第23卷 第4期 自 动 化 学 报 Vol. 23, No. 4
1997年7月 ACTA AUTOMATICA SINICA Jul, 1997

简 报

模型跟随自适应控制的 Systolic 实现

康正九 胡保生
（西安交通大学系统工程研究所 西安 710049）

关键词 自适应控制，参数估计，并行算法，Systolic 阵列.

1 引言

自动控制的发展离不开计算机技术的发展，而控制理论及其应用的发展又对计算机的处理能力提出新的要求，开发适合需大量实时计算问题的并行算法和结构，已成为自动控制今后发展的一个重要方向.

文献[1]提出一种自适应极点配置方法，并证明了其全局稳定性. 文献[2]给出一个基于文献[1]的直流电机自适应控制的 Systolic 实现，而本文给出的基于文献[1]的实现方法更具一般性，且给出的 Systolic 实现阵列比文献[2]中的 Systolic 阵列更优越.

2 算法描述

考虑确定性离散线性系统

$$p(D)z(t_k) = u(t_k) \tag{1}$$

$$y(t_k) = r(D)z(t_k). \tag{2}$$

其中 $u(t_k)$ 和 $y(t_k)$ 分别是输入输出信号，$z(t_k)$是中间状态变量，$p(D)$和 $r(D)$ 分别是延时多项式

$$p(D) = 1 + \sum_{i=1}^{n} p_{i-1}D^i,\ r(D) = \sum_{i=1}^{n} r_{i-1}D^i.$$

p_{i-1}和 r_{i-1}未知，阶次 n 已知，$p(D)$ 和 $r(D)$互质.

参考模型为

$$p^*(D)y_m(t_k) = \nu(t_k). \tag{3}$$

其中 $\nu(t_k)$ 和 $y_m(t_k)$ 分别为参数模型的输入和输出信号，$p^*(D)$为几阶稳定多项式 $p^*(D)=1+\sum_{i=1}^{n} p_{i-1}^* D^i$. 控制目的是确定控制信号 $u(t_k)$，使得系统输出 $y(t_k)$能够跟随参考模型输出 $y_m(t)$.

1) 国家自然科学基金资助项目
收稿日期 1995-01-13

根据文献[1]所提出的引入辅助多项式的隐式自校正算法,问题变换为参数估计

$$\phi(t_k)^{\mathrm{T}}\theta = u(t_k). \tag{4}$$

采用块处理技术辨识参数向量 θ,定义采样时间块间隔 $N=t_{k+1}-t_k$,N 为一个选定的正实数;定义采样时间序列 $t_k^i=t_k+i(k=0,1,\cdots;i=0,1,\cdots,N-1)$. 根据 $t_k^i(i=0,1,\cdots,N-1)$时刻的各采样值和 t_k时刻的估计值 $\hat{\theta}_k$,递推估计 t_{k+1}时刻的估计值 $\hat{\theta}_{k+1}$.

3 Systolic 实现

类似于文献[2],定义

$$V_k(\hat{\theta}_{k+1}) = \min_{\theta} V_k(\theta). \tag{5}$$

其中 V_k代表第 k 个时间块的损失函数

$$V_k(\theta) = \sum_{i=0}^{N-1} |u(t_k^i) - \phi^{\mathrm{T}}(t_k^i)\theta|^2 + \lambda^2 \| \theta - \hat{\theta}_k \|^2, \tag{6}$$

λ 是加权常数. 令 $\omega_k(\theta)=b_k-A_k\theta$.

其中

$$b_k^{\mathrm{T}} = [\bar{u}(t_k^{N-1})\cdots\bar{u}(t^{\circ}_k)\hat{\theta}_k^{\mathrm{T}}] \in R^{(4n+N)},$$

$$A_k^{\mathrm{T}} = [\bar{\phi}(t_k^{N-1})\cdots\bar{\phi}(t^{\circ}_k)I] \in R^{4n\times(4n+N)}.$$

$\bar{u}=u/\lambda,\bar{\phi}=\phi/\lambda$,则(6)式可写成

$$V_k(\theta) = \lambda^2\omega_k^{\mathrm{T}}(\theta)\omega_k(\theta). \tag{7}$$

由(5)式得

$$A_k^{\mathrm{T}}A_k\hat{\theta}_{k+1} = A_k^{\mathrm{T}}b_k \tag{8}$$

显然存在正交矩阵 $Q_k\in R^{4n\times4n}$满足

$$Q_k^{\mathrm{T}}A_k = \begin{bmatrix} R_k \\ 0 \end{bmatrix}, Q_k^{\mathrm{T}}b_k = \begin{bmatrix} b'_k \\ b''_k \end{bmatrix}.$$

其中 R_k是 $4n\times4n$ 的上三角阵.

若采用 Gentleman 阵列[3]进行实现,由于回代过程使一部分处理器单元在处理中处

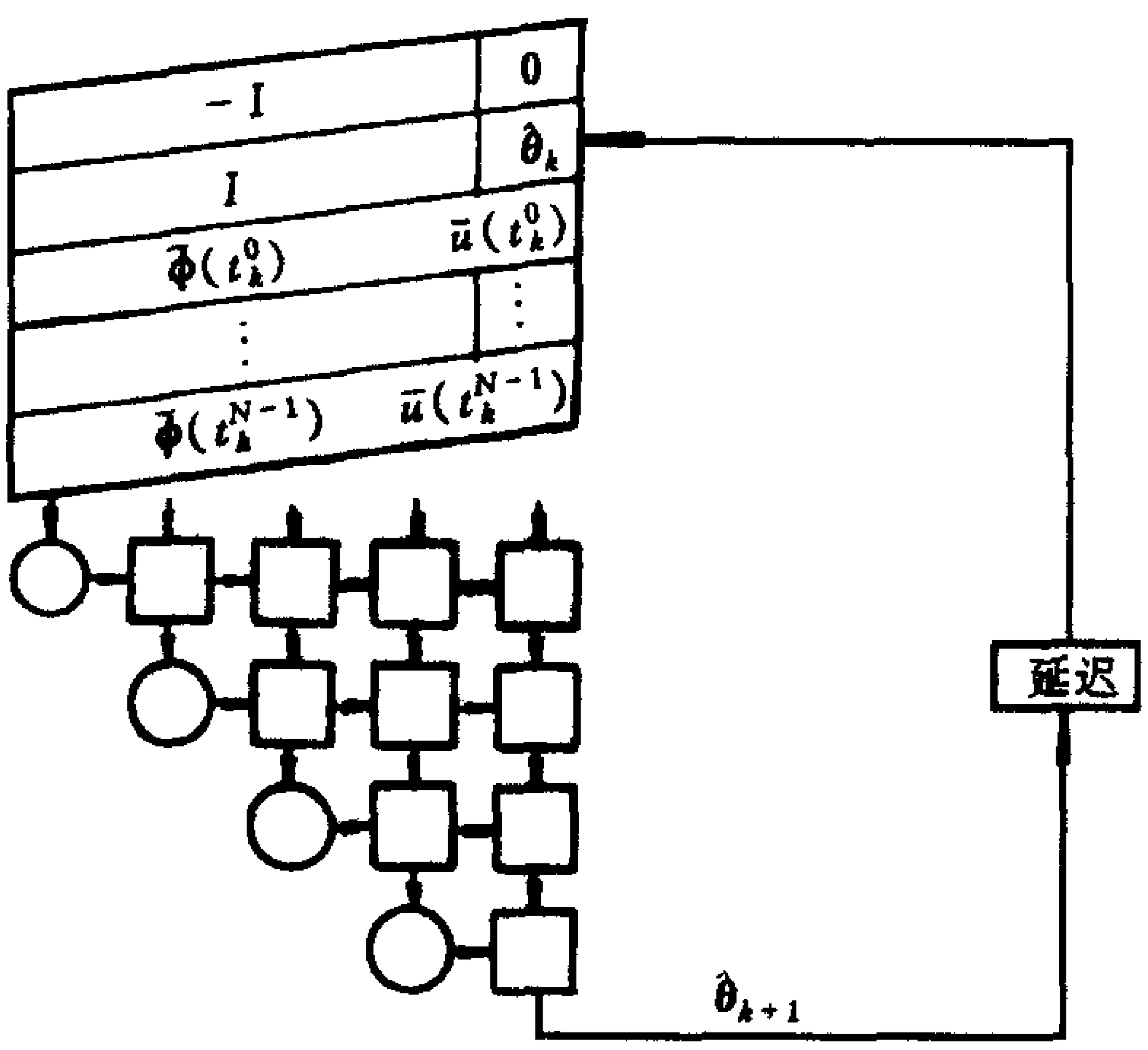

图 1 修正 Fadeeva 算法实现阵列

于空闲,降低了处理器的利用率,为此采用修正 Fadeeva 算法[4]. 实现阵列,如图 1 所示. 前 $4n+N$ 行输入数据执行 Givens 旋转步,后 $4n$ 行数据完成 Gauss 消去步,$\hat{\theta}_{k+1}$从阵列底部产生. 采用图 1 的实现方法,处理器单元数为 $2n(4n+3)$,比采用 Gentleman 阵列实现方法(文献[2]采用的方法)节省 $4n$ 个单元. 参数的初始估计需 $16n+N-1$ 个时间步. 完成初始化步后每次参数估计仅需 $8n+N$ 个时间步,比文献[2]采用的方法节省约 $12n$ 个时间步,而处理器的利用率几乎为 1.

4 结论

在控制理论中许多已有的控制算法本身具有潜在的并行性,这就需要对这些算法做进一步分析,发掘其并行性,得到能并行实现的算法,从而提高算法的实现速度.

参 考 文 献

[1] Elliott H, Cristi R, Das M. Golbal stability of adaptive pole placement algorithms. *IEEE Trans. Auto. Contr.*, 1985, **AC-30**: 348—356.

[2] Cristi R, Michael S. An adaptive algorithm for control of a DC motor on systolic array. In: Proc. IEEE Conf. on Signals, Systems & Computers, 1986, 482—486.

[3] Gentleman W M, Kung H T. Matrix triangularization by systolic array. In: Proc. SPIE real-time signal processing, 1981, **298**: 19—26.

[4] Nash J G, Hansen S. Modified fadeeva algorithm for concurrent execution of linear algebraic operations. *IEEE Trans. Computers*, 1988, **37**(2): 129—137.

MODEL-FOLLOWING ADAPTIVE CONTROL USING SYSTOLIC ARRAY

KANG ZHENGJIU HU BAOSHENG

(*Institute of Systems Engineering, Xi'an Jaitong University, Xi'an* 710049)

Key words Adaptive control, parameter estimation, parallel algorithm, systolic array.