

水下导航信息融合技术

朱海 莫军 著

国防工业出版社

水下导航信息融合技术

朱海 莫军 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

水下导航信息融合技术/朱海,莫军著. —北京:国防工业出版社,2002.7

ISBN 7-118-02864-9

I. 水... II. ①朱... ②莫... III. 导航, 水下—信息处理 IV. U675.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 033114 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 6 $\frac{1}{2}$ 175 千字

2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—1500 册 定价:19.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

序

信息融合也称数据融合(Data Fusion),这一概念是20世纪70年代提出来的,当时并未引起人们的足够重视。随着科学技术的迅猛发展,军事、工业领域不断增长的复杂度使得军事指挥人员或工业控制环境面临数据阻塞、信息超载的问题,迫切需要新的技术途径对信息进行消化、解释和评估。这使人们越来越认识到信息融合的重要性。在世界上几次局部战争中,信息融合显示了强大的威力。特别是在海湾及科索沃战争中,多国部队的C³I融合系统发挥的作用已引起全世界的普遍关注。目前,世界上各主要军事大国都在竞相投入大量的人力、财力进行研究,从而使信息融合技术的研究或应用成为实现对多源信息进行有效处理的一个非常活跃的领域。

本书所阐述的系统在充分利用现有导航信息的基础上,通过采用计算机技术和当前的各种高新技术、算法来达到提高导航精度的要求。该系统是一个将潜艇各导航及环境传感器信息采入中心计算机,进行综合处理,以提高信息的精度、可靠性,并完成采集信息的时空属性匹配、数据库自动记录及实现潜艇水下自动导航的计算机软件系统。该书综合了多学科领域的多项新技术。

本书在设计思想方面首次提出了以潜艇动态模型、多传感器信息为主体,以海洋环境信息数据库、航海人员经验为辅助的潜艇水下导航信息融合的设计思想。以此为基础,设计了潜艇水下导航信息融合软件系统。该系统由串行口通信模块、神经网络数据预处理模块、自动计流模块、余流估计模块、卡尔曼滤波模块、水下推算模块、导航数据显示模块及海流数据库组成,可完成导航信息

从接收到处理的全过程。

本书作者对水下导航和信息融合有着多年的研究经验和成果积累。该书针对潜艇水下导航的现状和信息融合技术的特点,很好地将信息融合技术应用到了水下导航之中。总体上说,该书具有以下特点:

(1)提出了潜艇水下导航信息融合的设计思想。

(2)给出了潜艇水下导航信息融合软件系统的总体设计思路。

(3)详述了作者建立的潜艇动态模型,并对模型进行了线性化;建立的六维潜艇动态模型,适合于变向变速的情况。

(4)给出了用神经网络进行数据预处理的方法。此方法剔除了导航数据中的野值,并自适应调整增益,这样就大大提高了滤波器的动态范围,减少野值对系统稳定性的影响,提高了水下定位的精度和系统的可靠性。

(5)介绍了自行研制的系统主卡尔曼滤波器。

(6)提出了量测噪声自动加权及小波监控稳定主滤波器的方法。

(7)介绍了作者课题组建立的中国近海海流数据库。

作者在建立潜艇水下导航信息融合系统的基础上,作了大量的计算机仿真试验和海上试验来进行验证。经试验证明,该方法是十分有效和可行的。

总之,《水下导航信息融合技术》思路新颖,方法先进,有理论、有实践、有模拟、有试验验证,是一部独具特色、代表当今该领域的发展方向、内容详实、实用性较强的专著。该书的出版对潜艇的水下导航将产生积极的影响。



前 言

信息融合技术是信息科学领域内的一项高新技术。信息科学是研究信息的获取、传输与处理的基本方法、技术和手段以及信息的表示、内在联系和运动规律的科学。信息融合技术则是对多种信息的获取、传输与处理的基本方法、技术、手段以及信息表示、内在联系和运动规律进行研究的技术。信息融合技术的理论和技术涉及了信息科学中的电子与信息学、计算机科学和自动化等多个学科,是新一代智能信息技术的核心理论基础之一。

由于传统的水下导航信息量较少,环境信息对导航影响的理论及评估方法尚处于研究的初级阶段,因此,其对信息的处理尚处于初级阶段,一直未系统的进行过信息融合理论、方法和技术的探讨,一些先进的信息融合及优化技术也未能得到有效的应用。在此,著者借鉴人对信息的融合过程,通过利用先进的数据库技术、计算机接口技术、神经网络技术、小波技术、自适应卡尔曼滤波技术,独辟蹊径地为潜艇水下导航信息融合建立了一套合适的方法,其中的许多关键技术有一定的创新性,代表了水下导航信息融合技术的发展方向。

本书主要介绍水下导航多传感器信息融合技术及其在潜艇综合导航系统中的应用问题。它是潜艇综合导航系统总体的重要研究内容之一,其结果将为潜艇综合导航系统的设计、评估、定型提供科学的依据。全书分为基础篇与应用篇两部分,其中基础篇对水下导航信息融合所涉及的基础理论及知识进行全面系统地介绍;应用篇以潜艇水下导航信息融合系统为研究对象,对其设计思想、系统结构、功能、实现方法、评估方法、工程化、仿真及实际验证等内容作系统的论述与全面分析。本书立足于现有技术,跟踪国

内外导航与水下导航技术发展趋势,对水下导航信息融合技术进行了系统介绍,为水下导航信息融合系统的发展提供了坚实的理论基础,明确了其发展方向,并为工程化中可能出现的问题提供了有效的解决方案。

基础篇以信息融合的基本理论及其在水下导航中的使用方法为主,其中借鉴了金青华教授的一些研究成果,也融入了作者对该问题的研究,其内容包括:综合导航与信息融合、导航信息预处理、舰船动态模型的建立、卡尔曼滤波技术。应用篇着重阐述了常规潜艇水下导航中的信息融合方法及技术,主要介绍作者及合作者在该领域的一些成果,其内容包括:潜艇水下导航信息融合系统的总体概况、神经网络技术在导航数据预处理中的应用、新息的模糊控制及频谱与小波监控技术、量测噪声及估计方差矩阵自动加权卡尔曼滤波、自动计流的实现及其在潜艇水下导航中的应用、潜艇水下导航中的余流估计、基于 VB 实时通信的数据预处理及数据实时记录、试验结果及效能评估。其中第一章至第四章由朱海同志撰写,第五章至第十二章由莫军与朱海同志共同撰写。

本书既可为从事水下导航方面研究的科研人员提供参考,也可作为水下导航方向的研究生教材。成书仓促,难免疏漏,恳请广大读者批评指正。

著 者

内 容 简 介

本书分为基础篇与应用篇,其中基础篇对水下导航信息融合的设计思想、理论及方法进行全面的论述,内容主要包括综合导航系统简介、导航信息预处理、舰船动态模型建立与卡尔曼滤波。应用篇主要内容有潜艇水下导航信息融合软件系统的总体设计、潜艇动态模型的选定及线性化、神经网络信息预处理方法、量测噪声自动加权及小波监控稳定主滤波器方法及中国近海海流数据库建立及使用方法等。

本书适合于从事导航与水下导航方面的研究人员阅读与参考,也可作相关研究方向研究生的教材使用。

目 录

第一篇 基础篇

绪论	1
0.1 水下导航信息融合系统的设计思想	1
0.2 导航多传感器信息融合与军事信息融合的关系	2
0.3 国内外水下导航信息融合技术的发展现状	3
第一章 综合导航与信息融合	6
1.1 综合导航系统简介	6
1.2 数据与信息	10
1.3 多传感器信息融合的方法	11
1.4 水下导航信息融合中海洋环境信息的使用	14
第二章 导航信息的预处理	18
2.1 数据同步	19
2.2 系统误差及其处理方法	22
2.3 野值剔除	25
2.4 坐标系的统一	30
2.5 数据压缩	36
第三章 动态系统模型的建立	40
3.1 动态系统模型	41
3.2 系统模型的离散化	44
3.3 系统模型的线性化	46
3.4 模型向量的选择	49
3.5 以推算导航为主体的动态模型	51

3.6 以惯性导航为主体的动态模型·····	70
第四章 卡尔曼滤波技术 ·····	79
4.1 估计问题与卡尔曼滤波·····	79
4.2 标准的卡尔曼滤波方程组·····	82
4.3 标准卡尔曼滤波方程组的解算·····	87
4.4 卡尔曼滤波在航海中的物理意义·····	90
4.5 实用的卡尔曼滤波方程组·····	94
4.6 卡尔曼滤波的定性分析 ·····	103
4.7 卡尔曼滤波的发散现象及其处理 ·····	108
4.8 Sage-Husa 自适应卡尔曼滤波·····	112

第二篇 应用篇

第五章 潜艇水下导航信息融合系统的总体概况 ·····	115
5.1 系统的总体构成及各组成部分的功能 ·····	116
5.2 系统的主要技术特点 ·····	118
5.3 软件平台的选择及其开发工具的优点 ·····	120
第六章 神经网络技术在导航数据预处理中的应用 ·····	122
6.1 传统的数据预处理方法 ·····	122
6.2 采用 Vogl 快速算法的 BP 神经网络 ·····	123
6.3 罗经和计程仪神经网络的构成 ·····	124
6.4 罗经神经网络的训练情况 ·····	125
6.5 计程仪神经网络的训练情况 ·····	128
6.6 BP 网自适应卡尔曼滤波器的结构·····	133
6.7 模拟实验分析 ·····	133
第七章 新息的模糊控制及频谱与小波监控技术 ·····	140
7.1 新息的模糊控制技术 ·····	140
7.2 新息的频谱与小波监控技术 ·····	147
第八章 量测噪声及估计方差矩阵自动 加权卡尔曼滤波 ·····	154
8.1 量测噪声自动加权卡尔曼滤波及其	

在导航中的应用	154
8.2 估计方差矩阵自动加权卡尔曼滤波 及其在导航中的应用	161
8.3 估计方差矩阵自动加权卡尔曼滤波 OLE 控件的实现	165
第九章 自动计流的实现及其在潜艇水下 导航中的应用	172
9.1 海流数据库的建立	172
9.2 潜艇在风流中的航行	177
9.3 潜艇水下定位方法及其存在的弊端	179
9.4 人工计流方法	180
9.5 自动计流的算法	180
9.6 实际应用及海试结果	185
第十章 潜艇水下导航中的余流估计	187
10.1 潮流表中流信息的偏差	187
10.2 余流估计的基本思想	188
10.3 余流估计的实际算法	189
10.4 实测余流与资料余流之间的融合	190
10.5 结论	191
第十一章 基于 VB 实时通信的数据预处理 和数据实时记录	193
11.1 导航数据实时采集和记录简介	193
11.2 导航数据转换接口装置简介	194
11.3 基于 VB 中 MSCOMM 控件的数据 采集及预处理	194
11.4 实时数据记录的实现	198
11.5 海上试验结果分析	198
第十二章 试验结果及效能评估	200
12.1 试验情况简介和精度提高指标	200
12.2 远航模拟试验 1	201

12.3 远航模拟试验 2	202
12.4 渤海海试结果及精度分析	203
参考文献	205

第一篇 基础篇

绪 论

0.1 水下导航信息融合系统的设计思想

在科学技术的追求中,人类一再发觉,自己才是最奇妙的机器,探索人类智慧的规律,并设想用机器来模拟它的功能,是人类天才而勇敢的追求。

人类在处理问题时,用各种感官(眼、耳、鼻等)去感受信息,然

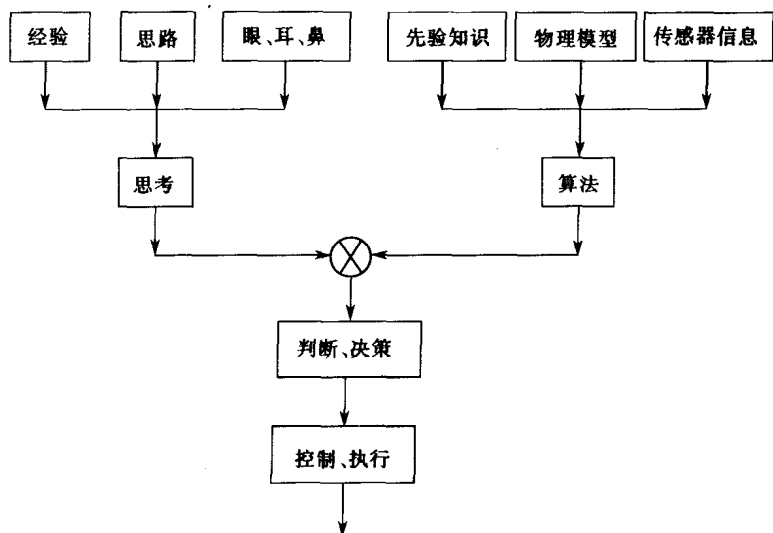


图 0-1 信息融合与人处理信息流程比对图

后根据知识经验按其习惯的思路对信息进行处理,以提出解决方案。这种方法与现代科学对信息的处理方法完全吻合,经验相当于统计学中的先验知识,思路便是我们常说的模式算法,感官则是系统的传感器了,根据以上信息进行的计算、分析、判断,便是我们所说的信息融合,这是历史的巧合,还是科学家不经意的借鉴,人脑的奇妙,我们暂可不必深究。

沿袭这一思想,我们独辟蹊径,建立了一套适合潜艇水下导航信息融合的方法,该方法不论在理论上及技术上皆有其创新之处。图 0-1 所示为信息融合与人处理信息流程比对图

0.2 导航多传感器信息融合与 军事信息融合的关系

信息融合也称数据融合(Data Fusion),这一概念是 20 世纪 70 年代提出来的,当时并未引起人们的足够重视。随着科学技术的迅猛发展,军事、工业领域不断增长的复杂度使得军事指挥人员或工业控制环境面临数据阻塞、信息超载的问题,迫切需要新的技术途径对信息进行消化、解释和评估。这使人们越来越认识到信息融合的重要性。在世界上几次局部战争中,信息融合显示了强大的威力。特别是在海湾及科索沃战争中,多国部队的 C³I 融合系统都发挥了重要作用,这已引起全世界的普遍关注。目前,世界上各主要军事大国都在竞相投入大量的人力、财力进行该方面的研究,从而使信息融合技术的研究及应用成为实现对多源信息进行有效处理的一个非常活跃的领域。

信息融合是研究军事及其相关领域中对多源信息进行处理的理论、技术和方法的一门综合性学科。它的产生、形成与发展,是现代科学技术,特别是高新技术迅猛发展的产物。这门学科已孕育了一大批成果。这些成果依据的原理不同,涉及的学科领域广泛,并在不同军事应用方向上得到不断的完善和推广,使其成为多学科的综合和应用。

信息融合系统涉及到与现代战争相关的军事理论、武器系统、人文地理和气象知识等复杂因素。目前,对于信息融合主要研究的内容是根据问题的种类来建立各自直观的原理,并在此基础上形成方案。

为了建立公共的语言和概念,White 给出了一个著名的一般处理模型,它把信息融合分为 3 级:

- (1) 一级信息融合的内容包括位置和属性融合及标识估计;
- (2) 二级信息融合的内容包括敌我军事态势估计;
- (3) 三级信息融合的内容包括敌我兵力威胁估计。

水下导航多传感器信息融合,在本质上属于位置和属性的融合,它是信息融合系统的最底层,是根据系统的物理模型(由状态方程和量测方程描述)和对系统模型噪声及传感器噪声统计特性的假设,将量测数据映射到状态矢量空间,在传统的导航概念中将其称为导航数据处理。随着网络技术和人工智能理论的发展,舰船上综合导航系统的使命已由过去的单一保障航行安全,增加对电子武器系统、通信系统的支撑,同时 C^3I 系统的出现也对导航定位提出了更高的要求。现今我们已利用数据库技术、卡尔曼滤波技术、神经网络技术及先进的评估方法,将环境数据库信息(包括水文、气象等信息)、环境实时监测信息、智能决策及评估准则引入导航信息处理中,相应的也将其概念引伸为水下导航信息融合。

水下导航信息融合的目的是提高水下导航信息的精度、可靠性和冗余度,同时对输入 C^3I 系统的导航信息作出有效性、精确性和环境效能评估。

0.3 国内外水下导航信息融合技术的发展现状

水下导航信息融合采用的常用方法有递推最小二乘法、独立性组合法、 α - β - γ 滤波法及卡尔曼滤波法,其中卡尔曼滤波法是迄今为止水下导航信息融合中公认的最适合的方法,以下主要介

绍该方法的研究与应用情况。

卡尔曼滤波理论,是现代控制理论的一个重要分支。它的实质是一种线性状态的最优估计,也称为现代最优估计。所谓“卡尔曼滤波器”,即为一种线性、无偏、最小方差估计的递推算法。它采用了状态空间和递推计算等方法,能对非平稳过程信息进行最小方差估计,并且具有数据存储量小,易于计算机实现的特点,因此,它被视为现代控制理论的重要里程碑。1960年,美国学者卡尔曼,首先提出了这套方法,很快就得到迅速推广与应用,并于1964年,在著名的“阿波罗”登月计划中,得到了成功的应用,显示了该方法强大的生命力。

作为水下导航信息融合系统的核心,卡尔曼滤波理论的研究已经超过了对于维纳滤波和卡尔曼滤波本身的研究,许多科学工作者正寻求对于非线性滤波正确而严格的论述,这是对滤波理论问题研究的一种自然的延伸。虽然对非线性滤波问题可以从修正的 Fokker-Planck 方程得到非线性条件均值估计的精确表达式,但在运用上十分困难。目前,工程上使用的都是近似方法,因此,得到的结果也不是严格的最优解,甚至不能从根本上来评价各种方法的优劣。对舰船运动及其他综合导航非线性问题的研究,就有着很大的现实意义。

传统的卡尔曼滤波方式是用一个滤波器集中处理全部的量测信息,进行最优状态估计。这种集中处理方式对日益复杂的综合导航系统来说存在着明显的缺点:①所有的计算工作都由一台计算机来完成,当模型阶数高、采样频率快时,单台计算机的速度和存储很难满足要求;②由于所有的测量信息都混合在一起处理,当某个传感器出现故障时,错误的量测数据不能分隔开来,由此造成系统性能严重下降。对于水下导航信息融合系统来说,由于载体运动速度较慢,而且计算机的运算速度正在不断加快,因此,计算速度已不是主要问题。但从系统的可重组性及提高可靠性角度来看,系统仍应采用分布式多机系统。随着并行计算机系统的发展,并行系统将会成为综合系统中心计算机的主流。

为了克服集中滤波方式的内在缺点,人们开始采用分散滤波技术。较早开始研究的是分块式分散滤波算法,它将大滤波器按状态之间的耦合关系来进行分块降阶。但它没能克服上述的第二个问题。随着大系统理论及远程分布式传感器网络技术的深入研究和应用,具有分级式结构的分散估计方式已成为人们关注的焦点。分散滤波理论是分散估计理论中最活跃的一个研究领域,目前,分级式分散滤波方法大致可以分成两类:一类是在 Speyer 提出的分级式分散滤波(Decentralized Filter)最优合成算法上发展起来的。在子系统滤波器与主滤波器采用相同的数学模型的前提下,研究了连续型和离散型线性系统的分散滤波问题;Willsky 等提出局部滤波器与主滤波器不一致情况下线性连续系统的分散滤波合成算法;周叶、戴冠中等则给出了线性离散型系统的分散滤波合成算法。Chong, Brumback 及 Hashemipour 等人的研究也属于这一类算法。其共同特点是主滤波器的合成计算仅对状态进行估计,而总体状态估计误差的方差阵仍用集中式卡尔曼滤波算法来推算。这种算法有较强的容错能力,但计算量仍比较大。另一类是由 Carlson 提出的分级分散式滤波算法,即联合滤波算法(Federated Filter),其特点是主滤波器不仅合成系统状态的最优估计值,而且合成状态估计误差的方差阵,无需采用传统的卡尔曼滤波的递推计算,优点是主滤波器计算量小,组合导航系统的滤波结构设计灵活,它现已被美国空军选用为高性能军用飞机上“公用卡尔曼滤波器(Common Kalman Filter)”的基本算法。Kerr, Schwarz 及 Gao 等对两类分散化滤波方法在组合导航中的应用都做了进一步的研究。

多传感器综合导航系统的状态估计采用分散化滤波方式。由于各传感器的采样频率可能不同,因而局部滤波器的滤波频率也可能不同,而且主滤波器的合成频率可能不同于局部滤波器的滤波频率,这样在多传感器的综合导航信息融合系统中存在着多速率估计问题。特别是 Reynolds 提出了基于卡尔曼滤波的最优的“数据压缩”算法,适合于综合导航中的多速率估计问题,但它仅限于定常参数的滤波模型。