

文章编号:1671-6833(2004) 01-0073-04

基于键图模型的动力学系统状态观测器结构设计

梁 威

(郑州轻工业学院控制工程系, 河南 郑州 450002)

摘 要: 以键图模型为工具, 提出了一种新的状态观测器结构设计方法用于动力学系统. 该方法利用建模过程中因果关系的应用规则, 可以很方便地对某些物理效应进行增删, 导出构成降阶模型所要求的状态变量的类型、数目及其效应, 以确定观测器结构. 以这种方式构筑的模型, 建模过程更为快捷, 与原物理系统保持直观、密切的联系, 有助于对各步骤给出清楚的物理解释, 并以规范化的方式, 实现完全状态观测器及降阶状态观测器的设计.

关键词: 状态方程; 观测器; 键图

中图分类号: TP 15 文献标识码: A

0 引言

在动力学系统的分析与设计中, 应用现代控制理论建立系统的状态空间模型并通过观测器的使用来重构状态变量的过程, 涉及到较为复杂的理论问题. 该过程中模型内部与物理系统本身仅有很模糊的联系, 就完成工程设计方案的目标而言, 由于数学理论问题的制约, 往往要比经典方法付出更多的“ 无偿” 工作.

本文提出了一种新的方法, 利用键图模型^[1]来构成状态反馈控制方案, 能较好地弥补传统方式的不足. 该方法一是利用键图元素构成的状态变量具有明确物理意义的特点, 二是利用建模过程中因果关系的应用规则利于对某些物理效应进行增删的特性, 这样可以很容易地导出构成降阶模型所要求的状态变量的类型、数目及其效应, 以确定观测器结构.

1 方法推导

图 1 为二阶系统的键图模型. 该系统有一个控制输入(力源 S_{e1}); 两个独立干扰输入(分别为力源 S_{e2} 和流源 S_{f9}); 输出为力变量 e_7 , 系统本身由两个储能元素(容性元 C_7 , 感性元 I_3), 两个耗能元素 R_4, R_8 和一个变换器 TF(系数为 m_{56}) 构成.

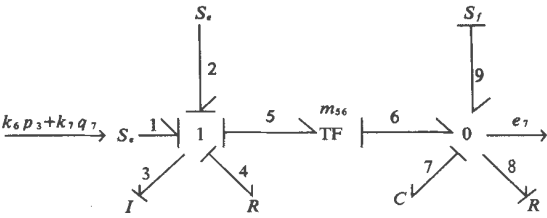


图 1 二阶系统的键图模型

Fig. 1 Bond graph model of two-order system

该模型所描述的电网络系统和机械系统见图 2. 对应关系如表 1 所示.

按照相似性原理, 还可扩展于热力学、流体力学等系统.

设状态变量 $x = \begin{bmatrix} p_3 \\ q_7 \end{bmatrix}$, p_3, q_7 分别为感性元上的广义动量和容性元上的广义位移; 控制输入变量 $u = [e_1]$; 扰动变量 $u' = \begin{bmatrix} e_3 \\ f_9 \end{bmatrix}$, e_3, f_9 分别为干扰力源和干扰流源; 输出变量 $y = [e_7]$.

假设所有键图元素都是线性的, 则方程普通形式为

$$\dot{x} = Ax + Bu + B'u' \tag{1}$$

对本例有

$$\begin{bmatrix} \dot{p}_3 \\ \dot{q}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_4/R_3 & -m_{56}/C_7 \\ m_{56}/I_3 & -1/R_8C_7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_3 \\ q_7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} [e_1] +$$

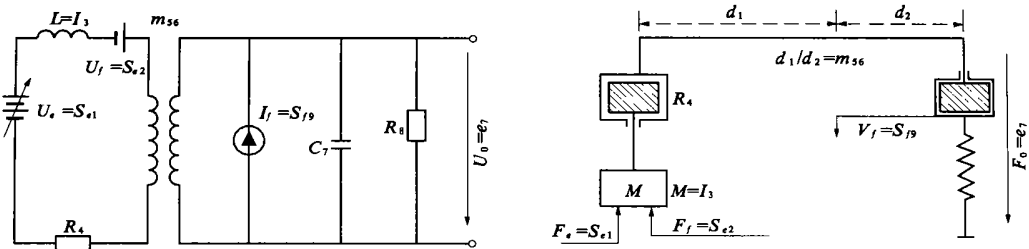


图 2 模型的电网络系统和机械系统

Fig. 2 Electrical network system and mechanical system of the model

表 1 键图元素及变量与物理系统的对应关系

Tab. 1 Relationships between bond graph elements and corresponded physical systems

变量及元素	机械系统	电网络
力源 S_{e1}, S_{e2}	外施力 F	电压源
流源 S_{f9}	速度源 V	电流源
力变量 e	力 f	电压 u
流变量 f	速度 v	电流 i
广义动量 p (力的积分)	机械动量(f 的积分)	电压动量(u 的积分)
广义位移 q (流的积分)	位移(v 的积分)	电荷(i 的积分)
感性元 I_3 等	质量 M	电感 L
耗能元 R_4, R_8 等	摩擦阻尼器 R	电阻 R
容性元 C_7 等	弹簧系数的倒数 $1/K$	电容 C
变换器 TF	力平衡(或位移平衡) 杠杆	变压器(或变流器)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e_2 \\ f_9 \end{bmatrix} \quad (2)$$

输出方程形式为

$$y=Cx+Du+D'u' \quad (3)$$

此处应为

$$\begin{bmatrix} e_7 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0 & 1/C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_3 \\ q_7 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_2 \\ f_9 \end{bmatrix} \quad (4)$$

当使用状态反馈时有

$$u=Kx \quad (5)$$

本例应为

$$e_1=k_3p_3+k_7q_7 \quad (6)$$

代入式(1),闭环状态下,方程应为

$$\dot{x}=(A+BK)x+B'u' \quad (7)$$

若系统可控,则可通过变量优化或极点配置找到合适的反馈增益矩阵 K . 对容性元上的状态变量 q_7 ,据 $q_7=Ce_7$ 的定义,可以很方便地通过对输出量的测量而获得. 若状态变量 p_3 为不可测参量,需通过观测器的设置以重构对应状态变量. 根据键图结构原理,增加附加的受控输入源后,可获得与图 1 系统对应的完全状态观测器模型如图 3 所示.

对该观测器结构的考虑主要有以下几方面^[3]:

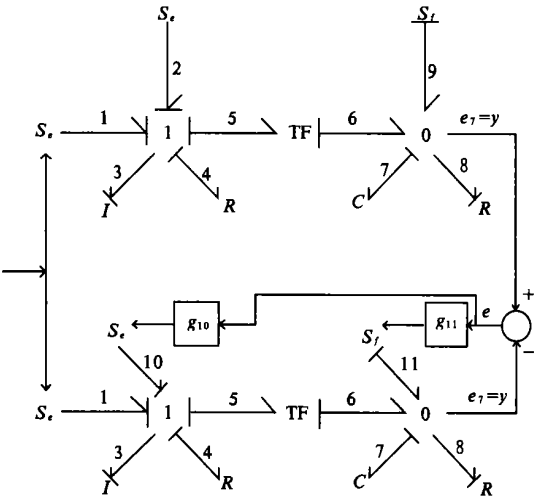


图 3 图 1 的完全状态观测器模型

Fig. 3 Complete state observer model of Fig. 1

- (1) 观测器形式与原系统尽可能对应(对应变量符号上加“ \sim ”以示区别)。
- (2) 附加的输入受控源所提供的变量与系统原输出和观测器输出之差成比例。
- (3) 对于未知随机干扰输入不予考虑. 反映在观测器结构上,移去了这种干扰输入源如图 3 所示. 对稳态的干扰输入应予考虑. 由于篇幅所限,本文暂不对此类情况深入讨论。

现假设观测器参数与原物理系统相同,则观

3 结束语

键图提供了一种规范化的形式对物理系统的模型推出状态方程,它保留了系统物理学的初始联系,通常这有助于决定哪一个状态变量易于测量,而哪些必须以某种方式来估计.在应用键图构成系统的观测器时,根据因果关系的原则,便于快捷地导出降阶观测器的结构形式.

作为一种辅助工具,键图主要用于模型结构及方程形式的探讨.关于控制器或观测器中的增益选择、极点配置等问题,仍应沿用现代控制理论中的有关论述及方法去解决.

参考文献:

- [1] KARNOPP D,ROSENBERG R.System Dynamics : A Unified Approach[M].New York John Wiley,1975.
- [2] LUENBERGER D G.An introduction to observers[J].IEEE Trans Automatic Control,1977,AC-16(6):596~602.
- [3] 欣内尔斯.现代控制系统理论及应用[M].李育才,译.北京:机械工业出版社,1984.
- [4] MAURICE K.Computing platform options and trends in automation and control[J].Current Trends in Automation and Control,Technical Papers of ISA,2000,(399):121~130.

Designing of State Observer of Dynamics Systems Based on Bond Graph Model

LIANG Wei

(Department of Controlling Engineering,Zhengzhou Institute of Light Industry,Zhengzhou 450002,China)

Abstract : With the bond graph model,a new structure for the designing of state observer in modeling of dynamics system is discussed.The method can make augments and retrenchments to some physical effects expediently by means of causality rules in modeling processing,and reduce the type,the number and the effects of state variable required by producing low level model.In this way,modeling is much more prompt.It maintains a visual and intimate connection with original physical system.This is helpful in giving a clear physical explanation for each step.In a unified way,the designs of complete state observer and partial observer can be fulfilled.The designing steps and examples are given out in the paper.

Key words : state equation; observer; bond graph