示与信息系统发展概况

上世纪 70 年代,电子海图作为综合导航系统的显示背景,在日本、美国、加拿大等国开始出现,此后,英国、挪威等主要航运国家也陆续开始研究^[8]。1986 年 7 月,IMO 和 IHO 开始合作,成立了 ECDIS 协调小组(HGE),共同研究 ECDIS。1988 年 10 月,IMO 和 IHO 联合组织了著名的北海工程实验,以评价 ECDIS 的功能,分析其潜在用途^[9]。实验结构表明:ECDIS 不仅仅是纸海图的等效物,而且是

未来智能化船舶的必要组成部分，ECDIS 必须走国际化的道路，各国政府和国际组织应提供法律保证。为此，国际海事组织、国际海道测量组织和国际电工委员会等国际组织做了大量技术工作制定了一系列相应的国际标准如表 1.1 所示。

表1.1 ECDIS的国际标准
Tab. 1.1 International standards of ECDIS

标准	日期	主要内容
IMO ECDIS性能标准	1995. 11	给出了ECDIS的定义，规定了信息显示、海图改正、航线设计、航路监视、航行记录以及备份装置等性能要求。
IHO S-52	1996. 02	规定了电子海图内容、显示、符号、颜色和海图改正等各个方面的规范。
IEC 61174	1997. 09	描述了符合IMO标准的ECDIS的性能测试工作方法和要求的测试结果。
IHO S-57	2000. 11	关于各国水道测量部门之间的数字化水道测量数据的交换和传输标准以及向航海人员、ECDIS的生产商发布这类数据的标准。
IHO S-63	2003. 10	描述了电子海图信息的保护标准及与其相适应的安全构造和操作系统，提出了相应系统的规格。
IHO S-100	2010. 01	该标准支持大量海道测量相关数据源、产品及用户需求，其中包括矩阵和光栅数据、三维和时变数据，以及超越传统海道测量范围的新应用。还提供基于全球互联网的数据获取、处理、分析、访问和显示等服务。

从上世纪 70 年年代至今，经过了四十多年的研究，一些国外的国家在电子海图系统和电子海图显示与信息系统的研发方面，取得了较大的成果，如德国的 ATLAS 公司，加拿大的 OFFSHORE 公司、英国船商公司都可以提供符合国际标准的 ECDIS 产品。

我国从 20 世纪 80 年代末开始对电子海图展开研究，并得到了我国船舶导航技术领域各研究单位的重视。交通部于 90 年代初，成立了电子海图协会^[8]。大连海事大学、海军测绘研究所等一些于航海有关的大学及科研机构先后开始研制各自的电子海图系统，取得了可喜的成果。2010 年初在南宁召开的全国直属海事系统工作会议，会议工作报告中指出中国海事海图和电子海图编绘的软硬件环境和数据管理已经达到国际先进水平。2009 年，全国海事系统已经全面完成技术升级改造，正式使用 HPD（海图数据库管理软件）生产港口航道图和电子海图。沿海港口航道图测量面积近 2 万平方公里，航道图和电子海图合格率达 100%^[11]。我国

海军海司航海保障部已完成了 1:50 万、1:25 万、1:10 万数字海图的建库工作。我国海事局于 2010 年 2 月组织制定了《国内航行船舶船载电子海图系统（ECS）功能、性能和测试要求（暂行）》，为电子海图系统及其相关产品的标准化生产奠定了基础^[12,13]。

1.3.2 航海气象的发展概况

航海气象的研究的重点在气象预报，预报是整个气象前提和保证。国外预报中，美国国家气象局所属的国家环境预报中心的 GFS（Global Forecast System，全球预报系统）、英国气象局的 ECMWF（European Center for Medium Range Weather Forecast，欧洲中期数值预报中心）系统以及日本气象厅模式比较著名。英国研制的 Weather Wizard 系统通过 INTERNET（Email）能过接受英国气象局提供的任意局部海域甚至全球综合气象信息，并将目前与未来的 5 天的天气气象信息叠加在电子海图系统上，提供动态的气象信息显示，为船舶的安全航行和管理提供有效的信息支援^[6]。国内预报中 MICAPS（Meteorological Information Comprehensive Analysis and Process system，气象信息综合分析处理系统），依托中国气象局 9210 工程数据源信息，进行气象资料的处理和显示，在我国气象业务预分析工作平台、预报预测业务和科研中起到了关键作用^[5]。

目前，我国的数值预报模式与世界发达水平的差距还比较大，除了利用国内现有数值预报模式的结果外，还需参考欧洲、美国、日本的数值预报结果。

1.4 论文主要研究内容及结构安排

本文主要研究了气象信息与电子海图叠加的研究与实现。气象信息是通过 Email 获取美国国家气象局全球预报系统发布的按照 GRIB 编码的数值天气分析和预报的格点场气象信息。气象信息的范围、精度由发送 Email 的内容决定，本文中气象信息覆盖的范围为东经 99 度到东经 148 度，北纬 5 度到北纬 50 度，精度为 0.5 度×0.5 度，包含风和气压两种气象要素。分析 GRIB 编码的原理，将气象信息进行解码，获取格点场中每个格点的风场和气压值。将风场和和气压值叠加到海图上。

具体研究工作及论文结构安排如下：

第二章介绍了气象信息编码的种类，并重点介绍了表格驱动编码中的 GRIB 码的数据结构、编码格式和压缩方式。为解析 GRIB 编码的数值天气分析和预报的格点场气象信息奠定了基础。

第三章介绍了气象信息与电子海图叠加系统的设计思路及原则，此外还介绍了系统的整体设计方案、子模块的设计方案，最后介绍了系统得的开发工具环境及工具。

第四章介绍了气象信息与电子海图叠加的设计实现。首先介绍了坐标变换的设计实现，实现了屏幕坐标与地理坐标的相互变换，为其后的模块实现奠定了基础。其次介绍了 UI 模块的设计实现，UI 模块是人机交互的核心，通过此模块实现了人机交互。再次介绍了数据处理模块，此模块是整个章节的重点，原始数据的处理和模块之间的交互几乎都要经过此模块。最后介绍了数据描画模块的设计实现，数据描画模块又分为风场数据描画和气压数据描画。风场数据的描画，具体的说是通过把一个个风标符号叠加到海图上完成的，而气压数据的描画则是通过调用等值线 COM 组件中的接口，完成等压线与电子海图的叠加，最终实现了气象数据的图像化和可视化处理。

第五章 介绍了气象信息与电子海图叠加的实现结果。第一节给出了界面显示的结果。第二节给出了气象信息与电子海图叠加显示结果。

结论。对论文完成的工作进行总结，提出系统存在的不足和需要进一步完善的地方。

第2章 气象信息简介

2.1 气象信息概述

气象信息是气象科学对大气活动规律进行研究及对天气变化进行预测的主要依据,气象信息的交换是科研和气象业务的基础^[14]。

气象信息以规定的编码形式在国际、国内间进行交换,气象信息的原始单位按照一定的规则和约定对气象信息进行编码及压缩,生成相应的气象信息编码,然后由气象通信系统完成其分发和交换,信息接受单位的信息处理系统对接受的编码信息进行解码或解压缩还原成原始气象信息提供使用^[14,15]。本文中的原始气象信息是美国国家气象局全球预报系统发布的按照 GRIB 编码的数值天气分析和预报的格点场气象信息,解码是通过文中的 GRIB 数据处理模块解析^[16]。

在现行气象业务中,所使用的气象信息编码主要有以下两种:字符编码(Traditional Alphanumeric Codes, TAC)和表格驱动编码(Table Driven Code Forms, TDCFs)^[15,17]。

字符编码是按照一定的格式,以字符形式表示气象信息和产品的编码,编码和实际信息、产品的关系简单,可进行人工阅读,人工编码和解码^[15]。由于字符编码和实际信息、产品的关系简单,因此编码的格式种类繁多,一种信息应对应一种编码格式。编码格式一旦确定,很难改动,对可能已经过时的观测内容则长期在某个位置用“缺测”字符代替,适应性差^[15]。而且对于每一种信息格式都要有相应的编解码程序,且解码复杂,需要不断的对编解码程序的完善和扩充以满足需求日益增长的气象信息数据格式,增加了系统的复杂性和工作量。

1985年,世界气象组织(WMO)建议逐渐由字符格式编码向表格驱动码进行过渡,并制定了过渡计划^[18]。WMO 推荐使用的表格驱动码为气象数据通用表示格式(Binary Universal Form for the Representation of Meteorological Data, BUFR),二进制格点形式加工数据(GRIdded Binary, GRIB),数据表示和交换的字符格式(Character Representation form data EXchang, CREX)。

表格驱动编码具有较强表示能力的自描述性、扩展性及灵活性,不仅包含数据本身,还包含对数据的完整描述,通过一套完整的通用表格来定义这些描述,

用描述信息解释数据内容，当出现新的数据格式，只需增加新的描述和定义相应的表格即可，当部分数据格式发生变化，只需要适当的调整编码中的描述即可；BUFR 码和 GRIB 码采用“最小值消去法”及二进制压缩编码技术，可达到 50%以上的压缩率，节省存储空间，提高通信传输速率；统一的描述信息及数据定义格式，只需开发一种通用的编码和解码程序，就可完成所有信息的编解码工作；编码后的数据可直接用于气象信息的标准格式存档^[15,19]。

2.2 GRIB 概述

GRIB 数据格式是一种基于“位”的网格二进制数据交换格式。通过把各种相关数据打包压缩为 GRIB 码，是信息的组织方式比起基于字符的形式要紧凑的多，因此有利于资料的存储和加快计算机与计算机之间的传递速度^[20]。

2.2.1 GRIB 的数据结构

WMO 对 GRIB 数据的定义分为两大部分：标准 GRIB 码对照表、GRIB 数据文件本身^[21]。标准 GRIB 码对照表中包含对 GRIB 数据文件中每一个特征字节、特征位的定义和说明^[20]。GRIB 数据在进行数据交换的时候，只需要数据文件本身，接收方只需要按照 WMO 发布的对照表就可以对 GRIB 数据进行解析，而不需要附带相应的数据格式说明书。有利于提高数据存储和传输效率；GRIB 数据文件以记录为单位，每一个记录包含一个高度层上一组网格点的单个物理量值，以一系列八位组（一个八位组=8 比特）构成的连续比特流的形式写入文件，记录与记录之间，记录内部的数据在物理上连续不可分的，每一个记录在逻辑上用“段”区分^[20]。如图 2.1 所示。

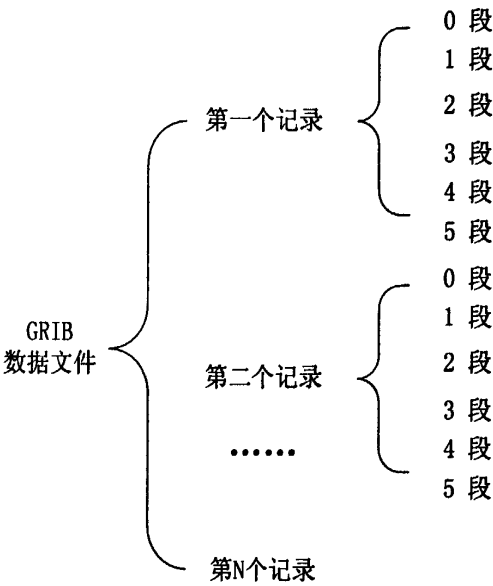


图 2.1 GRIB 的数据结构

Fig. 2.1 Data structure of GRIB

2.2.2 GRIB 的编码格式

GRIB 数据的每一个记录的编码最多分为 6 段，八位组是段的基本单位，2 段和 3 段是可选段^[18]。如表 2.1 所示。

表2.1 GRIB的编码格式

Tab. 2.1 Coded format of GRIB

0 段	指示段	Indicator Section--IS
1 段	产品定义段	Product Definition Section--PDS
2 段	网络描述段（可选段）	Grid Description Section--GDS
3 段	位图段（可选段）	Bit Map Section--BMS
4 段	数据段	Binary Data Section--BDS
5 段	结束段	

指示段是每一个记录的开始段，由 4 个八位组的国际电报字母 5 号码（International Telegraph Alphabet No.5）GRIB 表示，此段还包含了整个记录的长度和 GRIB 的版本号，在本文中的版本号为 1^[17,18]。

产品定义段中的内容有此段的段长、编码的分析或预报产品的标识符，在本

文中是预报产品的标识符。

网格描述段是可选段，段的内容有此段的段长、网格的几何形状，在本文中的网格为经纬度网格。

位图段是可选段，段的内容有此段的段长、位图，位图是按照网格定义次序连续排列的比特位，与数据点一一对应，比特位的取值用来说明相对应的格点上的数据是否被省略，0表示省略，1表示未省略。

数据段，段的内容有此段的段长、数据值，是与数据压缩关系最直接的一段^[17]。

结束段，用4个八位组的国际电报字母5号码7777表示一个记录的结束。

2.2.3 GRIB的数据压缩

GRIB的格点场数据都是浮点数，宽度为32位或64位，在精度允许的范围内，GRIB通过一种特殊的编码方式进行数据压缩，其方法用以下公式说明：

$$Y \times 10^D = R + X \times 2^E \quad (2.1)$$

其中，Y为实际值，本文中的实际值为风场值和气压值；D为十进制比例因子；E为二进制比例因子；R为基准值；X为编码值。

$$X \times 2^E = Y \times 10^D - R \quad (2.2)$$

方法是：以适当的10的D次幂与原数据Y相乘，然后减去基准值R，然后利用二进制比例算法选出适于传输的编码值之精度，求出E，推算出X，并以二进制格式编码，最后将参数D定义在记录的产品定义段，将参数E、R、定义在记录的数据段。

2.3 本章小结

本章主要介绍了气象信息编码的种类，并重点介绍了表格驱动编码中的GRIB码的数据结构、编码格式和压缩方式。为解析GRIB编码的数值天气分析和预报的格点场气象信息奠定了基础^[22]。

第3章 气象信息与电子海图叠加的设计思想

3.1 系统设计思路及原则

3.1.1 系统设计思路

气象信息的分析使用很大程度上依赖于数据的图形化和可视化处理, GRIB数据也不例外^[18]。本课题在国家船舶导航工程研究中心设计研发的电子海图显示与信息系统ETN的基础上^[24], 增加了气象信息功能, 完成对GRIB编码的气象信息的解析、标识并与电子海图叠加, 为船舶驾驶人员提供图像清晰, 操作简单的护航信息, 有效地保证航线安全^[25]。

3.1.2 系统设计原则

可行性原则。气象信息是一种辅助信息, 增加气象信息功能, 不能使ECDIS系统的整体性能下降, 如ECDIS系统的稳定性、安全性, 实践证明没有影响到。

可靠性原则。系统中的气象信息是通过Email方式获取的美国国家气象局全球预报系统GFS发布的按照GRIB编码的数值天气分析和预报的格点场气象信息。GFS主要利用NECP (National Centers for Environmental Prediction, 美国国家环境预报中心) 精细的大气信息数据提高预报准确度, 保证信息的可靠性。

标准性原则。系统采用统一的气象信息显示标准, 风场的符号符合国家标准, 风速单位为航海中使用的米/秒, 风向单位为气压单位为度, 气压单位为百帕, 预测的时间按照UTC (Universal Time Coordinated, 世界协调时) 的格式显示, 都符合国家标准。

易识别原则。气象信息与海图叠加后, 气象信息所显示的风、等压线的图像清晰, 能够很容易的识别出风的等级、风向和气压的等级, 且图像信息不会影响到整个ECDIS系统的其他功能。

人机交互原则。系统应设计操作简单的人机交互界面, 与系统设计思路相对应, 通过人机交互界面, 用户能够有选择性的选取要参考的气象信息。

3.2 系统设计方案

3.2.1 系统数据处理流程

气象信息与电子海图叠加系统的总体数据流程如图3.1所示，用户发送控制命令给数据处理平台，选择性的读取气象数据，经过处理后显示在ECDIS的可视化窗口上。

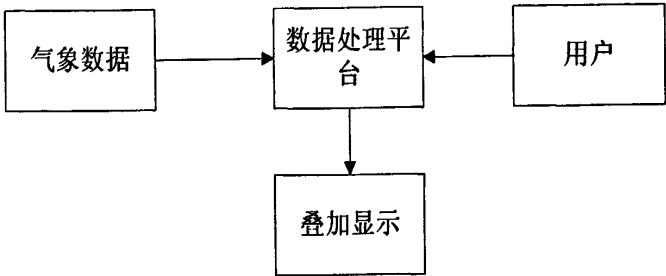


图3.1 系统的总体处理流程图

Fig. 3.1 Block diagram of the system

3.2.2 系统的总体结构与与设计

模块是系统结构的基础，模块的属性直接影响到结构的好坏^[26]。模块化降低了系统的复杂性，使得系统的设计、调试、测试、维护等工作变得简易^[27]。因此气象信息与电子海图叠加系统根据功能的不同，分为数据处理模块、UI（User Interface，用户界面）模块、数据描画模块三个模块来构成。模块间的关系如图3.2所示。

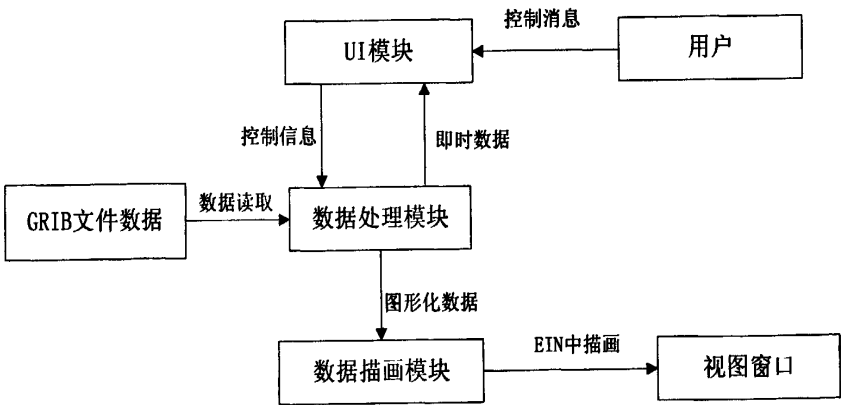


图3.2 模块间的关系

Fig. 3.2 Relationship between Modules

各模块的设计如下:

(1) UI 模块的设计

UI 模块主要负责接收用户的控制消息,如鼠标移动、GRIB 文件数据中记录的选择,接收完消息后产生消息响应函,处理消息。在处理消息时,向数据解析模块发送控制信息。数据处理模块处理完数据后,根据用户发送的消息的不同产生不同的反馈数据,当是即时数据时,由 UI 模块进一步处理,处理完后在 UI 模块上显示。

(2) 数据处理模块的设计

数据处理模块是整个设计的核心,主要负责接收 UI 模块的控制信息,确定需要解析的 GRIB 文件数据,以 GRIB 文件数据中记录为单位存储数据。当满足条件可以向数据描画模块输出时,对数据描画模块进行数据的输出。当接收 UI 模块的控制信息是需要反馈即时数据时,向 UI 模块输出即时数据。由于 GRIB 文件数据是格点数据,数据是一些离散的点,没有连续性,因此在此模块中对数据的进行了插值,以求数据的连续变化。

(3) 数据描画模块的设计

数据描画模块主要负责将数据处理模块解析完的数据图形化和可视化,并在 ETN 中显示,即与电子海图进行叠加,本文显示的为气压的等压线、风速符号。

3.3 开发环境及工具

本课题的整个系统是在基于船舶导航国家工程研究中心所研发的名为 ETN 的 ECDIS 上进行开发的,操作平台为 windows。考虑到 ETN 今后的发展,会在不同的平台上使用,因此系统中的核心数据解析模块采用跨平台的设计,使用 wxWidgets 库中所提供的 API 函数。采用 WTL (Windows Template Library, Windows 模板库) 进行系统界面开发,编写语言采用 C++, 集成开发环境为 Visual Studio 2008。

3.3.1 C++ 和面向对象编程

C++ 本质上是带面向对象程序设计 (Object-Oriented Programming, OOP) 扩展的 C 语言。面向对象程序设计的重点在于对象,是对象构成了程序,而不是函数和数据,它包括四个面向对象开发的特性:抽象性、封装性、继承性和多态性^[28]。

抽象性为对象创建一个定义明确的接口，将对象的实现和接口分离开。封装性可以实现数据隐藏。数据隐藏是一种非常有价值的特性^[29]。C++通过创建称为类的用户定义类型来支持封装，类一经创建就是一个完全的封装的实体，类的内部原理都可以隐藏、用户不必了解其内部工作原理就可以使用它；继承性可以声明一个新类型作为已有类型的扩展，新的类型称为已有类型的子类，已有类型称为新类型的父类^[30]。子类具有父类的各种属性和方法，而不需要再次编写相同的代码，同时子类可以重新定义某些属性，重写某些方法，覆盖父类的原有属性和方法，使其获得与父类不同的功能；多态性允许我们用相同的代码来使用不同的对象，在C++中是通过虚函数来实现的^[31,32]。

3.3.2 wxWidgets 简介

wxWidgets原来的名称是wxWindows是一个基于C++语言的程序开发包^[33,34]。随着wxWidgets的不断发展，现在的wxWidgets已不再是单纯的跨平台GUI（Graphical User Interface，图形用户界面）开发包，而是可以适用于多种操作系统平台，并且可以在多种语言中使用的跨平台开发包^[35]。

wxWidgets为其所支持的各种平台提供几乎一致的API（Application Programming Interface，应用程序接口），这就意味着程序员不需要重新学习多个平台的API^[36]。编写一个在Windows上运行的程序，这个程序不需要任何改动（或很少改动），就可以在Linux或者Mac OSX系统上运行，避免了在不同平台上同一个软件需要重新编写而带来的人力物力上的浪费，缩短了研发时间，同时也减轻了程序员的负担。

wxWidgets是免费开源的，吸引了众多人士对其进行改进，增强了应用程序的持久性，使得基于wxWidgets的程序能够很方便的移植到最新的系统上以支持最新的特性。

3.3.3 WTL 简介

WTL是在ATL（ActiveX Template Library，活动模板库）基础上建立起来的用于Win32研发的面向对象的C++模板库，由Microsoft员工Nenad Stefanovic创造。WTL提供了是实现不同用户界面原件的支持，从框架到弹出式窗口，到标准和通用控件、通用对话框、MDI、页面和属性工作表、图形设备接口对象，和其通用

的用户界面元件，例如工具栏、通用条、滚动窗口和分割窗口^[37,38]。

WTL目标是实现占用资源小、效率高的代码，在以大小和速度上接近“纯粹的”SDK（Software Development Kit，即软件开发工具包）程序的同时，提供更有弹性和更高级的对象模型给程序开发者。

WTL的类大致可以分为几种类型：

- (1)主框架窗口的实现：CFrameWindowImpl, CMDIFrameWindowImpl;
- (2)控件的封装：CButton, CListViewCtrl;
- (3)GDI 对象的封装：CDC, CMenu;
- (4)一些特殊的界面特性：CSplitterWindow, CUpdateUI, CDialogResize, CCustomDraw;
- (5)实用的工具类和宏：CString, CRect, BEGIN_MSG_MAP_EX;

3.3.4 Visual Studio 2008 简介

Visual Studio是微软公司推出的集成开发环境，提供了一套完整的开发工具。目前已经开发到9.0版本，也就是VS2008。VS2008可以用来创造高性能的Windows应用程序，移动应用程序、网络应用程序等。Visual Basic、Visual C++、Visual C#全都是信用相同的集成开发环境，有助于创建混合语言解决方案。

VS2008的优势在于它使开发人员创建程序更容易、更灵活。它提供了高级开发工具、调试功能、数据库功能和创新功能，帮助在各种平台上快速创建当前最先进的应用程序。任何规模的组织都可以使用VS2008快速创建更安全、更易于管理、更可靠的应用程序。开发环境如图3.3所示。

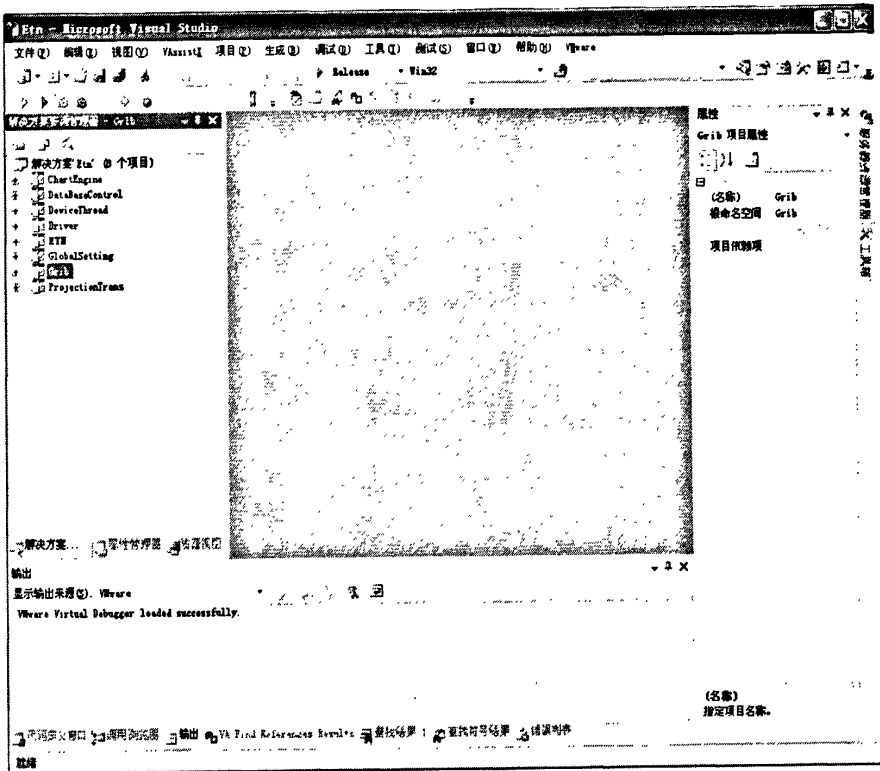


图3.3 Visual Studio 2008集成开发环境

Fig. 3.3 Integrated Development environment of Visual Studio 2008

3.4 本章小结

本章主要介绍了气象信息与电子海图叠加系统的设计思路及原则，此外还介绍了系统的整体设计方案、子模块的设计方案，最后介绍了系统得的开发工具环境及工具。

第 4 章 气象信息与电子海图叠加的设计实现

4.1 坐标变换的设计实现

本文中的气象信息是一种格点数据，通过格点的经纬度来确定某点的风场和气压的详细信息。数据的描画要确定在屏幕的那个位置上描画，因此要通过坐标转换把地理坐标中的经纬度变化成屏幕坐标。用户在与屏幕进行互动时，需要知道屏幕上点所对应的地理坐标中的位置，因此又要进行反向的屏幕坐标变换为地理坐标。

4.1.1 坐标变换的设计

S-57 规定电子海图在传输、存储时，空间位置以地理坐标的形式存储，与海图的投影无关^[39]。S-52 标准要求 ECDIS 采用与纸质海图相同的投影方式—墨卡托投影^[40]。因此地理坐标转化成屏幕坐标采用图 4.1 (a) 的形式，屏幕坐标转化成地理坐标采用图 4.1 (b) 的形式。

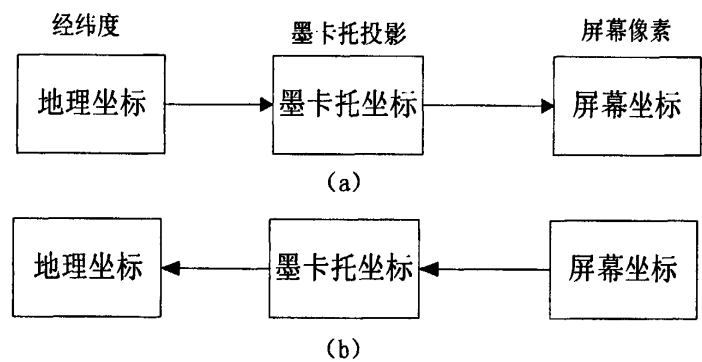


图4.1 坐标转换

Fig. 4.1 Conversion of coordinates

4.1.2 坐标变换的关键技术

(1) 不同基准纬度下墨卡托投影的变换

墨卡托投影是又称等角正切圆柱投影，是圆柱投影的一种，由荷兰地图学家墨卡托（G. Mercator）在于 1569 年拟定。设想一个与地轴方向一致的圆柱切于或割于地球，按等角条件，将经纬网投影到圆柱面上，将圆柱面展为平面后，得平面经纬线网^[41,42]。投影后经线是一组竖直的等距离平行直线，纬线是垂直于经线

的一组平行直线。各相邻纬线间隔由赤道向两极增大。一点上任何方向的长度比均相等，即没有角度变形，而面积变形显著，随远离标准纬线而增大。该投影具有等角航线被表示成直线的特性，故广泛用于编制航海图和航空图等^[41,42]。

取零子午线或自定义原点经线(L_0)与赤道交点的投影为原点，零子午线或自定义原点经线的投影为纵坐标 Y 轴，赤道的投影为横坐标 X 轴，构成墨卡托平面直角坐标系^[43]。如图 4.2 所示。地球面上经线与纬线圈构成的球面梯形 $ABCD$ ，将其投影到墨卡托坐标上则变为 $abcd$ 。

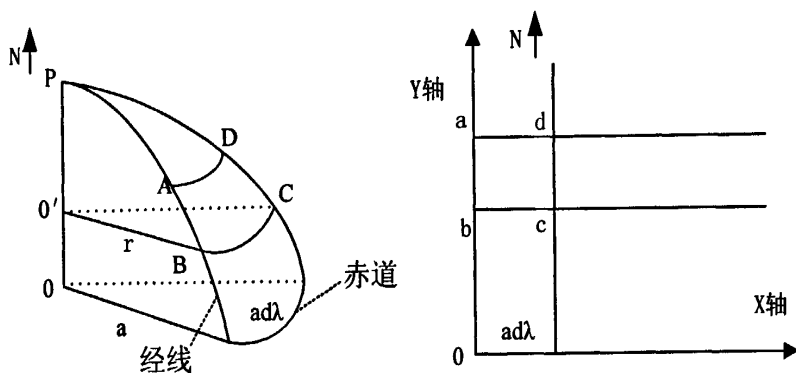


图4.2 墨卡托投影

Fig. 4.2 Mercator projection

设平面纵坐标 Y 、平面横坐标 X ，地理坐标纬度 B 、经度 L ， X 、 Y 单位为米， B 、 L 单位为弧度， B_0 为墨卡托投影的基准纬度， a 为椭球体长半轴、 b 为椭球体短半轴，ECDIS 采用 WGS-84 坐标体系， $a=6378137\text{m}$ 、 $b=6356852.3142\text{m}$ ^[40]。

第一偏心率 e 为：

$$e = \sqrt{1 - (b/a)^2} \quad (4.1)$$

第二偏心率 e' ：

$$e' = \sqrt{(a/b)^2 - 1} \quad (4.2)$$

等量纬度 Q 为：

$$Q = \ln \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{B}{2} \right) \times \left(\frac{1 - e \sin B}{1 + e \sin B} \right)^{\frac{e}{2}} \right] \quad (4.3)$$

基准纬度纬圈半径 R 为:

$$R = N_{B_0} \times \cos B_0 = \frac{a^2 / b}{\sqrt{1 + e'^2 \cos^2 B_0}} \times \cos B_0 \quad (4.4)$$

墨卡托投影正解, (L, B) 转 (X, Y) 公式:

$$\begin{cases} X = R \times (L - L_0) \\ Y = R \times Q \end{cases} \quad (4.5)$$

墨卡托投影反解, (X, Y) 转 (L, B) 公式:

$$\begin{cases} B = \frac{\pi}{2} - 2 \arctan \left(\exp \left(\frac{Y}{R} \right) \times \exp \left(\frac{e}{2} \ln \left(\frac{1 - e \sin B}{1 + e \sin B} \right) \right) \right) \\ L = \frac{X}{R} + L_0 \end{cases} \quad (4.6)$$

(2) 不同基准纬度下的墨卡托投影变换^[42,46]

假设地球上的一个点A的经纬度坐标为 (L, B) , 该点在基准纬度为 B_1 的墨卡托投影坐标为 (X_1, Y_1) , 基准纬度纬圈半径为 R_{B_1} , 等量纬度为 Q_1 ; 在基准纬度为 B_2 的墨卡托投影坐标为 (X_2, Y_2) , 基准纬度的纬圈半径为 R_{B_2} , 等量纬度为 Q_2 ^[44]。由公式4.3可知 $Q_1 = Q_2$, 因此根据公式4.5可得:

$$\begin{cases} \frac{X_1}{X_2} = \frac{R_{B_1} \times (L - L_0)}{R_{B_2} \times (L - L_0)} = \frac{R_{B_1}}{R_{B_2}} \\ \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{R_{B_1} \times Q_1}{R_{B_2} \times Q_2} = \frac{R_{B_1}}{R_{B_2}} \end{cases} \quad (4.9)$$

$$\frac{R_{B_1}}{R_{B_2}} = \frac{\cos B_1 \sqrt{1 - e'^2 \sin^2 B_2}}{\cos B_2 \sqrt{1 - e'^2 \sin^2 B_1}} \quad (4.10)$$

令 $k = \frac{\cos B_1 \sqrt{1 - e'^2 \sin^2 B_2}}{\cos B_2 \sqrt{1 - e'^2 \sin^2 B_1}}$, 则不同基准纬度下墨卡托坐标的变换公式为:

$$(X_2, Y_2) = k(X_1, Y_1) \quad (4.11)$$

由此得出, 不同基准纬度下的墨卡托投影坐标变换是一个线性变换。

4.1.3 坐标变换的具体实现

在屏幕显示一张海图, 我们可知从系统中知道当前屏幕大小、海图的范围、海图的比例尺、每米的像素点个数, 并且由此我们可以知道以下变量的值: 海图中心点经纬度 C ($center_l, center_b$)、海图比例尺 $scale$ 、 x 轴上每米的像素点个数 $dots_x$ 、 y 轴上每米的像素点个数 $dots_y$, 屏幕 x 方向上的长度 $rect_x$ 、屏幕 y 方向上的长度 $rect_y$ 。墨卡托投影的基准纬度为 $basic_b$, 取零子午线与赤道交点的投影为原点, 即 $L_0=0$, 海图中心点经纬度 C 经墨卡托投影变换后的点 c 为 ($center_mer_x, center_mer_y$)。

(1) 地理坐标转屏幕坐标

设有一经纬度点为 G (geo_x, geo_y), 变换后为 W (win_x, win_y)。

1) G 点经墨卡托正解公式(4.5)变换后为 g (geo_mer_x, geo_mer_y)。

2) 然后以 $N(c)$ 点为坐标原点建立坐标系, 计算 g 点坐标 D (geo_dots_x, geo_dots_y) 公式为:

$$\begin{cases} geo_dots_x = \frac{(geo_mer_x - center_mer_x)}{scale} \times dots_x \\ geo_dots_y = \frac{(geo_mer_y - center_mer_y)}{scale} \times dots_y \end{cases} \quad (4.12)$$

3) 最后变换为以屏幕左上角 M 点为坐标原点, 坐标中的点 W (win_x, win_y) 其变换公式为:

$$\begin{cases} win_x = geo_dots_x + \frac{rect_x}{2} \\ win_y = \frac{rect_y}{2} - geo_dots_y \end{cases} \quad (4.13)$$

详细过程如图 4.3 所示。

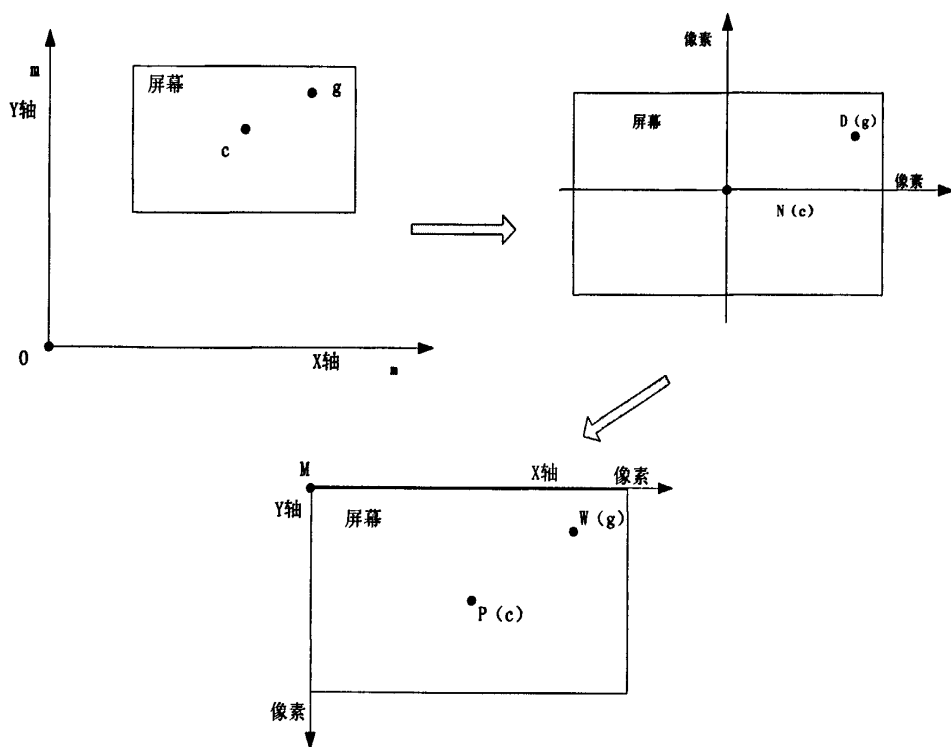


图4.3 地理坐标转屏幕坐标

Fig. 4.3 Convert geographical coordinate to screen coordinate

(2) 屏幕坐标转地理坐标

设有一屏幕坐标点为 $W(win_x, win_y)$, 变换后为 $G(geo_x, geo_y)$ 。

- 1) 把 W 点从以 M 点为坐标系原点, 转换为以 N 点为坐标原点的坐标系中的 D 点 (win_dots_x, win_dots_y), 变换公式为:

$$\begin{cases} win_dots_x = win_x - rect_x \\ win_dots_y = rect_y - win_y \end{cases} \quad (4.14)$$

- 2) 然后把 D 点转换成为坐标原点为 O 点的墨卡托坐标系中的 w 点 (win_mer_x, win_mer_y), 计算 w 点坐标的公式为:

$$\begin{cases} win_mer_x = \frac{win_dots_x}{dots_x} \times scale + center_mer_x \\ win_mer_y = \frac{win_dots_y}{dots_y} \times scale + center_mer_y \end{cases} \quad (4.15)$$

- 3) 最后经墨卡托反解公式 (4.6) 由 w 变换为 $G(geo_x, geo_y)$ 。

详细过程如图 4.4 所示。

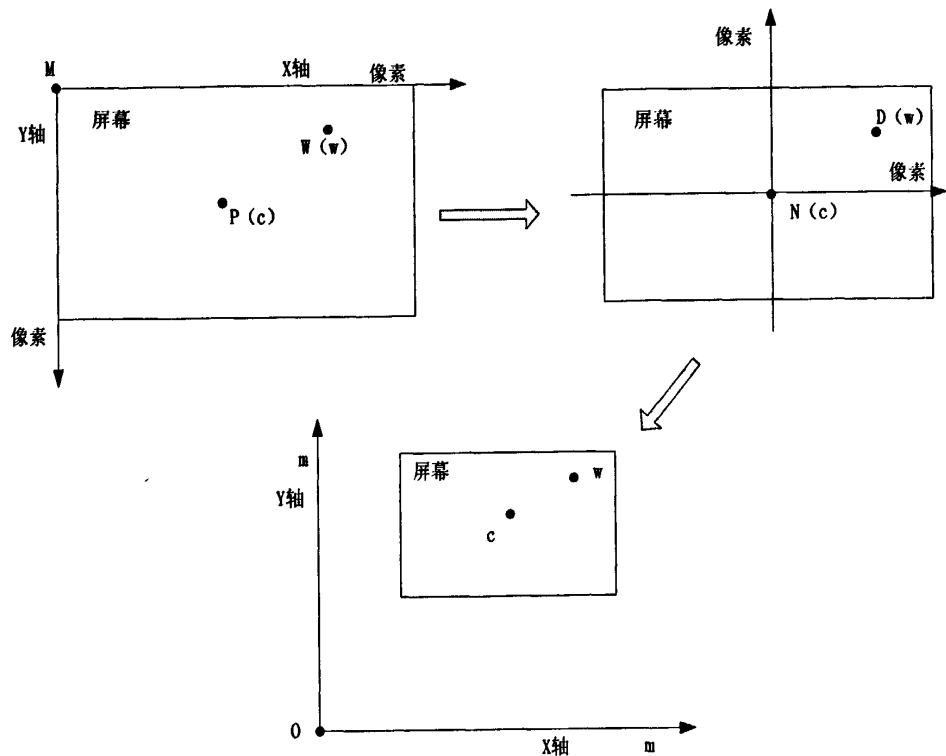


图4.4 屏幕坐标转地理坐标

Fig. 4.4 Convert screen coordinate to geographical coordinate

4.2 UI 模块的设计实现

气象信息与电子海图叠加系统是基于国家船舶导航工程研究中心研发的 ECDIS 系统 ETN 系统上设计实现的,UI 控制模块是气象信息与电子海图叠加系统的子模块同时也是 ENT 系统的子模块。UI 控制模块的设计实质上是对 GRIB 对话框的设计。ETN 的主界面如图 4.5 所示。

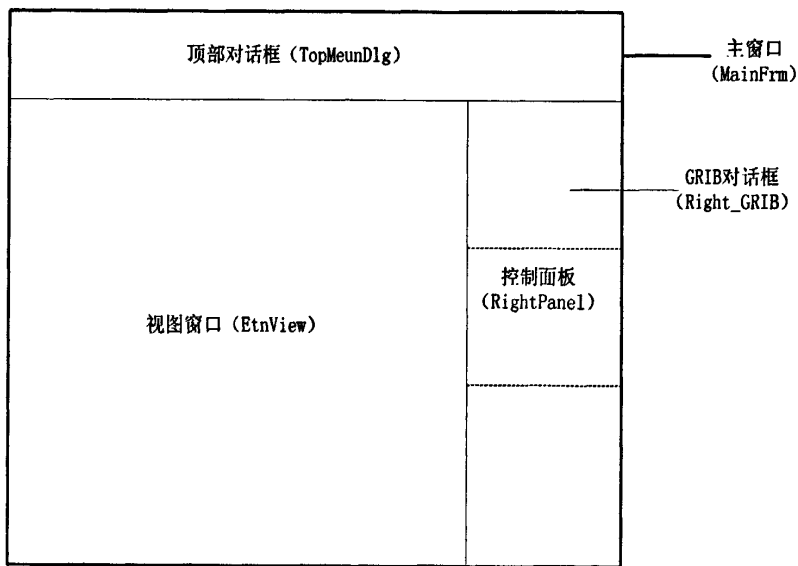


图4.5 ETN主界面

Fig. 4.5 Main interface of ETN

4.2.1 UI 模块的功能设计

UI 控制模块主要有三个功能：

- (1) 时间段的选择：用户可以选择要观测数据的时间段。
- (2) 即时消息的显示：在用户选择完时间段后，要在 GRIB 对话框上显示数据的实效时间；用户通过鼠标可以即时的显示出鼠标点所在位置的气象要素信息^[45]。
- (3) 气象要素的选择：用户可以有选择的观看气象要素，可以控制视图窗口单独的显示风场、大气压或者关闭显示。

4.2.2 UI 模块的界面设计

UI 控制模块界面设计如图 4.6 所示。

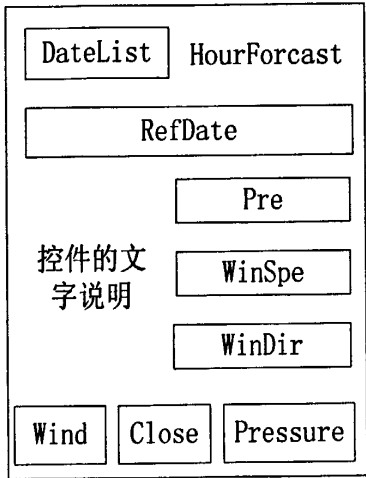


图4.6 UI模块界面设计图

Fig. 4.6 Interface design of UI module

其中，所包含控件说明如下：

- (1) 时间段下拉控件（DateList）Combo Box。当用户点击该控件时，控件弹出可选择的时间段，供用户选择。
- (2) 即时信息静态显示控件（RefDate、Pre、WinSpe、WinDir）Static Text Control。当用户选择完时间段后，RefDate 控件显示此数据所对应的实效时间。当用户在视图窗口中移动鼠标时，Pre、WinSpe、WinDir 根据鼠标位置的不同，更新显示数据。
- (3) 气象要素选择控件（Wind、Close、Pressure）Button Control。当用户点击 Wind 控件时，视图窗口中的风场要素不显示，再次点击则显示。当用户点击 Close 控件时，动态显示控件内容清空，视图窗口中的气象要素不显示。当用户点击 Pressure 控件时，视图窗口中的气压要素不显示，再次点击则显示。

4.2.3 UI 模块的关键技术

(1) Windows 消息处理机制

Windows 的程序设计是一种基于消息的并且是事件驱动方式的程序设计模式^[46]。当用户触发某一事件时，系统会感知这一事件，并将此事件包装成消息。消息主要由消息名称(UINT)、窗口句柄(HWND)和两个参数(WPARAM、LPARAM)组成^[47]。UINT 定义了消息在 Windows 中的编号，HWND 指明了消息所对应的

是哪个窗口，WPARAM 通常是一个与消息相关的常量值，LPARAM 通常是一个指向内存中数据的指针^[48]。

任何消息都要有窗口进行接收，而发送给哪个窗口，是通过消息中的窗口句柄来识别的。窗口接收到消息后，在窗口过程中进行分析，对感兴趣的消息进行处理，其它的消息则由 windows 系统默认的窗口过程进行处理。

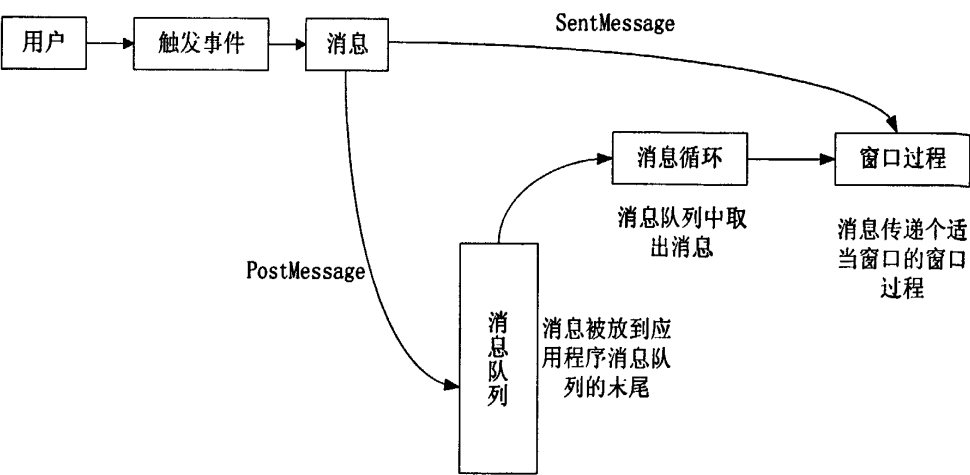


图 4.7 消息处理过程图
Fig. 4.7 Block diagram of message processing

依据消息的发送方式，把消息分为队列话消息和非队列话消息。队列话消息的发送是通过 PostMessage 函数完成的。消息包装后被放到应用程序消息队列的末尾，系统通过消息循环不断的从消息队列中取出消息，并将消息传递个适当窗口的窗口过程函数进行相应的处理；非队列话消息的发送是通过 SendMessage 函数完成的。消息直接被发送到窗口过程中，在窗口过中进行处理^[49,50]。消息处理过程如图 4.7 所示。

(2) WTL 的消息映射链和数据交换

WTL 中创建一个对话框需要做三件事：

- 1) 创建一个对话框资源
- 2) 从 CDialogImpl 类派生一个新类
- 3) 添加一个公有成员变量 IDD，将它设置为对话框资源的 ID。

然后需要在对话框中添加消息处理函数，对消息进行处理。WTL 通过在自己的派生类中利用宏 BEGIN_MSG_MAP 和 END_MSG_MAP 维持一个消息映射链：

```
class CMyDialog : public CDialogImpl< CMyDialog >
{
    public:
        BEGIN_MSG_MAP(CMyDialog)
        END_MSG_MAP()
        // ...
};
```

在 BEGIN_MSG_MAP 和 END_MSG_MAP 之中添加需要处理的消息的映射，然后声明消息处理函数、实现消息处理函数。

WTL 的 DDX (Dynamic Data Exchange, 对话框数据交换) 可以很简单的将一个变量和控件建立关联，即在类的数据成员和对话框控件之间双向交换，要使主对话框支持 DDX，需要将 CWinDataExchange 添加到继承列表中。

变量与控件的交互则需要在派生类中利用宏 BEGIN_DDX_MAP 和 END_DDX_MAP 建立一个统一管理的表：

```
class CMyDialog : public CDialogImpl< CMyDialog >
                    ,public CWinDataExchange< CMyDialog >
{
    public:
        BEGIN_DDX_MAP(CMyDialog)
        END_DDX_MAP()
        // ...
};
```

在 BEGIN_MSG_MAP 和 END_MSG_MAP 之中添加不同数据类型的 DDX 宏，来连接控件和变量。

(3) 观察者设计模式

设计模式的引入可以提高面向对象的系统的可重用性和可维护性。设计模式提供了一种在开发人员和组织之间共享可使用的解决方案的机制，这可确保更快地开发正确的代码，并降低在设计或实现中出现错误的可能性，节省了开发时间、提高了开发的质量。

面向对象的开发的一个主导原则是，在给定的应用程序中正确地分配任务。

系统中的每个对象应该将重点放在问题域中的离散抽象上，而不是放在任何其它方面。简而言之，一个对象只应做一件事，而且要将它做好^[51]。

一个正确划分任务特别重要的领域就是，用户界面和基础业务逻辑之间的交互。在应用程序的开发过程中，需要快速更改用户界面要求，并且不会对应用程序的其他部分产生连带影响，另外，业务要求也可能会发生变化，而这一切与用户界面无关。如果没有划分 UI 和应用程序其他部分，修改任一部分都会对整体造成不利的影响^[52]。

观察者模式可以在用户界面和业务逻辑之间划分清晰的界限。此模式的意图在于定义一种一对多的依赖关系，当一个对象发生改变时，所有依赖他的对象都得到通知并自动更新，将这种依赖关系弱化，形成一种稳定的依赖关系，从而实现软件体系结构的松耦合^[53]。

观察者模式中有两个角色，主体（subject）和观察者（observer）。当主体发生变化时，观察者会观察到这种情况，并更新其显示^[51]。逻辑关系如图 4.8 所示。

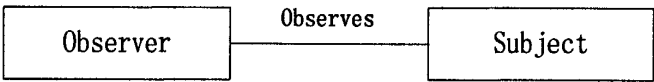


图 4.8 主体和观察者的关系

Fig. 4.8 Relationship between subject and observer

观察者模式的形成，一种通用的方法是使用一种，“注册-通知-撤销注册”形式，更准确地说，观察者注册主体，表明它对观察的意向。在某种状态发生变化时，主体向观察者通知这种变化情况。当观察者不再希望观察主体时，观察者从主体中撤消注册。具体步骤如下^[54]：

(1) 观察者对主体调用 **Register** 方法，以将其自身作为参数传递。在主体收到此引用后，它必须将其存储起来，以便在将来某个时间状态发生变化时通知观察者。大多数观察者实现并非将观察者引用直接存储在实例变量中，而是将此任务委派给一个单独的对象（通常为一个容器（container））。如图 4.9 所示。

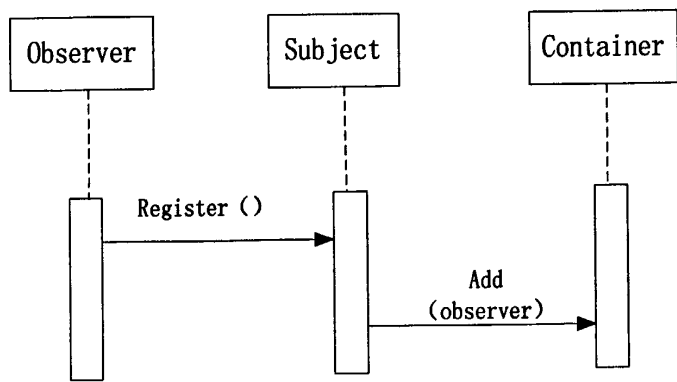


图 4.9 观察者注册

Fig. 4.9 Registration of observer

(2) 当状态发生变化时 (DateChanged()), 主体通过调用 GetObservers 方法来检索容器中的所有观察者。主体然后枚举检索的观察者, 并调用 Notify 方法以通知观察者所发生的状态变化。如图 4.10 所示。

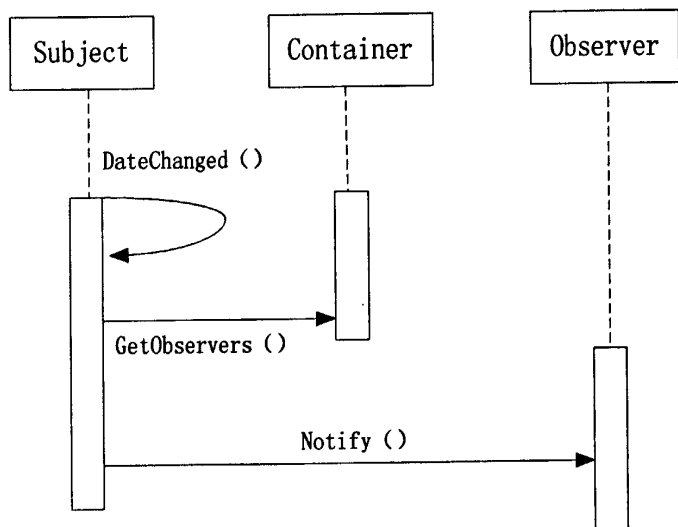


图 4.10 观察者通知

Fig. 4.10 Notification of observer

(3) 在观察者不再需要观察主体时执行的。观察者调用 UnRegister 方法, 并将其自身作为参数进行传递。然后, 主体对容器调用 Remove 方法以结束观察过程。如图 4.11 所示。

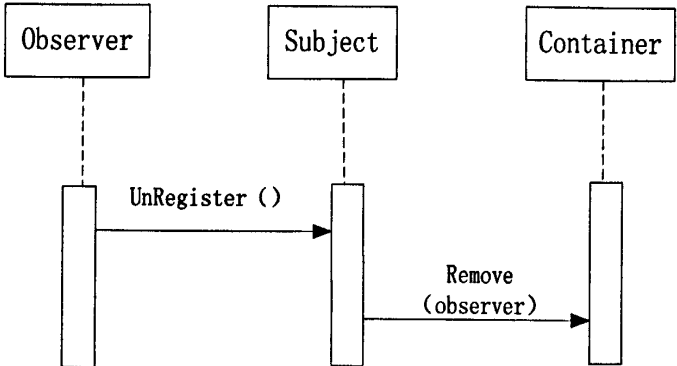


图 4.11 观察者撤销注册

Fig. 4.11 Observer cancels the registration

4.2.4 UI 模块的具体实现

下面通过对话框对用户操作的响应，来说明 UI 模块的具体实现过程。

(1) 界面显示与隐藏

用户要有可操作的界面，就必须先使界面显示出来。由图 4.1ETN 主界面可知，ENT 界面由主框架窗口、视图窗口和对话框组成，其中视图窗口和对话框都是建立在主框架窗口之上，以框架窗口为父窗口，因此视图窗口和对话框的实例化是在主框架窗口中完成的，界面的显示与隐藏也是在此响应的。响应的流程如图 4.12 所示。

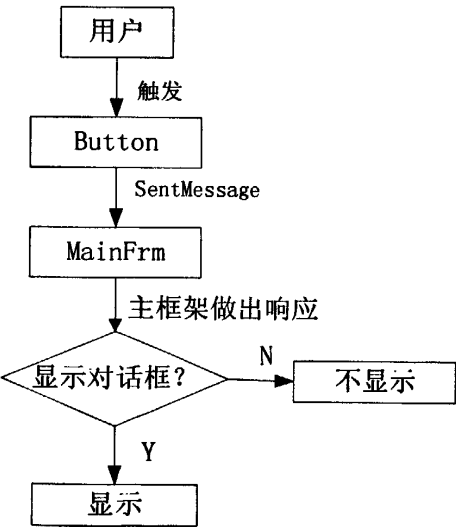


图 4.12 界面响应流程

Fig. 4.12 Flow chart of interface response

Button 是顶部对话框中的一个控件，当用户触发顶部对话框中的一个 Button

控件时，控件做出响应并发送一个消息给主框架窗口，窗口的识别通过窗口句柄，因此要先在顶部窗口注册主框架窗口的句柄，主框架窗口受到消息后，对子类的对话框做出响应。

(2) 界面操作

用户有可操作的界面后，可在对话框中进行有选择的操作，操作及响应的流程图如 4.13 所示。

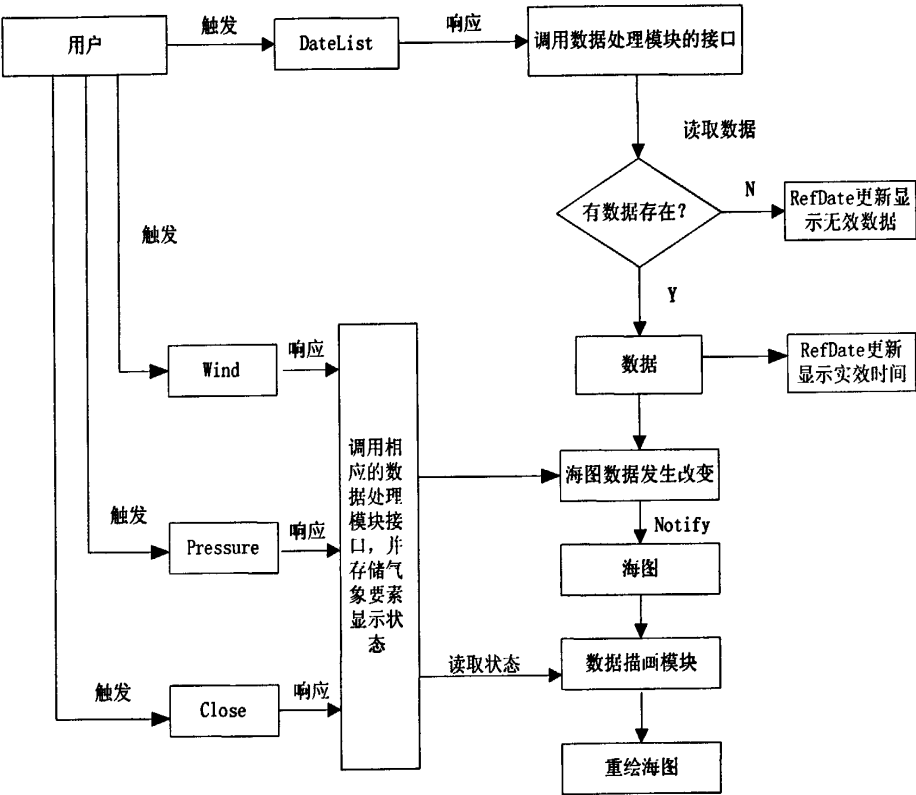


图 4.13 主动操作流程
Fig. 4.13 Flow chart of active operation

用户选择时间段后，对话框对触发这一事件所产生的消息，在消息映射链中的消息响应函数中进行处理，处理的过程即是调用数据处理模块中的接口，建立与时间段相匹配的数据对象，并通知观察者海图，主体海图数据发生变化，重绘海图。

(3) 界面的被动显示

界面的被动显示主要是指，在视图窗口移动鼠标，引起鼠标位置的变化，产生 WM_MOUSEMOVE 消息，并在视图窗口中通过消息处理函数 OnMouseMove()

对消息进行处理。在消息处理函数中，把鼠标点所在的屏幕坐标，以消息的形式发送到气象信息对话框中，对话框接受消息后，同样通过消息处理函数对消息进行处理。处理过程中先把屏幕坐标变换到地理坐标，然后调用数据处理模块中的接口，读取此地理位置所代表的气象数据值，最后在对话框中更新显示数据，流程如图 4.14 所示。

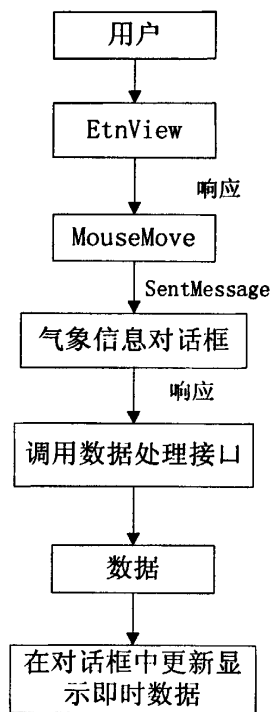


图 4.14 被动显示流程

Fig. 4.14 Flow chart of passive displaying

4.3 数据处理模块的设计实现

数据处理模块是整个气象信息与电子海图叠加系统的核心，为便于更新，本模块以 DLL（Dynamic Link Library，动态链接库）的方式实现。DLL 是一个或多个已被编译、链接过的可执行程序模块，其中封装了可被其他应用程序共享的代码、数据和资源，可在应用程序或其他 DLL 中被调用。动态链接库和其他 C++库不同，它是在运行时和应用程序链接，而不是在编译、链接过程用并应用。当对动态链接库中的内容进行了修改后，只要不改变被调用接口资源的名称，那么使用动态链接库的应用程序就不必做任何修改，便于程序的更新。

4.3.1 GRIB 数据获取

GRIB 数据是通过 Email 方式获取的美国国家气象局发布的一周内每六小时气象预报信息，在每天 UTC 的 0 点更新。

Email 的发送格式为：gfs:5N,50N,99E,148E|0.5,0.5|96|PRESS,WIND

gfs: 美国国家气象局全球预报系统 GFS 发布的数值天气分析和预报的格点场气象信息。

5N,50N,99E,148E: 气象信息的区域为北纬 5 度到 50 度、东经 99 度到 148 度。

0.5,0.5: 气象信息的精细度是 0.5 度×0.5 度。

96: 以现在 UTC 时间的 0 点为基准 96 小时后的预报。

PRESS,WIND: 气象信息包含的气象要素为气压和风场。

4.3.2 GRIB 数据解析

GRIB 数据的是以八位组为单位的，八位组等于八个比特位在 win32 中相当于一个字节，本文是按段进行解析数据，按照记录的单位来保存数据。

(1) 指示段

指示断的内容格式如表 4.1 所示。本段主要是用来说明数据的长度、数据的版本号。

表4.1 指示段内容格式
Tab. 4.1 Content format of indicator section

八位组序号	内容
1-4	GRIB (国际电报字母 5 号码)
5-7	GRIB 文件数据的总长度
8	GRIB 版本号 (本文为 1)

ASCII 有各种不同类型。最重要的一种类型称为 ASCII 扩展。ASCII 扩展将字符转换为 8 位代码 (或 1 个字节)，并使用前 127 个字符代码表示外语字母以及其他有用的符号如那些画正方形的符号。但是 127 以及 127 以下,扩展的 8 位 ASCII 代码相当于标准 7 位 ASCII 代码。ITU-T (ITU-T for ITU Telecommunication Standardization Sector, 国际电信联盟远程通信标准化组织) 称 ASCII 为国际 5 号电报字母表。

具体实现：利用 C 语言的库函数 fopen 以只读方式打开文件，然后利用 fread

函数对文件按字节进行读取，即按八位组的序号读取文件内容。

(2) 产品定义段

产品定义段的主要内容格式如表 4.2 所示。

表4.2 产品定义段内容格式

Tab. 4.2 Content format of product definition section

八位组序号	内容
1-3	段长
4	GRIB表格版本号
5	数据加工中心标识号，码值为7，代表美国国家气象局—NCEP
6	数据加工模式标识号
7	网格定义，在网格描述段中定义
8	标志，如表4.3所示
9	DateType—参数指示码，如表4.4所示
10	DateLevel—层次类型指示码，如表4.5所示
11-12	DateValue—层次的高度、气压等，如表4.5所示
13	参考时间-世纪年，
14	参考时间-月
15	参考时间-日
16	参考时间-时
17	参考时间-分
18	时间单位指示码，本文中使用的码值1，代表小时
19	P1-时间周期
20	P2-时间周期
21	时间范围指示码，本文中使用的码值为10，表示P1用第19和第20个八位组表示，数据的时效为参考时间+P1
25	数据参考时间所在的世纪
27-28	十进制比例因子（D）

表4.3 标志
Tab. 4.3 symbol

比特位	值	意义
1	0	网格描述段省略
	1	包含网格描述段
2	0	位图段省略
	1	包含位图段
3-8	0	

说明：比特位从左到右计数。

表4.4 参数指示码
Tab. 4.4 Parameters instruction code

代码	场参数	单位
002	订正的平均海平面气压	Pa
033	风的U分量	m/s
034	风的V分量	m/s

表4.5 层次类型码
Tab. 4.5 Level type code

代码	八位组 10	八位组11	八位组12
102	平均海平面		
105	特定高度层上	高度单位（m），本文数据为10m高度层上	

本段主要是用来确定数据的来源、数据包含段的省略情况，数据的类型、数据的参考时间、数据所代表的实际时间、十进制比例因子。

具体实现：利用C语言的库函数fseek()，并以第一段的段长为偏移量，找到产品定义段的起始位置，然后利用fread()函数对文件按字节进行读取。

读取第8个字节中的数据data[7]，分别与128和64作与运算判断数据段的省略情况；

数据类型需依次读取data[8]、data[9]、data[10]和data[11]，其中data[10]左移8位与data[11]相加，确定层次类型；参考时间中的年由data[24]减1后乘以100，再加

上data[12]得到，月、日、时和分依次读取data[13]、data[14]、data[15]、data[16]即可；读取第27和第28八位组保存到date[26]、date[27]中，将data[26]左移8位与data[27]相加后即得十进制比例因子的值。

由第21个八位组的内容可知，要得到实际有效时间CurrentDate，要先求出P1所代表的时间，再调用wxWidgets库函数，完成时间的转换。具体过程为调用wxDateTime类中的GetTicks()函数把参考时间转换成以秒为单位的时间，然后将data[18]左移8位与data[19]相加后的结果乘以3600（1小时=3600秒）即得出P1转换为以秒为单位后的时间，最后两者相加。

(3) 网格描述段

网格描述段的主要内容格式如表4.6所示。本段主要是用来确定网格的几何形状：网格的范围、网格是如何制作的。

表4.6 网格描述段内容格式
Tab. 4.6 Content format of grid description section

八位组序号	内容
1-3	段长
6	数据表示类型，码值为0，代表经纬格点-等距离圆柱投影
7-8	Ni—沿纬度圈的格点数
9-10	Nj—沿经度圈的格点数
11-13	La1—第一个格点的维度
14-16	Lo1—第一个格点的经度
17	分辨率和分量标志，如表4.7所示
18-20	La2—最后格点的维度
21-23	Lo2—最后格点的经度
24-25	Di—i方向的增量
26-27	Dj—j方向的增量
28	扫描方式，如表4.8所示

表4.7 分辨率和分量标志
Tab. 4.7 Sign of resolution and component

比特位	值	意义
1	0	没有给出方向增量
	1	给出方向增量
5	0	向量的u、v分量，分别指向东向和北向
	1	向量的u、v分量，分别为定义的网格点沿x、y坐标的增量方向

表4.8 扫描方式
Tab. 4.8 Scanning method

比特位	值	意义
1	0	在+i方向上扫描
	1	在-i方向上扫描
2	0	在-j方向上扫描
	1	在+j方向上扫描
3	0	在i方向上的相邻点是连续的
	1	在j方向上的相邻点是连续的

说明：i方向为沿纬线圈自西向东，或x轴自左向右，j方向为沿经线圈自南向北，或y轴自下向上。

具体实现：利用C语言的库函数fseek()，并以前两段的段长和为偏移量，找到网格描述段的起始位置，然后利用fread()函数对文件按字节读取。网格的几何形状由第六个八位组确定，本文中的值为0，即为经纬格点。

网格的范围由格点的起始点和终止点确定，经纬度都是由三个八位组确定的，其中第一个八位组的最高位为1则是表示南纬或西经，具体过程如下：

- 1) 第一个八位组与0x7F进行与运算，左移16位；
- 2) 第二个八位组左移8位；
- 3) 三个八位组相加。

通过以上运算可得到数据中的起始点为(5°N, 99°E)，终止点为(50°N, 148°E)。

第17个八位组的值为128，相应的二进制比特为10 000 000，由表4.7可得数据中给出了方向增量，向量的u、v分量，分别指向东向和北向；第28个八位组的值为64，相应的二进制比特为01 000 000，由表4.8可得数据在+i, +j方向上扫描、在i方向上的相邻点是连续的。

第7个八位组左移八位与第8个八位组相加得出Ni为99，同理，Nj为91；第24个八位组与0x7F进行与运算，左移8位，再与第25个八位组相加得Di为0.5，同理Dj为0.5，即网格的精度为0.5°×0.5°。

(4) 位图段

位图段的主要内容格式如表4.9所示。本段主要是用来进一步确定网格的中格点数据存在的情况。格点与位图中的比特位一一对应，比特位的取值表示对应格点上的数据是否被省略^[17]。如果本段省略，则说明格点上都存在数据。

表4.9 位图段内容格式
Tab. 4.9 Content format of bitmap section

八位组序号	内容
1-3	段长
4	此段尾部未使用的比特数
5-6	参照表
7-	位图

具体实现：读取第7个八位组到此段段末的所有数据。例如读取7到9个八位组的数据，其相应的二进制比特为110 111 111 100 111 111 110 111，从中可以得出第3、11、12、21比特位为0，相应的格点数据被省略。

(5) 数据段

数据段的主要内容格式如表4.10所示。本段主要是解压缩出格点中数据的实际值。

表4.10 数据段内容格式
Tab. 4.10 Content format of data section

八位组序号	内容
1-3	段长
4	标志，前四位如表4.11所示，后四位表示断尾未使用的比特位数
5-6	比例因子(E)
7-10	基准值(R)
11	全部被压缩数据所占比特位的位数
12-	变量值

表4.11 数据段标志表
Tab. 4.11 Sign of data section

比特位	值	意义
1	0	格点数据
	1	球谐函数系数
2	0	简单压缩
	1	复杂或二级压缩
3	0	原始数据用浮点数表示
	1	原始数据用整形数表示

具体实现：利用C语言的库函数fseek()，并以前四段的段长和为偏移量，找到网格描述段的起始位置，然后利用fread()函数对文件按字节读取。

段长由三个八位组确定的，具体过程为：第一个八位组左移16位，第二个八位组左移8位，然后三个八位组相加的值保存到变量SectionSize4中。

第4个八位组的值为13，相应的二进制比特为00 001 101，由表4.11可得数据是格点数据、压缩方式为简单压缩、原始数据用浮点数表示。断尾未使用的比特位数为13。

第5个八位组左移8位与第6个八位组相加可得比例因子E。

基准值R用四个完整的八位组表示，其中第一个八位组的第一个1比特位为符号位用s表示，剩下的7个比特位为特征值用A表示；第二、三、四个八位组为尾数用

B表示。R与s、A、B的关系如下：

$$R = (-1)^s \times 2^{-24} \times B \times 16^{(A-64)} \quad (4.16)$$

第7个八位组与0x80作与运算即得s，与0x7F作与运算即得A，同获取段长值的方法可得到B的值，最后经运算得到R的值。

第11个八位组的值为11，说明每个压缩数据所占比特位的位数为11，并保存到变量BitsInPack。

由公式4.16可推导出实际值Y的解码公式4.17

$$Y = (R + X \times 2^E) / 10^D \quad (4.17)$$

实际值Y获取步骤如下：

- 1) 定义浮点型指针data，为指针data分配大小为(Ni×Nj)的浮点型数组内存，用来存放实际值Y；
- 2) 定义字符型指针buf，为指针buf分配大小为(SectionSize4-11)的字符型数组内存，用来存放从第12个八位组到断尾的数据；
- 3) 验证格点的数据是否存在；
- 4) 对buf中的数据，每BitsInPack位读取一次；
- 5) 通过公式4.17，计算出X值，存储到data中。具体的流程图如图4.15所示。
- (6) 结束段

结束段由4个八位组的国际电报字母5号码7777组成，标志着一个记录的结束。

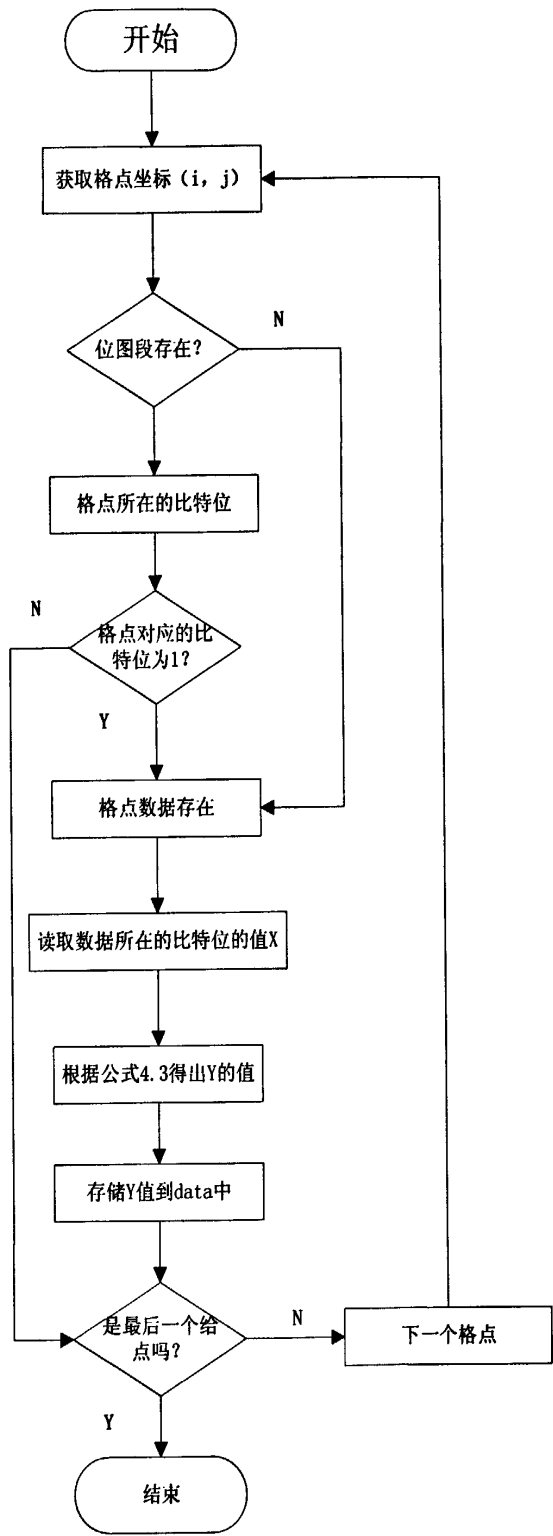


图4.15 解压缩流程图

Fig. 4.15 Flow chart of uncompressing

4.3.3 GRIB 数据的存储与读取

GRIB数据的存储与读取都是以记录为单位，由记录中的产品定义段可知，每一个记录都有自己唯一的数据类型，即DataType、DateLevel 和DateValue。通过这三个变量的值，即可确定记录中数据是什么场的。而要得到某一时时间段的记录，则需要对所有记录按照时间段即实效时间CurrentDate分类。本文采用STL(Standard Template Library，标准模板库) 完成对GRIB数据的存储与读取。

STL是一组模板类和函数，向程序员提供了存储信息的容器、访问容器存储的信息的迭代器和操作容器内容的算法。容器是用于存储数据的STL类，STL提供了两种类型的容器类：关联容器和顺序容器。在STL中迭代器是模板类，从某种程度上来说，它们是泛型指针，能够使程序员完成对容器的操作。

顺序容器是按顺序存储数据，主要有向量(vector)，双端队列(deque)，表(list)，队列(queue)，堆栈(stack)五种类型。其中vector提供了动态数组的功能，可以用常数时间访问和修改任意元素，在序列尾部进行插入和删除时，具有常数时间复杂度，对任意项的插入和删除就有的时间复杂度与到末尾的距离成正比。

关联容器按指定顺序存储数据，主要有集合(set)，多重集合(multiset)，映射(map)，多重映射(multimap)四种类型^[56]。其中map容器是键-值一一对应的容器，由{键，值}对组成的集合，每一个值都对应唯一的键。

(1) GRIB数据存储

GRIB数据的存储以记录为基本单位，通过唯一的键值Key来识别记录。Key是由DataType、DateLevel 和DateValue决定的。键-值对应表如表4.12所示。

表4.12 键-值对应表

Tab. 4.12 Mapping table of key and value

数据类型	键 (Key)	值 (Value)
DataType=2、DateLevel=102、 DateValue=0	2-102-0	平均海平面气压记录
DataType=33、DateLevel=105、 DateValue=10	33-105-10	高度为10m，风的U分量记录
DataType=34、DateLevel=105、 DateValue=10	34-105-10	高度为10m，风的V分量记录

本文中的GRIB数据是通过一个单独的文件，包含某一个时间段的所有记录。例如文件名为20110510018.grb，其含义为以UTC时间2011年5月10日0时为参考时间，18小时后的气象信息。GRIB数据存储到内存中是使用map容器，然后根据不同的Key存储GRIB整个数据。

(2) GRIB数据读取

GRIB数据的读取与存储正好相反，先通过匹配文件名来判断，用户所要查询的实效时间是否有数据存在。如果数据不存在，则反馈给UI模块，显示无数据存在；数据存在，则通过Key读取相应的记录，然后根据用户需要，叠加到海图上。

4.3.4 GRIB 数据的插值

由上述网格描述段可知GRIB数据的类型是经纬度格点，相邻格点间的经度差和纬度差都是等值的，因此格点的值时离散的，要想知道格点间的任意值，就必须进行插值运算。

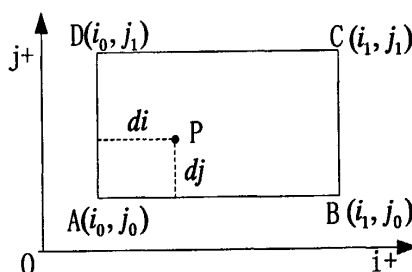


图4.16 插值示意图

Fig. 4.16 Interpolation schemes

如图4.16所示，假设有一点P，在网格中与其最近的四个格点分别为A、B、C和D。P点的地理坐标为 (Px, Py) ，第一个格点的维度为 $La1$ 、第一个格点的经度为 $Lo1$ ，i方向的增量为 Di 、j方向的增量为 Dj ，则A、B、C和D在网格中的位置为：

$$\begin{cases} i_0 = \left\lfloor \frac{Px - Lo1}{Di} \right\rfloor \\ j_0 = \left\lfloor \frac{Py - La1}{Dj} \right\rfloor \end{cases} \quad (4.20)$$

$$i_1 = i_0 + 1; j_1 = j_0 + 1 \quad (4.21)$$

则可推算出A、B、C和D的值分别为 Y_A 、 Y_B 、 Y_C 和 Y_D ， di 、 dj 分别为：

$$\begin{cases} di = \frac{Px - Lo1}{Di} - i_0 \\ dj = \frac{Py - La1}{Dj} - j_0 \end{cases} \quad (4.22)$$

根据伪Hermite插值得：

$$\begin{cases} Y_i = 3 \times di^2 - 2 \times di^3 \\ Y_j = 3 \times dj^2 - 2 \times dj^3 \end{cases} \quad (4.23)$$

则P点的值 Y_P 为：

$$Y_P = (1 - Y_j)[(1 - Y_i) \times Y_A + Y_i \times Y_B] + Y_j[(1 - Y_i) \times Y_D + Y_i \times Y_C] \quad (4.24)$$

4.4 数据描画模块的设计实现

本文中的气象信息包括两种气象要素风场、气压，因此本小节主要分为两大部分风场数据的描画、气压数据的描画。

4.4.1 风标符号的设计

风是表示空气水平运动的物理量，是航海者最关心的一种天气现象，它可直接影响到海上船舶的安全。风是向量，既有大小成为风速，又有方向称为风向。气象的风速风向符号是一个比较特殊的符号，其形状随风速风向的变化而变化^[5]。气象学上用风标表示当前的风速和风向。风标由两部分组成：风向杆和风羽。风向杆的长度确定，但方向随风向变化^[5]。风标如图4.17所示。

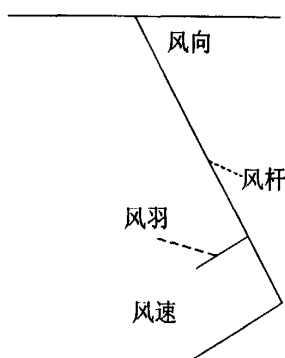


图4.17 风标图

Fig. 4.17 Diagram of weathervane

风速值用在风向杆上的用风羽符号表示，其一般规则为半个直线型的风羽表示为1-2m/s，一个直线型的风羽表示为3-4m/s，一个三角型的风羽表示为19-20m/s。当风速不大于1m/s时，只用风向杆表示。将风向杆上所有风羽的值加起来，总和就是风速值。例如当风速是4-5m/s时，其表示为一个直线型风羽和半个直线型的风羽。当风速为21-22米/秒时，其表示为一个三角型风羽和半个直线型的风羽。图4.20的风速值为4-5m/s。风速符号如图4.20所示。


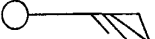
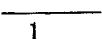
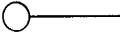
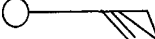
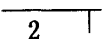
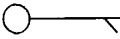
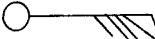
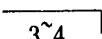
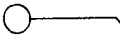
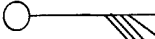
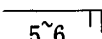


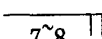

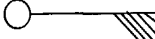
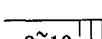

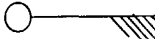
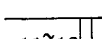

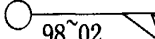
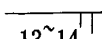

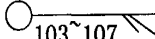
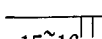
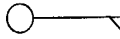
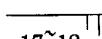
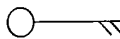
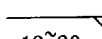
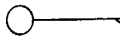
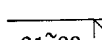
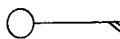
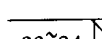
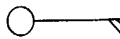
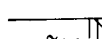
国际形式				中国习用	
符号	单位 Kn	符号	单位 Kn	符号	单位 m/s
	0		63~67		1
	1~2		68~72		2
	3~7		73~77		3~4
	8~12		78~82		5~6
	13~17		83~87		7~8
	18~22		88~92		9~10
	23~27		93~97		11~12
	28~32		98~02		13~14
	33~37		103~107		15~16
	38~42				17~18
	43~47				19~20
	48~52				21~22
	53~57				23~24
	58~62				25~26

图4.18 风速图

Fig. 4.18 Diagram of wind speed

从图4.18可以看出来,国际的和我国的表示的风速符号,在等级的划分和符号的表示上区别较大,本文中采用的是中国习用的风速符号。

风向是指风来的方向。航海中的风向常用16方位或度数表示,以0°表示正北,90°表示正东,180°表示正南,270°表示正西。在16个方位中,每相邻方位间的角度差为22.5°,由此可以推算出图4.20的风向为东南风。风向如图4.19所示。

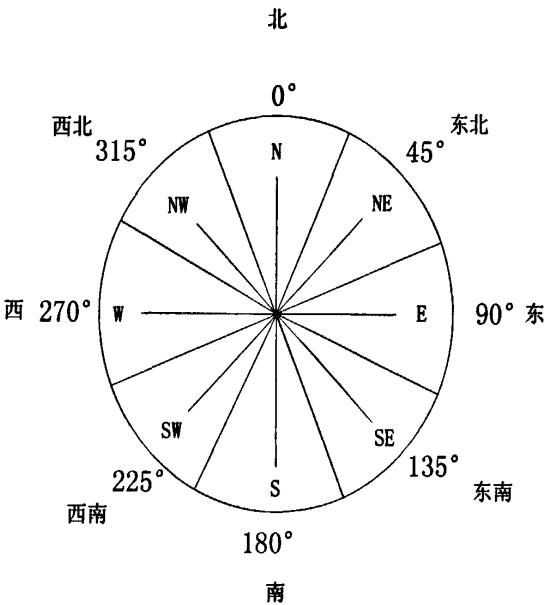


图4.19 风向图

Fig. 4.19 Diagram of wind direction

4.4.2 风标符号的计算

(1) 风向和风速的计算

风是向量,既有大小称为风速,又有方向称为风向。本文中的风场数据为风的u分量和风的v分量,即风的东向分量 VX 和北向分量 VY 。风速的值 V 的计算公式为:

$$V = \sqrt{(VX)^2 + (VY)^2} \tag{4.25}$$

在航海中的,风向零度表示为正北风,其角度按顺时针方向增加,在几何学上的笛卡尔坐标系中的角度则是以X轴为零度,按逆时针方向增加,在屏幕默认的坐标系中是以X轴为零度,其角度按照顺时针增加,并与航海中的风向角相差90度。具体关系如表4.13所示:

表4.13 角度关系图

Tab. 4.13 Relationship between different angles

风向	0	45	90	135	180	225	270	315
几何	90	45	0	315	270	225	180	135
屏幕	270	315	0	45	90	135	180	225

假设 α 为几何角度, β 为屏幕角度, θ 为风向角度则由上表可知:

$$\begin{cases} \alpha + \beta = 360^\circ & \alpha \neq 0^\circ, \beta \neq 0^\circ \\ \alpha + \beta = 0^\circ & \alpha = \beta = 0^\circ \end{cases} \quad (4.26)$$

$$\begin{cases} \beta + 90^\circ = \theta & 0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ \\ 360 - \beta - 90^\circ = \theta & 270^\circ \leq \beta \leq 315^\circ \end{cases} \quad (4.27)$$

由以上公式4.26和公式4.27可推出公式4.28和公式4.29:

$$\phi = 90^\circ + \left(\arctan\left(-\frac{VX}{VY}\right) \times \frac{180^\circ}{\pi} \right) \quad (4.28)$$

$$\begin{cases} \phi - 360^\circ = \theta & \phi > 360^\circ \\ \phi + 360^\circ = \theta & \phi < 360^\circ \end{cases} \quad (4.29)$$

(2) 风杆和风羽坐标的计算

风标符号的描画重点在于计算出风杆和风羽的坐标点, 如图4.20所示。

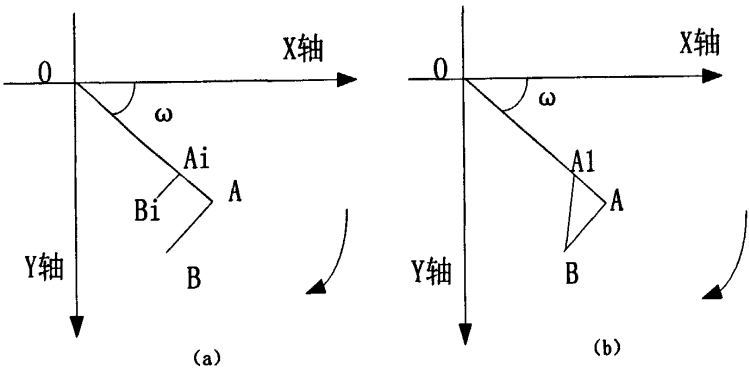


图4.20 风标图

Fig. 4.20 Diagram of weathervane

假设一格点数据W的屏幕坐标为W (win_x, win_y), 格点数据风场的u分量和风的v分量分别为VX 和VY, 则 ω 为:

$$\omega = \arctan\left(-\frac{VX}{VY}\right) \quad (4.30)$$

如图4.22 (a), 假设 OA 为风杆, 长度为 L ; AB 为风羽, 长度为 R ; A 点与 A_i 点的距离为 D , i 为风羽的个数, 则 A_i 、 B_i 的坐标为:

$$\begin{cases} win_x + (L - D \times i) \times \cos \omega = x_{A_i} \\ win_y + (L - D \times i) \times \sin \omega = y_{A_i} \end{cases} \quad 0 \leq i \leq 4 \quad (4.31)$$

$$\begin{cases} x_{A_i} - r \times \sin \omega = x_{B_i} \\ y_{A_i} + r \times \cos \omega = y_{B_i} \end{cases} \quad (4.32)$$

根据风速的值, 当需要画一个直线型风羽时 $r = R$; 当为半个直线型的风羽时 $r = R/2$ 。

当风速大于 19 m/s 时, 风标符号如图 4.22 (b) 所示, 则此时 A_1 点的坐标为:

$$\begin{cases} win_x + (L - 3D) \times \cos \omega = x_{A_1} \\ win_y + (L - 3D) \times \sin \omega = y_{A_1} \end{cases} \quad (4.33)$$

4.4.3 风场数据描画的实现

本文中风场数据的获取是通过数据处理模块中的接口得到每个格点的经纬度坐标, 然后通过坐标变化, 得到格点的屏幕坐标。为防止在海图缩放过程中, 风标的重叠, 设置一固定值 20 像素, 只有当两个格点间的屏幕坐标大于这一固定值时, 此格点才能被描画。

格点确定好后, 再次调用数据处理模块中的接口, 得到格点风场的 u 分量和风的 v 分量。通过公式 4.16 和公式 4.21 可得到风速值和风标在屏幕坐标中的夹角。通过风速值又可以判断出风羽的个数 i 和风羽的形状是三角型风羽、半个直线型的风羽还是一个直线型风羽, 并求出风羽和风杆的坐标。

坐标确定好后, 直接调用 windows API 中的 `MoveToEx()` 和 `LineTo()` 函数, 在海图对风羽进行描画, 完成风场的叠加, 具体流程如图 4.21 所示。

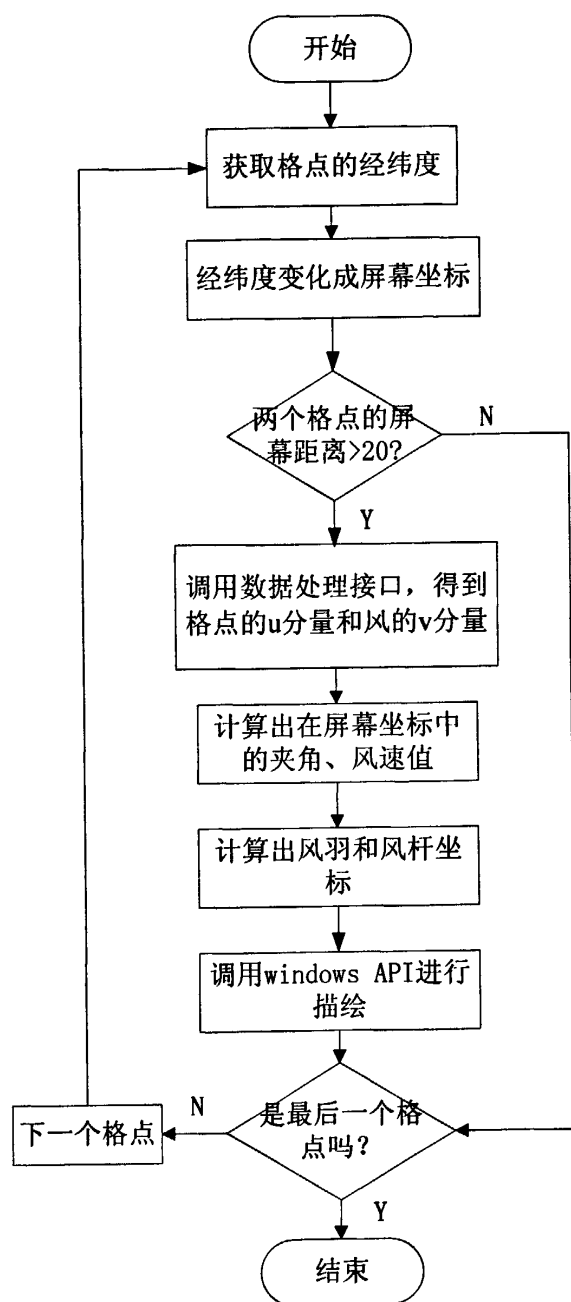


图4.21 风场描画流程图

Fig. 4.21 Flow chart of wind field drawing

4.4.4 气压数据描画的设计

本文中格点数据包含的另外一个气象要素是平均海平面气压, 为完成气压数据的图形化处理, 本文把气压数据描绘成等压线, 即等值的气压线, 属于等值线的一种。

等值线生成的基础理论是计算机图形学中的空间插值理论。其基本假设是：空间位置上越靠近的点，越有可能具有相似的特征值；而距离越远的点，其特征值相似的可能性越小。并认为这些特征值的空间变化是平滑的，且服从某种分布概率和统计稳定性关系。

对于二元函数 $Z = f(x, y)$ (Z 值的物理意义随不同的问题的要求的不同而不同，可能性是温度、应力、气压、高程等等)，若给定函数值 $Z = value$ ，则其图像是一条平面曲线。此曲线上所有的点具有相同的竖坐标值，这样的曲线称为等值线。改变 Z 值可以得到许多等值线，将这些等值线沿 z 方向正投影到一个与 xoy 面平行的平面上，则可得到一幅等值线。

从计算机图形学的角度来说，等值线具有以下性质^[57]：

- (1) 等值线通常是一条光滑的连续曲线。
- (2) 对于给点的某个高程值 Z ，相应的等值线可能不止一条。
- (3) 由于区域是有界的，等值线可能是闭合的，也可能是不闭合的。
- (4) 等值线一般不相互交错。

等值线的生成大体要经过等值线数据计算、等值点的追踪、等值线的描绘三步。本文中生成过程主要使用COM技术来实现的，通过调用COM组件完成。

4.4.5 气压数据描画的关键技术

COM (Component Object Model) 是组件对象模型，是一种以组件为发布单元的对象模型，是微软公司推出的组件标准^[58]。该标准的规范部分定义了组件与组件之间的通信机制，组件与组件之间的交互不依赖于任何一种特定的语言和任何一种操作系统，在依照规范的前提下，任何语言都可以使用。

标准的实现部分是COM库，COM库实现了一些API，也定义了一些不同的接口，为COM规范的具体实现提供一些核心服务。常用的API有：CoInitialize()函数用来初始化COM库、CoUnInitialize()函数用于关闭COM库、CoCreateInstance()函数用于创建一个对象类的实例，其内部封装其他COM中预定义的函数和接口方法^[59]。

对象是COM的基本要素。对象是某个类的实例，而类则是一组是相关数据和功能组合在一起的一个定义^[60]。每一个类对象都有与之相关的类标识 (clsid)。COM对象包括属性和方法。对象对外界提供的接口就是对象的方法，接口是对象

与外界交互的唯一途径。客户必须通过接口才能获得服务。

接口是COM的另一个要素。接口是一组逻辑上相关联的函数集合，函数被称为接口函数。COM的每个一个接口都有一个128位的全局标识符GUID（Globally Unique Identifier）。客户通过GUID获取接口指针，再通过指针调用相应的成员函数。其中最基本的是IUnknown和IClassFactory接口，IUnknown中的QueryInterface方法可以区分不同的接口，IClassFactory接口中的CreateInstance方法用于创建对象、Release方法用于释放对象，这两个方法被包装在API—CoCreateInstanc()函数中。

COM组件是以动态连接库（DLL）或可执行文件（EXE）形式发布的二进制代码^[60]。使得COM组件能够确保不同厂商、不同语言编写的应用直接的互操作性。COM组件的使用流程如图4.22所示。

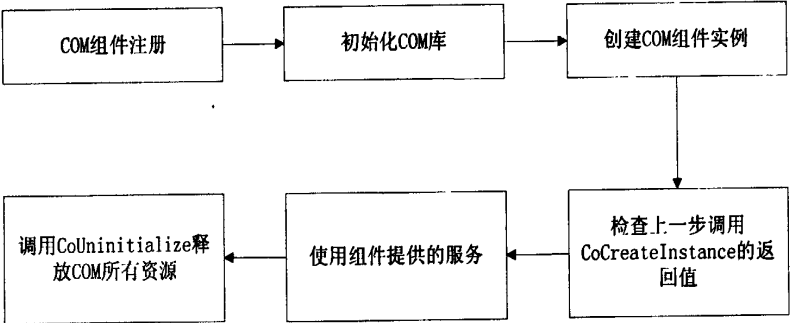


图4.22 COM组件使用流程图

Fig. 4.22 Flow chart of COM component usage

4.4.6 气压数据描画的实现

气压等值线COM组件封装了实现等值线生成的各种类对象的接口函数，这些函数完成了等值点的计算、等值点的搜索、等值线的搜索、等值线的标注等服务^[5]。本文的等值线的生成算法主要通过在VS2008中调用气压等值线COM组件实现的。在实现中使用COM组件中的主要类及类实例化的对象和对象提供的服务如表4.14所示。

表4.14 COM组件

Tab. 4.14 COM component

COM类	实例化对象	服务
IGridData	pGridData	存储网格数据
IContourTool	pContourTool	生成等值线的集合
IContourLineData	pContourLineData	等值线的集合
IContourLine	pContourLine	一条等值线
IContourLevel	pContourLevel	等值线集合的所有等级
IContourLabelData	pContourLabelData	等值线标注的集合
ILabelTool	pLabelTool	生成等值线标注的集合
ContourPoint	pContourPoint	等值线中的一个点
ContourLabel	pContourLabel	一个等值线标注

气象信息中气压数据等压线的具体实现步骤为：

- (1) 注册等值线COM组件Contour.dll，注意Contour.dll要放到当前程序目录下。
- (2) 初始化COM库，实例化类对象，并检查COM是否连接成功。
- (3) 获取当前显示区域的大小，以间隔为10个像素点，初试化网格，可以推算出每个网格点的坐标。由屏幕坐标变换为经纬度坐标，再从数据处理模块读取每个点的值，放到相应的网格中。
- (4) 设置需要描画的等值线的等级，即等压线值。在我国地图上，等压线每隔2.5hPa画一根，例如997.5、1000.0、1002.5hPa等。
- (5) 根据网格数据和相应等值线等级，生成等值线的集合，即等压线的所有集合。
- (6) 设置等值线标注的间隔，并依据生成的等值线集合，生成等值线标注的集合。集合中包含所有标注点。
- (7) 按条从等值线集合中取出等值线。
- (8) 按顺序取出一条等值线中的所有等值点。
- (9) 把等指点按顺序在海图上描画出，完成等压线的叠加。
- (10)从等值线标注集合中取出每一个标注。

- (11) 将标注以字符串的形式在海图上标注。
- (12) 释放COM所有资源。具体流程如图4.23所示。

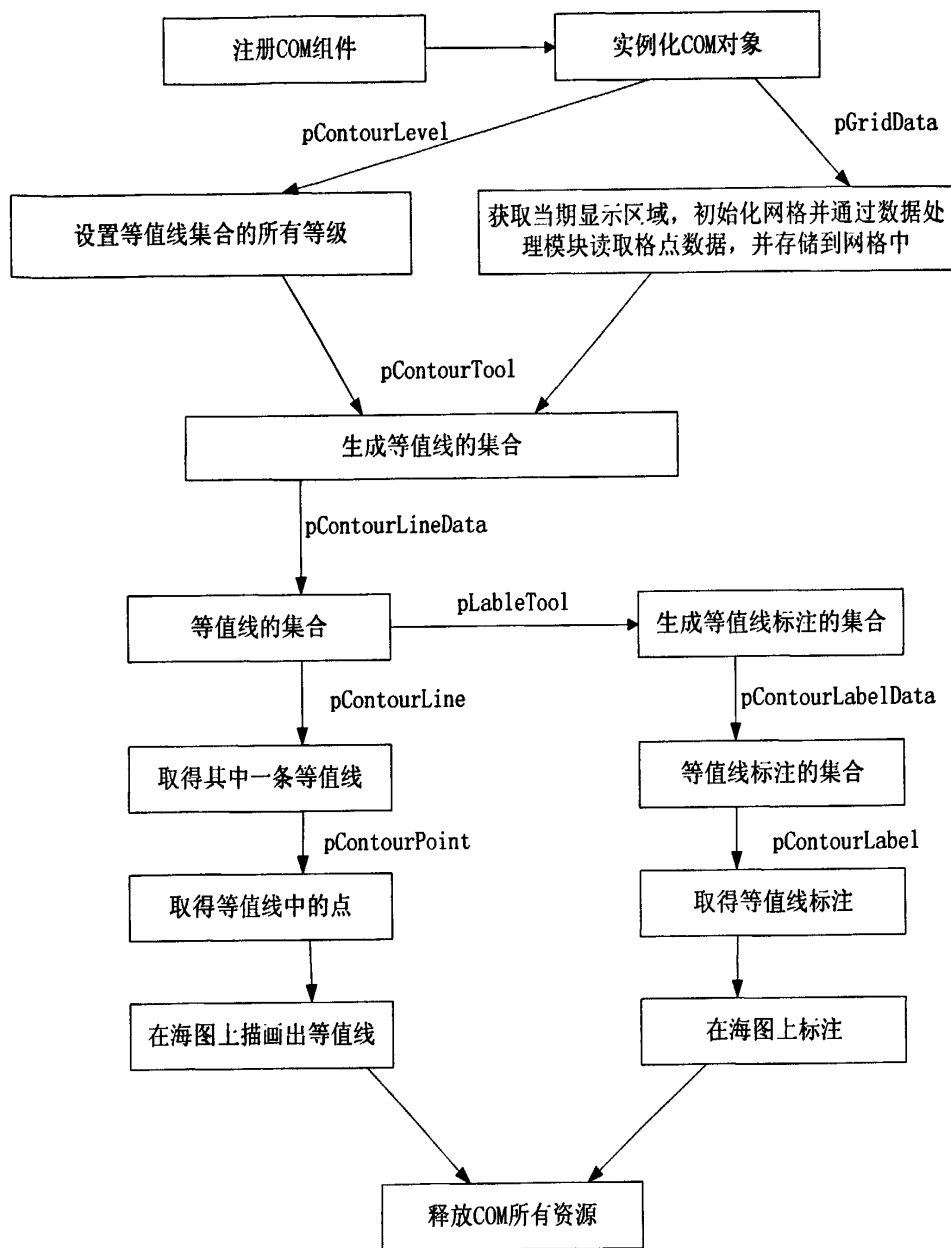


图4.23 COM组件使用流程图

Fig. 4.23 Flow chart of COM component usage

4.5 本章小结

本章是全文的重点，详细介绍了气象信息与电子海图叠加的设计实现。首先介绍了坐标变换的设计实现，实现了屏幕坐标与地理坐标的相互变换，为其后的模块实现奠定了基础。其次介绍了UI模块的设计实现，UI模块是人机交互的核心，通过此模块实现了人机交互。再次介绍了数据处理模块，此模块是整个章节的重点，原始数据的处理和模块之间的交互几乎都要经过此模块。最后介绍了数据描画模块的设计实现，数据描画模块又分为风场数据描画和气压数据描画。风场数据的描画，具体的说是通过把一个个风标符号叠加到海图上完成的，而气压数据的描画则是通过调用等值线COM组件中的接口，完成等压线与电子海图的叠加，最终实现了气象数据的图像化和可视化处理。

第 5 章 气象信息与电子海图叠加的实现结果

5.1 界面显示

依据 4.2 小节中对界面的设计与实现，本文给出了最后的实现结果。图 5.1 为 ETN 主界面。

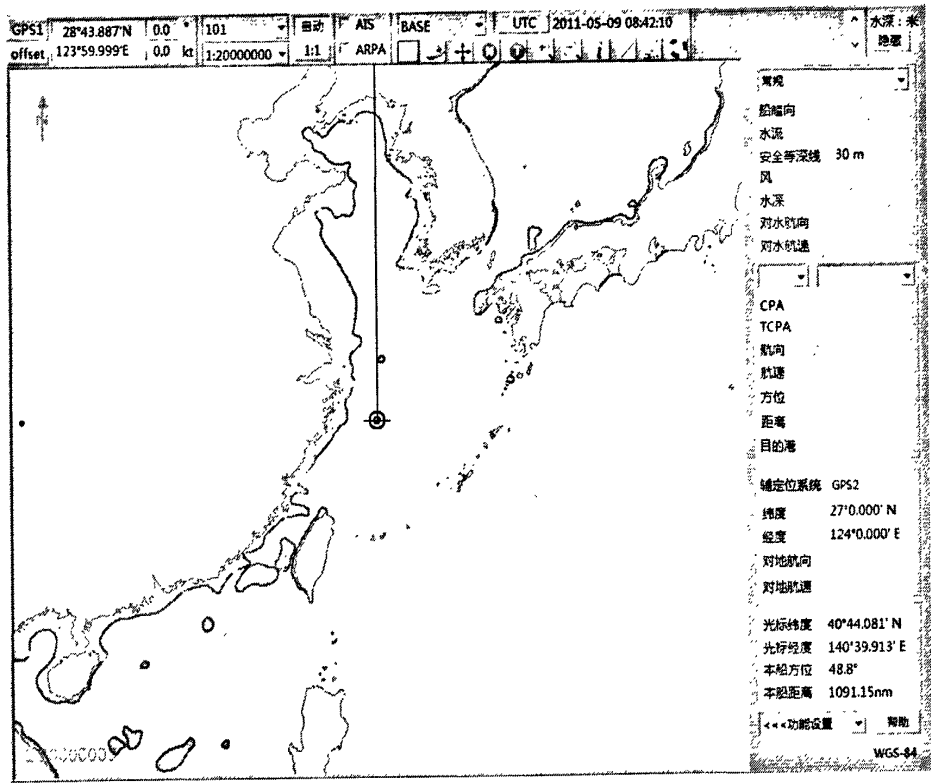


图5.1 ETN主界面图

Fig. 5.1 Main interface of ETN

图 5.2 为与用户交互的气象信息对话框。与 4.2 小节中的设计相符，并且满足系统设计的标准性原则和人机交互性原则。

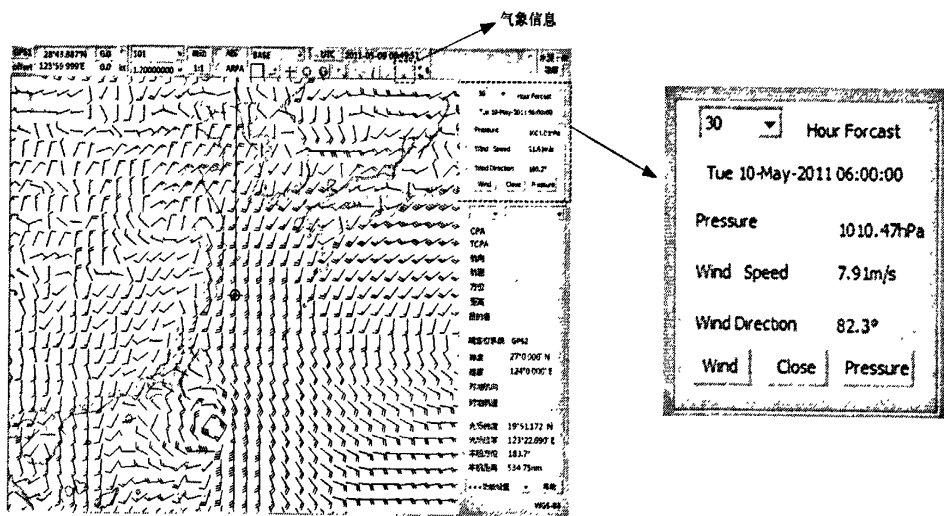


图5.2 气象信息对话框

Fig. 5.2 Dialog box of meteorological information

5.2 叠加显示

5.2.1 气压数据叠加

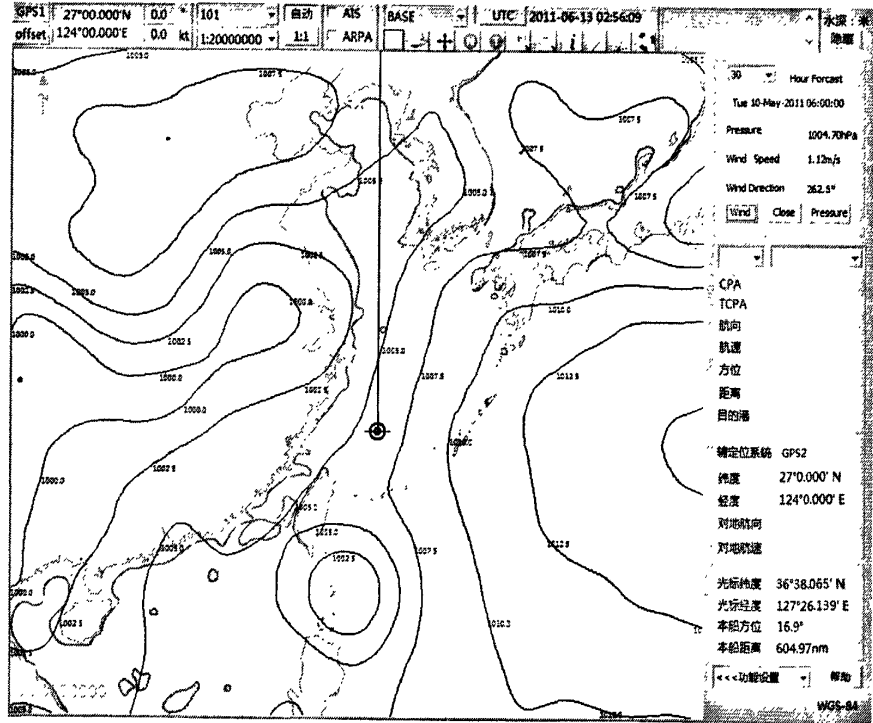


图5.3 等压线图

Fig. 5.3 Chart of isobar

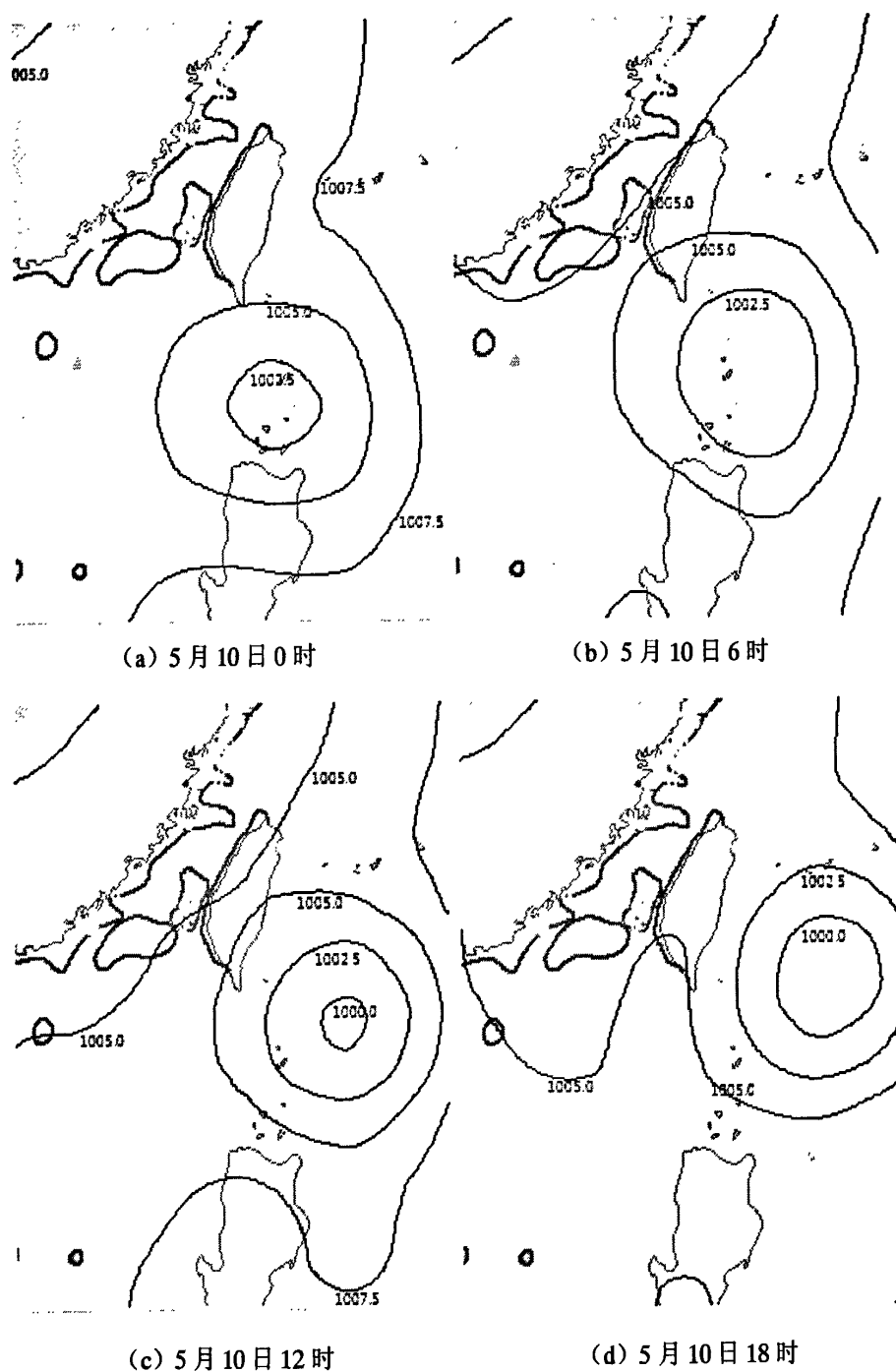


图5.4 等压线对比图

Fig. 5.4 Comparison diagram of isobar

5.2.2 风场数据叠加

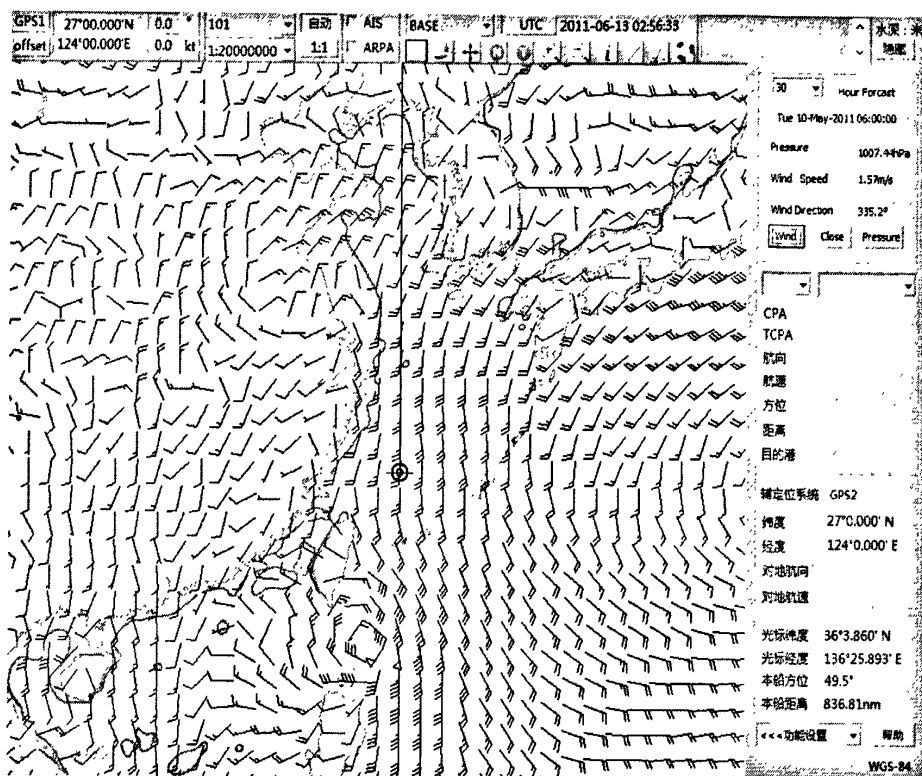
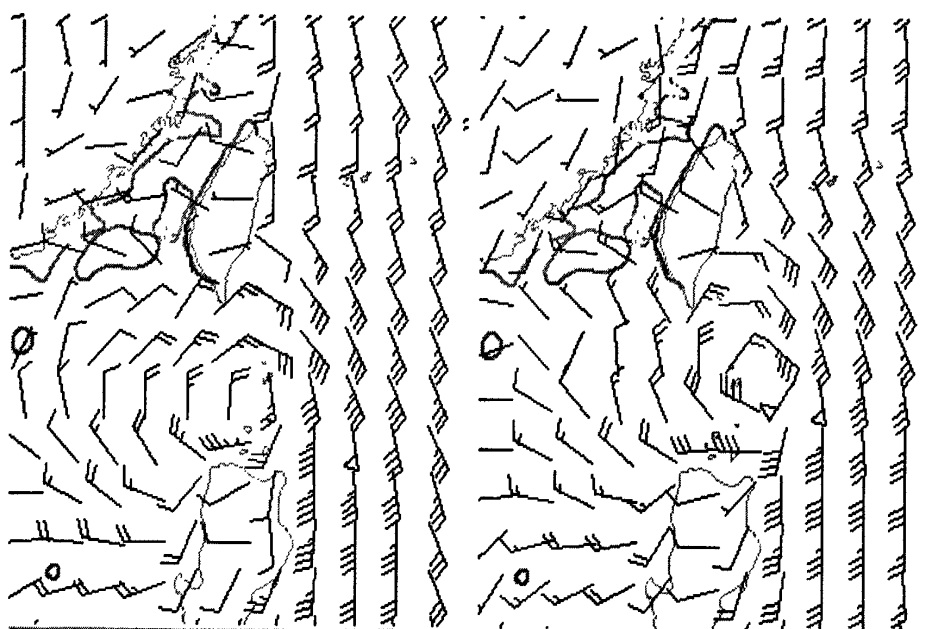


图5.5 风场图

Fig. 5.5 Chart of wind field



(a) 5月10日0时

(b) 5月10日6时

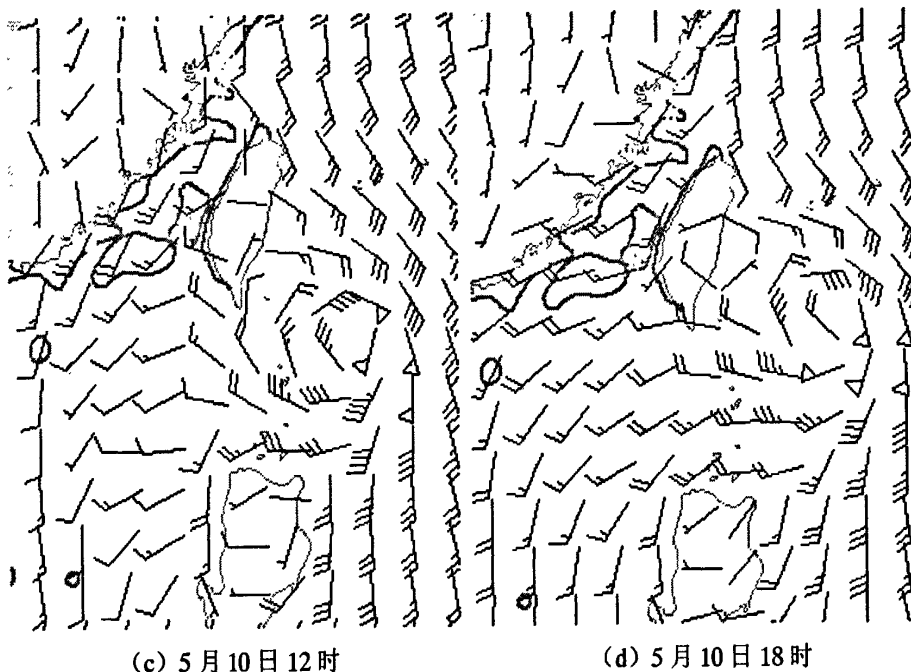


图5.6 风场对比图

Fig. 5.6 Comparison diagram of wind field

5.2.3 气象数据叠加

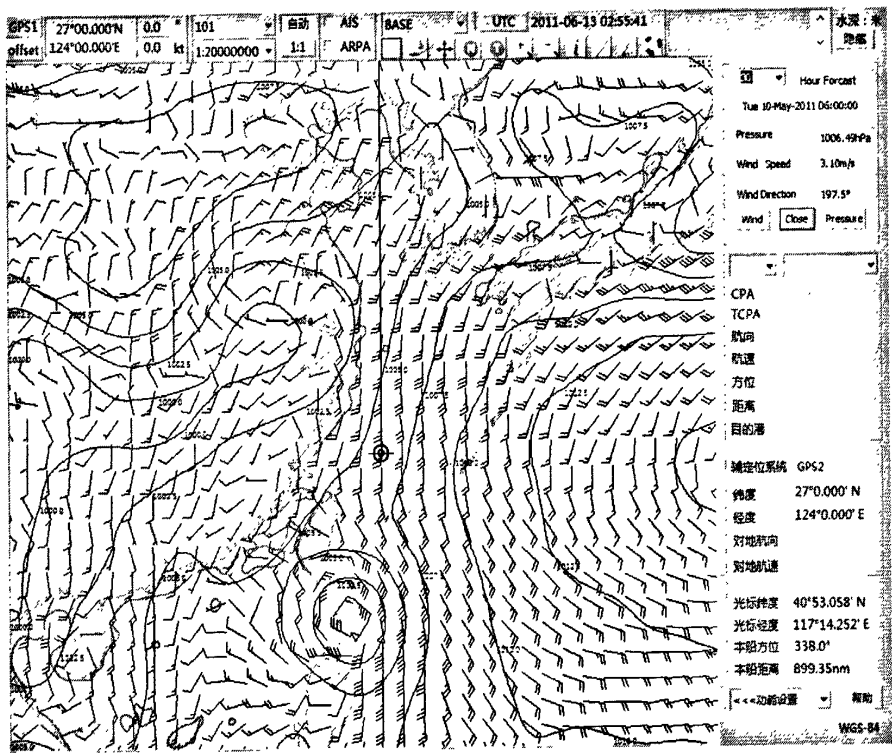


图5.7 气象信息图

Fig. 5.7 Chart of meteorological information

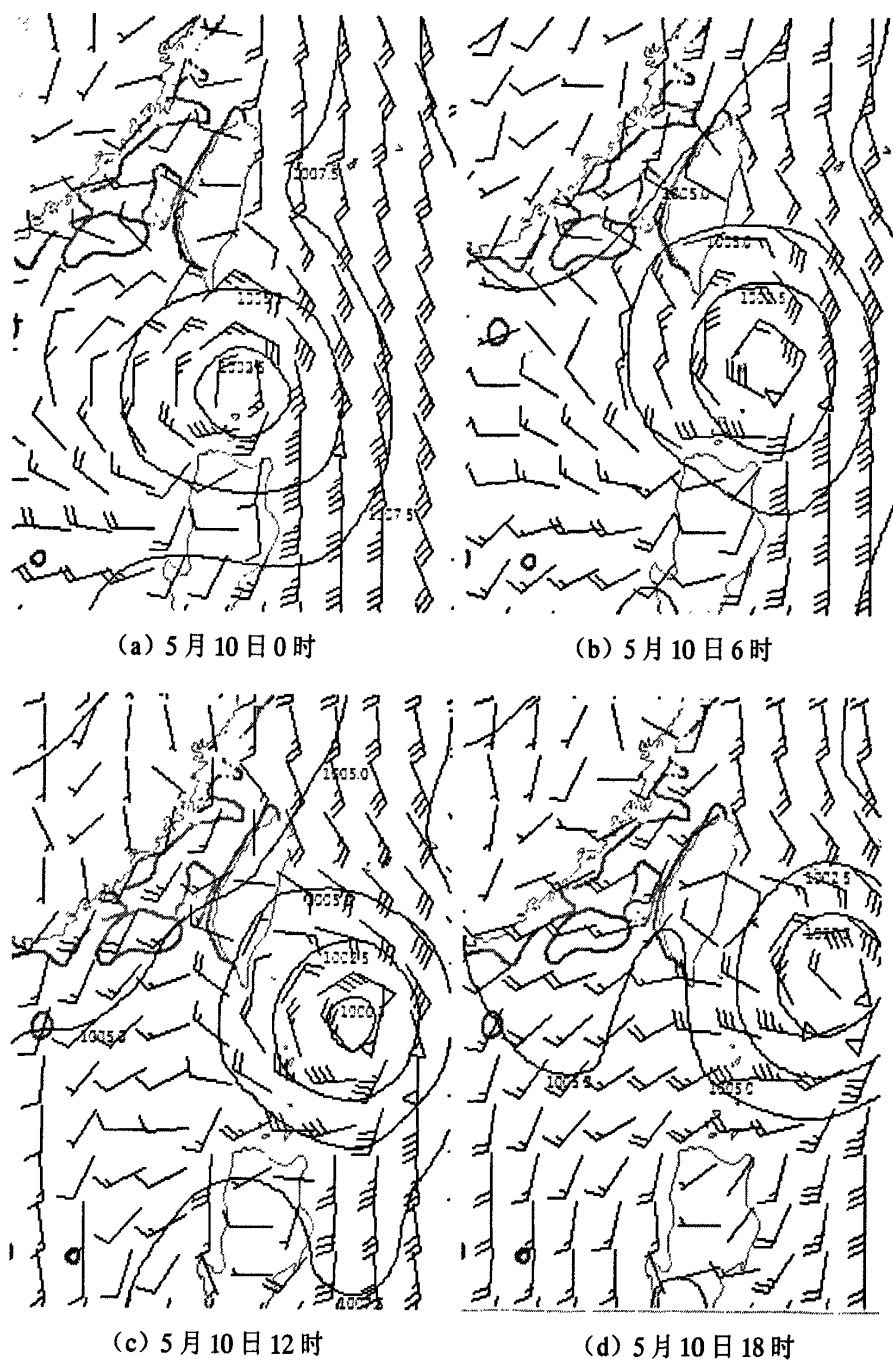


图5.8 气象信息对比图

Fig. 5.8 Comparison diagram of meteorological information

结 论

本文在国家船舶导航工程研究中心设计研发的电子海图显示与信息系统的基礎上,利用 VS2008 开发工具设计并实现了气象信息与电子海图叠加的功能,完成对 GRIB 编码的气象信息的解析、标识并与电子海图叠加,为船舶驾驶人员提供图像清晰,操作简单的护航信息,有效地保证航线安全。

现将所做的主要工作总结如下:

- (1) 分析了气象信息与电子海图显示与信息系统的国内外发展、研究现状及课题的研究意义。
- (2) 深入学习了气象信息中 GRIB 数据的数据结构、编码格式及压缩原理。
- (3) 在熟悉 VS2008 开发环境的基础上,采用 C++ 语言,完成了坐标变换的设计实现。
- (4) 在 VS2008 开发环境下构建了人机交互界面,完成气象数据的解析,并对解析完的数据进行图像化和可视化处理,最后叠加到海图上。

本设计可以完善的地方包括以下两方面:

一方面,气象数据不能自动从 Email 上下载,可以创建一个下载模块完成数据的自动下载,并保存到指定的目录中。

另一方面,气象信息中的压强信息在海图上叠加后,海图刷新速率有所下降,可以再次优化等压线生成算法,以加快海图刷新速度。

由于作者水平和时间有限,本文中的错误和不足之处在所难免,在此恳请各位专家老师批评指正。

参 考 文 献

- [1] 邓洪章. IMO 航行安全分委会第 51 次会议关于 AIS VDR ECDIS 的报告. 船舶, 2006, (3):58-60.
- [2] 张吉平. IMO 航海新技术应对策略. 大连海事大学学报: 自然科学版, 2004, (4):35-38.
- [3] 徐铁. 电子海图数据库及其索引技术研究. 上海海运学院, 2003.
- [4] 马小方. 构筑于 AIS-ECDIS 技术集成的海上安全信息系统的设计与实现. 上海海事大学, 2004.
- [5] 刘渐道. 基于 Web 电子海图的海洋气象信息处理与显示系统. 大连海事大学, 2009.
- [6] 金奎光. 基于网格的 ECDIS 气象信息平台的研究. 大连海事大学, 2009.
- [7] 孙秀彬等. GRIB 码的压缩原理及其算法. 气象, 1992, (9):48-51.
- [8] 王安国等. ECDIS 的现状及其发展趋势. 航海技术, 1999, (3):30-33.
- [9] 戚晓丽等. ECDIS, AIS 和 VTS. 世界海运, 2002, (4):17-18.
- [10] 任松涛等. ECDIS 的功能与应用. 广州航海高等专科学校学报, 2005, (1):19-21.
- [11] 侯丹伶. 深化“三个服务”理念推进海事航测工作又好又快发展. 中国海事, 2008, (4):6-9.
- [12] 王世林, 时琳. ECS 与 ECDIS 的进展. 航海技术, 2005, (4):36-38.
- [13] 刘艳利, 马艳玲. 国内信息. 中国海事, 2009, (11):74-78.
- [14] 国家气象信息中心通信台. 表格驱动编码手册[M]. 北京: 气象出版社, 2005:9-34.
- [15] 赵芳. 气象代码的应用现状及向表格驱动代码过渡的影响分析. 应用气象学报, 2007, (5):135-141.
- [16] 李刚. 网格计算在气象应用中的实现与研究. 南开大学, 2007.
- [17] 刘媛媛, 应显勋, 赵芳. GRIB2 介绍及解码初探. 气象科技, 2006, (S1):63-66.
- [18] 张荣, 祁伟等. 高空风 GRIB 报文解析及精度分析. 空中交通管理, 2010, (4):19-22.
- [19] 刘乖乖, 沈文海. ATOVS (BUFR 码) 资料报告. 气象科技, 2006, (S1):54-58.
- [20] 乔云亭, 谢逸. GRIB 数据及其在 GrADS 中的使用. 广东气象, 2001, (3):28-30.
- [21] 刘峰, 刘娟等. 基于 MATLAB 实现 3 种气象数据的读取和绘图. 广东气象, 2007, (04):49-51.
- [22] 刘平. GRIB 码及 NWP 产品的远程调用. 气象, 1995, (12):18-20.
- [23] 孟令武. 论人文关怀设计原则——以地铁设计为案例. 东北大学, 2005.
- [24] 韩庆楠. 基于电子海图系统的海流对船舶航迹影响的研究. 哈尔滨工程大学, 2008.
- [25] 潘杰, 党莹. 基于电子海图的大洋航线自动选择优化. 计算机辅助工程, 2006, (2):68-70.

- [26] 童时中. 模块化与计算机软件设计. 标准化报道, 1997, (4):21-26.
- [27] 陈群, 丁艳珍, 陆群. 单片机汇编语言的结构化程序设计. 无线电通信技术, 2002, (5):51-53.
- [28] 狄斌. 设计模式的研究及在图表类库中的应用. 北京工业大学, 2009.
- [29] 吴树峰等. 信息隐藏技术及其攻击方法. 教育技术导刊, 2008, (7):94-98.
- [30] 郭雄. 面向对象特点之多态性的分析与实现. 教育技术导刊, 2010, (2):26-28.
- [31] 赵春霞, 宫明明. 桥接模式在日志系统中的应用. 青岛职业技术学院学报, 2010, (1):63-65.
- [32] 于秀宾, 任爱华. 面向对象 Petri 网继承性的研究. 计算机工程与设计, 2008, (20):50-54.
- [33] 徐朝胜, 师卫. 应用软件跨平台技术的研究. 科技情报开发与经济, 2007, (5):250-251.
- [34] 熊凯等. 利用 wxWidgets 工具包开发跨平台程序的研究. 莱阳农学院学报, 2006, (2):69-71.
- [35] 李宁. wxWidgets: 全能的跨平台软件开发包. 程序员, 2006, (11):128-129.
- [36] 杜鉴豪. 监控视频中的人体异常行为检测研究. 浙江大学, 2010.
- [37] 王志刚. WTL 初探——完美的 ATL 应用程序框架. Internet 信息世界, 2003, (1):73-75.
- [38] 李晖. 面向 Web 应用的电子表单系统. 大连理工大学, 2003.
- [39] 李兴锋. 基于 S-57 国际标准的电子海图显示与导航系统. 西安电子科技大学, 2007.
- [40] 袁小勇. 电子海图无缝拼接显示技术研究. 西安电子科技大学, 2007.
- [41] 刘滔. 基于 BS 架构的民航气象信息综合服务系统. 上海交通大学, 2009.
- [42] 楼剑涛. 嵌入式 GIS 地图框架的设计与实现. 浙江大学, 2010.
- [43] 韩剑辉. 综合船桥系统体系结构与部分关键技术研究. 天津大学, 2009.
- [44] 姜秋兰. 光栅海图校准系统的理论研究. 大连海事大学学报: 自然科学版, 2007, (1):66-68.
- [45] 李延莉. 基于 WebGIS 的吉林省自然保护区地理信息系统设计与实现. 环境科学与管理, 2007, (6):38-41.
- [46] 林科学. 基于 Dos 与 Windows 平台的应用程序的开发与比较. 气象教育与科技, 2000, (2):23-27.
- [47] 廖俊平, 马永强, 段国兵. 基于 Windows 消息机制的人机交互的研究与应用. 成都信息工程学院学报, 2004, (1):38-41.
- [48] 罗成. 基于 Windows 消息机制的 HTTP 隐蔽通道的设计与实现. 上海交通大学, 2008.
- [49] 鄢智强, 王小峰. Windows 消息机制剖析. 福建电脑, 2009, (6):28-29.
- [50] 廖维川. Windows 消息子类化及应用. 科技广场, 2008, (7):141-142.
- [51] 张伟. 基于 J2EE 多层体系架构的企业应用集成实现研究. 河海大学, 2006.

- [52] 杨帆. RFID 读写设备模拟器的设计与实现. 华中科技大学, 2008.
- [53] 王雪涛, 樊银亭. Observer 模式在 .net 架构中的应用研究. 华北水利水电学院学报, 2008, (4): 81-83.
- [54] 章义. 基于 Smart Client 的操作票生成系统的研究与开发. 山东大学, 2005.
- [55] 费佩燕, 闫允一, 郭宝龙. VC-(++) 中动态链接库的实现. 现代电子技术, 2003, (8): 11-13.
- [56] 于淼. 基于标准模版库的数字水系特征提取研究. 河海大学, 2007.
- [57] 韩丽娜. 地质等值线图的生成与绘制. 西安科技大学, 2006.
- [58] 王秀容, 刘宏伟等. 基于 COM 组件的电子邮局开发. 昆明理工大学学报: 理工版, 2003, (3): 81-84.
- [59] 王世松. 基于组件技术的通用电液控制平台的研究. 浙江大学, 2002.
- [60] 温贤鑫. COM 组件动态监测技术研究. 华中科技大学, 2008.

致 谢

在论文即将完稿之际，我谨向两年来一直不断给我关心和帮助的老师、同学和家人表示我诚挚的谢意。

首先，我要衷心感谢我的导师庞福文教授。感谢庞福文老师对该篇科研选题和论文写作的细心指导，使得论文可以顺利完成。在两年的研究生求学生涯中，庞老师在学习和生活上都给予了我无私的指导和关怀。庞老师治学严谨、知识渊博、敏锐的洞察本学科领域内最新技术的发展动态和前进方向，给了我很多高屋建瓴的指导和启发，教会了我许多做人的道理，所有这些对我以后的人生道路上都受益匪浅。

感谢国家船舶导航工程研究中心的各位师兄师姐，感谢信息工程学院的各位老师悉心教导和栽培。

同时感谢实验室的王琳、朱晓艳和郭成雄同学，他们在学习和生活上给了我很大的帮助。

最后，感谢我的父母和我的家人一直以来默默的支持与无微的关怀。

刘琦

2011年6月

研究生履历

姓 名	刘琦
性 别	男
出生日期	1988 年 02 月 05 日
获学士学位专业及门类	电子信息科学与技术 理学
获学士学位单位	鲁东大学
获硕士学位专业及门类	电子与通信工程 工学
获硕士学位单位	大连海事大学
通信地址	辽宁省大连市凌海路 1 号
邮政编码	116026
电子邮箱	liuqi.swdncong@gmail.com

