



# 变指令智能控制模式及其在 预测拦截中的应用<sup>1)</sup>

姜玉宪 姜秀杰 张建洲

(北京航空航天大学自控系, 北京, 100083)

## 摘 要

本文提出一种变指令智能控制模式, 介绍其含义、构成、运行原理及其在预测拦截中的应用。

**关键词:** 智能控制, 智能控制器, 预测拦截, 比例导引。

## 一、引 言

智能控制已有二十几年的发展史。在机器人控制、过程控制以及航空航天控制等领域的应用中形成了一些智能控制模式<sup>[1-3]</sup>。它们大多是以智能控制器或神经网络与被控对象构成闭环系统来实现智能控制。摆脱了解析法设计系统控制律(控制作用解析算法)对控制作用的限制, 使控制算法灵活多样。然而, 往往丢掉解析设计法系统运行的连续性、控制算法的一般性以及较高的稳态工作精度等特点。

“变指令智能控制”不改变解析法设计系统的结构, 而是用智能控制器的输出修改输入指令, 达到既提高系统性能又能保留原系统特点的一种智能控制模式。

传统控制理论把控制指令视为不可改变的“法定量”, 为了提高系统对控制指令的响应精度, 只好改变系统的结构和参数。然而人在直接参与控制的过程中却常采取改变控制指令的办法, 达到提高系统响应精度的目的。

假定式 (1)

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= f(x, u, \zeta, t), \\ y &= Sx + Hu \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

表示一类控制系统的状态方程。式中  $x \in R^n$  为状态变量;  $u \in R^m$  为输入指令;  $\zeta \in R^p$  为外扰动;  $y \in R^q$  为系统响应, 用来评价系统

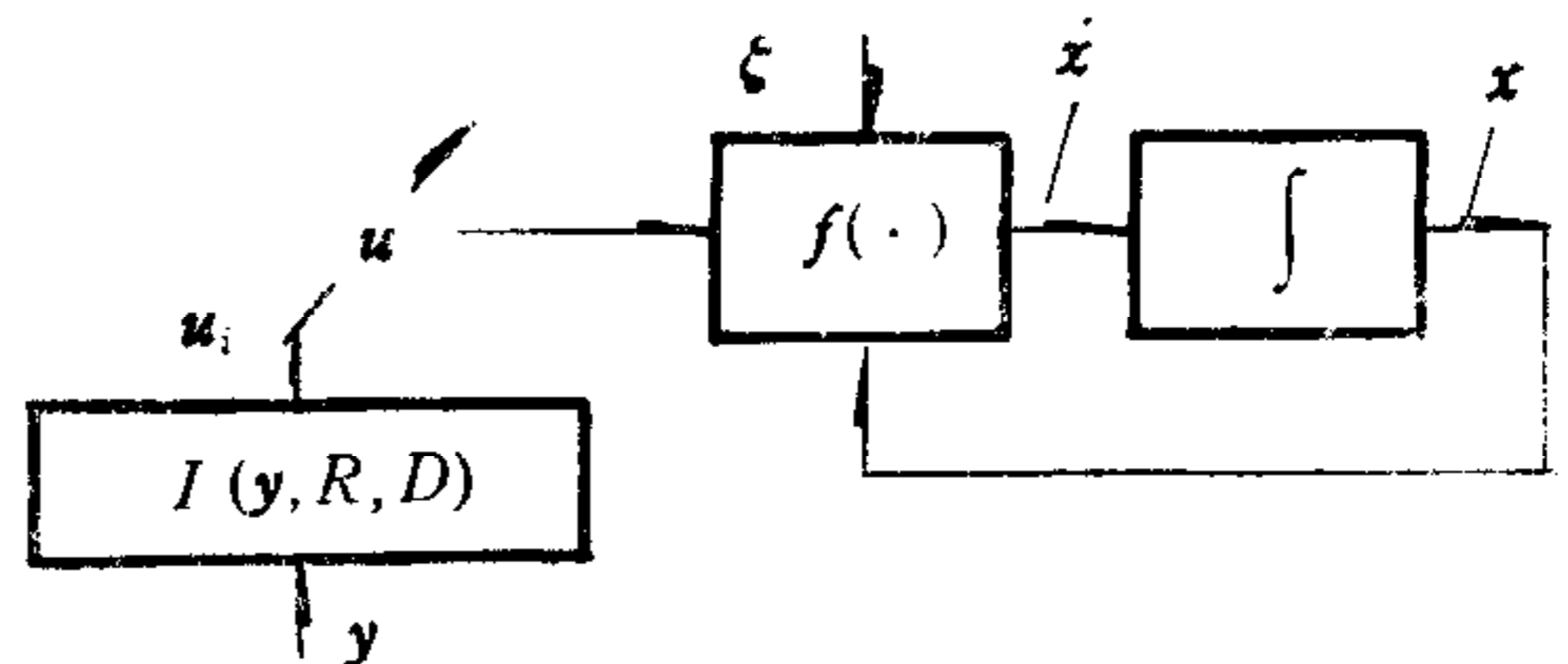


图1 变指令智能控制系统

本文于1991年10月22日收到。

1) 航空基金资助课题。本文曾在1991年全国高校控制理论与应用学术会(杭州)上宣读。

运行状态的优劣,  $\mathbf{y}^*$  为目标状态,  $S, H$  为具有相应维数的实数阵;  $\mathbf{f}(\cdot) \in R^n$  为向量函数。

设计一个智能控制器

$$\mathbf{u}_i = I(\mathbf{y}, R, D). \quad (2)$$

用它的输出  $\mathbf{u}_i$  改变控制指令  $\mathbf{u}$  的一种控制方式称为变指令智能控制模式, 如图 1 所示。式(2)中  $I(\cdot)$  为智能算子;  $\mathbf{y}$  为输入;  $R, D$  分别为规则集和决策集。

## 二、系统构成及运行原理

### 1. 系统响应状态空间

对于式(1)所代表的系统, 其响应  $\mathbf{y}$  通常属无穷维实数空间, 但考虑到智能控制的模糊特性, 需要对  $\mathbf{y}$  的可能取值范围进行模糊量化, 变成有限维状态空间  $\mathbf{y}(r)$ ,  $r$  为有界整数且  $\mathbf{y}(r) \supset \mathbf{y}^*$ 。

### 2. 控制规则集 $R$

控制规则集是一组根据人的经验、常识、推理等知识用模糊逻辑与语言变量写成的控制规则集合即

$$\text{if } \mathbf{y} \subset \mathbf{y}(l), \text{ then } \mathbf{u}_i = d_l. \quad (3)$$

式(3)中  $l \in 1-r, d_l$  为决策。

### 3. 决策集 $D$

$d_l$  是形成输出  $\mathbf{u}_i$  的控制算法, 如 PID 控制算法、最快控制算法等。  $D \supset d_l$  是  $d_l$  的全体。

### 4. 运行原理

将  $\mathbf{y}$  输入到智能控制器, 模糊量化后进行状态空间隶属关系搜索, 得决策后计算智能控制器输出  $\mathbf{u}_i$ , 用以改变输入指令  $\mathbf{u}$ 。

## 三、预测拦截及变指令智能控制预测拦截系统

### 1. 预测拦截问题

比例导引法已成功地运用了 40 多年, 但不适于目标前方拦截及攻击大机动目标。原因是这种导引法在前述攻击条件下由于不能预测目标未来的方位, 造成大的视线角速度所致。

给出制导问题的运动学方程。分别给予以下符号含义:  $r$  为视线长,  $\omega$  为视线角速度;  $\ddot{r}_m$  为导弹及目标运动在视线方向的加速度之和;  $\dot{r}_m$  为导弹运动视线变化率;  $\dot{\omega}_\zeta$  为目标运动引起的视线角加速度;  $K_\omega$  为比例导引系数。经推导可以得到平面(比例导引律)运动学方程

$$\ddot{r} = r\omega^2 + \ddot{r}_m, \quad r(0) = r_0, \quad \dot{r}(0) = \dot{r}_0, \quad (4)$$

$$\dot{\omega} = -(2\dot{r}/r)\omega + (\dot{r}_m/r)K_\omega\omega - \dot{\omega}_\zeta, \quad \omega(0) = \omega_0. \quad (5)$$

由式(4),(5)可看出发生零脱靶 ( $r = 0$ ) 拦截的充分条件为: ①  $\dot{r} < 0$ ; ②  $\omega = 0$ . 条件①由导弹速度保证; 条件②由制导系统保证.

**定义.** 在扰动  $\omega(0)$  及  $\dot{\omega}_\zeta$  的作用下, 实现  $\omega(t)$  渐近稳定的制导方法称为预测拦截.

### 2. 变指令智能控制预测拦截系统

#### 1) 原系统

原系统为比例导引系统, 假定用  $W_m(P) = 1/(TP + 1)$  表示系统的动力学特性, 结合式(4)及(5)得系统状态方程

$$\dot{x} = Ax + Bu + C\zeta, \tag{6}$$

$$y = Sx + Hu. \tag{7}$$

式中  $x = [\omega \dot{\omega}]^T$ ;  $u = [\omega_n \dot{\omega}_n]$ ,  $\omega_n$  为期望视线角速度,  $\omega_n = \dot{\omega}_n = 0$ ;  $\zeta = [\dot{\omega}_\zeta \ddot{\omega}_\zeta]^T$ ;  $S = I, H = -I$ , 故  $y = [\omega \dot{\omega}]^T$ ,  $y^* = [00]^T$  为目标状态.  $A, B, C$  可以导出其表达式, 其中  $B = [01]^T$ .

#### 2) 响应状态空间及决策集

将  $\omega$  及  $\dot{\omega}$  分别划分为正、负大值及正、负小值四档, 排列组合成具有十六个子空间的响应状态空间. 对应每个子空间都有一个决策  $d_i$ , 它们是:  $\pm 1.0, 0.5 K\omega, K\omega, 0$  等, 其中  $K = (2/K_\omega) - 1$  为经验值, 用来计算输出  $u_i$ .

#### 3) 智能预测拦截系统

以  $y = [\omega \dot{\omega}]^T$  作为输入, 以响应状态空间和决策组成的规则集和启发式搜索过程形成的推理机共同构成智能控制器. 将它附加在原比例导引系统, 便构成智能预测拦截系统, 如图 2 所示.

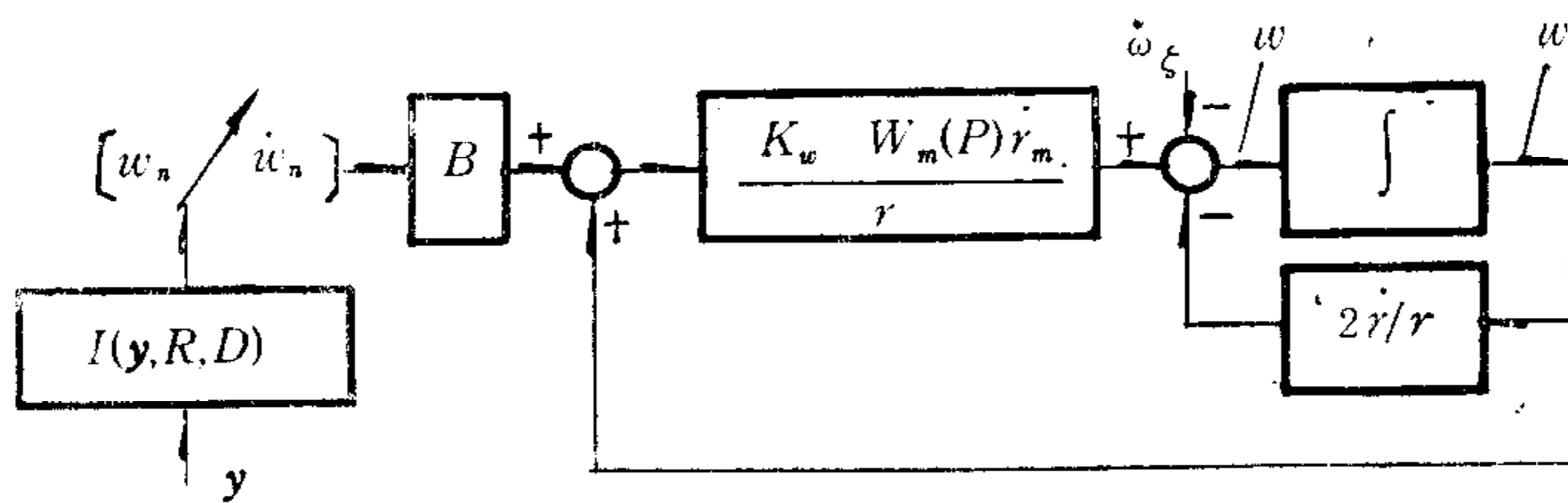


图 2 变指令智能预测拦截系统

## 四、仿真及结束语

在相同的条件下对照比例导引和智能预测拦截完成了数学及半物理仿真, 表 1 是其中一组结果数据. 结果表明: ① 智能预测拦截实现了对大机动目标(切向及法向加速度

表 1 一组仿真结果

条 件	比 例 导 引		智能预测拦截	
	前向拦截	后方追击	前向拦截	后方追击
脱靶量 (m)	59.70	1.997	7.300	1.913

分别为  $200\text{m/s}^2$  及  $50\text{m/s}^2$ ) 的预测拦截,  $\omega(t)$  接近零; ②保留了比例导引的优点; ③只需要  $\omega$  信号, 工程容易实现 ( $\dot{\omega}$  由智能控制器估算).

### 参 考 文 献

- [1] Fu K. S., Learning Control System and Intelligent Control Systems: An Intersection of Artificial Intelligence and Automatic Control *IEEE Trans.*, AC-16 (1971) (1): 70—72.
- [2] Saridis, G. N., Toward the Realization on Intelligent Controls, Proc. of IEEE. 1979: 67(8).
- [3] Narendra, K. S. and Parthasarathy K., Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks, *IEEE Transactions on Neural Networks*, March 1990.
- [4] 姜玉宪, 一种预测拦截末制导方法, 宇航学报, 1989, (1), 120—127.

## AN INTELLIGENT CONTROL PATTERN OF CHANGING INSTRUCTION AND ITS APPLICATION IN PREDICTIVE INTERCEPT

JIANG YUXIAN JIANG XIUJIE ZHANG JIANZHOU

(Dept. of Automation, Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing, 100083, China)

### ABSTRACT

This paper discusses a kind of pattern of changing instruction intelligent control and presents its implication, composition, work principle and its application on predictive intercept.

**Key words:** intelligent control; intelligent controller; predictive intercept; proportional navigation.