

综述与评论

大系统理论研究中的波兰 Findeisen 学派

万百五

(西安交通大学)

摘 要

本文综述了波兰 Findeisen 学派在优化问题中的协调法、稳态控制中的迭代协调以及动态控制中的协调等方面的重要成就。波兰学派研究工作的特点是，考虑了数学模型和实际系统的差别、不等式约束、从实际系统引用反馈和时段 (Time Horizons) 划分等实际问题。本文对该学派的工作给予了分析和评论。

一、引 言

1970年 Mesarovic 等人的经典著作^[1]中提出了多级递阶系统协调的一些理论原则，这些理论原则推动了以后大系统分解-协调方面的许多理论和实际工作。以波兰 W. Findeisen 为首的华沙工业大学的一批学者却独树一帜。在 Findeisen 教授的培养和领导下，M. Brdys, K. Malinowski, P. Tatjewski 和 A. Wozniak 等约十人，十多年来共同从事递阶系统控制和协调理论的研究，共发表了论文、报告、书籍等六十余篇(本)，取得了相当显著的成绩，得到了国际学术界的公认。例如，1983年在华沙举行的第三届国际大系统理论及应用学术讨论会上，递阶系统的二个分组中共宣读 11 篇论文，其中波兰学者的占 5 篇。1980年出版的“递阶系统的控制和协调”^[2]一书汇集了他们 1979 年以前的主要研究成果。他们的一些成果已成功地应用于复杂的化工过程的计算机在线控制。因为这些成就，Findeisen 于 1971 年当选为波兰科学院通讯院士，1976 年荣获国家奖金。

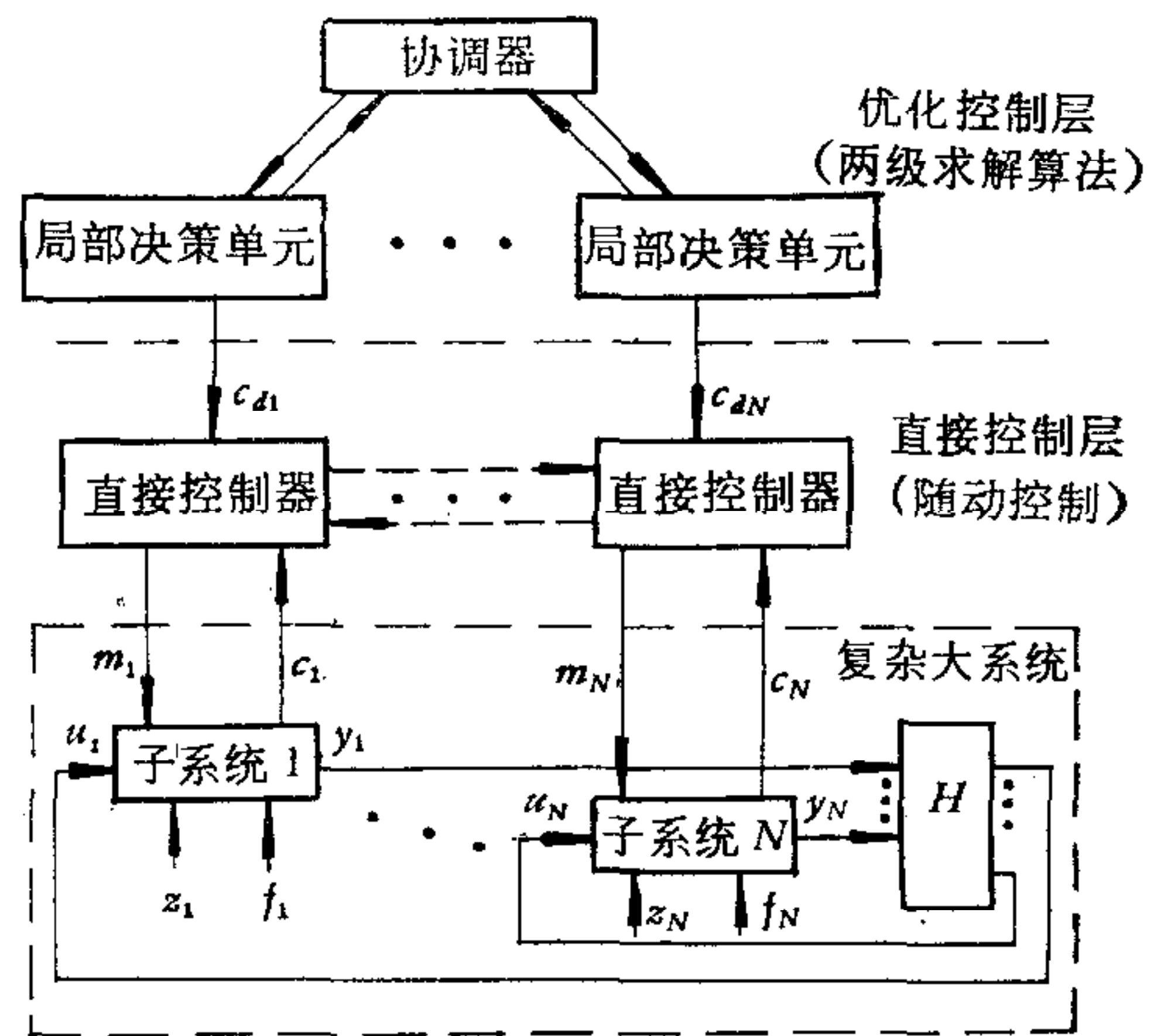


图1 复杂大系统的递阶控制

实际的复杂大系统由 N 个子系统 (通过关联矩阵 H) 组成。波兰学派以连续生产过程为背景，把决定被控大系统控制量 m 的工作，分成直接控制和优化控制两个控制作用层来完成。前者由直接控制器 (常规模拟调节器或数字直接控制器) 决定控制量 m ，以使被调量 c 能跟随它的所需值 (设定值 c_d)。后者的计算机算出了最优轨迹 c_d ，并采用两级

本文于 1983 年 3 月 13 日收到。

求解算法(Two-level Solution Algorithm),即局部决策单元(进行以子系统模型为基础的优化)和高一级协调器的两级分解-协调算法(图1)。实际上在结成递阶的小型或微型计算机组上进行递阶控制的计算,可以减少信息传递、提高系统的可靠性、缩短总的计算时间。

以下分三节来综述波兰学派的成就。首先介绍在开环优化方面,波兰学派对已有的协调方法所作的进一步研究或改进。其次,叙述稳态控制的迭代协调问题,这是波兰学派的突出贡献。最后,介绍动态系统的协调问题。

二、优化问题中的协调法

在大系统在线控制的设计阶段,开环优化解可用来决定最优工作点;在使用在线迭代反馈时,它可作为迭代程序的一个初始点。所有的两级求解算法几乎都基于两种经典的协调方法,即直接法(Direct Method,关联输出 y 作为协调变量)、价格法(Price Method,关联约束的价格变量 λ 作为协调变量)。为了将这些方法(包括以下的混合法)应用于稳态控制,波兰学者针对以上方法证明了一些极为重要的定理(如解的存在性、唯一性、目标函数的性质等)。

在直接法中波兰学者研究了可行集合 V_0 的性质,它保证了局部问题(LP_i)的非零可行集合(解)的存在。仅在两种情况下可以对 V_0 集进行描述:即原来的总体问题有合适的凸性;或者对 V_0 有部分的知识(从模型推算出对应于可行输入的、子系统输出的变动范围)^[2,3]。一般情况下用不等式和方程式来描述 V_0 集是个没有解决的问题。难以确定 V_0 集是直接法的一个重要缺点。波兰学者还提出一个重要定理是如何使局部问题有唯一解,充分条件是局部问题的目标函数 $Q_i(\cdot, u_i)$ 对于 u_i 是严格凸的以及各约束的梯度间有线性独立性^[2]。

Findeisen 等人在直接法中引入了罚函数,提出了罚函数的两级求解算法。虽然它本质上还是直接法的一种,但克服了要求 $\dim c_i \geq \dim y_i, \forall i \in 1, N$ 这样一个重大的缺点。而可解性集 V_0 问题仍存在,但一般较易处理。罚函数的两级求解法适用条件是弱的,可以用到许多场合^[2],但要求选择合适的罚系数:它的值愈大,协调误差愈小,愈趋近于原解。波兰学者证明了这种极限性质^[3]。

在价格法(关联平衡法,即IBM法)中, Malinowski 等证明了该法可用于系统优化的一些条件(定理和引理)^[2],其中最重要的是要求正规 Lagrange 函数的鞍点存在。其次波兰学者提出了一些协调策略,并论证了策略算法的收敛性^[2]。

在混合法(Mixed Method)中用作协调变量的有关联 y (或 u)及价格 λ ;并且以增广 Lagrange 函数代替价格法中的正规 Lagrange 函数,即其中引入了罚函数项。只要适当选择罚系数,增广 Lagrange 函数会产生一个鞍点^[2,6],使基于搜索鞍点的优化技术能用于一类非凸的问题。因此这个方法经常被采用。缺点是该函数丧失了分解时的可分性,为此要设法进行近似分解。当然混合法也采用两级求解算法求解。迭代的收敛性问题在有限维情况已为波兰 Stoilov 所证明^[4]。

此外,波兰学者对关联输入预测及平衡法(IPBM)和关联输出预测及平衡法(OPBM)的适用条件,给予了详细的证明^[2]。这两种方法都是将直接法和价格变量结合起

来。在第二种方法中 Tatjewski 构造了增广 ψ -Lagrange 函数^[5]，可以认为是罚函数法的一个推广。

三、稳态控制的迭代协调

如果研究处在慢扰动 z 作用下的有快响应的大系统，则过程控制量 m 必须非常频繁地加以调节，以克服快扰动 f 的变动(图 1)，同时整个大系统可以认为处于稳态控制下，如连续生产过程即属此例。

但在实际这类大系统中，无论是慢扰动 z 的测量或者其预测值 \bar{z} 的估计，也无论是模型，都极少能准确到足以让优化层可在开环状态下工作。事实上，由于测量及模型不准确，最优设定值 $\hat{c}_d(z)$ 已不再是最优的，甚至会使实际系统违反其约束。波兰学者在将系统变量的实际值反馈到控制算法上作了大量的研究工作^[2,3]。他们将优化层分成两个子层：基于模型的优化子层(在开环状态下工作)和校正子层(在迭代状态下工作并利用反馈信息)。后者在测量关联变量的基础上利用这些信息迭代地改善设定值 c_d ，从而显著提高了性能指标(图 2)。每一个子层都形成了多级递阶，如图 1 的上部。但对应的任务(如每一个子层的局部决策单元和其直接控制)可以在同一个局部计算机上完成^[6]。这种迭代校正不能用于动态递阶控制，除非是循环或批量生产过程。

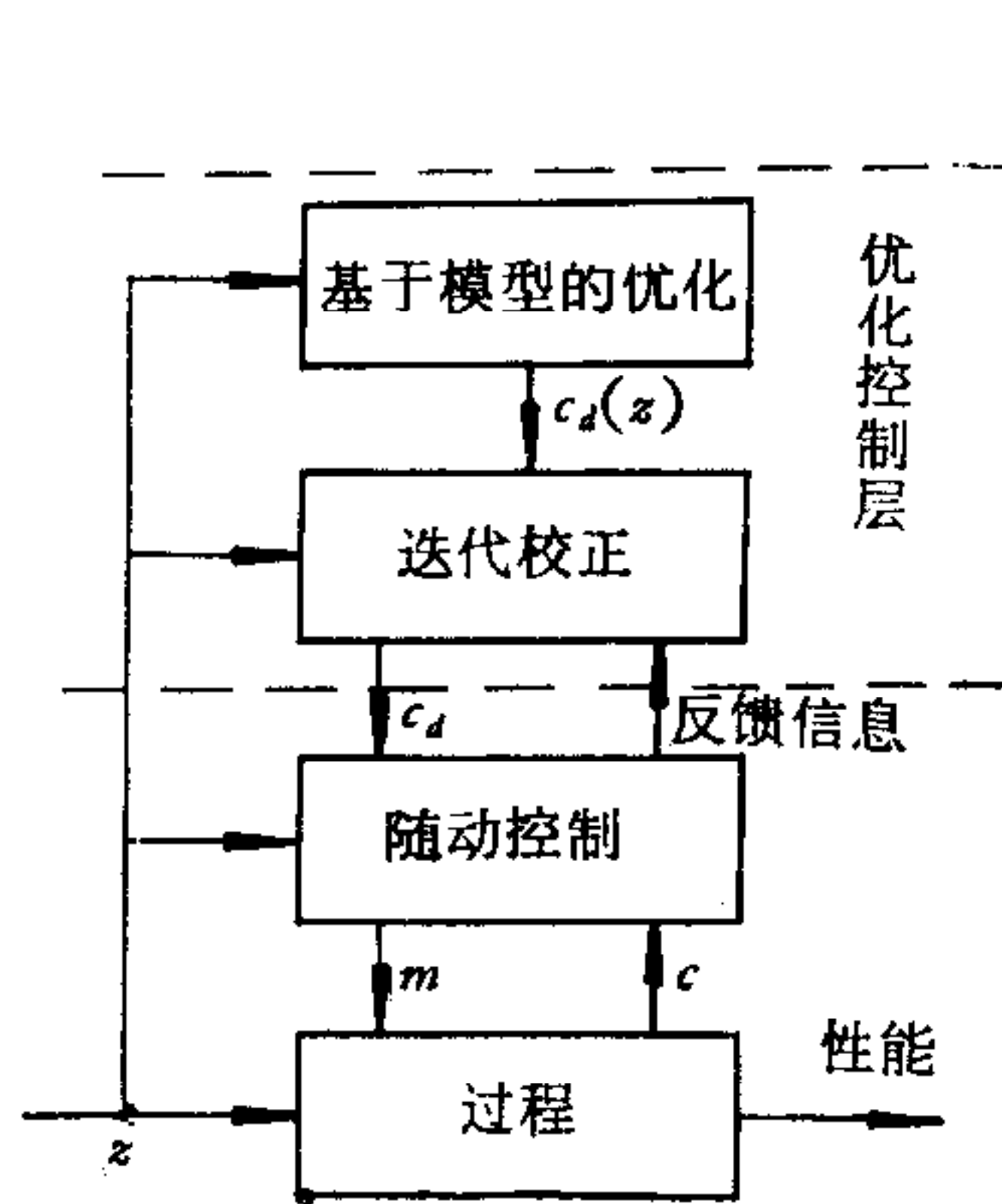


图 2 利用反馈和迭代校正的优化控制

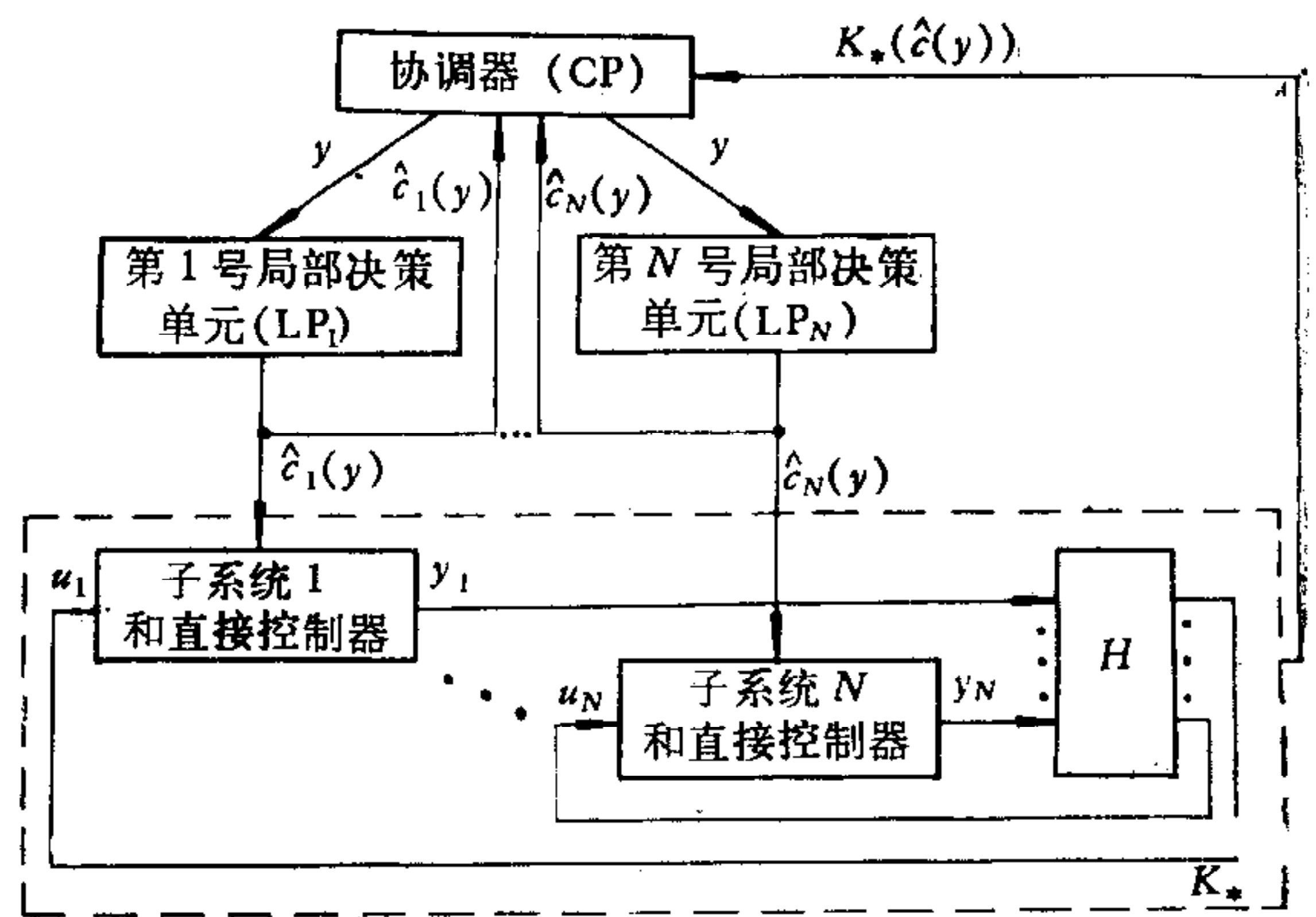


图 3 采用全局反馈的直接协调法的结构

1. 基于直接法的迭代协调

在直接协调法中采用全局反馈的情况下，局部决策单元解决的是基于子系统模型的离线优化问题，而协调器解决的是基于实际系统关联变量测量值的在线优化问题(图 3)。这种运算，特别是协调器的可行集 V ，保证了至少在协调器“爬山”的终点不会违反实际系统的约束(解是可行的)。如果适当选择协调问题的数值算法(协调策略)，则在迭代过程中也可能不严重违反实际系统的约束，所以直接法又被称为可行(Feasible)法。它的主要缺点和直接法一样，在于难以决定可行集合 V 。引入全局反馈后所得到的解是次优的。经过许多数字例子验证，目标函数较开环优化解有很大改善。波兰学者证明了解的存在性和可行性。至于次优性的上下界问题则尚未解决到令人满意的程度^[2]。此外，亦可以

在罚函数法的基础上引入全局反馈^[2,7].

波兰 Tatjewski 等提出了在直接协调法中引入局部反馈的算法^[8]. 其主要任务是改善基于模型的控制作用 $\hat{c}_d(\bar{z})$, 使之既满足实际系统的约束, 又改善系统的性能. 算法的基本概念是设法改变模型的输出值, 使之与实际系统的输出及基于模型的优化输出 y 相等. 其办法是借助于一个辅助变量 S , 称为子系统输出位移, 它的值要经过数次迭代才能找到, 并需要测量各子系统的关联输入和输出以进行反馈 (图 4). 算法不需要协调部分, 这是一个特点, 即各子系统在完全分散化的情况下工作. 该算法能适用于广泛一类的约束问题并保证得到可行的解. 波兰学者推导了算法收敛的充分条件, 其中不要求系统满足某种“弱耦合条件”^[6]. 但在 y 的可达性、选择更合适的关联输出和次优性的上下界方面还有待进一步的研究.

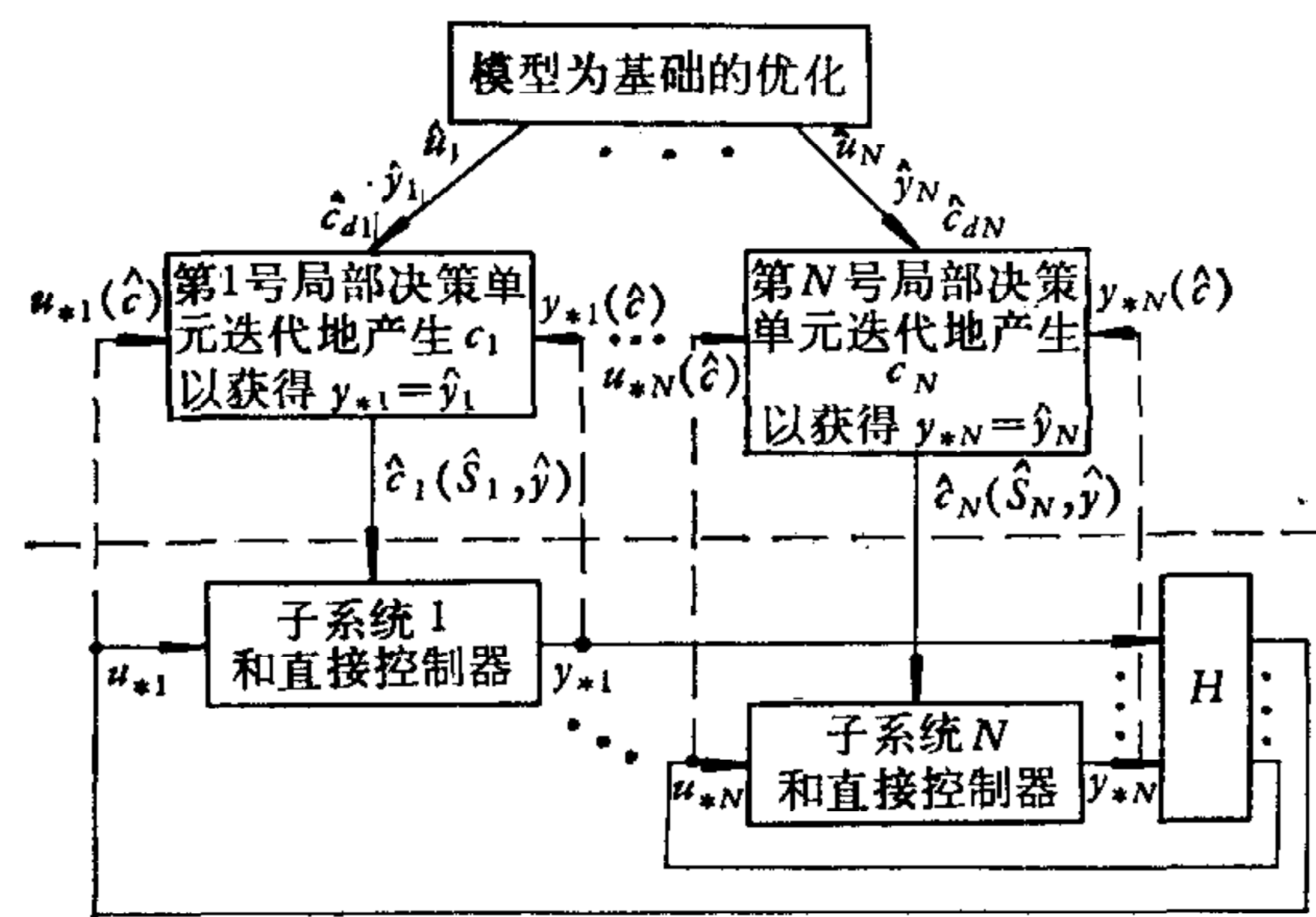
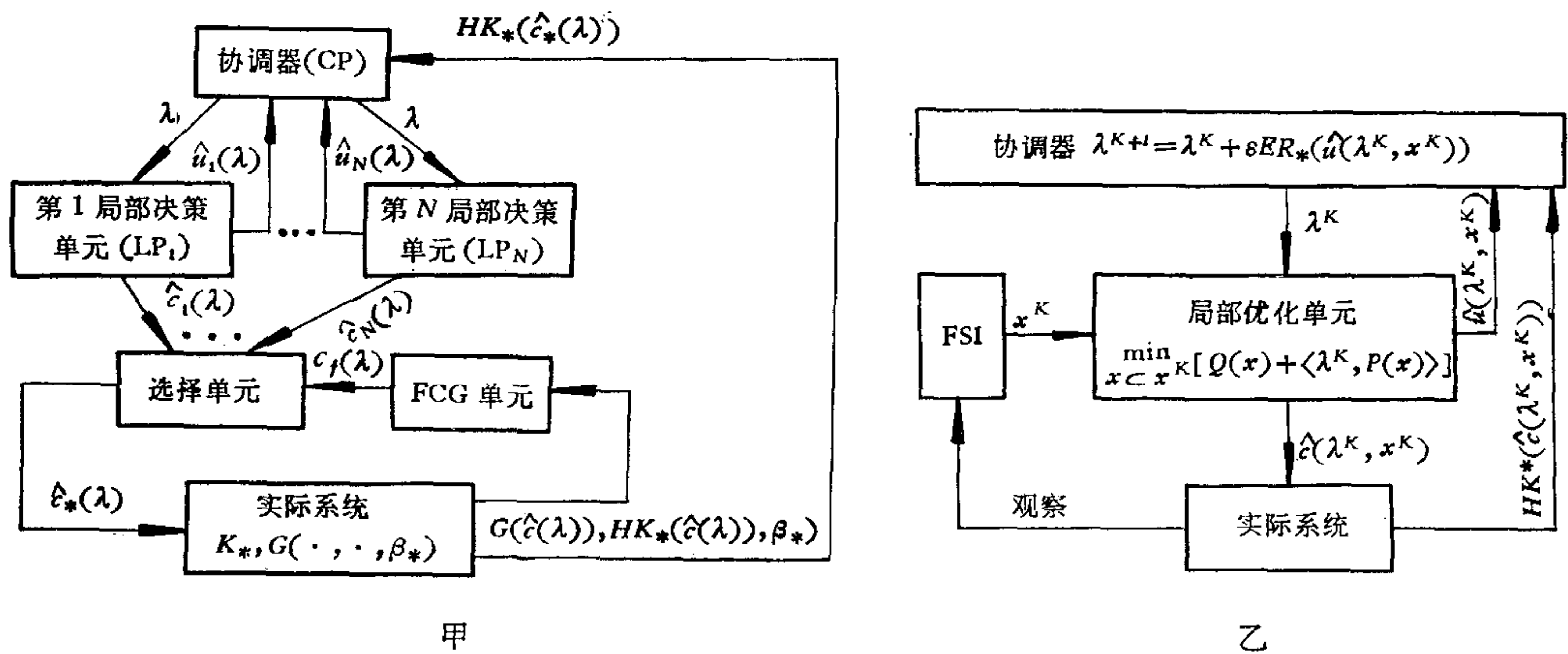


图 4 采用局部反馈的全分散化式直接协调法的结构

2. 基于价格法的迭代协调

在采用全局反馈的价格法(又称 IBMF 法)中, 局部决策问题和未采用反馈时一样, 是基于模型的优化. 而协调策略是设法解 Findeisen 协调问题 (CP) 的 $\hat{u}(\tilde{\lambda}) = u_*(\tilde{\lambda})$, 即模型的关联等于系统实测的关联, 式中 $\tilde{\lambda}$ 为迭代地寻求的最优价格值^[2,3]. 由于这种协调方法, 控制作用是次优的. 但许多算例表明, 比基于模型的优化解有显著的改进. Findeisen 等还提出了用类牛顿式协调策略 (CSI) 和协调策略 (CSII) 解上述协调问题. 这些协调策略及其收敛性均已进行了理论上的研究^[2]. 这种迭代协调算法只能提供一个可行解, 但在寻找解的迭代过程中所产生的控制作用 \hat{c} 仍可能是不可行的. 为了避免这个缺点, 文 [2,10] 建议采用安全控制集合的发生 (SCG) 和辨识可行集合 (FSI) 的方法 (图 5). 前者包含了安全控制的存在性、寻找安全控制等定理, 后者的关键是收敛性的证明, 文 [2] 均已证出. 后者可用于复杂工业过程的计算机控制^[2], 具有较大的实用价值.

价格法中采用局部反馈也是迭代地实现的. 这样就存在迭代算法的收敛问题. 在局部问题中 u_i 是固定的, 当 $u = u_*(\hat{c}(u, \lambda))$ 时, 局部问题得到了解. 解 $\hat{c}(u, \lambda)$ 无疑是次优的, 也是可行的. 波兰学者证明了如果系统满足“弱耦合”条件, 则下级迭代方案 (Lower Iterative Scheme) 就会收敛^[2,11]; 如果将下级 (局部) 问题的解 u_b 送进了协调器, 并使实际系统的目标函数最小化, 则称之为采用充分 (full) 协调的分散化控制; 如果在协调时采用数学模型, 则称之为采用部分 (Partial) 协调的分散化控制. 可以证明, 采用



(甲) 价格法校正机制采用了安全控制集合的发生 (SCG) 方法

(乙) 价格法校正机制采用了可行集合的辨识 (FSI) 方法

图 5

充分协调的分散化控制,其性能不比 IBMF 法差.关于上级及下级问题解的存在性和下级迭代方案的收敛性问题,可参阅文[2].当然,完全分散化的(无协调)价格法采用局部反馈的结构,也是有报道的,但性能差一些^[16].此外,Stoilov 提出了利用增广 Lagrange 函数并引入全局反馈的新的价格法算法^[17],以解决某些非凸问题.

3. 时变扰动下的迭代协调(非平稳的稳态系统)

扰动 z 在稳态系统中可以假定是慢变的,在一定时间区间可假定是常数.事实上, \bar{z}, z 有时是时变的.假定系统动态比扰动变化为快,则系统处于变动着的稳态.因此递阶控制任务是如何去追踪一个变动着的最优解 $\hat{z}(t)$.在这方面采用局部反馈,完全分散化(无协调)的价格法是一个途径.时变扰动 $z(t)$ 可以分为两种情况^[6]:

1) $z(t)$ 变化较慢,短时间内可以认为不变.无论优化解还是迭代反馈在这短时间内均能完成计算.设时间划分成 $t_0, t_1, \dots, t_k, \dots$ 时刻,则价格 $\hat{\lambda}(t)$ 成为在每一时段内为常数的一些阶跃函数组成的梯阶式函数.这时所要研究的问题是:已知差 $[z(t) - \bar{z}(t)]$ 和 $[F_* - F]$ 的界限 (F 为系统输入-输出映射),求决定各时刻 t_i ,使得所研究的结构能以预定的精度追踪实际系统的目标函数^[6].在 $z(t) = \bar{z}(t)$ 和 $F = F_*$,对于线性二次型的优化问题中,上述课题是解决了的^[11].最近,上述结果推广到了非线性的情况,并 $z(t) \approx \bar{z}(t)$ ^[12].然而,这些都还是一些最简单的情况.

2) $z(t)$ 变化较快,以至下级迭代方案来不及为一个给定的价格值找到平衡点(解).设在局部决策单元的第 k 次迭代(时刻 t_k)时产生的控制是 $\hat{z}_i(u^{k-1}, \bar{z}(t_k))$.这个控制加到实际系统上,在 $t > t_k$ 时产生的关联变量是 $u_*(\hat{z}(u^{k-1}, \bar{z}(t_k)), z(t))$.自然, $u^{k-1} - u_*(\hat{z}(u^{k-1}, \bar{z}(t_k)), z(t)) \approx 0$.重要问题是对这个差的范数找出界限.有关下级迭代方案的追踪性质的定理已经得到了证明^[2,6].近期的工作是设法保证控制的可行性和追踪系统的最优目标函数^[12].在有全局反馈的价格法校正机制中,有关上述范数界限的定理已由 Ruszczyński 证明^[13].这时不存在局部反馈中的迭代时间问题.在第 k 次迭代,得出 $\hat{z}(\lambda_k)$ 和实际系统的关联 $u_*(\hat{z}(\lambda_k), z(t_{k+1}))$ (在 t_{k+1} 时刻测量).这样,在时刻 t_{k+1}

的失调 (Discoordination) 为 $\hat{u}(\lambda_k) - u_*(\hat{u}(\lambda_k), z(t_{k+1}))$ 。而协调器根据上述失调产生新的价格值 $\lambda^{k+1} = \lambda^k + \varepsilon E(\hat{u}(\lambda_k) - u_*(\hat{c}(\lambda_k), z(t_{k+1})))$ ，式中 ε 是足够小的正数； E 是线性有界算子。因此，主要问题在于合适地选择干预时间 t_1, \dots, t_k 和算子 E ，以使失调量的范数尽量的小。这种协调方法称为失调镇定法 (Discoordination Stabilization)^[2,11]。

在时变扰动的系统中，采用局部反馈的价格法校正机制时，追踪分析的进一步研究是将上述两种方法结合起来：既要考虑追踪最优目标函数的精度，又要考虑下级迭代方案中上述范数的界限。

四、动态系统的协调问题

在线动态控制不同于稳态的情况。不同点在于运行过程中在线动态控制要从实际系统引入反馈，在动态系统中这种反馈必须包括子系统状态 $x(t)$ 的信息。波兰学者对于动态系统的协调研究主要采用了动态价格协调法 (Dynamic Price Coordination)^[2]。

动态价格协调法中，协调器对各子系统输入及输出赋予时变价格 $\lambda(t)$ ，同时也决定了在经历优化时段 t_f 后应达到的目标状态 $x(t_f)$ 。图 6 所示为采用局部反馈的在线动态反馈结构，其中协调器工作在长时段 t_f ，局部决策单元工作在短时段 t_f' ，并且后者要重复求解^[14]。

在协调器和各局部决策单元求解时要对扰动进行预测。考虑到实际扰动和其预测值之间以及模型和实际之间存在着差异，则应用图 6 这种局部反馈的结构，即每个子系统通过以周期为 T_1 的采样开关，将实际系统的关联值 x_* 反馈至局部决策单元。然而，这样还不足以补偿由协调级在设置价格 $\hat{\lambda}(t)$ 时所引起的误差。为此，引用另一个重复的反馈，即把在时刻 t_f, t_{2f}, \dots 时的实际值 x_* 反馈至协调器，以此新的初始值重新再解总体问题。显然，其控制结果与两个时段，及其起始时刻的选择很有关系；短时段 t_f' 可以是常数也可以是变数。此外，还可以在协调级采用简化的集结模型来解总体问题，因为扰动预测值往往不够准确，采用真实模型实无必要。

波兰学派研究了这类控制结构的性质。在实际情况中约束、目标函数和状态轨迹等都与扰动和其预测值间之差异有关。这个关系的定量解以及当上述差异趋于零时被控大系统的性能，都是一些很困难的理论问题，尚未充分地探讨。已经获得的一些理论成果，介绍如下。协调级所采用的协调策略以及迭代的收敛性都可以借鉴开环优化中所用的方法，引用已经证明的一些定理，证明了价格 $\hat{\lambda}(\bar{z})$ 的唯一性、 $\hat{\lambda}(\bar{z})$ 的连续性和最优目标函数的一致连续性问题。这些结论对于动态控制结构是至关重要的。因为基于模型的最优价格和状态轨迹的连续性意味着，如果扰动和其预测值之间的差异足够小，则协调器提供给局部决策单元的数据（价格、状态变量）将接近真正的最优值。如果实际系统的输出轨迹也是连续的，则局部约束能近似地得到满足。实际系统的目标函数也在一定范围内连续地依赖于这个差异。

在线的局部决策问题中， m 解的存在性、唯一性和连续性都是主要的课题。解的存在性问题在绝大多数的真实情况中，就是可行集为非零集合的问题。波兰学者对这些课题进行了探讨，并导出了保证唯一性和连续性的充分条件^[2]。

以上所有的研究都把系统看成刚性关联，然而在实际系统中子系统之间有时出现积分形式的柔性关联(库存)^[14]。这是一种新的积分约束。这类系统的结构示于图 7，图中与积分约束有关的价格变量 $\hat{\lambda}$ 在库存平衡周期内是个常数， D 为实际库存量和基于模型算出的最优量之差。从库存取出的子系统输入量 u 成为局部决策问题中的控制变量。实际库存量应反馈至协调级，以改进价格 $\hat{\lambda}$ 。

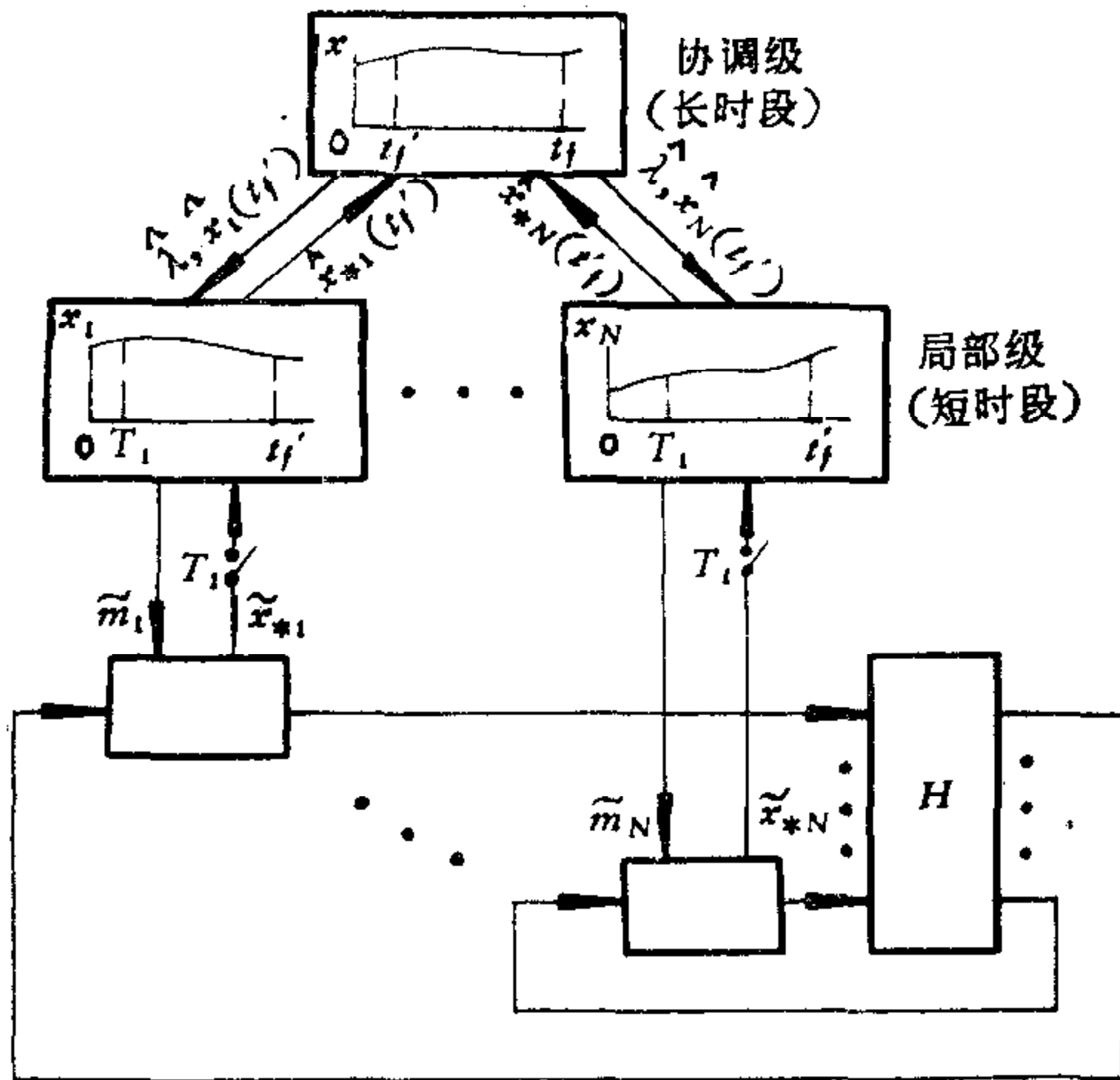


图 6 在线动态价格协调法的结构，采用局部反馈

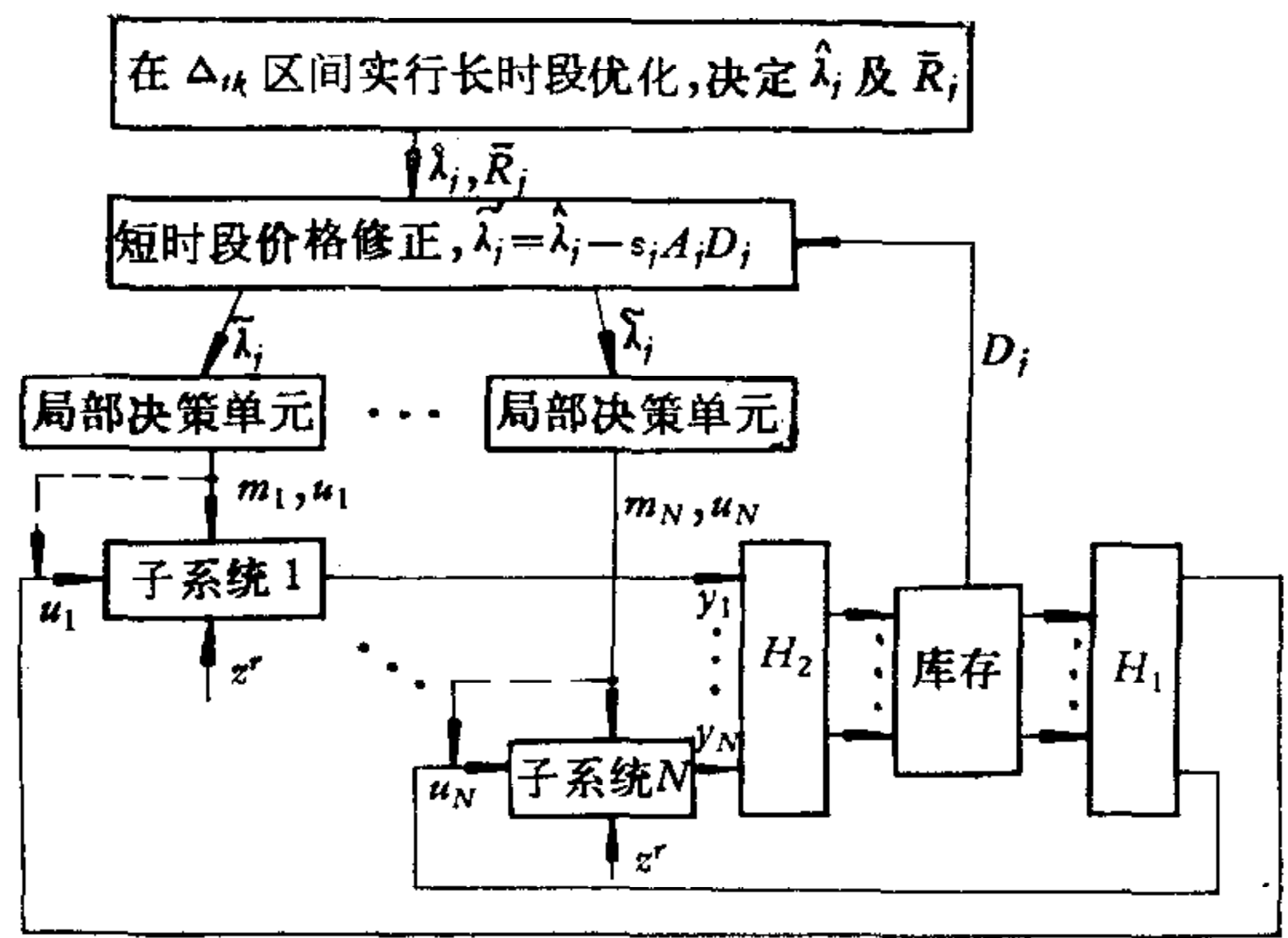


图 7 时变扰动下稳态系统在线库存价格法协调的结构

对于以存货耦合的系统的这类理论研究，目前还只局限于非平稳扰动下的稳态系统。其控制机制的基本思想是把协调工作分成两步：1. 在每个长时段的开始时刻根据扰动预测值和库存量进行优化计算，决定基于模型的价格值 $\hat{\lambda}$ 和库存政策 \bar{R} ；2. 由于模型与实际情况的差异以及扰动预测值的不准，需要利用反馈 D 来修正价格成 $\tilde{\lambda}$ 以使真实的库存量跟踪给定量。波兰学者 Malinowski 和 Terlikowski 作了一些理论分析，并对修正价格的迭代策略作了证明^[15]。

五、结 束 语

综上所述，以 Findeisen 为首的波兰学派在多级递阶系统的控制和协调理论研究上，特别是稳态系统的迭代协调研究上，取得了很大进展。然而就协调方法和校正机制而言，现在还不能确认哪一种方法比较好，选择时需根据具体问题而定。必须指出，还应该继续探索更有效的、收敛更快的局部反馈算法。此外，同时引用局部和全局两种反馈的校正机制，尽管还存在着困难也是可取的。

在时变扰动下的迭代协调方面，主要问题是追踪精度。已经解决的问题仅是一些很简单情况，还有许多较复杂的问题尚需研究。在动态系统的控制和协调方面，距获得实用的方法和结论还很远。

如果局部反馈的引入认为是在局部问题的优化中，修正模型与实际间差异的话，则全局反馈的引入便可以认为是用来修正协调级中目标函数和真实目标函数间的差异。应该根据这一思路重新研究两种反馈的引用问题。

无论对于哪一种协调方法，都要根据模型的性质及约束的不同类型，研究协调级和局

部决策级的解的存在性、唯一性,有时还有连续性;迭代策略及其收敛性;目标函数的连续性、次优性及其上下界;控制的可行性及一致性(Consistency)等等.对其中有些问题的严格证明,数学上是很困难的,至今还未解决.

在我国微处理机和单板机控制得到迅速推广应用的今日,波兰学派的成就是值得注意的.它为多级递阶控制在工业上的应用(如分布式多微处理机组在线控制)奠定了坚实和可靠的理论基础.他们的研究工作有两个鲜明的特点:一是紧密联系工业实际,如考虑模型-实际的差异、库存等等;二是立论非常严格,许多重要的引理、定理和结论都用泛函分析等数学工具加以证明.

在所有的研究中,都假定系统的总目标函数与各子系统的目标函数间有一个保持次序(严格单调)函数的关系.但是也有这样的情况,有的局部决策单元的目标函数不与协调器的目标和谐一致,这就产生了多人博弈问题.可能因为背景不同,波兰学派没有注意研究这一类问题.此外还有一些重要的结构问题值得研究,例如在传递反馈和控制信息时有滞后的系统、信息通道容量受限制的系统等.换言之,除了研究递阶系统的控制决策过程外,还应研究信息过程、信息结构.

本文作者和西安交大邵福庆同志在英国伦敦 The City University 系统科学系进修期间,与 P.Roberts 教授合作,对于稳态大系统的递阶控制技术作了一些改进^[18,19].其中有在 Tatjewski 局部反馈直接法的基础上,引用了协调器;在价格法的校正机制中改进了引用局部反馈后的收敛性;在直接和价格法两种迭代协调中同时引用了局部和全局反馈;混合法的校正机制和反馈的引用;双重迭代的校正机制以及系统的可能的最好目标函数值问题等等.递阶控制技术的这些改进,在实用上虽然颇有成效,但理论上还留有一些问题等待严格证明.

参 考 文 献

- [1] Mesarovič M. D., Macko D. and Takahara Y., *Theory of Hierarchical, Multilevel Systems*, Academic Press, New York, 1970.
- [2] Findeisen W., Bailey F., Brdys M., Malinowski K. et al., *Control and Coordination in Hierarchical Systems*, John Wiley & Sons, London, 1980.
- [3] Findeisen W., Brdys M., Malinowski K., Tatjewski P. and Wozniak A., *On-line Hierarchical Control for Steady-state Systems*, *IEEE Trans. Auto. Control*, **23**(1978), No. 2, 7—18.
- [4] Stoilov E., *Augmented Lagrangian Method for Two-level Static Optimization*, *Autom. Telemekh.*, **22**(1977), 210—237.
- [5] Tatjewski P., *Dual Methods of Multilevel Optimization*, *Bull. Pol. Acad. Sci. Ser. Tech. Sci.*, **25**(1977), 247—254.
- [6] Brdys M., Findeisen W. and Tatjewski P., *Hierarchical Control for Systems Operating in Steady State*, *Large Scale System*, **1**(1980), 193—214.
- [7] Wozniak A., *Parametric Method of Coordination Using Feedback From the Real Process*. Proc. IFAC Symposium on Large-Scale Systems Theory and Applications, Udine, Italy, 1976.
- [8] Tatjewski M. and Cygler M., *Completely Decentralized Output Control Based on an Approximate Mathematical Model*, Proc. IFAC Symposium on Large Scale System Theory and Applications, Toulouse, 1980, 157—170.
- [9] Ruszczyński A., *Convergence Conditions for the Interaction Balance Algorithm Based on Approximate Mathematical Model*, *Control and Cybernetics*, **5**(1976), 29—43.

- [10] Szymanowski J., Brdys M., Ruszczyński A., An Algorithm for Real System Coordination, Proc. IFAC Symposium on Large-Scale Systems Theory and Applications, Udine, Italy, 1976, 561—570.
- [11] Brdys M., Hierarchical Control of Steady-state Systems, Proc. Second Workshop on Hierarchical Control, Institute of Automatic Control, Technical University of Warsaw, Poland, 1979.
- [12] Brdys M., Michalak P., and Ulanicki B., Optimizing Control of Large-scale Systems Under Time-varying Disturbances by Price Mechanism with Local Feedback, *Large Scale System*, Vol. 3, (1982), 123—142.
- [13] Ruszczyński A., Coordination of Nonstationary Systems, *IEEE Trans. on Automatic Control*, AC-24(1979), 51—62.
- [14] Findeisen W. and Malinowski K., A Structure for On-line Dynamic Coordination, Proc. IFAC Symposium on Large-Scale Systems Theory and Applications, Udine, Italy, 1976, 549—560.
- [15] Malinowski K. and Terlikowski T., Coordination of a Nonstationary System with Dynamic Inventory Couplings, Technical Report, Institute of Automatic Control, Technical University of Warsaw, Poland, 1978.
- [16] Brdys M. and Ulanicki B., On the Completely Decentralized Control with Local Feedback in large Scale System, *Arch. Automat. i Telemekh.* XXIII(1—2) (1978), 21—26.
- [17] Stoilov E., Interaction Balance Method with Feedback Based on Augmented Lagrangians, *Arch. Automat. i Telemekh.*, XXV(1) (1980), 3—20.
- [18] Wan Bai-wu, Roberts P. D., Research Memorandum No. DSS/B-WW-PDR/229: Some Improvements in Techniques for Hierarchical Control of Steady State Systems, Department of Systems Science, The City University, London, United Kingdom, Oct. 1981.
- [19] Roberts P. D., Shao Fuqing, Wan Bai-wu et al., Algorithms for Hierarchical Steady State Optimisation of Industrial Processes, Preprint of Symposium on Large-Scale Systems Theory and Applications, Warsaw, Poland, 1983.

POLISH FINDEISEN SCHOOL OF THE THEORETICAL RESEARCH IN LARGE-SCALE SYSTEMS

WAN BAIWU

(Xi'an Jiaotong University)

ABSTRACT

This paper surveys Findeisen group's achievements in the field of coordination in optimization problems, particularly in the field of iterative coordination for steady-state control, and in the field of coordination in dynamic control. The distinguishing characteristic of Polish scholars' theoretical work is in consideration of such practical features as differences between models and the reality they describe, inequality constraints, possible use of feedback information and the time horizons etc. The paper gives a discussion and review of their work too.