

“必要变异度律”的探讨*

王鼎昌

〔提要〕本文评述沙哈 (Sahal) 和阿林—阿马尔 (Aulin—Ahmavaara) 关于必要变异度律的推论和分歧**，并对近来的应用作了概述，强调在社会控制系统中的意义。

维纳很早指出，在一系列核心问题上，通讯、控制和统计力学是统一的。艾什比强调了通讯对控制的中心作用，认为控制作为调节的能力，不能超过作为信息传输的能力；控制是对干扰源传向受控量变异度的堵塞。他最先 (1956年) 提出“必要变异度律”。波特 (Porter) 指出 (1976年)，“正象热力学第二定律对于物理学一样，它对控制和调节有同样重大意义”。从信息看控制，在系统中存在信息和能量平衡的观点，近来的发展，一方面表现为实地的用以解决问题，如卡克 (Kak) 对肾功能化学自稳态 (Chemical homeostasis) 的探讨，阿林—阿马尔对社会分阶层的探讨以及华莱士 (Wallace) 对超稳定性应用的探讨等；另一方面是理论上的推论和发展，如沙哈提的“必要结构律”、“必要探索律”、“必要组成律”和阿林—阿马尔提的“必要分阶层律”、“可变结构原则”等。本文目的在于对这两方面作一概述，对理论中的一些分歧提出看法，同时对实际应用方面，强调对社会系统的意义。

一 必要变异度律

变异度 一类事件可用变量 $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 表示，它的熵 $H(A)$ 是该量变异度的量度，表明 A 的不同表现发生的统计平均不确定性，并不涉及该事件的种类和实质。

$$H(A) = \sum_{i=1}^n P_i \log(1/P_i)$$

其中 P_i 为 a_i 出现的概率， $i=1, 2, \dots, n$;

$$\sum_i P_i = 1.$$

两类 (或更多类) 事件用变量 $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 和 $B(b_1, b_2, \dots, b_m)$ 表示，如果 A 与 B 相互独立，则 A, B 联合的不确定性用联合熵 $H(A, B)$ 量度。

$$\begin{aligned} H(A, B) &= \sum_i \sum_j P(i, j) \log(1/p(i, j)) \\ &= H(A) + H(B) \end{aligned}$$

其中 $i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, m$; $P(i, j)$ 为 a_i, b_j 联合出现的概率。如果 A 与 B 相关，则联合不确定性 $H(A, B) < H(A) + H(B)$ ，而有

$$\begin{aligned} H(A, B) &= H(A) + H_B(A) \quad \text{或} \\ &= H(B) + H_A(B) \end{aligned} \quad (1)$$

$H_B(A)$ 为 B 条件下 A 的条件熵 $H_B(A) = \sum_j P_j \sum_i P_j(i) \log(1/p_j(i))$, $P_j(i)$ 为 B 出现时 A 的条件概率。 $H_A(B)$ 为 A 条件下 B 的条件熵。

信息 信息量度通讯中消息不确定性的排除，是排除了的熵又称负熵。若 A 与 B 完全独立，则联合熵为最大， $\max H(A, B) = H(A) + H(B)$ 。若 A 与 B 不完全独立，相互有某种联系。通过这种联系，从 A 可获知 B 的某种消息，从 B 也可知 A 的一定消息。这个交互信息量 $I(A, B)$ 恰好等于联合熵中减少的量，即 $I(A, B) = \max H(A, B) - H(A, B)$ 。与 (1) 式而有 $I(A, B) = H(A) - H_B(A)$ 或

* 收稿时间1982年2月16日。

**《Kybernetes》1978年 Vol.7 上发表沙哈“调节和控制的原则”一文，该杂志编者欢迎对该文提出有关控制论和系统的重要概念发表意见。该刊1979年 Vol.8 上又发表阿林—阿马尔“评调节与控制”和“必要分阶层律”两文，对这一问题表示了不同看法。

$$= H(B) - H_A(B) \quad (2)$$

交互信息是量度变量间相关程度的量。 $I(A, B) = 0$ 则 $H(A) = H_B(A)$ 和 $H(B) = H_A(B)$, 表示 A 与 B 互不相关;若 $H_B(A) = 0$,则 A 是 B 的确定函数, $A = f(B)$;若同时 $H_A(B) = 0$,则 A 与 B 是一一对应的单值函数,交互信息为最大。介于互不相关和完全确定相关间的 $I(A, B)$ 是在0和最大值之间。

控制论系统 由控制 R 和被控 X 两部分组成的系统。调节的变异度 $H(R)$,被控量结果表现的不确定性 $H(y)$,随机干扰的不确定性 $H(D)$ 。由于它们间不完全独立,由(2)式相似关系而有

$$\begin{aligned} H(D) &= H_R(D) + I(R, D) \\ H(y) &= H_R(y) + I(y, R) \end{aligned} \quad (3)$$

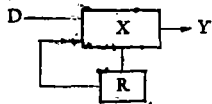


图1 控制论系统

$I(R, D)$ 为控制器与环境干扰源间的信息传输; $I(y, R)$ 为控制器与被控结果间的信息传输。由于在被动控制系统中,不象主动控制那样能改造环境,因而在控制 R 固定作用下,被控量结果的不确定性反映着干扰的作用,而有 $H_R(y) = H_R(D)$ (在有的情况下,如皮毛、壳、建筑物等可减去部分外部干扰,而有 $H_R(y) = H_R(D) - K$, $K = \text{常数}$)。由(3)而有

$$\begin{aligned} H(y) &= H_R(D) + I(y, R) \\ &= H(D) - I(R, D) + I(y, R) \\ &= H(D) - H(R) + H_D(R) \\ &\quad + I(y, R) \end{aligned} \quad (4)$$

必要变异度律 由(4),因 $I(y, R) \geq 0$,而有

$$H(y) \geq H(D) - H(R) + H_D(R) \quad (5)$$

这就是艾什比提出的必要变异度律,它表明使被控结果 y 稳定在目标范围内($H(y) = 0$),必需增大控制的变异度 $H(R)$,足以堵塞干扰变异度对被控量的传输($H(R) \geq H(D)$);同时减小 $H_D(R)$,使控制器对确定干扰发生后,采取对策的不确定性,即无知度减小。由(5)也

可得到信息平衡的结论,因 $H(R) \geq H(D) - H(y)$,表明控制器欲使被控结果从原来完全反映干扰不定性 $H(D)$ 减小到 $H(y)$,所排除的熵 $H(D) - H(y)$ 正好等于或必须小于控制器所能处理信息 $H(R)$ 的量。控制堵塞干扰的限度,不能大于它传输和处理信息的能力。

二 推论和分歧

推论1 适应性 由(5)可得

$$H(y) \geq H(D) - I(R, D)$$

控制系统与环境间交互信息 $I(R, D)$ 越大,有利于减小被控结果的不确定性,易于稳定。 $I(R, D)$ 反映着系统的开度,开度越大,系统适应性越强。采取前馈控制也是以开度取得稳定的方式之一。

推论2 稳定性 在瞬态干扰作用下,系统能迅速回复平衡状态,则具有较好的稳定性,即 $H(y) = 0$ 。由(5)可见,提高控制器的变异度 $H(R)$,有利于稳定。当 $H(R) > H(D)$,有可能更稳定。

推论3 探索和学习 由(5)可见,减小 $H_D(R)$,能提高系统稳定在目标限度内。系统从开始 $H_D(R) \neq 0$,达到 $H_D(R) = 0$,意味着系统在一定的环境作用下,能从采取最优行动的无知状态,对策上的犹豫不决,转变为以确定最优方式对付干扰。这相当于从无知到有知的学习和探索过程。

推论4 可变结构原则 必要变异度律在艾什比提出的自稳态(Homeostat)中,表明一个自行调节系统必须有可变的结构。该装置被控量的表现 y 的期望值为四个指针处于标度中点,调节器由四个旋转式选择器各有25个位置组成,而有可变换的不同耦合电阻网络结构为 $25^4 = 390625$ 种。 $H(D)$ 代表引起指针偏离中点的随机干扰的不定性。由于设计中 $H_D(R) = 0$, y 与 R 相互独立, $I(R, y) = 0$,目标是 $H(y) = 0$,故必须是 $H(R) \geq H(D)$ 。这是通过不断随机变换390625种网络结构,选出适于指针稳定在中点的参数,达到克服 $H(D)$ 对平衡的破坏。可变结构的大量变异度,提供自己

找寻稳定系统的参数值，是自动重建平衡态的必要条件。艾什比把这种平衡称为“超稳态”。

这种可变结构原则，我们认为也就是系统具有自动重新配置极点的自行调节结构。如一个定常系统，它的状态和输出方程为

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{aligned}$$

采取状态 x (或输出 y) 反馈控制，则控制量 u 为 $u = hx + r$ (或 $u = Hy + r$)

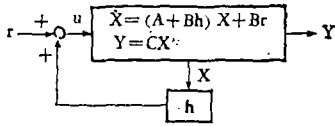


图2 状态反馈系统

控制量 u 为状态变量的线性组合 hx 和参考输入 r 组成。这个有反馈控制的系统方程为

$$\begin{aligned} \dot{x} &= (A + Bh)x + Br \\ y &= Cx \end{aligned}$$

只要系统是可控的，且具有足够的可供变换的控制结构，总可以找出一个结构，达到控制的性能指标。相当于找出一个适宜的线性组合的状态反馈矩阵 h ，使其参数为 $(A + Bh)$ 阵的特征值。选出的结构参数满足特征方程 $\det[sI - (A + Bh)] = 0$ 解的极点条件。通过这样重新配置极点，可达到稳定域。可变结构原则，提供了自动重新配置极点的可能。

推论5 必要分阶层律 在复杂的系统中，变化因素多，目标复杂，干扰源多。这时无知度很多，需要控制器的变异度很大，往往靠一个控制器集中控制难以解决。自然界生命机体的控制系统被自然选择的结果和人工系统合理设计的结果，出现了多阶层（递阶）调控结构。由 m 层子控制器 (r_i) 和 S 阶协调管理器 $(G^{(i)})$ 组成。使其

$$\begin{aligned} H(R) &= \sum_1^m H(r_i) \rightarrow H(D) \\ H_D(R) &= H_D^0(R) - H(G) \rightarrow 0 \end{aligned}$$

只要

$$H_D^0(R) = H_D(r_1) + H_{y_1}(r_2) + \dots + H_{y_{m-1}}(r_m)$$

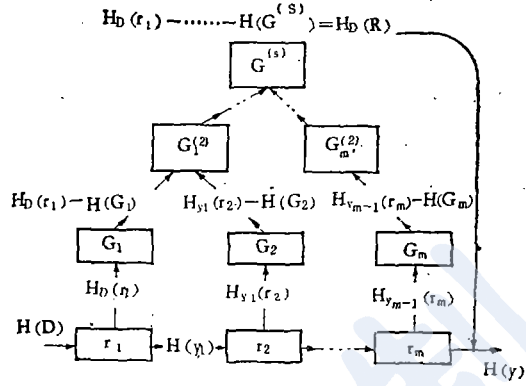


图3 多阶层调控系统

$$H(G) = H(G^{(1)}) + H(G^{(2)}) + \dots + H(G^{(s)})$$

其中

$$H(G^{(1)}) = H(G_1) + H(G_2) + \dots + H(G_m)$$

$$H(G^{(2)}) = H(G_1^{(2)}) + H(G_2^{(2)}) + \dots + H(G_m^{(2)})$$

就有： $H(y) \geq H(D) - H(R) + H_D(R) \rightarrow 0$ 由必要分阶层律可知，控制器平均调节能力差（变异度小），要达到调节较大的不确定性，系统组织必须有较多的调控阶层。在某种意义上，它与可变结构原则相反，结构分阶层多，其结构可变量小；同时可变结构很大的系统代表了发达的、理想的自行调节系统；而低度发展的，必然或多或少需要分阶层的结构*。

分歧1 沙哈由(4)提出必要变异度律的表式为

$$H(y) = H(D) - H(R) + H_D(R) + I(R, y) \quad (6)$$

阿林—阿马尔反对包括进 $I(R, y)$ 一项。艾什比的式子是(5)式， $I(R, y)$ 项并未出现。阿马尔认为这一项是偶然出现的不正规量，表现为调节对被控量的误动作，正象大脑神经系统有病态而产生的干扰动作一样，在设计和修理中可予消除。我们认为这种解释没有完全表达艾什比的原意，因为 $I(R, y) \geq 0$ ，艾什比在把(6)式的等式变为(5)式中，同时还有不等号

* 参阅作者所写“量—质信息与控制论系统”，见“信息与控制”杂志1981年第1期。

时, 恰恰考虑进了这一项的存在。

如果控制的目标仅只保持 y 不变, $H(y) = 0$ 。在 $H_D(R) = 0$, 且 $H(R) = H(D)$, 即控制器只有抵消外部干扰 D 的能力时, 则必须 $I(R, y) = 0$; 否则意味出现了病态 $I(R, y)$ 的干扰, 应予消除。在这点上阿林—阿马尔是对的。但当控制器有更大而必要的控制力时, 只要 $H(R) \geq H(D) + I(R, y)$, 即使 $I(R, y) \neq 0$, 也能达到目标。有两种可能, 一种是病态 $I(R, y)$, 必要过量的变异度可以克服, 正象左手的失误可用右手来矫正一样; 另一种 $I(R, y)$ 可能是 R 支配 y 的信息, 即控制的目标还要求 y 服从 R 而变。这时控制器必要过量的变异度, 不仅用以抵消干扰, 而且用以支配 y 的行动所必要信息的传输。正象既有抗干扰的手段, 又有传输指令的能力, 就能确保无误控制一样。

分歧2 沙哈提出的“必要结构律”, 由 n 个子控制器不一定相互独立, 而构成总的控制力 $H(R)$ 。

$$\begin{aligned} H(R) &= H(r_1, r_2, \dots, r_n) \\ &= \sum_{i=1}^n H(r_i) - I(r_1, r_2, \dots, r_n) \end{aligned}$$

代入(4)而有

$$\begin{aligned} H(y) &= H(D) - I(R, D) + \sum_i H(r_i) \\ &\quad - I(r_1, r_2, \dots, r_n) - H_y(R) \quad (7) \end{aligned}$$

$I(r_1, r_2, \dots, r_n)$ 表示控制器的结构, 其信息量越大, $H(y)$ 越小, 说明控制器必须结构复杂, 内部协调一致, 有利于系统的稳定。

阿林—阿马尔正确地指出这种推论是不正确的, 因(7)式实际是

$$\begin{aligned} H(y) &= H(D) + H_D(R) - H(R) \\ &\quad + H(R) - H_y(R) \end{aligned}$$

前后 $H(R)$ 应予消去。后一项中 $-I(r_1, r_2, \dots, r_n)$ 的变化为前一项中 $I(r_1, r_2, \dots, r_n)$ 所抵消, 对 $H(y)$ 并不发生影响。

分歧3 阿林—阿马尔提出“必要分阶层律”, 其中各子控制器构成总控制力为 $H(R) = \sum_i H(r_i)$, 他并没有考虑进各子控制器间横向交互信息 $I(r_1, r_2, \dots, r_n)$ 。我们认为这必须以相互完全独立为前提, 在实际的复杂系统

中, 往往除了纵的信息外, 还有横向信息。对于这种情况在实际中要进一步处理, 可用去耦的方式, 使分解横向不相关; 设置新的协调器, 增加以执行 $I(r_1, r_2, \dots, r_n)$ 必要传输的变异度。

分歧4 沙哈提出“必要组成律”, 他由(7)而有

$$\begin{aligned} H(y) &= H(D) - I(R, D) + H(R) \\ &\quad - H_y(R) + H_R(y) - H_R(D) \\ &= \sum_i H(r_i) - I(r_1, r_2, \dots, r_n) - C \end{aligned}$$

其中 $C = H_R(y) - H_y(R)$ 。他认为 $H(y)$ 能被 $\sum_i H(r_i)$ 的减少而减小, $\sum_i H(r_i)$ 表征控制器组成本身的多样性。多样性高, 系统看来不稳定, 例如浮游生物在小范围内表现得多样性很高, 但稳定性差。我们认为这种推论不仅与必要变异度律相抵触, 而且控制器本身的结构和多样性并不能必然决定被控系统是否稳定。只有被控系统本身是可控的, 系统才可能被稳定。可控性是任意配置极点的充分必要条件。

三 应 用

维纳说过: 通讯是使社会结构粘合一起的混凝土, 社会统治的范围受通讯能力所及的限制; 艾什比也说: 一个独裁者能把国家控制到什么程度, 不会超过一个人作为一般调节器所能堵塞干扰对受控量变异度传输的能力。因此, 必要变异度律不仅用于工程自控系统、生化系统, 而且也在讨论用于社会系统。

1 将军的指挥控制权

艾什比以这比作军事系统中必要变异度律的应用。华莱士把将军的指挥比作星形网络。如果他指挥十个区的部队, 每个地区的部队每天要是 10^6 比特变异度。他的指令和情报通过10个传令兵传达, 每人每天工作八小时, 每分钟可传递60个字, 代码每个字信息量为2比特, 将军以图完全控制部队, 做得到吗? 他的信息通道容量能充分保证控制吗? 十个传令兵一天传递信息量为

$I = 10 \times 60 \times 2 \times 8 \times 60 = 5.76 \times 10^5$ (比特)
这个容量大大小于部队机动的全部不确定性
 $H = 10 \times 10^6$ 比特/天。因而可以断定他不能完全控制局势。

2 超稳定性与分散度

华莱士分析了复杂的、具有负指数分布描述的系统，它的超稳定性与分散度的关系。一个系统内部状态数目和它的调节控制问题直接有关，系统达到超稳态*，又与内部状态分布的集中与分散有关，他推导论证了：

(1) 需要达到超稳态的平均步数是被耦合系统内部状态数乘积决定。

(2) 平均步数的概率分布是负指数函数形式。

(3) 系统的总熵或噪声量是达到超稳态所需平均步数的对数。

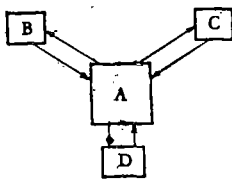


图4 星形网络

例如一个具有星形网络结构的系统，A为中心站，B、C、D为互不相关的外周站，A分别与B、C、D发生联系。通讯特征表现为相互间的时间延迟，若A、B、C、D各部分内部状态 (n_A, n_B, n_C, n_D) 分布发生变化，而通讯特征保持不变，获得超稳态控制所必须的信息量是不同的。若通讯特征为A与外周站的平均延迟：

$$\lambda_{AB} = n_A \cdot n_B = 20 \text{天}$$

$$\lambda_{AC} = n_A \cdot n_C = 10 \text{天}$$

$$\lambda_{AD} = n_A \cdot n_D = 40 \text{天}$$

可能有的所有状态集中或分散结构如下表：

解	n_A	n_B	n_C	n_D	$H = \log(n_A \cdot n_B \cdot n_C \cdot n_D)$ (比特/天)
1	10	2	1	4	$\log 80 = 6.32$
2	5	4	2	8	$\log 320 = 8.32$
3	2	10	5	20	$\log 2000 = 10.97$
4	1	20	10	40	$\log 8000 = 12.96$

其中每一个解相应于不同分散度的超稳态结构

模型。 H 为该模型相应噪声总量（即达到超稳态控制所必要的信息量）， H_A 为中心单元A的噪声量 ($\log n_A$)。可以定量地定义分散度

$$Q = 100(1 - H_A/H)$$

由式可见，当 $Q = 100\%$ 分散度时，每天有12.96比特的噪声，而 $Q < 50\%$ 时，只有6.32比特。因此状态越分散，系统达到超稳态所需通讯容量也越大。任何系统当它被分散化时，比具有相同通讯特征的集中化要有更大的控制量，才能达到超稳态。因而集中控制系统，更容易保持稳定；实行完全控制所需信息系统的容量必须至少大于相应超稳态模型的总噪声水平。

3 肾功能化学自稳态

卡克根据必要变异度律和熵与能量关系，及信息速率—畸变理论，探讨人肾化学自稳态功能的效率，得出比较切近实际的数量级。

肾功能是排泄代谢废物并调节失去的水分和血液中的电解质，以保持血液流量和成分的相对稳定。血液循环通过肾为1500毫升/分，迫使原生蛋白质通过肾小球的血压与蛋白质浓度差形成的渗透压相反，势必使水分和盐分以120毫升/分的速率通过肾小球而进入球囊。被稀释过滤的血液通过肾管而循环，在那里又把水分、葡萄糖和必要的盐分再吸收浓缩起来。每分钟有119毫升再吸收，只有1毫升作为尿而排出。

肾自稳态的功能是使进入的血液不确定性 $H(D)$ ，经自行调节后，再循环相血液不确定性 $H(y)$ 减小，保持必要的稳定。其减少的不确定性，即为肾调节中处理的信息量， $I = H(D) - H(y)$ 。排泄相尿的不确定性 $H(D')$ 直接反映着输入时的不确定性，可近似地 $H(D') = H(D)$ 。通过仪器测得尿中原生质浓度变化范围相差四倍，若按高斯分布计算方差， $\delta_{m'}^2 = (4 - 1)^2 / 12 = 0.75$ ，近似地等于输

* 艾什比意义上的超稳态系指A、B耦合的系统，只有当A提供B平衡同时B也提供A平衡条件时，整个系统才稳定地均衡，否则双方都互相否绝对方的平衡态。

入量变化的方差 δ_m^2 ；再循环血液保持稳定，变化不超过 $\pm 5\%$ ，若也按高斯分布，方差 $\delta_r^2 = (1.05 - 0.95)^2 / 12 = 0.0083$ 。考虑测试仪器噪声，据速率-畸变理论公式，可得分选一个离子的信息量为

$$I = 1/2(\log \delta_m^2 - \log \delta_r^2) = 1/2 \log(\delta_m^2 / \delta_r^2)$$

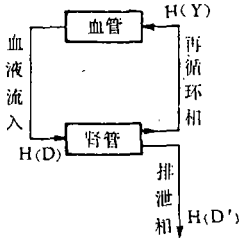


图5 肾自稳态

已知1比特信息量相当于 $TK \ln 2$ 尔格能量*， T 为绝对温度， K 为玻尔兹曼常数。分选一个离子必要能量为 $ITK \ln 2$ ，已知人肾每分钟处理约 10^{22} 个离子（主要是 Na^+ ），用于分选的能量每分钟为 $ITK \ln 2 \times 10^{22}$ 尔格。实测肾消耗功率 100 卡/分 = 418×10^7 尔格/分，推得肾效率

$$\eta = ITK \ln 2 \times 10^{22} / 418 \times 10^7 = 0.23$$

卡克十分强调这种分析的方法意义。

4 社会分阶层控制

阿林—阿马尔由必要分阶层律分析整个社会的生产和分配，提出社会分阶层的条件。与社会生产力相适应的社会生产和分配控制的结构，被它的最优调节能力熵 $H(R)$ 和缺乏自调节能力熵 $H_D^0(R)$ 所决定（ R 为整个社会的生产和分配，以对抗外界干扰 D ，如饥饿、寒冷、风暴、野兽和敌人等， G 为必须增加的管理层）。一个社会有效的调节能力 $H_{eff}(R)$ 是通过增加分层的控制结构来改进，并以增加管理层熵 $H(G)$ 弥补自调节能力的不足。使之达到该生产力水平的最佳控制，即

$$H_{eff}(R) \rightarrow H(R); H_D^0(R) - H(G) \rightarrow 0$$

这时若再增多分层就成了多余而不必要的桎梏。随着生产力的发展，自调节能力的增加（ $H_D^0(R)$ 的减小），分层所获得的增益也就减少。当生产力完全自行调节 $H_D^0(R) \rightarrow 0$ ，表明自行调节生长成熟时，在生产之外的管理层也应该完全消失。原先在生产者和管理者之间的

所有阶级分界线随之也应失去它们存在的意义。

总之，必要变异度律无论在理论上和实际应用中，都存在不少应予重视和研讨的问题。社会分阶层与社会分阶级是有区别而又联系的两个概念，不能象阿林—阿马尔那样相混。出现阶层并不意味着就是产生了阶级；消灭阶级并不等于消灭了阶层。然而社会阶层结构的出现和消亡，确实是被生产力的发展，控制的自行调节力的程度所决定。因而必要变异度律的探讨，对于改进管理体制是有一定意义的。

附言：本文曾经于景元和王慧炯同志指正，在此特表谢意。

参考文献

- [1] Porter, B., Requisite Variety in The Systems and Control Sciences, Int. J. Gen. Systems (1976) 2, 225—229.
- [2] Sahal, D., Principles of Regulation and Control, Kybernetes, Vol. 7 (1978) pp. 19—24.
- [3] Aulin-Ahmavaara, A. Y., Notes on Regulation and Control, Kybernetes, Vol. 8, 1979 pp. 213—215.
- [4] Aulin-Ahmavaara, A. Y., The Law of Requisite hierarchy, Kybernetes, Vol. 8 (1979) pp. 259—266.
- [5] Conant, R. C., The Information Transfer Required in Regulatory Processes, IEEE. Tran. On Sys. Scie. and Cyb., 5 (1969), pp. 334—338.
- [6] Kak, S., On Efficiency of Chemical Homeostasis, An information-theoretic approach, IEEE. Tran. On Sys., Man and Cyb., Vol. SMC-9 (1979).
- [7] Wallace, M. R., Applications of Urtrastability, Kybernetes, Vol. 8 (1979), No. 3.
- [8] Goldman, S., Information Theory, Constable and Company (1953), London.
- [9] Lerner, A. Y., Fundamentals of Cybernetics, Chapman and Hall, 1972.
- [10] Ashby, W. R., Design for a Brain, Chapman and Hall, 1952.
- [11] 艾什比, 控制论导论, 科学出版社, 1965.
- [12] 艾什比, 智力放大器设计, 自动机研究, 科学出版社, 1965.
- [13] 维纳, 控制论, 1962, 科学出版社.
- [14] 维纳, 人有人的用处, 1978, 商务印书馆.
- [15] 王鼎昌, “信息论的发展和意义”, 自然辩证法通讯, 1981, No. 2.

* 因有 N 个等概状态的物理系统，输入热量为 Q ，熵变化为 $\Delta S = Q/T = K \ln N$ ，其平均信息量为 $I = -\sum p_i \log p_i = \log N$ ，设 $N = 2$ ，则 $I = 1$ 比特， $Q = TK \ln 2$ 尔格。

Frame Structure and Categories in Compatible Telecontrol System

Yu Ning, Tan Wenshu

Some problems about compatible telecontrol systems are discussed in this paper. Frame structures and frame categories suitable for compatible telecontrol system are proposed. In addition, a 8080 microprocessor-based compatible telecontrol system has been designed. (pp.31—36)

A Fast Algorithm for Waveform Pattern Matching

Li Dehua

An algorithm for pattern recognition and the calculation of the threshold value has been proposed to speed up the pattern matching of certain waveforms.

The main idea is that from the expected amplitude and the vertical and horizontal fluctuation of the waveform a characteristic vector is derived and the threshold value calculated. For certain a set of waveforms the matching operation is carried out only for those waveforms that have the same vector as the pattern, and are within the threshold value. For some waveforms, the information compression ratio reaches 90~98%, the speed of the computation is increased by a factor of 10—30. (pp.37—39)

Discussion on "The Law of Requisite Variety"

Wang Dingchang

This paper comments on Sahal's and Aulin-Ahmarara's inference and some points at issue about "The Law of Requisite Variety". Recent applications are reviewed with emphasis on its importance in social control systems. (pp.40—45)

Automatic Control Device for Feeding Raw Material to Blast Furnace

Liu Guorong, Yao Gexin

This paper discusses the working principle of a raw material feeding device used in blast furnace No.1 and No.2 at the Wuhan Iron and Steel company. The methods to improve its reliability and the effect of its use are also discussed. The device is noted for using common components and simple electric scheme. The circuitry of the device is quite different from the conventional one in putting electronic and power circuits together to achieve improved reliability in operation. (pp.57—60)

Cascade Control of Air Supply to Oil Boilers

Shen Botao

An automatic cascade control system for air supply to oil boiler has been designed around a wing air flowmeter. The experiences in the field and methods of adjustment are described in detail. (pp.61—62)