

多重系统同时极点配置的动态补偿器的设计

张新家 戴冠中

(西北工业大学计算机系·西安, 710072)

摘要: 本文研究了多重系统同时稳定或极点配置的控制器设计问题. 同时稳定或极点配置是出于设计容错控制系统之所需. 本文推导了由一个动态补偿器对多重系统进行同时极点配置的充分条件. 对于单输入或单输出的情况, 上述充分条件也是必要的. 文章的最后给出了设计方法以及一个实例.

关键词: 同时稳定; 同时极点配置; 容错控制系统; 动态补偿器

1 引言

多重系统同时稳定的问题描述如下: 给定 r 重系统的 $p \times q$ 阶的传递函数阵为 $G_i(s)$ ($i=1, 2, \dots, r$), 是否存在相同的 $q \times p$ 阶补偿控制器 $K(s)$, 使得图 1 所示的 r 个闭环反馈系统的 $p \times q$ 阶传递函数阵 $[I + G_i(s)K(s)]^{-1}G_i(s)$ ($i=1, 2, \dots, r$) 都具有稳定的极点^[1].

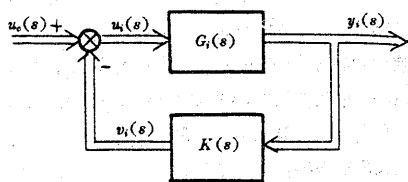


图 1 动态补偿控制系统

系统同时稳定的问题是容错控制系统设计中面临的新课题. 在控制系统运行过程中, 由于各种因素的干扰, 有可能出现各种不同的故障^[2], 因而使系统的动态特性也发生相应的变化. 假定 $G_1(s)$ 是系统无故障情况下的传递函数阵, $G_2(s), G_3(s), \dots, G_r(s)$ 分别是 $r-1$ 个故障发生后系统的传递函数阵, 那么使 $G_1(s), G_2(s), \dots, G_r(s)$ 同时稳定的补偿控制器 $K(s)$ 就能保证整个控制系统具有很好的可靠性.

Ackermann^[3]和 Petersen^[9]分别解决了多重单输入系统同时稳定的输出反馈控制器和非线性状态反馈控制器的设计. Vidyasagar^[4,8]和 Sacks^[5,7]等证明了使两个系统 ($r=2$) 同时稳定的补偿器存在的充要条件, 其结果是: 使两个系统同时稳定的动态补偿器的设计, 可转化为对单个辅助控制系统的动态补偿器的设计问题.

本文的工作是讨论任意 r 重控制系统同时可任意配置极点的动态补偿器的存在条件及其设计方法. 在第二节给出了主要结果; 第三节中讨论了动态补偿控制器的设计方法, 并给出了设计的例子, 第四节则是结论.

2 动态补偿器存在的条件

在本节中将证明任意 r 重多变量闭环反馈系统同时可极点配置的动态补偿器存在的充分条件和 r 重单变量系统同时可极点配置的动态补偿器存在的充要条件. 如果 $K(s)$ 使 $G^T(s)$ 稳定, 则 $K^T(s)$ 一定使 $G(s)$ 稳定, 因而不失一般性, 假定 $G_i(s)$ 的输出维数 p 不大于

输入维数 q , 且 $G_i(s) (i=1, 2, \dots, r)$ 的最小实现为

$$s_i: \begin{cases} \dot{x}_i(t) = A_i x_i(t) + B_i u_i(t), \\ y_i(t) = C_i x_i(t), \quad x_i(0) = x_{i0}. \end{cases} \quad (1)$$

式中 A_i, B_i 和 C_i 分别是 $n \times n, n \times q$ 和 $p \times n$ 阵. 设 $q \times p$ 阶的动态补偿器 $K(s)$ 的 m 维最小实现为

$$\begin{cases} \dot{z}_i(t) = D z_i(t) + E y_i(t), \\ v_i(t) = F z_i(t) + H y_i(t). \end{cases} \quad (2)$$

其中 D, E, F 和 H 分别是 $m \times m, m \times p, q \times m$ 和 $q \times p$ 阵, 则在控制规律

$$u_i(t) = u_c(t) - v_i(t)$$

作用下, r 个闭环系统可描述如下

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_i(t) \\ \dot{z}_i(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_i - B_i H C_i & -B_i F \\ E C_i & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i(t) \\ z_i(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_i \\ 0 \end{bmatrix} u_c(t). \quad (3)$$

定义 $(n+m) \times (n+m)$ 阶的矩阵 A_m^i 为

$$A_m^i \triangleq \begin{bmatrix} A_i - B_i H C_i & -B_i F \\ E C_i & D \end{bmatrix},$$

则有

$$A_m^i = \bar{A}_m^i + \bar{B}_m^i \bar{K} \bar{C}_m^i, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \bar{A}_m^i &= \begin{bmatrix} A_i & O_{n \times m} \\ O_{m \times n} & O_{m \times m} \end{bmatrix}, \quad \bar{B}_m^i = \begin{bmatrix} B_i & O_{n \times m} \\ O_{m \times q} & I_m \end{bmatrix}, \\ \bar{C}_m^i &= \begin{bmatrix} C_i & O_{p \times m} \\ O_{m \times n} & I_m \end{bmatrix}, \quad \bar{K} = \begin{bmatrix} -H & -F \\ E & D \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

由(4)知, 使 r 重系统同时稳定的动态补偿控制器设计, 可转化为寻找输出反馈阵 $\bar{K}$, 使得 r 个辅助系统 $\bar{S}_i = \{\bar{A}_m^i, \bar{B}_m^i, \bar{C}_m^i\}$ 的闭环输出反馈系统的状态矩阵 A_m^i 具有稳定的极点^[6].

定理 1 对于(1)式描述的 r 个循环可控可观系统, 如果存在 p 维行向量 t , 使得下列条件成立:

I) $\{\bar{A} \triangleq \text{diag}[A_1, A_2, \dots, A_r], \bar{B} \triangleq [B_1^T, B_2^T, \dots, B_r^T]^T\}$ 可控,

II) $\text{rank} \begin{bmatrix} 1 & t C_1 B_1 \\ 1 & t C_2 B_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & t C_r B_r \end{bmatrix} = r$, 且 $(A_i, t C_i)$ 可观.

则存在维数为 m 的动态补偿器(2), 使得 r 个闭环系统(3)的 $n+m$ 个极点[总数为 $r(n+m)$]可任意配置, 其中 m 满足条件

$$m(q-r+1) \geq \max\{rn-q, p_c(q-r+1)\}, \quad p_c \text{ 是 } (\bar{A}, \bar{B}) \text{ 的可控性指数.}$$

证 第 i 个闭环反馈系统(3)的极点是下列方程的根

$$\Delta_m^i(s) = |sI_{n+m} - \bar{A}_m^i - \bar{B}_m^i \bar{K} \bar{C}_m^i| = 0.$$

即有

$$\Delta_m^i(s) = s^m \Delta_i(s) |I_{m+q} - \bar{K} \bar{C}_m^i (sI_{n+m} - \bar{A}_m^i)^{-1} \bar{B}_m^i| = 0. \quad (5)$$

其中

$$\Delta_i(s) = |sI_n - A_i| = s^n + \alpha_{n-1}^i s^{n-1} + \dots + \alpha_1^i s + \alpha_0^i.$$

定义

$$\bar{K} = \begin{bmatrix} k_1 t & k_{1,p+1} & k_{1,p+2} & \cdots & k_{1,p+m} \\ k_2 t & k_{2,p+1} & k_{2,p+2} & \cdots & k_{2,p+m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{q+m} t & k_{q+m,p+1} & k_{q+m,p+2} & \cdots & k_{q+m,p+m} \end{bmatrix},$$

$$g_i = tC_i,$$

$$\Delta_i(s)tC_i(sI_n - A_i)^{-1}B_i = (N_1^i(s), N_2^i(s), \dots, N_q^i(s)) \\ = (s^{n-1}, s^{n-2}, \dots, s, 1)L^i,$$

$$L^i = \text{col}(g_i B_i, g_i A_i B_i + \alpha_{n-1}^i g_i B_i, \dots, g_i A_i^{i-1} B_i \\ + \sum_{k=1}^{i-1} \alpha_{n-k}^i g_i A_i^{i-k-1} B_i, \dots, g_i A_i^{n-1} B_i + \sum_{k=1}^{n-1} \alpha_{n-k}^i g_i A_i^{n-k-1} B_i),$$

则 $s\Delta_i(s)\bar{K}\bar{C}_m^i(sI_{n+m} - \bar{A}_m^i)^{-1}\bar{B}_m$ 可表示为

$$\begin{bmatrix} k_1 s N_1^i(s) & \cdots & k_1 s N_q^i(s) & k_{1,p+1} \Delta_i(s) & \cdots & k_{1,p+m} \Delta_i(s) \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ k_q s N_1^i(s) & \cdots & k_q s N_q^i(s) & k_{q,p+1} \Delta_i(s) & \cdots & k_{q,p+m} \Delta_i(s) \\ \hline k_{q+1} s N_1^i(s) & \cdots & k_{q+1} s N_q^i(s) & k_{q+1,p+1} \Delta_i(s) & \cdots & k_{q+1,p+m} \Delta_i(s) \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ k_{q+m} s N_1^i(s) & \cdots & k_{q+m} s N_q^i(s) & k_{q+m,p+1} \Delta_i(s) & \cdots & k_{q+m,p+m} \Delta_i(s) \end{bmatrix}.$$

定义矩阵

$$\bar{K}_0 = \begin{bmatrix} k_{q+1,p+1} & \cdots & k_{q+1,p+m} \\ \vdots & & \vdots \\ k_{q+m,p+1} & \cdots & k_{q+m,p+m} \end{bmatrix}, \quad \bar{K}_l = \begin{bmatrix} k_l & k_{l,p+1} & \cdots & k_{l,p+m} \\ k_{q+1} & & & \\ \vdots & & \bar{K}_0 & \\ k_{q+m} & & & \end{bmatrix}.$$

设 $\delta_k^i = (-1)^k$ 与矩阵 $\bar{K}_l$ 所有阶数为 k 的主子式和的乘积 ($l=0, 1, 2, \dots, q, k=1, 2, \dots, m$)
 $\delta_{m+1}^0 = 0.$

则由方程(5)及行列式的基本性质可得

$$\Delta_m^i(s) = s^m \Delta_i \sum_{l=1}^q \begin{vmatrix} -k_l N_1^i / \Delta_i & -k_{l,p+1} / s & \cdots & -k_{l,p+m} / s \\ -k_{q+1} N_1^i / \Delta_i & & & \\ \vdots & & A_0 & \\ -k_{q+m} N_1^i / \Delta_i & & & \end{vmatrix} + s^m \Delta_i |A_0| \\ \triangleq s^m \Delta_i(s) \sum_{l=1}^q |A_l| + s^m \Delta_i(s) |A_0|, \\ A_0 \triangleq \begin{bmatrix} 1 - k_{q+1,p+1} / s & -k_{q+1,p+2} / s & \cdots & -k_{q+1,p+m} / s \\ -k_{q+2,p+1} / s & 1 - k_{q+2,p+2} / s & \cdots & -k_{q+2,p+m} / s \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ -k_{q+m,p+1} / s & -k_{q+m,p+2} / s & \cdots & 1 - k_{q+m,p+m} / s \end{bmatrix}.$$

由行列式性质可得

$$|A_0| = 1 + \sum_{k=1}^m \delta_k^0 s^{-k} = 1 + \sum_{k=1}^{m+1} \delta_k^0 s^{-k},$$

$$(j = 1, 2, \dots, q),$$

因而由 $\bar{K}_0, \bar{K}_1, \dots, \bar{K}_q$ 可得反馈阵 $\bar{K}$. 证毕.

定理 1 给出了 r 重多变量循环系统同时可极点配置的动态补偿器存在的充分条件. 由于可控可观的单变量系统也是循环系统, 因而对于 r 重单变量系统, 可得与多变量循环系统相似的结果.

定理 2 设 r 重单输入多输出可控可观系统为

$$\begin{cases} \dot{x}_i(t) = A_i x_i(t) + b_i u_i(t), \\ y_i(t) = C_i x_i(t), \quad x_i(0) = x_{i0}, \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, r).$$

其中 A_i, b_i 和 C_i 分别是 $n \times n, n \times 1$ 和 $p \times n$ 阵. 则存在维数为 m 的动态补偿器

$$\begin{cases} \dot{z}_i(t) = D z_i(t) + E y_i(t), \\ v_i(t) = f z_i(t) + h y_i(t). \end{cases}$$

其中 D, E, h 和 f 分别是 $m \times m, m \times p, 1 \times p$ 和 $1 \times m$ 阵, 使得图 2 所示的 r 重闭环反馈系统

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{x}}_i(t) \\ \dot{\hat{z}}_i(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_i - b_i h C_i & -b_i f \\ E C_i & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i(t) \\ z_i(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_i \\ 0 \end{bmatrix} u_i(t)$$

的 $n+m$ 个极点[总数为 $r(n+m)$]可任意配置, 当且仅当下列条件成立:

$$\text{I) } \text{rank} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ C_1 b_1 & C_2 b_2 & \dots & C_r b_r \end{bmatrix} = r;$$

$$\text{II) } \{\bar{A} = \text{diag}[A_1, A_2, \dots, A_r], \bar{C} = [C_1, C_2, \dots, C_r]\} \text{ 可观};$$

III) m 满足条件

$$m(p-r+1) \geq \max\{rn-p, p_0(p-r+1)\}, \text{ 其中 } p_0 \text{ 是 } (\bar{A}, \bar{C}) \text{ 的可观性指数.}$$

证 被控系统的传递函数阵为

$$G_i(s) = C_i(sI - A_i)^{-1} b_i = \frac{N_{i-1}s^{n-1} + N_{i-2}s^{n-2} + \dots + N_{i0}}{s^n + \alpha_{i-1}s^{n-1} + \dots + \alpha_{i1}s + \alpha_{i0}}$$

$$\triangleq \frac{N_i(s)}{\Delta_i(s)},$$

$$N_i^l = C_i \Gamma_i^l b_i, \quad \Gamma_{n-l}^i = \alpha_{n-l+1}^i I + A_i \Gamma_{n-l+1}^i,$$

$$\Gamma_{n-l}^i = I, \quad (l = 1, 2, \dots, n-1).$$

其中 Γ_i^l 和 $N_i^l (l=1, 2, \dots, n-1)$ 分别是 $n \times n$ 和 $p \times 1$ 阵, 而 m 维动态补偿器的传递函数 $K(s)$ 可定义为

$$K(s) = \frac{N_{cm}s^m + N_{cm-1}s^{m-1} + \dots + N_{c0}}{s^m + \alpha_{cm-1}s^{m-1} + \dots + \alpha_{c1}s + \alpha_{c0}} \triangleq \frac{N_c(s)}{\Delta_c(s)}.$$

其中 $N_{c\alpha} (l=1, 2, \dots, m)$ 是 $1 \times p$ 阵, 因此图 2 所示的闭环反馈系统的特征多项式为

$$\Delta_f(s) = \Delta_c(s)\Delta_i(s) + N_c(s)N_i(s). \quad (10)$$

假定第 i 个闭环系统所希望的特征多项式为

$$\Delta_f^i(s) = s^{n+m} + f_{n+m-1}^i s^{n+m-1} + \dots + f_1^i s + f_0^i,$$

则由(10)式可得

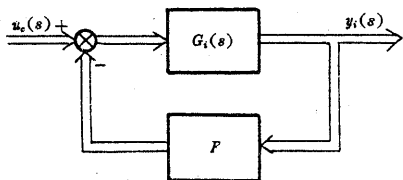


图 2 闭环输出反馈系统

$$\begin{bmatrix} \alpha_0^i & & & & \bar{N}_0^i \\ \alpha_1^i & \alpha_0^i & & & \bar{N}_1^i & \bar{N}_0^i \\ \vdots & \alpha_1^i & \ddots & & \vdots & \bar{N}_1^i & \ddots \\ \alpha_{n-1}^i & \vdots & \ddots & \alpha_0^i & \bar{N}_{n-1}^i & \vdots & \ddots & \bar{N}_0^i \\ 1 & \alpha_{n-1}^i & & \alpha_1^i & \bar{N}_{n-1}^i & \bar{N}_1^i & & \vdots \\ & 1 & \ddots & \ddots & & \vdots & \ddots & \bar{N}_{n-1}^i \\ & & \ddots & \alpha_{n-1}^i & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_{e0} \\ \alpha_{e1} \\ \vdots \\ \alpha_{em-1} \\ N_{e0}^T \\ N_{e1}^T \\ \vdots \\ N_{em-1}^T \\ N_{em}^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0^i \\ f_1^i \\ \vdots \\ f_{m-1}^i \\ f_m^i - \alpha_0^i \\ f_{m+1}^i - \alpha_1^i \\ \vdots \\ f_{n+m-2}^i - \alpha_{n-2}^i \\ f_{n+m-1}^i - \alpha_{n-1}^i \end{bmatrix}$$

其中 $\bar{N}_i = (N_i)^T$. 记 $\bar{W}_i$ 为 $(n+m) \times (mp+m+p)$ 阵, d_w 为 $(mp+m+p)$ 维列向量, $\bar{F}_i$ 为 $(n+m)$ 维列向量, 则将上式简写为

$$\bar{W}_i d_w = \bar{F}_i.$$

对于 $i=1, 2, \dots, r$, 可得线性方程组

$$\begin{bmatrix} \bar{W}_1 \\ \bar{W}_2 \\ \vdots \\ \bar{W}_r \end{bmatrix} d_w = \begin{bmatrix} \bar{F}_1 \\ \bar{F}_2 \\ \vdots \\ \bar{F}_r \end{bmatrix}. \quad (11)$$

类似于定理 1 的证明可知, 对于任意的列向量 $(\bar{F}_1^T, \bar{F}_2^T, \dots, \bar{F}_r^T)^T$, 方程(11)有解当且仅当条件 I) II) 和 III) 成立. 证毕.

对于 r 重可控可观多变量系统(1), Ghosh 和 Byrnes^[1]证明了如下结论: 几乎对于所有的 $q \times p$ 阶常阵 F , 使得图 3 所示的 r 重闭环输出反馈系统

$$\begin{cases} \dot{x}_i(t) = \bar{A}_i x_i(t) + B_i u_i(t), \\ y_i(t) = C_i x_i(t), \\ \bar{A}_i = A_i + B_i F C_i, \quad (i = 1, 2, \dots, r) \end{cases} \quad (12)$$

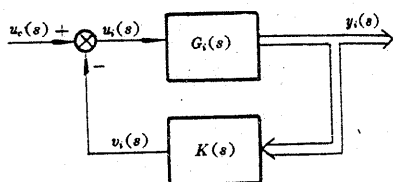


图 3 单变量系统的动态补偿控制器

都是循环系统. 如果 $\bar{K}(s)$ 使得 r 个系统(12)可同时极点配置, 则 $K(s) = \bar{K}(s) - F$ 就能保证 r 个闭环系统(3)具有相应所希望的极点, 因此由定理 1 可得下列推论.

推论 1 对于(1)式描述的 r 重可控可观多变量系统, 如果存在 p 维行向量 l 和 $q \times p$ 阶常阵 F , 使下列条件成立:

$$\text{I) } \text{rank} \begin{bmatrix} 1 & l C_1 B_1 \\ 1 & l C_2 B_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & l C_r B_r \end{bmatrix} = r,$$

II) $\{\bar{A} = \text{diag}[\bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_r], \bar{B} = [B_1^T, B_2^T, \dots, B_r^T]^T\}$ 可控, 且有 $(\bar{A}_i, l C_i)$ 可观 ($i=1, 2, \dots, r$).

则存在维数为 m 的动态补偿器(2), 使得 r 个闭环反馈系统(3)的 $n+m$ 个极点[总数为 $r(n+m)$]可任意配置, 其中 m 满足条件:

$$m(q-r+1) \geq \max\{rn-q, p_c(q-r+1)\}, \quad p_c \text{ 是 } (\bar{A}, \bar{B}) \text{ 的可控性指数.}$$

3 动态补偿控制器的设计

对于 r 个可控可观系统,可按下列步骤设计动态补偿控制器,使得 r 个闭环反馈系统具有所希望的极点 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n+m)$.

1) 计算: $\Delta_f(s) = \prod_{i=1}^{n+m} (s - \lambda_i) = s^{n+m} + f_{n+m-1}s^{n+m-1} + \dots + f_1s + f_0$.

2) 选择满足推论 1 条件 I) 和 II) 的 p 维行向量 l 和 $q \times p$ 阶常阵 F . 对于单变量系统, $l=1, F=0$.

3) 计算 $\bar{G}_i(s) = G_i^T(s)[I - G_i(s)F]^{-1}l^T = \frac{N_{n-1}^i s^{n-1} + N_{n-2}^i s^{n-2} + \dots + N_1^i s + N_0^i}{s^n + \alpha_{n-1}^i s^{n-1} + \dots + \alpha_2^i s^2 + \alpha_1^i s + \alpha_0^i}$.

其中 $N_i^i (i=1, 2, \dots, n-1)$ 是 $q \times 1$ 阵.

4) 由方程(11)计算 $\alpha_{c0}, \alpha_{c1}, \dots, \alpha_{cm-1}; N_{c0}, N_{c1}, \dots, N_{cm}$, 其中 $N_{c\alpha} (\alpha=0, 1, 2, \dots, m)$ 是 $1 \times q$ 阵.

5) 计算 $K(s) = \frac{N_{cm}^T s^m + N_{cm-1}^T s^{m-1} + \dots + N_{c0}^T}{s^m + \alpha_{cm-1} s^{m-1} + \dots + \alpha_{c1} s + \alpha_{c0}} l - F$.

下面给出一个计算实例.

考虑如下两个多变量可控可观系统:

$$S_1 = \left\{ A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \right\},$$

$$S_2 = \left\{ A_2 = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right\}.$$

选择 $F = \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, l = [1, 0]$, 则有

$$\bar{G}_1(s) = [lC_1(sI - A_1 - B_1FC_1)^{-1}B_1]^T = \frac{\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} s + \begin{bmatrix} -2 \\ 3 \end{bmatrix}}{s^2 - 4s + 3},$$

$$\bar{G}_2(s) = [lC_2(sI - A_2 - B_2FC_2)^{-1}B_2]^T = \frac{\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} s + \begin{bmatrix} -4 \\ -1 \end{bmatrix}}{s^2 - 9s + 17}.$$

由方程(11)得

$$\begin{bmatrix} 3 & 0 & -2 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -4 & 3 & 1 & -1 & -2 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & -4 & 0 & 0 & 1 & -1 & -2 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 17 & 0 & -4 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -9 & 17 & 1 & 1 & -4 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & -9 & 0 & 0 & 1 & 1 & -4 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_{c0} \\ \alpha_{c1} \\ n_{c0}^1 \\ n_{c0}^2 \\ n_{c1}^1 \\ n_{c1}^2 \\ n_{c2}^1 \\ n_{c2}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 - \alpha_0 \\ f_3 - \alpha_1 \\ f_0^2 \\ f_1^2 \\ f_2^2 - \alpha_0^2 \\ f_3^2 - \alpha_1^2 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

当第一个闭环系统所希望的极点为 $-1, -1, -1, -1$; 第二个闭环系统所希望的极点为 $-2, -2, -2, -2$ 时, 由式(13)计算可得

$$K(s) = \frac{N_c(s)}{\Delta_c(s)}t - F$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{-2.5s^2 + 12.1s - 7.9}{0.01s^2 + 2.62s - 4.2} & \frac{-0.02s^2 - 5.24s + 8.4}{0.01s^2 + 2.62s - 4.2} \\ \frac{0.035s^2 + 1.54s - 2.42}{0.01s^2 + 2.62s - 4.2} & \frac{-0.02s^2 - 5.24s + 8.4}{0.01s^2 + 2.62s - 4.2} \end{bmatrix}.$$

4 结 论

本文所提出的对多重系统同时极点配置的动态补偿器的设计方法,也是一种鲁棒设计方法.这里所说的鲁棒性是指对多种故障状态的被控系统,动态补偿器使闭环系统仍然具有所需的动态性能.有些文献上,也称之为系统完整性的设计.

参 考 文 献

- [1] Ghosh, B. K. and Byrnes, C.. Simultaneous Stabilization and Simultaneous Pole-Placement by Nonswitching Dynamic Compensator. IEEE Trans. Automat. Contr., 1983, AC-28(6):735-741
- [2] Willsky, A. S.. A Survey of Design Methods for Failure Detection in Dynamic Systems. Automatica, 1986, 22(3):601-611
- [3] Ackermann, J.. Parameter Space Design of Robust Control Systems. IEEE Trans. Automat. Contr., 1980, AC-25(6), 1058-1072
- [4] Vidyasagar, M.. Algebraic Design Techniques for Reliable Stabilization. IEEE Trans. Automat. Contr., 1982, AC-27(5):1085-1095
- [5] Sacks, R. and Murray, J.. Fractional Representation, Algebraic Geometry and the Simultaneous Stabilization Problem. IEEE Trans. Automat. Contr., 1982, AC-27(4):895-903
- [6] Brash, F. M. and Pearsen, J. B.. Pole Placement Using Dynamic Compensator. IEEE Trans. Automat. Contr., 1970, AC-25(1):34-43
- [7] Desoer, C. A. and Liu, R. W.. Feedback System Design: the Fractional Representation Approach to Analysis and Synthesis. IEEE Trans. Automat. Contr., 1980, AC-25(3):399-412
- [8] Vidyasagar, M. etc. Algebraic and Topological Aspects of Feedback Stabilization. IEEE Trans. Automat. Contr., 1982, AC-27(4):880-894
- [9] Petersen, I. and Hollot, C. V.. A Riccati Equation Approach to the Stabilization of Uncertain Linear Systems. Automatica, 1986, 22(4):397-411

Simultaneous Pole-Assignment by Dynamical Compensation for Multiple Systems

ZHANG Xinjia and DAI Guanzhong

(Department of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072, PRC)

Abstract: The problem of designing a controller to obtain simultaneous stabilization or pole-assignment for multiple systems is dealt with in this paper. The need of simultaneous stabilization or pole-assignment is due to designing fault-tolerant control systems. Sufficient conditions of simultaneous pole-assignment by a dynamical com-

pensator for multiple systems are derived. These conditions are shown to be necessary in the case where the number of either input or output channels is one. Finally, the procedure of designing the compensator is presented, and an example is given.

Key words: simultaneous stabilization; simultaneous pole-assignment; fault-tolerant control system; dynamical compensator

本文作者简介

张新家 1961年生, 1985年获西北工业大学计算机应用专业硕士学位, 并于1990年获西北工业大学自动控制理论及应用专业博士学位。现任西北工业大学计算机科学与工程系计算机应用专业讲师。目前, 主要研究领域为容错控制系统理论及应用, 控制系统的并行处理算法以及大系统理论等。

戴冠中 见本刊1993年第1期第12页。

初步的尝试 有益的成果

评蔡自兴编著《智能控制》教材

中南工业大学自动控制工程系蔡自兴教授编著的全国高校统编教材《智能控制》在1990年7月由电子工业出版社出版发行了, 这是我国首部公开出版的智能控制教材和专著。

智能控制是一门新兴的交叉学科, 又是自动控制发展的新阶段和新层次, 智能控制与人工智能、控制论、信息论、认知心理学、神经网络理论、模式识别、机器人学、仿生学、语言学和计算机科学等学科有着十分密切的关系, 是在这些相关学科发展的基础上并相互结合而逐渐形成的。因此, 要处理好智能控制“母体”与相关“子”学科间的关系。此外, 由于智能控制刚刚形成为一门新学科, 无论在理论上或实践上都还很成熟, 很不完善, 资料也相当缺乏, 仅有一些文章分散在会议录和部分刊物上, 专题著作更是少见, 因此本教材的编写是作者的首次尝试。

全书共分八章, 第一章概述人类的认知过程和人脑智能的计算机模拟等概念, 讨论智能控制的发展过程和定义, 论述智能控制的结构理论与特点, 并介绍智能控制的研究领域。

第二章讨论了智能控制所需要的各种知识表示方法, 其中包括状态空间法, 问题归约法、谓词逻辑法及语义网络的表示。

第三章和第四章叙述了智能控制常用的搜索技术和推理机制, 前者包括盲目搜索法、启发式搜索法、消解原理和通用问题求解系统。

第五章分析各种智能控制系统的作用原理和构成, 涉及了见诸文献的分级递阶智能控制系统、专家控制系统和学习控制系统。

第六章列举目前智能控制的应用实例。

第七章简单介绍了两种常用的智能控制用程序设计语言——PROLOG 和 LISP 语言。

第八章简要讨论了智能控制的发展方向。

《智能控制》一书具有下列特点:

1. 导论性

该书内容比较系统全面, 既包括了智能控制的基础知识, 又介绍了各种智能控制理论与方法, 通过学

(下接第 315 页)