

大连海事大学
出版基金赞助
学术丛书

船舶运动数学模型

——机理建模与辨识建模

贾欣乐 杨盐生 著



大连海事大学出版社

大连海事大学出版基金赞助学术丛书

船舶运动数学模型

— 机理建模与辨识建模

贾欣乐 杨盐生 著

大连海事大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

船舶运动数学模型 - 机理建模与辨识建模 / 贾欣乐, 杨盐生著. - 大连: 大连海事大学出版社, 1998.11

ISBN 7-5632-1137-3

I. 船... II. ①贾... ②杨... III. 船舶运动数学模型 IV. U661.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 24875 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026)

大连海事大学印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1999年4月第1版 1999年4月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 28.75

字数: 718 千 印数: 1~800

责任编辑: 史洪源 封面设计: 王 艳

定价: 43.00 元

本书由

中共大连市委、大连市人民政府资助出版

**The published book is sponsored
by the Dalian Municipal Government**

大连市学术专著资助出版评审委员会

- 名誉主任 楼南泉 林纪方
- 主任 司玉琢
- 副主任 高春武 吴厚福 何杰
- 委员 梁宗艺 王子臣 李寿山 王逢寿 汪榕培
夏德仁 罗均炎

海洋综合专家评审组

- 组长 丁德文（国家海洋环境监测中心 院士、研究员）
- 副组长 吴兆麟（大连海事大学 博导、教授）
- 成员 文干（大连水产学院 教授）
王永学（大连理工大学 博导、教授）
王言英（大连理工大学 博导、教授）
殷佩海（大连海事大学 博导、教授）
叶昌臣（辽宁省海洋水产研究所 研究员）

内 容 提 要

本书简要地介绍了动态系统建模的基本方法、模型的分类及仿真技术，并着重讲述了船舶运动数学模型机理建模中的两大流派——整体型结构模型和分离型结构模型，同时对船舶运动控制领域应用广泛的响应模型和船舶操纵模拟器的构成及其研制开发的技术要点作了阐述。作为船舶运动数学模型辨识建模，书中侧重介绍了船舶运动数学模型辨识原理及在该领域中广泛应用的推广 Kalman 滤波法、极大似然法和预报误差法在船舶运动数学模型参数辨识方面的主要理论研究成果及大量的应用实例。

本书可供航海类和造船类专业高年级大学生和研究生的教材和参考书，亦可供船舶运动控制器研究和设计人员参考。

前 言

船舶运动数学模型是船舶运动仿真与控制问题的核心。它的研究起始于本世纪 30 年代,但它的真正兴起是在 60 年代,当时超大型油轮的出现,为了揭示其异常操纵特性及适应开发高性能的船舶操纵模拟器的需要,船舶运动数学模型的研究获得了飞速的发展。70 年代末 80 年代初,由于研制先进的船舶航向、航迹控制器的需要,现代控制理论及系统辨识技术开始在船舶运动数学模型研究中的应用,又加速了其发展。

本书总结了近十五年来国内外在船舶运动数学模型及过程辨识理论应用于船舶运动模型参数估计研究领域中的新成就,溶入了作者在有关船舶运动数学模型的相当数量的研究成果。该书是在十余轮硕士研究生和博士研究生同名课程教学经验的基础上撰写而成的,力求内容新颖,理论基础深厚,成为这一领域具有使用价值和参考价值的著作。

本书共分两篇,第一篇船舶运动数学模型机理建模,分为八章,首先介绍了建立动态系统数学模型的基本方法、数学模型分类及仿真技术,进而详细讨论了船舶运动数学模型建模中的两大流派——以 Abkowitz 为代表的整体型结构模型和日本拖曳水池委员会(JTTC)提出的分离型结构模型,简称 MMG 模型,侧重介绍了在船舶运动控制领域应用广泛的响应模型,阐述了船舶操纵模拟器的构成及其研制开发的技术要点。第二篇船舶运动数学模型辨识建模,分为四章,首先介绍了船舶运动数学模型辨识原理,在此基础上,主要介绍了该领域中广泛应用的推广 Kalman 滤波法、极大似然法和预报误差法在船舶运动数学模型参数辨识方面的主要理论研究成果及大量的应用实例。

本书可供航海类和造船类专业的研究人员、高校研究生与高年级本科生作为在船舶运动数学模型和船舶运动控制课程的教材和参考书,还可供船舶运动控制器研究和设计人员参考。

本书的出版得到了国家教育部博士点专项基金、大连市学术专著资助出版评审委员会及大连海事大学出版基金的资助,作者对此深表谢意。

由于作者水平有限,书中的缺点错误在所难免,欢迎读者批评指教。

作 者

1997年12月于大连海事大学

目 录

第一篇 船舶运动数学模型机理建模

第一章 船舶运动数学模型概论.....	(1)
1.1 动态系统数学模型和仿真.....	(1)
1.1.1 系统.....	(1)
1.1.2 原型和模型.....	(1)
1.1.3 建立动态系统数学模型的方法论.....	(2)
1.1.4 系统数学模型分类.....	(2)
1.1.5 模型化的一般过程.....	(5)
1.1.6 模型化和仿真的关系.....	(5)
1.2 船舶运动数学模型分类及其应用.....	(5)
1.2.1 船舶运动线性模型的应用.....	(6)
1.2.2 船舶运动非线性模型的应用.....	(6)
1.3 船舶运动的坐标系统和运动学.....	(7)
1.3.1 坐标系统.....	(7)
1.3.2 相对于附体坐标系的运动学.....	(8)
1.3.3 相对于惯性坐标系的运动学.....	(8)
1.3.4 两个坐标系内运动学物理量之间的关系.....	(9)
1.3.5 船舶在水平面 $o_0x_0y_0z_0$ 内运动情况的分析.....	(10)
1.3.6 船舶四自由度运动学关系.....	(11)
1.3.7 船舶任意运动问题的提法.....	(11)
1.4 刚体动力学应用于船舶任意运动.....	(11)
1.4.1 刚体运动动量定理和动量矩定理.....	(11)
1.4.2 两个应用例子.....	(15)
1.5 作用于船舶上的力, 船舶运动模型化的两大流派.....	(16)
1.5.1 作用于船舶上的力的分类.....	(16)
1.5.2 船舶运动模型化的两大流派.....	(18)
参考文献.....	(20)
第二章 船舶操纵性基础.....	(22)
2.1 船舶平面运动的线性化数学模型.....	(22)
2.1.1 刚体惯性力的线性化.....	(22)
2.1.2 流体动力的线性化.....	(23)
2.1.3 关于线性流体动力导数的讨论.....	(23)

2.1.4 线性化船舶运动数学模型.....	(25)
2.2 船舶等速直航运动的稳定性.....	(27)
2.2.1 Lyapunov 关于稳定性的定义.....	(27)
2.2.2 船舶前进运动的稳定性.....	(28)
2.2.3 船舶直航运动的稳定性.....	(28)
2.3 船舶回转性.....	(32)
2.3.1 回转圈的特征参数.....	(32)
2.3.2 枢心.....	(33)
2.3.3 回转运动过程分析.....	(33)
2.3.4 定常回转直径的影响因素及估算公式.....	(36)
2.3.5 回转运动的耦合特性.....	(40)
2.3.6 回转运动的实船试验和自航船模试验.....	(45)
参考文献.....	(48)
第三章 分离型船舶运动数学模型——流体动力分析.....	(49)
3.1 分离型船舶运动数学模型建模的基本要求和适用范围.....	(49)
3.1.1 建模的条件和要求.....	(49)
3.1.2 MMG 模型基本形式和船舶流体动力及力矩的构成.....	(49)
3.2 作用于船体上惯性类流体动力和力矩.....	(50)
3.2.1 求作用于船体上惯性类流体动力和力矩的基本假设.....	(50)
3.2.2 势流理论导引.....	(51)
3.2.3 附加动量和附加动量矩.....	(52)
3.2.4 附加质量和附加惯性矩.....	(55)
3.2.5 流体惯性力和流体惯性力矩公式.....	(56)
3.2.6 船舶运动附加质量和附加惯性矩的理论计算.....	(59)
3.2.7 确定船舶附加质量和附加惯性矩的试验法.....	(65)
3.3 作用于船体上粘性类流体动力和力矩.....	(68)
3.3.1 细长体理论.....	(69)
3.3.2 机翼理论.....	(73)
3.3.3 横流模型.....	(80)
3.3.4 粘性类流体动力和力矩的泰勒级数展开.....	(81)
3.3.5 粘性类流体动力和力矩的试验确定.....	(87)
3.4 螺旋桨上的流体动力和力矩.....	(99)
3.4.1 敞水螺旋桨的推力和转矩.....	(99)
3.4.2 船体对螺旋桨干涉的流体动力系数——伴流系数.....	(103)
3.4.3 螺旋桨对船体的干涉流体动力系数——推力减额系数.....	(109)
3.4.4 螺旋桨流体动力的计算模型.....	(112)
3.4.5 主机控制模型.....	(114)
3.5 作用于舵上流体动力和力矩.....	(116)
3.5.1 舵的几何要素及敞水舵的流体动力特性.....	(116)

3.5.2 影响船后舵的舵力的主要因素分析	(119)
3.5.3 考虑船体、螺旋桨对舵的干涉时正压力 F_N 的计算	(121)
3.5.4 舵有效来流速度及其描述法	(122)
3.5.5 舵有效来流冲角及其描述法	(133)
3.5.6 舵对船体的干涉流体动力	(135)
3.5.7 作用于舵上流体动力模型	(137)
3.5.8 舵机特性计算模型	(138)
参考文献	(138)
第四章 分离型船舶运动数学模型——总体运动分析	(141)
4.1 MMG 模型用于船舶操纵性能预报	(141)
4.1.1 船舶操纵性能预报的方法和项目	(141)
4.1.2 利用 MMG 模型进行操纵性能预报的典型方案	(143)
4.1.3 附加质量和附加惯性矩的计算	(145)
4.1.4 粘性类流体动力和力矩的近似估算法	(146)
4.1.5 船舶操纵性能预报之例	(162)
4.1.6 考虑横倾耦合的船舶运动数学模型	(167)
4.2 浅水域船舶操纵运动数学模型	(174)
4.2.1 船舶在浅水域航行时流体运动的物理特征	(174)
4.2.2 浅水域船舶运动数学模型	(177)
4.2.3 仿真研究用于预报船舶在浅水中的操纵性能	(188)
4.3 低速域船舶操纵运动数学模型	(191)
4.3.1 低速域船舶操纵运动的特点	(191)
4.3.2 低速域船舶运动数学模型	(193)
4.3.3 低速域作用在船体上流体动力的模型	(193)
4.3.4 低速域螺旋桨的流体动力的模型	(203)
4.3.5 低速域舵的流体动力模型	(205)
参考文献	(207)
第五章 整体型船舶运动数学模型	(211)
5.1 Abkowitz 数学模型	(211)
5.1.1 模型结构形式的讨论	(211)
5.1.2 Abkowitz 非线性船舶运动数学模型	(213)
5.1.3 仿真研究	(215)
5.1.4 Abkowitz 非线性船舶运动数学模型的改进	(218)
5.2 Norrbín 数学模型	(226)
5.2.1 模型特点	(226)
5.2.2 模型右端的讨论	(226)
5.2.3 浅水域 Norrbín 数学模型	(230)
5.2.4 仿真研究	(230)
参考文献	(233)

第六章 响应型船舶运动数学模型	(234)
6.1 线性响应模型	(234)
6.1.1 线性船舶运动数学模型的建立	(234)
6.1.2 线性响应模型	(238)
6.1.3 线性响应模型的应用	(241)
6.1.4 航向稳定性及改善不稳定的措施	(246)
6.2 非线性响应模型	(250)
6.2.1 船舶速度响应非线性模型	(250)
6.2.2 船舶转首运动的非线性响应模型(I)	(253)
6.2.3 船舶转首运动的非线性响应模型(II)	(256)
6.2.4 具有大漂角的非线性响应模型	(258)
6.2.5 非线性响应模型的应用	(263)
6.3 响应模型参数的确定	(270)
6.3.1 野本一阶响应模型的参数确定法	(270)
6.3.2 频率响应确定法	(272)
6.3.3 相平面分析法	(278)
6.3.4 寻优确定法	(287)
6.3.5 最小二乘确定法	(289)
参考文献	(292)
第七章 船舶运动的干扰力数学模型	(294)
7.1 风的干扰力数学模型	(294)
7.1.1 风的特性	(294)
7.1.2 作用于船体上的平均风压力和力矩的计算	(296)
7.1.3 作用于船体上的风压力和力矩的计算	(302)
7.1.4 风压力作用下的船舶操纵运动仿真研究	(304)
7.1.5 其它有关的研究	(305)
7.2 波浪干扰力数学模型	(306)
7.2.1 不规则波浪的数学描述	(306)
7.2.2 波浪干扰力和力矩的计算模型	(324)
7.2.3 二阶波浪漂移力和力矩	(338)
7.2.4 波浪干扰力作用下船舶操纵运动仿真例	(342)
7.3 流的干扰力数学模型	(349)
7.3.1 均匀流作用于船舶上流体动力模型	(350)
7.3.2 不均匀流作用于船舶上流体动力模型	(352)
7.3.3 不均匀流场的环境模型	(354)
7.3.4 不均匀流中船舶操纵运动仿真例	(356)
参考文献	(358)
第八章 船舶操纵模拟器	(360)
8.1 船舶操纵模拟器的发展概况、构成及用途	(360)

8.1.1 船舶操纵模拟器的发展由来.....	(360)
8.1.2 船舶操纵模拟器的发展概况.....	(361)
8.1.3 船舶操纵模拟器的基本构成.....	(364)
8.1.4 船舶操纵模拟器的主要用途.....	(367)
8.2 船舶操纵模拟器的技术要点.....	(368)
8.2.1 船舶运动数学模型.....	(368)
8.2.2 视景成像和投影技术.....	(369)
8.2.3 CGI 系统及其展望.....	(370)
参考文献.....	(371)

第二篇 船舶运动数学模型辨识建模

第九章 船舶运动数学模型辨识基础.....	(373)
9.1 模型辨识的基本知识.....	(373)
9.1.1 辨识的定义.....	(373)
9.1.2 船舶模型辨识.....	(374)
9.1.3 辨识实验设计.....	(374)
9.1.4 数据预处理.....	(375)
9.1.5 模型检验.....	(376)
9.1.6 辨识算法检验.....	(376)
9.1.7 过程辨识的应用.....	(377)
9.2 Kalman 滤波器.....	(377)
9.2.1 确定性系统与随机系统.....	(377)
9.2.2 滤波、预报和平滑.....	(379)
9.2.3 多维正态随机过程导引.....	(380)
9.2.4 状态估计准则和最优状态估计基本公式.....	(383)
9.2.5 Kalman 滤波公式.....	(384)
9.2.6 Kalman 滤波公式的简化证明.....	(386)
9.2.7 时变系统的 Kalman 滤波器.....	(388)
9.2.8 预报形式的 Kalman 滤波器.....	(389)
9.2.9 连续系统的 Kalman 滤波器.....	(389)
9.3 扩展的 Kalman 滤波器.....	(390)
9.3.1 一个一维系统的 EKF 滤波问题的提法.....	(390)
9.3.2 EKF 处理方法.....	(391)
9.3.3 连续-离散系统的 EKF ^[10]	(392)
9.4 Kalman 滤波器的稳定性和收敛性.....	(393)
9.4.1 Kalman 滤波器的稳定性.....	(393)
9.4.2 Kalman 滤波器的收敛性.....	(394)
9.4.3 改善 Kalman 滤波器收敛性的方法.....	(395)
参考文献.....	(396)

第十章 EKF 用于船舶模型辨识	(397)
10.1 概 述	(397)
10.1.1 海试目的	(397)
10.1.2 模型参数的可辨识性	(397)
10.1.3 如何提高参数辨识的准确性	(399)
10.1.4 三种强度不同的海上试验	(400)
10.2 用 EKF 算法辨识船舶运动数学模型的参数	(401)
10.2.1 被辨识的系统模型	(401)
10.2.2 辨识算法及其仿真验证	(402)
10.2.3 用 EKF 算法对 ESSO OSAKA 实船数据进行参数辨识	(403)
10.2.4 用预报误差验证模型结构的正确性	(404)
10.2.5 关于 Abkowitz 模型方程形式的改变	(404)
10.3 参数漂移与动力相消问题	(405)
10.3.1 参数漂移与动力相消现象	(405)
10.3.2 解决辨识中参数漂移及动力相消问题的方法	(406)
参考文献	(407)
第十一章 ML 法用于船舶模型辨识	(408)
11.1 ML 辨识算法的一般原理	(408)
11.1.1 系统模型描述	(408)
11.1.2 极大似然辨识原理	(408)
11.1.3 实际的 ML 辨识算法	(408)
11.2 ML 方法在船舶模型辨识中的应用	(413)
11.2.1 实船试验设计	(413)
11.2.2 辨识算法程序	(414)
11.2.3 牛顿运动方程型模型参数的辨识	(414)
11.2.4 传递函数形式的船舶模型辨识	(422)
参考文献	(423)
第十二章 RPE 法应用于船舶运动模型辨识	(425)
12.1 RPE 的理论基础	(425)
12.1.1 系统模型	(425)
12.1.2 量测数据	(425)
12.1.3 输出预报误差	(425)
12.1.4 由 Kalman 滤波器计算 $\varepsilon(k, \theta)$	(426)
12.1.5 参数估计的性能指标	(426)
12.1.6 参数估计的递推公式	(426)
12.1.7 确定性问题的优化方法	(427)
12.1.8 随机问题的优化方法	(428)
12.2 状态空间模型的 Gauss - Newton 递推参数估计算法	(429)
12.2.1 随机梯度的计算	(429)

12.2.2 Hessian 阵的计算	(430)
12.2.3 加权矩阵 $\Lambda(K)$ 的确定	(430)
12.2.4 Gauss - Newton 参数估计算法小结之一	(431)
12.2.5 Gauss - Newton 参数估计算法小结之二	(431)
12.3 RPE 辨识算法的实现	(433)
12.3.1 两种参数化方案	(433)
12.3.2 新息型模型的 RPE 算法实现	(434)
12.3.3 一般状态空间模型的 RPE 算法实现	(435)
12.4 RPE 辨识算法应用于船舶模型辨识	(438)
12.4.1 RPE 算法的推广 - - 线性系统	(438)
12.4.2 应用于线性船舶模型的辨识	(439)
12.4.3 RPE 算法的推广 - - 非线性系统	(440)
12.4.4 应用于非线性船舶推进系统模型辨识	(442)
参考文献	(443)

第一篇 船舶运动数学模型机理建模

第一章 船舶运动数学模型概论

船舶运动数学模型是船舶运动仿真与控制问题的核心。为了更好地理解船舶运动数学模型的建模方法与过程,从方法论的角度,将船舶看作一个动态系统,首先介绍动态系统建立数学模型的基本方法、数学模型的分类及仿真的方法;其次就目前所提出过的船舶运动数学模型进行分类,并介绍船舶运动数学模型的一些基本应用;最后在介绍建立船舶运动数学模型所采用坐标系的基础上,从刚体力学的角度,介绍船舶运动数学模型的一般结构,并且对作用在船体上的力进行全面的分类,为下面建立详细的船舶运动数学模型奠定基础。

1.1 动态系统数学模型和仿真

1.1.1 系统

系统(System)是一个意义广泛的概念,一般并不局限于物理或工程领域,而应被看作是还涉及经济的、生物的、乃至社会的范畴。系统具有如下两个重要属性:(1)系统由一些子系统组成,每一子系统由一些部件组成,而每一部件又可分成一些基本元件,即系统具有可分性;(2)系统通过边界与它的外界相区分和相联系,进行能量和信息的交换,即系统具有非孤立性。动态系统(Dynamic system)是人类生产活动中最为重要的一类系统,动态系统研究中主要关心的是瞬态过程,这时系统的状态变量是时间的函数。自动控制系统是一种典型的动态系统。

1.1.2 原型和模型

原型(Prototype)即实际系统本身。模型(Model)是在某种意义上关于原型的简化和抽象化。构造模型的基本目的在于通过对模型的研究获得实际系统的重要信息,从而预报实际系统某些方面的动力学行为,为进一步的分析、决策提供依据。采用模型对实际系统进行研究很明显是由于在经济上可以节省费用,在时间上可以加快进程,在安全性上可以有绝对的保证。研究系统行为所用的模型可以分为:(1)实物模型(Material object model),如船舶操纵性试验中的缩尺船模,航空和航天研究中置于试验风洞里的缩尺飞行器模型等,这些模型是根据相似理论设计的,由模型试验所得的无量纲参数可以应用于原型;(2)类比模型(Analogous model),例如一个由质量、弹簧、阻尼器组成的简单机械振动系统的特性可以采用一个由电感、电容、电阻构成的振荡电路进行模拟,这是基于不同能量领域物质运动规律具有相似性和可比性而实现的;(3)数学模型(Mathematical model),是对动态系统特性的高度概括和理论抽象,是在更高的层次上更深刻、更准确地反应原型中实际过程的物

理本质和变量的数量变化规律的根本方法, 数学模型对动态系统的描述是以数学语言进行的, 包括使用变量, 参数, 代数方程式, 微分方程式(对集中参数系统采用常微分方程式, 而对分布参数系统要用偏微分方程式), 以及各种逻辑判断等, 因此可以说, 数学模型是应用数学方程式对动态系统在整个时间过程中和空间范围内的行为进行模仿。

1.1.3 建立动态系统数学模型的方法论

建立动态系统数学模型的过程称为模型化(Modeling), 简称建模。一个系统包含一些子系统、部件和基本元件, 应该对它们之中的每一部分进行数学描述, 采用的当然应该是自下而上的模型化方法(Bottom-up approach)。模型化的理论基础是关于自然界物质运动的一些基本定律, 诸如力学系统的三大运动定律; 热力学系统的热力学第一、第二定律; 电学系统的第一、第二定律, 等等。这些定律所反应的是各种守恒(Invariance)和平衡(Equilibrium)的原理, 例如质量守恒、动量守恒、能量守恒, 节点上的电流平衡及封闭回路内的电压平衡等普遍关系。在此基础上还需进一步引用适合于特定能量形式的定理或公式, 例如流体力学中的伯努利方程, 热力学中的气体状态方程, 传热学中的对流换热公式和辐射换热分公式, 电学中的欧姆定律等; 有时甚至还得采用某些半经验的直到纯经验的公式。

动态系统的组成元件种类繁多, 特性各异, 但是从能量的角度可将之区分为三类, 第一类是消耗能量的, 可称之为阻力元件, 简记为 R ; 第二类是存贮或释放势能的, 称为容量元件, 简记为 C ; 第三类是存贮或释放动能的, 称为惯量元件, 简记为 I 。这种划分元件的思想对于复杂系统的建模颇有裨益^[1]; 以此为出发点而建立、发展起来的键图技术(Bond graph technique)是一种强有力的建模工具^{[2][3]}, 并且在船舶和海洋工程系统的实际建模应用中发挥了效力^{[4][5]}。

以上所述的为机理建模方法, 解决的是一个“白箱”问题。另一种比较近代的建模方法是系统参数辨识技术^{[6][7]}, 它实质上是一种测试法, 即对于一个已经存在的系统施加某种特定的输入信号, 然后对试验中所获的系统输入输出数据在计算机上用参数辨识算法(程序)进行递推处理或成批处理, 从而建立起过程的数学模型, 这就是所谓的“黑箱”问题。机理建模和辨识建模各有其优缺点。如果在实际使用时能彼此结合, 互相补充, 将会获得更佳效果, 这就是“灰箱”问题的特点。例如, 通过机理建模方法确定系统微分方程的结构形式和阶次, 并应用辨识方法估计方程中的未知参数。本书所处理的建模问题将在第一篇涉及白箱方法, 而在第二篇重点讨论灰箱方法。

1.1.4 系统数学模型分类

可以从不同的角度对系统数学模型加以分类, 目的是深化认识、方便研究。不同类型的模型适用于不同的研究领域和不同的精度要求, 并在一定程度上取决于研究者的主观倾向性。

一、静态模型和动态模型

静态模型(Static model)中不包括时间因素, 它处理的可以说是动态系统处于平衡点上的情况。例如, 一个企业的计划、调度、生产、销售之间的均衡问题; 船舶在匀速直线前进运动中推力和阻力平衡条件下船舶系统的设计问题等。静态模型的建立需要充分的数据和精细的平衡计算。动态模型(Dynamic model)是以处理动态系统的瞬态响应问题为其主要

任务,因而更具广泛性,举凡讨论系统的稳定性问题,研究系统在干扰作用下或某种模式的控制作用下它的长期或短期行为,都要建立一个适当的动态数学模型。研究关于船舶运动的动态模型的建立、分析方法是本书的目的。

二、确定性模型和随机性模型

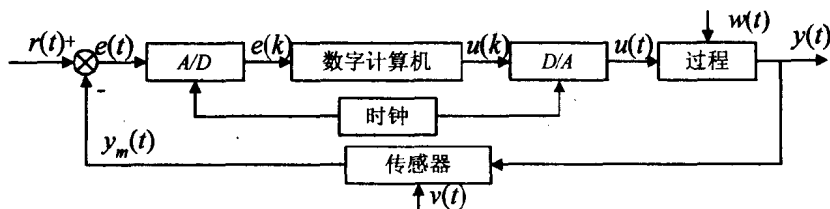
从本质上说任何一个实际动态系统都是一个随机系统,除了将受到确定性输入信号(控制信号)作用之外,还会受到某些随机干扰的影响,例如船舶在海上航行必将承受风浪所施加的不规则力和力矩的袭扰,因而建立随机性模型(Stochastic model)理所当然具有普遍意义。不过在工程实际中,为简化对问题的研究,或者为减轻引用复杂数学工具造成的负担,还是尽可能地采用确定性模型(Deterministic model),在随机干扰较弱时这样处理仍可保证相当的响应精度。本书第一篇重点采用确定性模型,而在第二篇讨论的是船舶模型的参数辨识问题,不可避免地要面对随机性数学模型。

三、连续模型和离散化模型

动态系统本质上是连续的,系统各部分之间传递的信号在时间上是连续的(Continuous),在数量变化上是模拟的(Analogous),故称之为连续系统。这种系统的动态特性用微分方程描述,此即连续模型(Continuous model)。连续模型的行为可以在模拟计算机上进行仿真研究,称之为连续仿真(Continuous simulation)。另一方面,为了能用数字计算机研究连续系统的特性,必须对系统的连续模型进行离散化。譬如说,对连续线性模型应用离散相似法或者对连续非线性模型采用古典的 Runge-Kutta 法都可达到离散化的目的,这样就得到了用差分方程描述的离散化模型(Discretized model)。在离散化系统各部分之间传递的信号包括输入(激励)输出(响应)信号只是在采样时刻(Sampling instant)上才被考察;在采样时刻之间离散化系统状态变量、输出变量的变化,人们一般是不予理会的。把离散化模型在数字计算机中实现,并研究系统状态变量、输出变量在各采样时刻的变化规律称为数字仿真(Digital simulation)。

这里应同时说明离散事件系统(Discrete event system)和采样数据系统(Sampled data system)两个概念。离散事件系统可简称之为离散系统(Discrete system),它和离散化系统的主要区别是,前者本质上是离散的,在这样的系统中状态变量的变化仅发生在一组离散的时间点上,例如商店服务系统的排队过程,或者销售系统的库存统计及预报过程^[8],因为不论是顾客的到达或离去,也不论是货物的购入或售出,都是以人计或以件计的,只能在该事件发生的时间点上加以考察才有意义,在其它时间上状态变量根本不变化。

采样数据系统可以说是离散化系统和连续系统的一个混合物,在这种系统中同时存在着连续时间信号和离散时间信号。一个计算机控制系统是采样数据系统最典型的实例,参考图1.1.1^[9]。



(a) 计算机控制系统框图