



一种新型的仿人智能控制器的设计方法¹⁾

涂亚庆 李祖枢

(重庆大学自动化系 630044)

摘 要

本文在文献[1,2]提出的仿人智能控制理论的基础之上,探索了设计其仿人智能控制器的基本思想和方法,并以伺服控制为例阐明了设计的步骤及其仿真实验结果。

关键词: 智能控制,仿人智能控制,设计方法。

1 引言

据文献[1]阐述的智能控制理论,仿人智能控制器(HSIC)在结构上是一个分层递阶的信息处理系统(如图1)。直接控制层面对实时控制问题。自校正层解决直接控制级中控制模态的参数自校正问题。任务自适应层解决直接控制层或参数校正层中特征模型,推理规则和控制与决策模态及参数值的选择、修改、以至生成的问题。三层一起构成典型的具有高阶产生式系统结构的单元智能控制器。

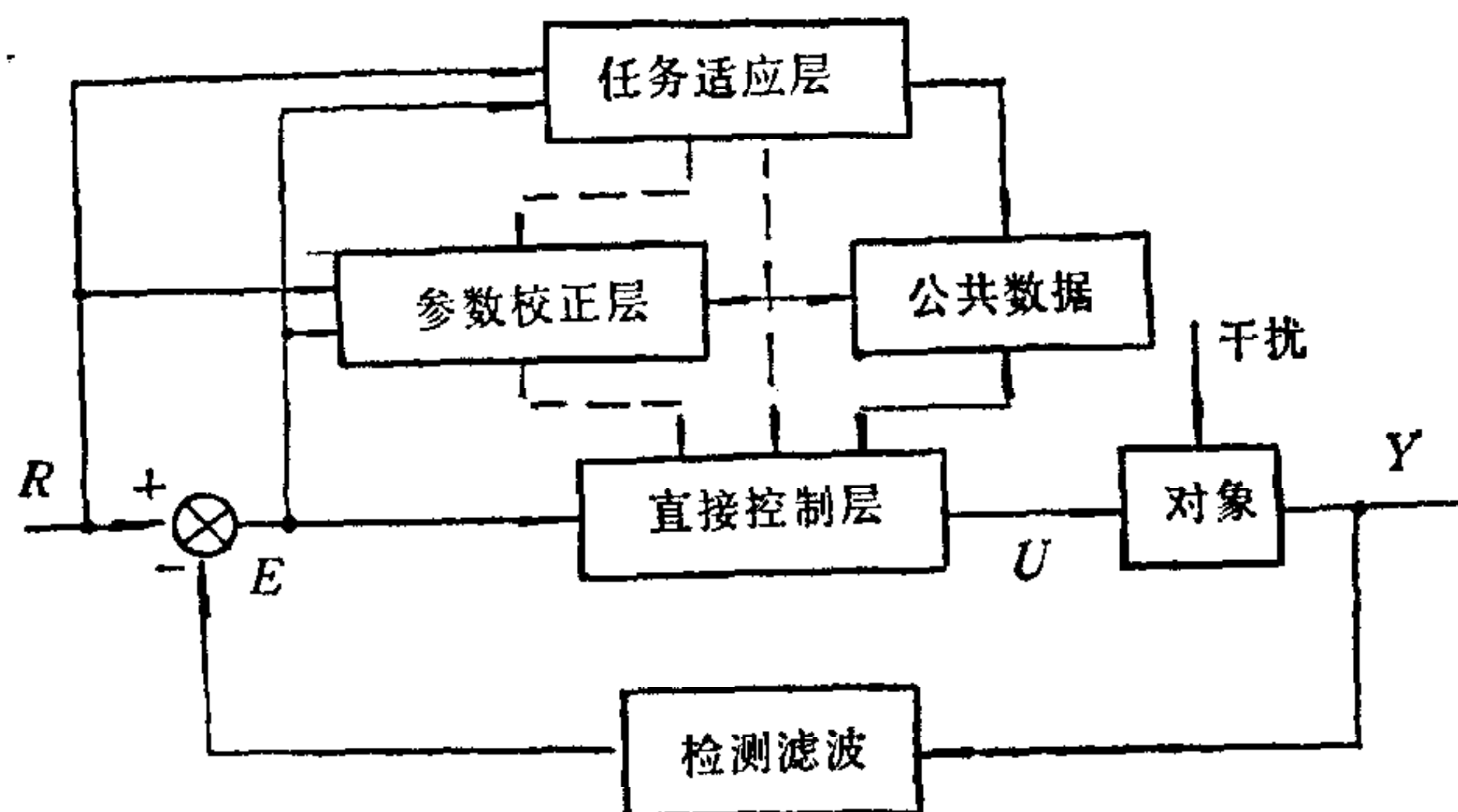


图1 HSIC 单元控制器结构图

控制问题的求解,对仿人智能单元控制器的每一层而言,实际上都可视为如(1)式所示的具有定性与定量结合的二次映射关系的信息处理与决策过程^[2]。

$$(\Phi_j; \Psi_j; \Omega_j), (R_j; U_j; F_j), j = 1, 2, 3. \quad (1)$$

1) 本文研究得到国家自然科学基金资助。
本文于1991年11月23日收到

其中 $\Omega_j; \Phi_j \rightarrow \Psi_j$,

$$\Omega_j = \{\omega_{j1}, \dots, \omega_{jr}\}, \quad (\text{定性映射}),$$

$$\omega_{ji}: \text{if } \phi_{ji} \text{ then } \psi_{ji},$$

$$\Psi_j: R_j \xrightarrow{F_j} U_j, \quad \Psi_j = \{\psi_{j1}, \psi_{j2}, \dots, \psi_{jr}\},$$

$$\phi_{ji}: u_{ji} = f_{ji}(e, \dot{e}, \lambda, \dots), \quad (\text{定量映射}),$$

或 $f_{ji} \rightarrow \text{IF (条件) THEN (操作)}, (\text{定性映射}).$

2 设计的基本思想及依据

仿人智能控制器 (HSIC) 具有以下特点:

- 分层的信息处理和决策机构(高阶产生式系统结构);
- 在线的特征辨识和特征记忆;
- 开、闭环控制结合, 正、负反馈控制结合和定性决策与定量控制结合的多模态控制;
- 启发式和直觉推理逻辑的应用.

仿人智能控制器的设计过程就是建立特征模型及多模态控制(决策)模型的过程。传统最优控制中的泛函性能指标, 如 ISE、ITAE 等, 应该说是建立在单模态控制基础上的。一旦对象的数学模型已知, 按性能指标总可以设计出控制器的结构与参数。但在智能控制的过渡过程中, 控制模态依据在线特征辨识的结果确定。由于对象不确定, 特征的类别和大小不能完全用解析的方法事先推出来。传统的最优控制性能指标只能作为事后评价系统性能的标准, 不能在设计决策过程中作为准绳。因此, 建立一种能够依据系统瞬态响应, 判断系统运行趋势好坏的指标并作为设计的目标函数十分必要。这就要求探索瞬态响应的特征与系统性能好坏的关系, 由瞬态响应目标函数间接推知系统性能的好坏。

仿人智能控制器主要从偏差中获取有关信息, 设计依据可建立在时相空间($e - \dot{e} - t$)上。显然无论是定值控制还是伺服控制, 一个动态控制过程总是在此空间中画出一条轨迹, 品质好的控制画出的是一条理想轨迹。若以这条理想轨迹作为设计智能控制器的目标, 轨迹上的每一点都可视为控制过程中的瞬态指标。以下为简述方便, 考虑这条轨迹

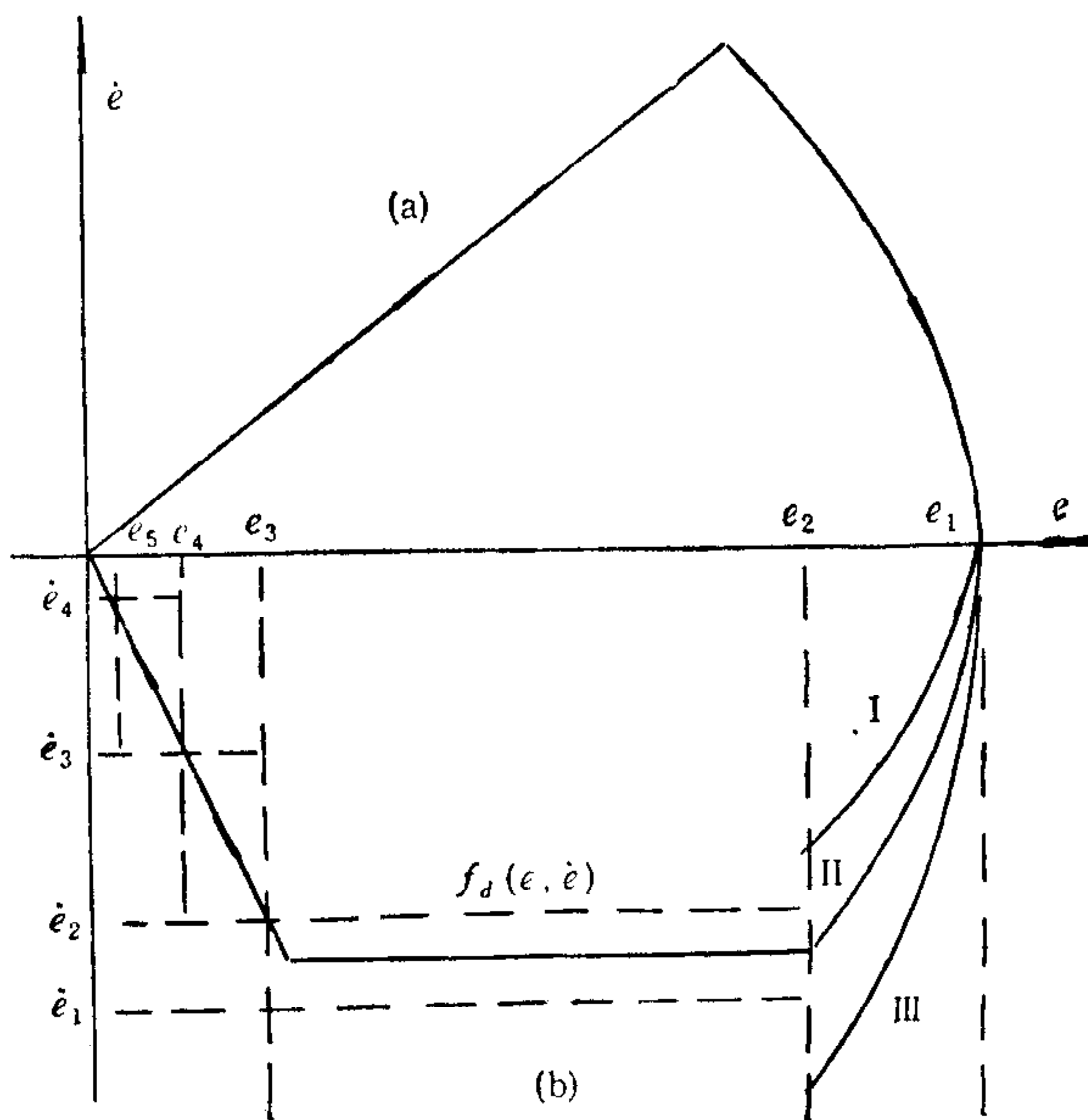


图 2 设计 HSIC 的误差相平面图

在 $(e - \dot{e})$ 相平面上的投影,即设计在 $(e - \dot{e})$ 相平面上进行。

图 2 中曲线 (a) 表明了一个理想的定值控制过程;曲线 (b) 则为一个理想伺服控制的动态过程。如果以这样的运动轨迹作为设计智能控制器的目标,理想的情况就是迫使系统在轨迹上滑动。但由于被控对象具有不确定性且又不确知,实际上运动的轨迹只可能处在这条理想曲线周围的一曲柱中(对 $(e - \dot{e})$ 相平面而言应是一曲带中)。因此设计的任务就变成根据这一曲柱在误差时相空间的位置划分出特征状态空间,并以迫使系统运动状态轨迹始终运行在曲柱体内为目标,设计出与特征状态对应的控制与决策模态。

3 设计的方法和基本步骤

3.1 设计方法简述

1) 被控对象模型的处理。

尽管在许多情况下被控对象的全特性不确知,但其所具非线性、时变性和不确定性对控制的影响总可以用一些典型的非线性环节加上“类等效”的简化线性模型在结构和参数上的变化给予极限化和典型化的模拟^[3]。根据对被控对象的定性了解建立起对象的结构模型,并根据对某些特征量(例如:某些非线性特征、纯滞后、等效时滞和增益等)的模糊估计确定对象模型结构和参数可能变化的大致范围。例如对伺服系统而言有

$$f(\cdot) = \frac{K(1 + aS)}{S(1 + bS)}, \quad \begin{matrix} K_1 \leq K \leq K_2, \\ a_1 \leq a \leq a_2, \\ b_1 \leq b \leq b_2. \end{matrix} \quad (2)$$

2) 目标轨迹的确定。

根据用户对控制性能指标(例如:上升时间、超调量、稳态精度等)的要求,确定一理想的单位阶跃响应过程,把它变换到 $(e - \dot{e})$ 相平面上去,并作为设计智能控制器特征模型和控制、校正模态的目标轨迹。

3) 控制规则及模态的确定。

根据系统理想的误差相轨迹 $f_d(e, \dot{e})$ 在 $(e - \dot{e})$ 相平面上的位置划分特征状态区域。根据这些特征状态下系统的误差的运动状态和趋势模仿人的控制行为设计控制或校正模态。

3.2 设计的基本步骤。

为便于说明,以对象不含有纯滞后环节的伺服系统为例,具体说明仿人智能控制器的设计步骤。在快速、无超调和控制受限等要求下,伺服控制的理想误差相平面轨迹如图 2 中的第四象限部分所示。设计智能控制算法的基本步骤如下:

1) 如图 2 所示,在控制的初始阶段 $(e_1 \rightarrow e_2)$, 相对控制要求而言偏差很大,应采用 bang-bang 控制激发出 e_2 点的偏差变化速度 \dot{e} 。不同的对象(如参数不同)这一速度是不一样的。如图 2 中的 I、II、III 所示,对象由偏差 e_1 变化到偏差 e_2 时,偏差变化速度显然是不同的。这一速度相对反应了对象静态增益及时间常数等参量。可以说是在线辨识思想的一种体现形式。

2) 在偏差减小的中间段 $(e_2 \rightarrow e_3)$, 应采用偏差为 e_2 时的偏差变化速度作为控制

的瞬态目标, 并以控制这一速度来控制系统的性能。当实际的偏差变化速度大于此速度时, 采取将偏差速度压低的组合控制模态; 而当实际偏差变化速度低于此速度时, 采取相应措施将偏差速度提高。此段时期的控制策略是尽可能保持这一较大的偏差减小速度, 提高动态过程的可控性, 并使偏差较快减小。

3) 当偏差减少到 e_3 时, 为了使被调量无超调且无静差地逐步跟踪上输入给定值, 应采取压低偏差变化速度的措施。为了使其逐步减小, 可采用分段压低策略。在 $e_3 \rightarrow e_4$ 段和 $e_4 \rightarrow e_5$ 段分别设立偏差减小速度的上下限 (\dot{e}_2 、 \dot{e}_3 、 \dot{e}_4) 作为此时的瞬态特征 (指标)。这一段过程 ($e_3 \rightarrow e_4 \rightarrow e_5$), 主要是为了降低较大的偏差减小速度, 避免超调。进而为避免速度过小出现的爬行现象, 应逐步使偏差变化速度减小, 使偏差过渡到控制所要求的值。

4) 在偏差及偏差变化速度满足控制要求时 ($e \leq e_5$ 、 $\dot{e} \leq \dot{e}_4$), 采取保持控制量的策略, 使之自行衰减达到平衡, 以实现对被调量的无超调且无静差控制。

5) 为了防止失控现象, 从特征模型到控制 (决策) 行为模态的映射应是满射。当误差相轨迹进入第二象限时 (第四象限同样), 应有相应控制 (决策) 模式。此外, 对误差相轨迹进入第三象限 (第一象限类似) 的控制 (决策) 模式也必须加以研究。误差相轨迹进入第三象限时, 说明有超调发生。对于不同的超调及不同的偏差上升速度, 应采取不同的控制措施。加上对误差进入相平面第三象限的情况的研究, 以上整个过程对定值控制也是有效的。定值控制时, 误差首先进入相平面第一象限, 当误差变化速度衰减为零时, 开始进入相平面第四象限, 设计思想同以上 1)~4) 点。

6) 任务空间的划分。即与输入量相当的控制量的确定、各阶段内参数、阈值的调整、控制量及偏差变化速度的限制和稳定性监控等有关问题, 由任务适应层解决。保持、抬高和压低偏差变化速度的具体决策模式, 可以在参数校正层用多模态的组合形式及参数校正解决。多模态控制的具体实施 (求值运算), 由直接控制层完成。

4 仿真实验

作者依据以上的设计思想、方法及步骤, 对伺服控制设计了相应的算法¹⁾。仿真实验的条件如表 1 所示。

表 1

给定值	对象模型	给定值变化	对象模型变为	变化的条件
$R=1$	$1/s(s+1)$	$R=1$	$-1/s(s+1)$	进入稳态后 10 秒
$R=1$	$1/s(s+1)$	$R=-1$	$2/s(s+1)$	进入稳态后 10 秒
$R=1$	$1/s(s+1)$	$R=-1$	$0.5/s(s+1)$	进入稳态后 10 秒

仿真实验的结果分别如图 3, 4, 5 所示, 无论是对象特性发生突变, 还是给定值及对象

1) 涂亚庆, 辅助设计智能控制器的专家系统, 重庆大学硕士论文, 1991。

特性同时变化, HSIC 均能实现快速、无超调控制。除以上仿真实验外,笔者还作了大量的仿真实验,均得到了性能很好的控制结果。

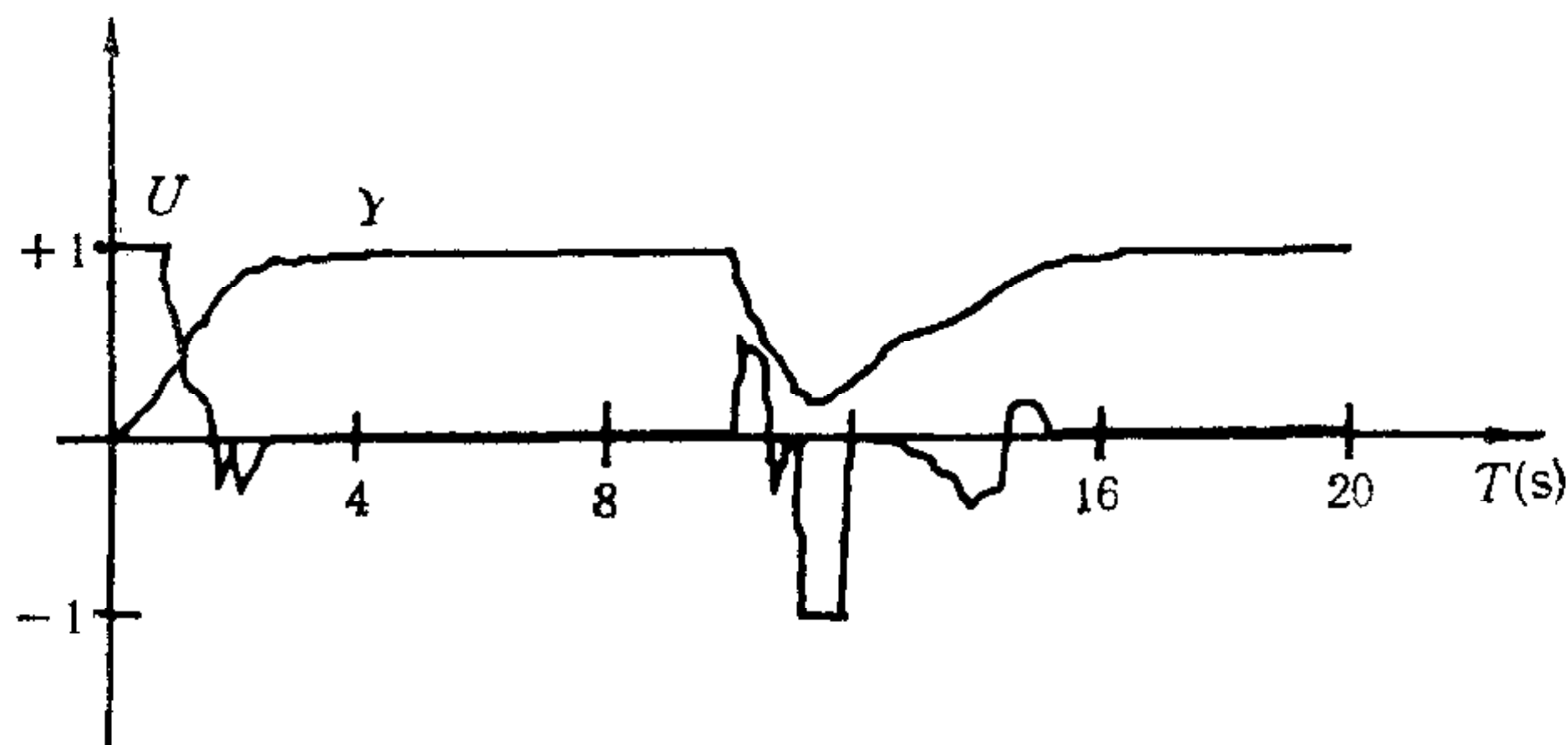


图 3 仿真实验结果(1)

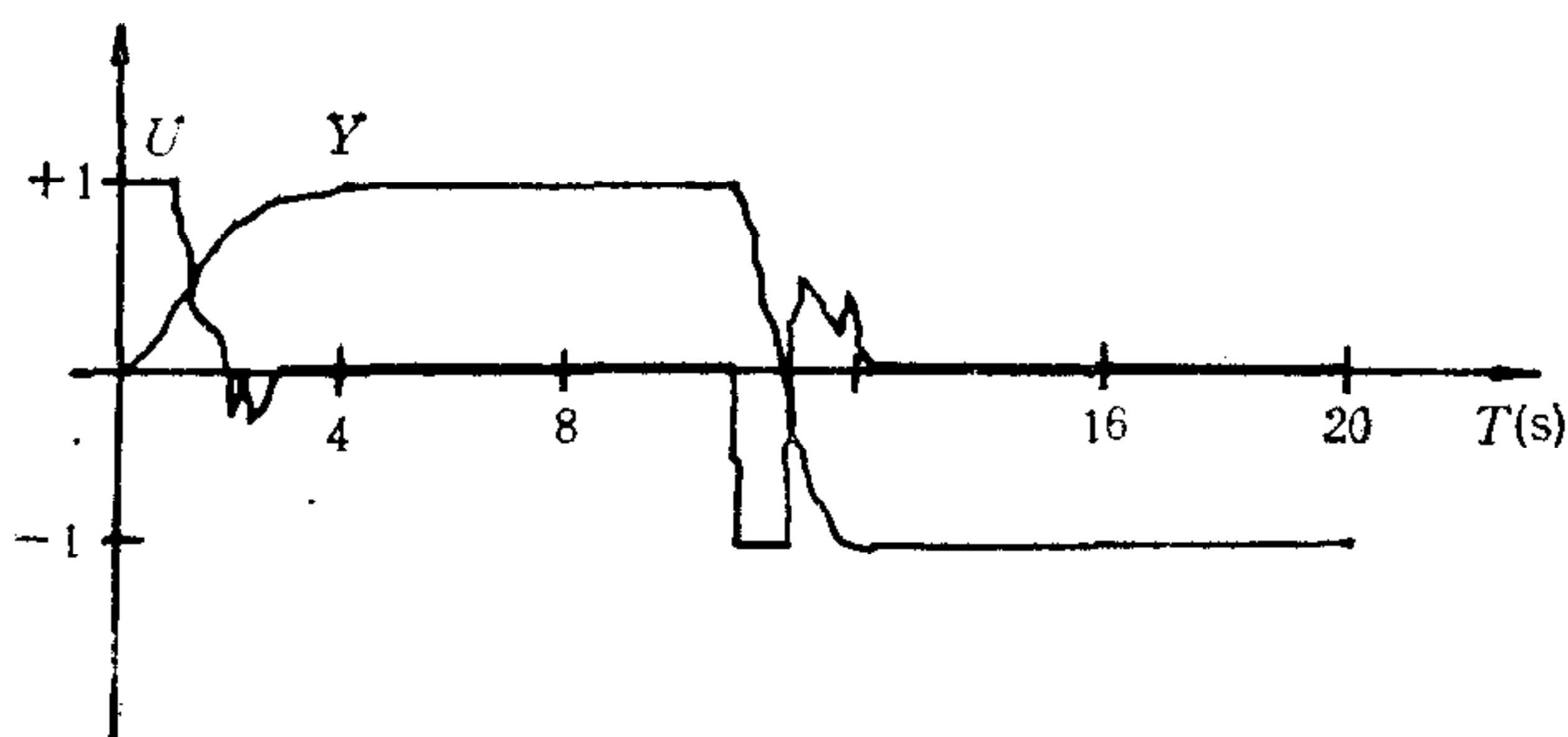


图 4 仿真实验结果(2)

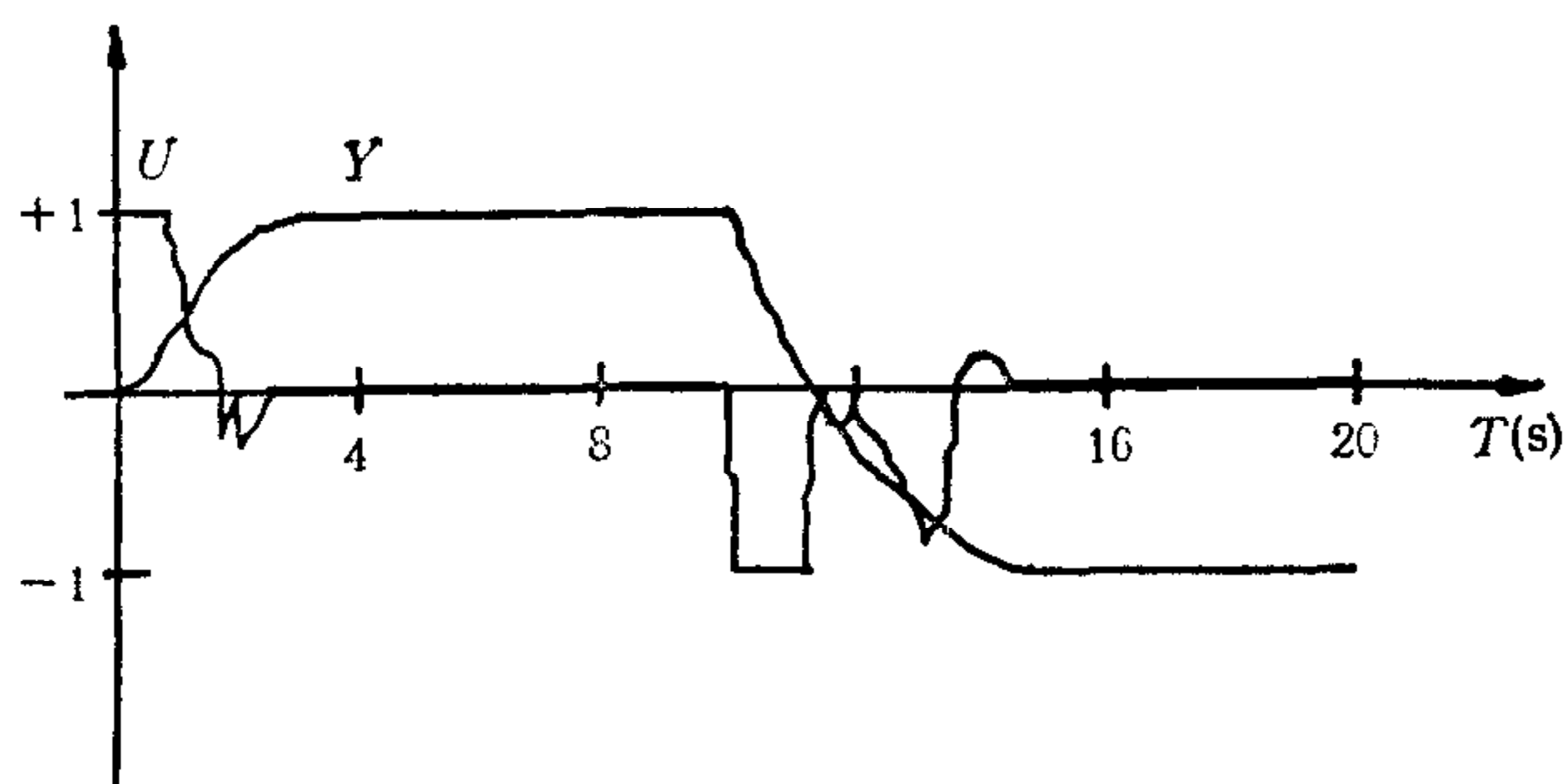


图 5 仿真实验结果 (3)

本文提出了仿人智能控制器设计的基本思想及方法,并以伺服控制阐明了设计步骤。仿真实验验证了所提设计思想及方法的有效性。当然提出的思想和方法是初步的,还需要进一步的完善。

参 考 文 献

- [1] 李祖枢. 智能控制理论研究. 信息与控制, 1991, 20(1): 27—38.
- [2] 李祖枢, 徐鸣, 周其鉴. 一种新型的仿人智能控制器 (SHIC). 自动化学报, 1990, 16(6): 503—509.

- [3] 李祖枢,周其鉴,任伟. 动态系统“类等效”模型测辨及多可调参数的 Padé 模型降阶, 自动化学报, 1985, 11(1): 53—61.

DESIGN METHOD FOR A NOVEL HUMAN SIMULATING INTELLIGENT CONTROLLER

TU YAQING LI ZUSHU

(Department of Automation, Chongqing University 630044)

ABSTRACT

In this paper the basic ideas and method to design HSIC (Human Simulation Intelligent Controller) are explored based on the reference [1,2]. Design procedures are described for servo system's control. The simulation results for the algorithm of intelligent controller are also given.

Key words: Intelligent control; human simulation intelligent control; design method.