

自动检测技术一瞥

毛绪瑾

(中国科学院自动化研究所)

摘 要

自动检测技术的任务是信息获取,并涉及信息加工和信息传输。自动检测技术总是尽可能采用各种科学技术的新成就。它的发展状况在某种意义上代表着一个国家的工业基础和科学技术水平。

自动检测技术的任务在于获取被控对象的状态信息。由于科学技术的不断发展和相邻学科的相互渗透,自动检测技术在概念、服务对象、检测手段等方面都在不断发展。五十年代,检测技术实现了电子化;今天,自动检测系统已经从传感器和处理电路发展到包括闭路系统和微型计算机。一个明显的趋势是自动检测越来越涉及信息处理和信息传输。国内有关高等学校的教材中已经注意到这些方面^[1]。提到信息处理,可能有人认为它是一个大的独立的领域,这是不符合事实的。其实信号变换、数字滤波、频谱计算、非线性校正计算、加权平均、统计计算等都是信息处理的内容。

当然,自动检测离不开文献中提到的“非电量的电气量测”、“传感器”、“检测器”、“反馈部件”、“变送器”和“一次仪表”等,其内容都与信息的获取有关。这些信息是各式各样的,需要运用光、机、电、声、材料科学、计算技术等方面的知识和各种各样的物理、化学效应。因此,自动检测的一个明显特点,是和许多学科与技术的相互交融。它的发展状况在某种意义上反映出一个国家的工业和科学技术成就。

一、信息、信息处理和信息获取

通过现象看本质,人类社会中存在一个普遍现象,即每时每刻都在进行着信息获取、信息存储、信息更新、信息传输、信息处理和信息利用。自动控制系统是这样,生物系统是这样,一个社会系统也是这样。还应该指出,在一个生产系统中,除了能量流、物质流以外还存在信息流。

1. 信号、消息、信息

自动检测离不开信号、消息、信息等概念。信号代表能够进行控制、传输和转换的物理过程,例如电压、电流、流量和压力等。

信号的一定组合构成消息,例如连续三个点,接着连续三个横,再接着连续三个点信号,即:“…———…”代表呼救的信号(A Distress Signal),用拉丁字母表示为“SOS”。

什么是信息？信息的本质是什么？这是说法不一、哲学家们相互争论的问题。一般说，信息就是音信和消息，指语言、数据、文件、图象、文字和符号等^[2]。严格地说，信息指具有新内容、新知识的消息，是系统确定程度的标记。可以认为，信息是物质的一种特殊属性，它提供物质运动的知识，减少或消除系统的不确定性^[3]。

有的作者认为信息是消息定量化的一种概念^[4]，例如字长为 8 位的二进制码，其信息量定义为

$$E = \log_2 2^8 = 8 \text{ (比特)}.$$

上式中，已默认每一位出现“0”和“1”的概率相等，如果出现“0”的概率为 p ，则出现“1”的概率为 $1-p$ ，则其信息量为

$$E = [-p \log_2 p - (1-p) \log_2 (1-p)]N. \quad (1-1)$$

N 代表位数。

如果一个消息由 N 个相互独立的信号组成，每个信号出现的概率为 p_i ，则信息量表示为

$$E = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i. \quad (1-2)$$

E 称为信息熵。

由于一组信号总会送出一个消息，故有 $\sum_{i=1}^N p_i = 1$ 。假定各个 p_i 相同，那么得到某一具体消息的不确定性大，与此有关，信息量也大；如果某一 p_i 为 1，其它为 0，则出现某一具体消息的不确定性最小，信息为零。因此可以说，事先不知道的消息有信息量，已知的消息则不包含信息。

2. 信息处理在自动检测中的地位

微型计算机在自动检测中的应用是大势所趋，基本立足点是利用软件可以增强自动检测的功能，提高其精度。

自动检测中的信号处理是指从一次元件、仪表取得的初始信息经过运算、变换、消除误差、补偿非线性等步骤，而获得比较准确的信息。此外，有些测得的信息不能直接利用，需要进行加工处理，通过测量压差取得流量信息就是一个例子。

有些控制对象可以看成“黑盒子”，通过自动检测，利用数据处理的手段，根据相关函数可近似求得“黑盒子”的动态特性，并成为一学科分枝，叫作“自动辨识”。

随着智能机器人的发展，各种特殊的敏感系统会应运而生，例如视觉、听觉、接触感，接近感敏感系统等。这些智能敏感系统是以具有信息处理能力为前提的。

已有的一些精密检测系统，如光栅、磁栅、感应同步器等，单单从硬件的角度提高精度势必遇到难以克服的困难，合理的办法是从软件上下功夫。过去的精密检测一般都配有比较复杂的处理电路，这些电路如由微处理器取代将会收到“如虎添翼”的效果。

总之，信息处理是今后自动检测技术不可缺少的内容。

3. 信息获取

处理和利用信息的前提是获取信息，获得各种各样的原始信息所涉及到的科学技术从广度和深度来说，是其它各学科难以比拟的，而且自动检测的性能往往成为提高系统指

标的瓶口。以下略述获取信息的一些具体办法。

二、自动检测技术中的传感器和检测电路

传感器是自动检测技术中必不可少的部分。然而“传感器”又是一个含义宽广而笼统的名词。一切获取信息的仪表、部件都属于这一范畴。从某种意义上讲,传感器是信息获取诸手段的集合。

1. 传感器的重要性

当前,传感器的应用是广泛的。工业、军事、安全保护、环境污染监视等方面都离不开各种传感器;在自动调整系统中,传感器是反馈部分的主要组成单元,直接影响整个系统的分辨率和精度。以采用直流执行电动机的第一型系统为例,转矩常数 $K_M = M_c / KD$, 式中 M_c 为负载转矩; K 为小于 1 的常数; D 为敏感器分辨率。此式的意义是当自动调整系统偏差等于或大于 K 倍传感器分辨率时,执行电动机应该动作,使系统进行自动调整。就是说,自动调整系统的动作灵敏度和传感器的分辨率有直接关系。在直接数字控制系统和数字通信系统中,传感器是信息输入的重要组成部分。因此,日本把传感器和计算机、通信、半导体器件、激光和超导技术并列为六大核心技术。英国科学仪表制造商协会每年在伦敦举办传感器技术交流和展览会。美国在这一领域做的工作也很多,以卫星姿态传感器为例,他们不仅做到品种多样,而且性能不断提高。

2. 传感器的特点

1) 品种繁多。常用的有压力、温度、粘度、流量、液位、运动体转角、位移、转速、加速度、飞行体姿态、环境噪声、有害气体含量等类传感器。下面仅列出从节能角度用微型计算机控制汽车所采用的传感器。它们有曲轴角位传感器;节流阀角度传感器;燃料流量比传感器;点火控制、燃料喷射和歧管压传感器;燃料温度传感器;氧分压传感器;油压传感器;速度、平均速度、加速度传感器;排出废气传感器;座室温、湿度传感器;空气流量传感器;水温传感器;轮胎压力传感器;路面状况传感器;司机饮酒、入睡传感器;自动闸传感器;超速报警传感器等等。

以上所列出的传感器并非现有汽车都已装上,但多数在研制之中,并代表着发展方向。与此类似,一架飞机用到的力传感器就达二十多种,如操纵杆推拉力传感器、起落架着陆冲击力传感器、发动机推力传感器、救生装置弹力传感器等等。在机械加工、轻纺工业、能源、交通运输、粮食储存、气象、农业、环境保护、生物、医学、文教以及人民生活中所需的传感器也是各式各样的。

随着光电子学、纤维光学、铁电体、材料科学、半导体和微处理机的发展,新型传感器不断出现,例如以硅片“微换能部件”为主体的硅传感器、光纤压力和水位传感器;新的高分子材料-聚偏二氟乙烯压力传感器、半导体磁敏电阻传感器、 $MgCr_2O_4-SnO_2$ 烧结体半导体陶瓷型湿度传感器、利用集成电路的小型电化学传感器、半导体片上固定具有分子识别功能的酶或微生物的生物传感器、获取微磁场的立体传感器等等相继出现。此外,正在发展的智能传感器如识别颜色的彩色传感器、电阻浸渍的纺织纤维和人造橡胶材料的触觉传感器等。

2) 传感器是跨学科的横向技术. 为了使传感器用于各种科学技术, 制造传感器时, 利用了近百种物理、化学效应和各种新型材料的特性. 表 2-1 列出一部分.

表 2-1

名 称	作 用	名 称	作 用
塞曼效应	光变磁	伏打效应	物性到电
史达克效应	电变光	磁热效应	磁到热
多普勒效应	声光变频率	汤姆孙效应	温差、电到热
声响电效应	声变电	光导效应	光到电阻
声响磁效应	声变磁	霍尔效应	磁、电到电
储存效应	电、半导体	磁阻效应	电磁到电阻
齐纳效应	电、半导体	磁致伸缩效应	磁到变形
场效应	电到淀积	压电效应	压力到电
超导效应	电导到电	空间电荷效应	电场到电荷
聚肤效应	频率到电磁	奥尔加效应	X 射线到电子

3) 传感器原理各异, 形式多样. 关于传感器已有若干专著^[7], 下面仅举出一、两个例子进行说明.

① 激光流量传感器

激光流量传感器基于多普勒效应. 即: 频率一定, 从激光源发出的光波经过不同长度路径传输, 在某汇合点进行比较时将出现频差. 图 2-1 中, 假定通道 C 中的流体带有散射粒子, 这些粒子使部分激光产生折射后由透镜 L_3 会聚, 未经折射的参考光由 L_2 会聚, 两束光于平面镜 P_2 处汇合射向光敏元件, 再进行混频和其他处理, 而后得到和流量成比例的差频信号.

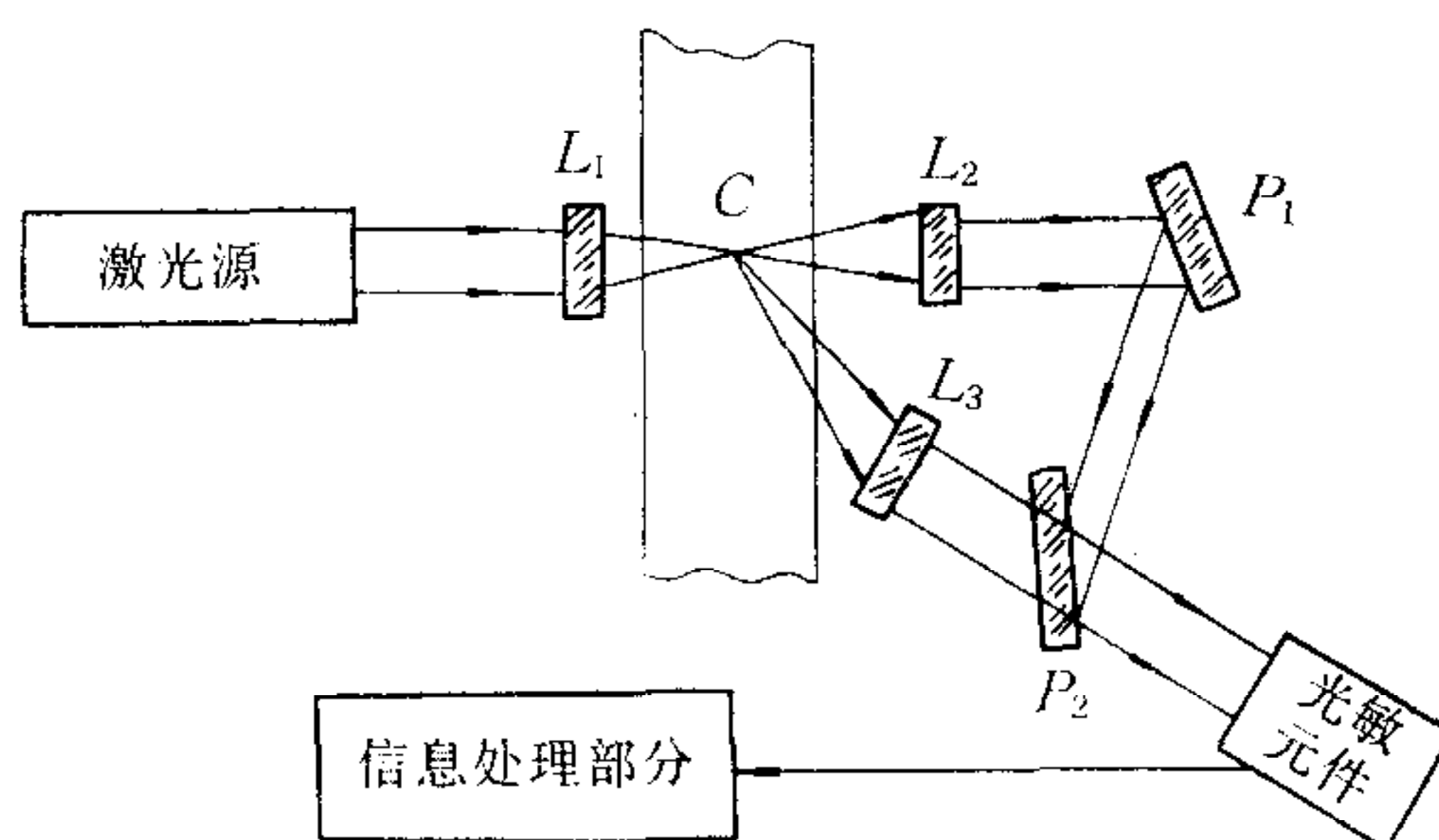


图 2-1

② V 形槽星敏感器

星敏感器的种类很多. 这里仅介绍用于自旋卫星姿态敏感器中的一种. 它的任务是给出卫星姿态信息. 当传感器图 2-2a 因卫星自旋而扫描通过预先选定的星象时, 经光学系统聚焦的星象每越过 V 形槽透明石英标尺的一个边, 光敏元件便送出一个脉冲, 从垂直边对应的信号得到方位角信息, 处理和两个边对应的信号可以得到天顶距信息. 图 2-2b 中 S 为选定的星象, V 形星敏感器安放在自旋卫星上并扫描 S , ω 是自旋卫星转速, Δt 为

时间,以 C 点做为计算起点. 现在的问题是要求在星体坐标系中决定 S 的方位角 $\omega\Delta t$ 和天顶距 β . 图中的 SBC 为直角球面三角形,根据 Napier 法则,对于边 $90^\circ - \beta$, $\omega\Delta t$ 和角的关系得^[8]:

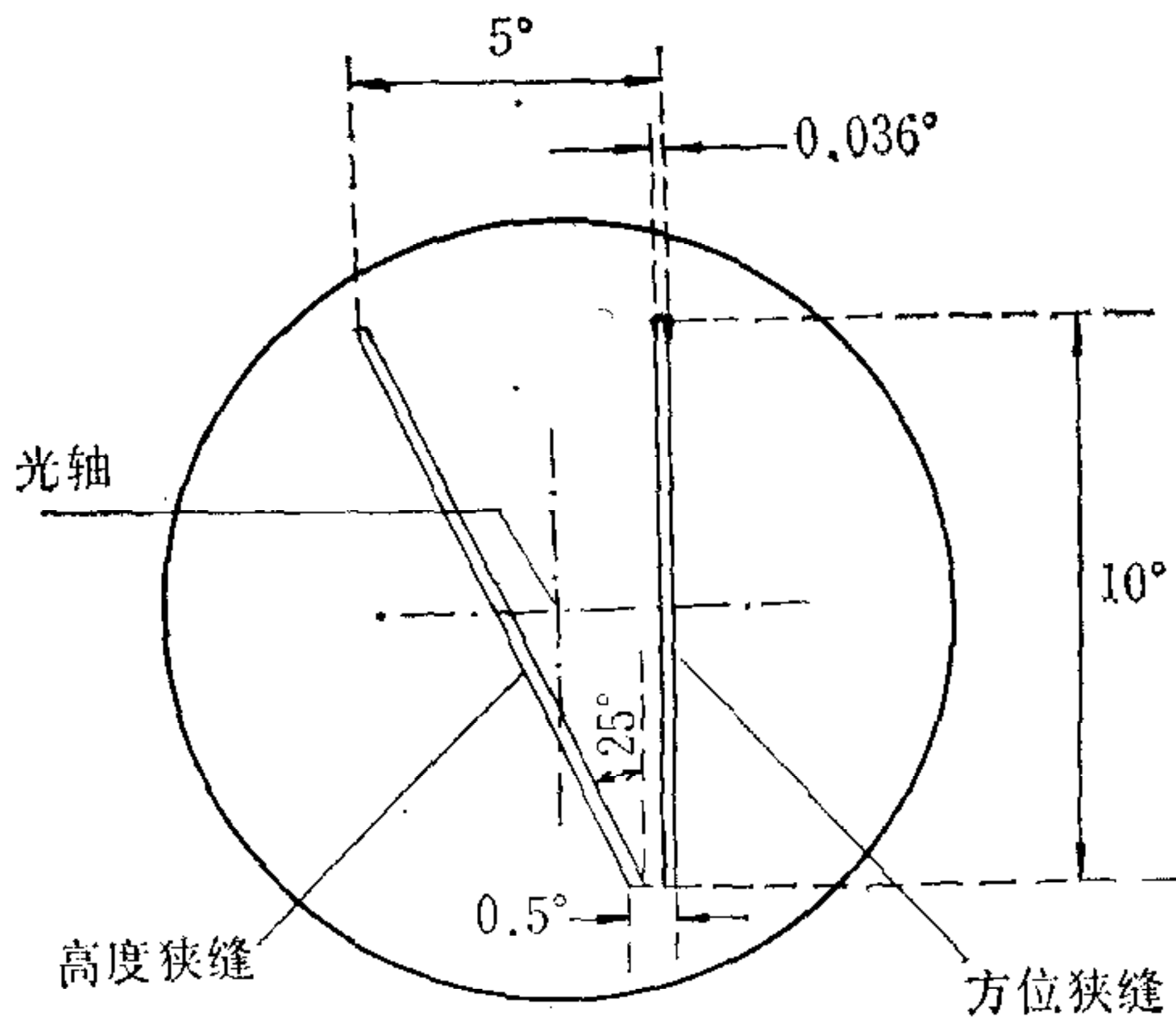


图 2-2a

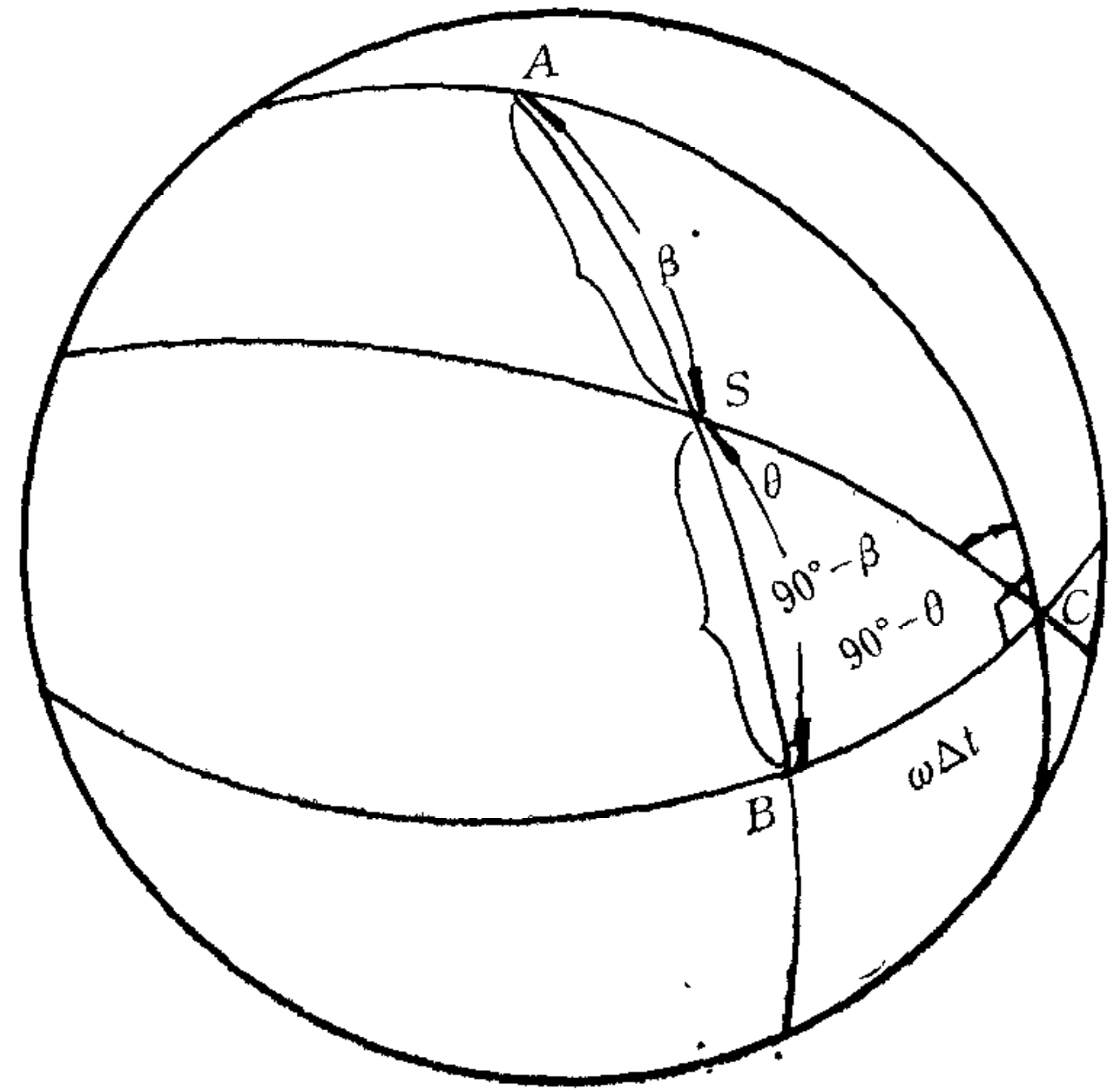


图 2-2b

$$\sin \omega\Delta t = \tan(90^\circ - \beta) \tan \theta, \quad (2-2)$$

经整理后有:

$$\tan \beta = \frac{\tan \theta}{\sin \omega\Delta t}. \quad (2-3)$$

式中 θ 为传感器两平面视场之间的夹角,由设计决定.

通过和垂直边对应的信号可以得到 $\omega\Delta t$, 由(2-3)式间接得到 β .

3. 传感器的发展趋势

发展传感器应注意到:

1) 研究和利用新的物理、化学效应. 注意对已知物理现象超声、激光、微波等的利用; 2) 采用新材料、新工艺; 3) 进行“技术杂交”; 4) 小型化、集成化、固体化,以取代结构式传感器; 5) 研究智能传感器; 6) 传感器数字化,以便和微型计算机配合使用; 7) 增加传感器的品种,并提高精度.

4. 自动检测电路

仅有传感器并不能完成自动检测,需要有各种检测电路进行配合,这些电路是五花八门的^[8]. 此外,有些电路可以单独得到被控对象状态信息. 两信号频率差和相位差的检出就是一个例子,见图 2-3. 该检测电路由四个 RS 触发器(即与非门 1,2;3,4;5,6;7,8各自组成)和与非门 9 构成.

图中 r, s 是相互比较的频率或相位信号. a, b, e, f 的状态(共 $2^4=16$ 个状态)决定了整个电路所有可能的状态. 其中八个状态是稳定的,另外的八个状态不稳定. 例如,偶尔发生 $abef = 0000$ 时一定会自动变成 $abef = 0110$, 详细情况见表 2-2.

考察图 2-3 和表 2-3 很容易画出状态转换图,见图 2-4. 利用图 2-4, 根据 r 和 s 的

表 2-2

状态号	<i>abef</i>	自动变成 <i>abef</i>	<i>hi</i>	稳定否
	0000	0110		否
	0001	0101		否
	0010	0110		否
	0011	0111		否
	0100	0110		否
1	0101		11	稳
3	0110		11	稳
2	0111		10	稳
	1000	1010		否
6	1001		11	稳
8	1010		11	稳
7	1011		10	稳
	1100	1110		否
4	1101		01	稳
5	1110		01	稳
	1111	1001		否

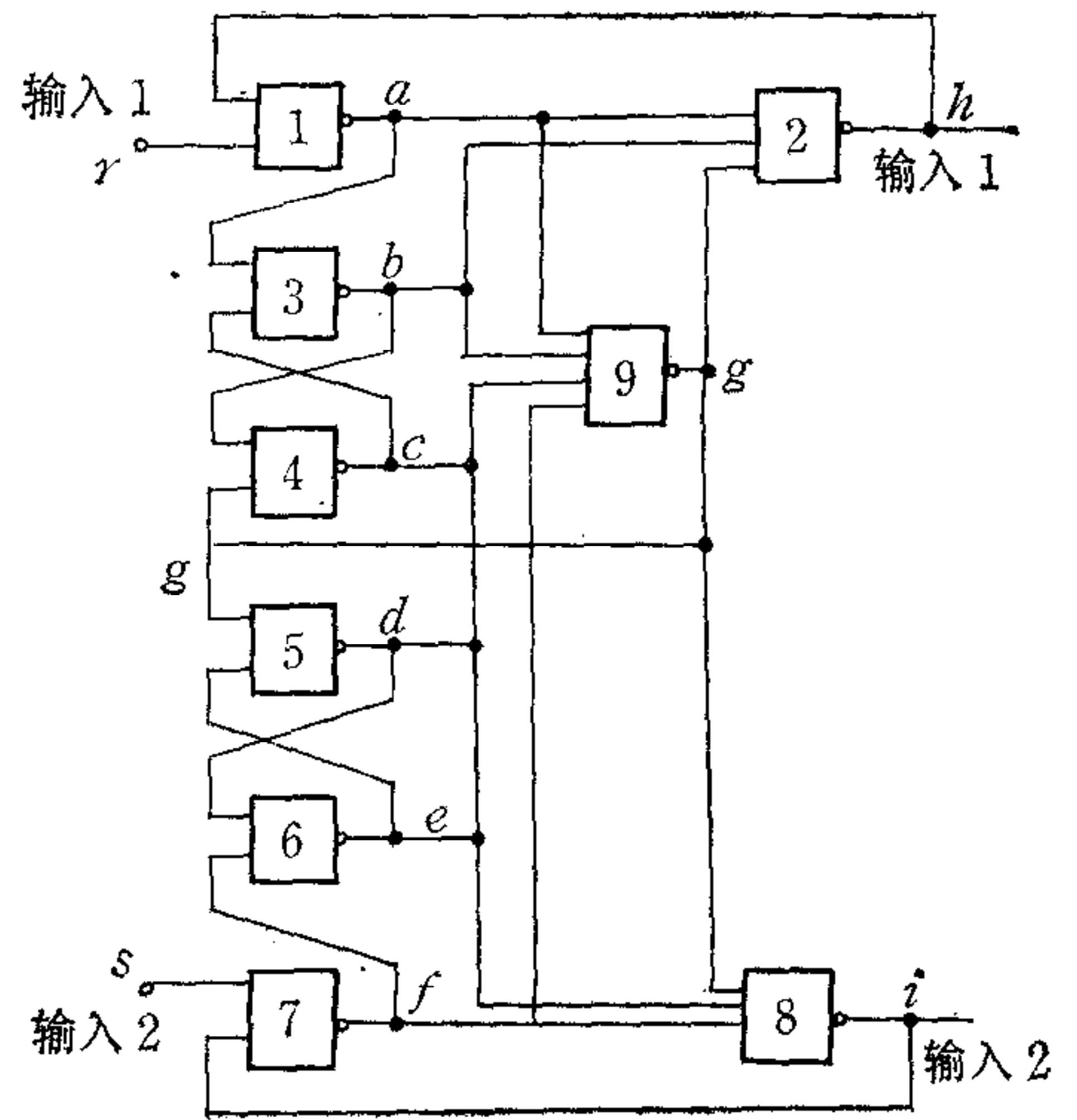


图 2-3

状态,任意选定一个起始稳定状态,即可画出输出信号 *h* 和 *i* 的波形,它们代表 *r, s* 的频率差信息,如果 *r, s* 的频率相同,便给出相位差信息. 这个问题,中国科学院自动化所研究生陆启湘同志曾作过详细分析.

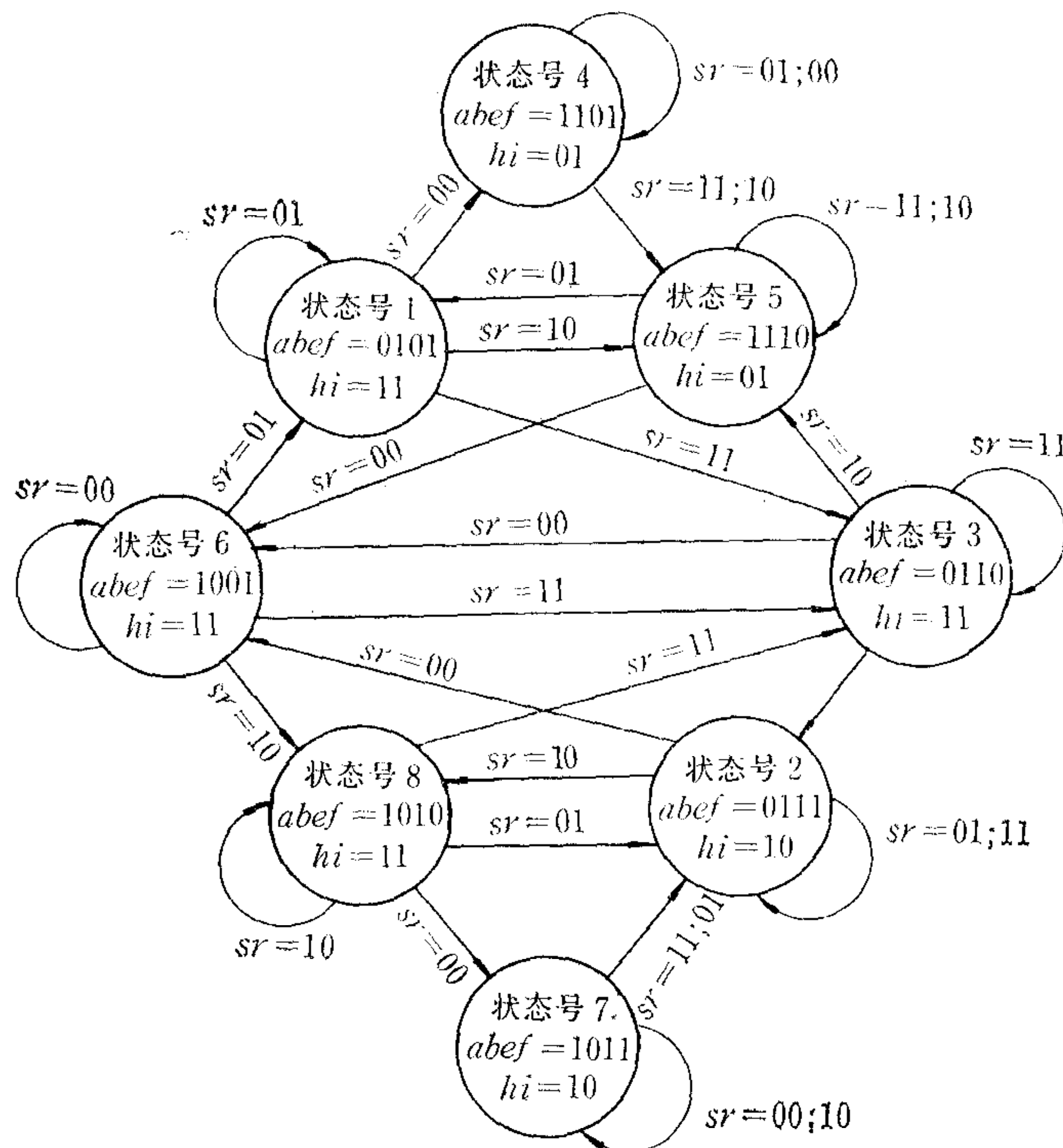


图 2-4

瞬时频率或转动物体瞬时转速数字测定,也是需要加入检测电路的一例,见图 2-5^[9]。

图中,当 f_{uD} 为零时, f_M, f_D 均为零。加入 f_{in} 且 $f_{in} > f_D$ 时, Df 使可逆计数器进行加法计数,于是系数乘法器的输出不断增加, f_M, f_D 也随之增加,直到 $f_{in} = f_D$, 差频检出无输出,也就是 Df 为零时为止。 $f_{in} < f_D$ 时,可逆计数器进行减法计数,使 f_M, f_D 减少,直到 $f_{in} = f_D$ 时为止。这是一个输出 f_{out} 跟踪输入 f_{in} 的过程,可保证输出数码和输入瞬时值相对应。

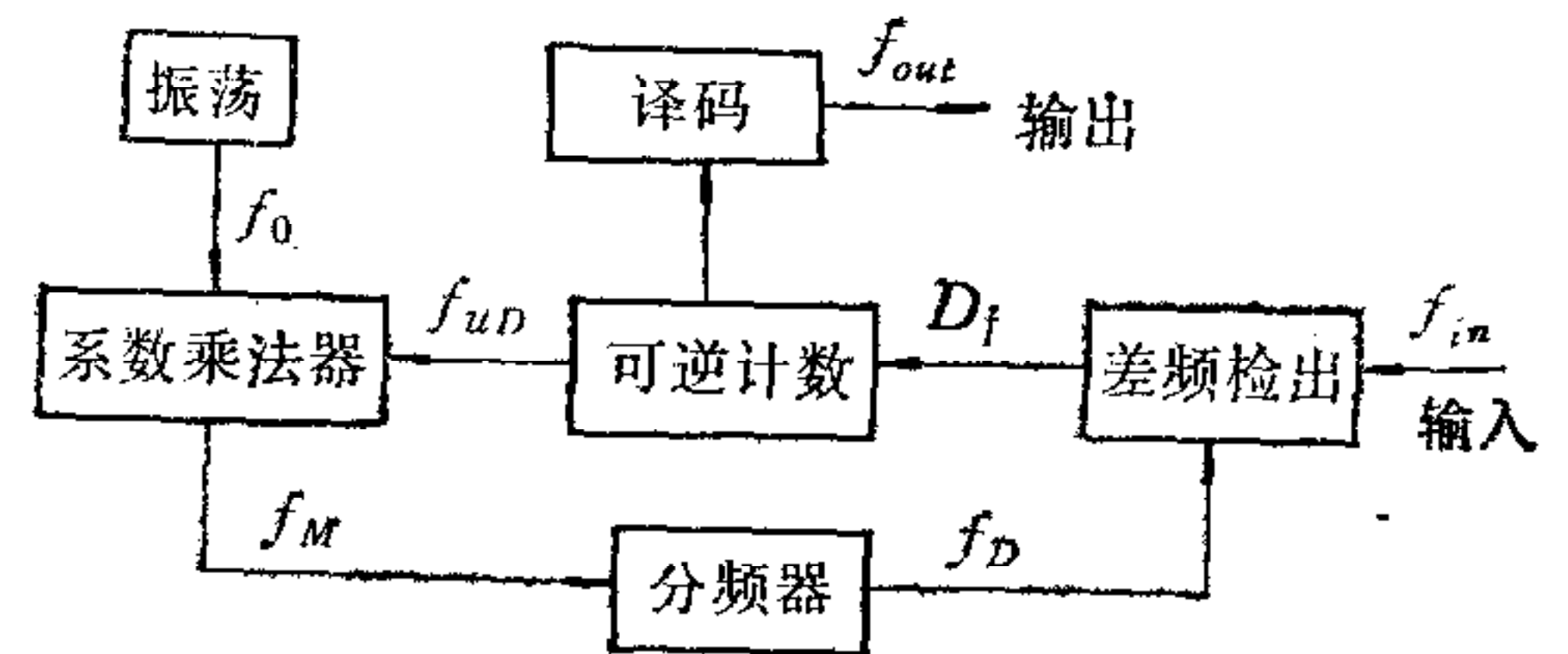


图 2-5

检测电路种类极多,不可能也没有必要一一列举。设计制作各种功能好、体积小的自动检测电路是值得重视的一个方面。

三、自动检测技术的发展动向

1. 检测系统化

当前和今后的自动检测,特别是精密检测要求对传感器送出的信号进行加工处理。以感应同步器为例,为了敏感出精密的机械位移信息,可组成图 3-1 所示的系统。其中,感应同步的滑尺静止不动,定尺随被控对象一起转动。 θ_M 代表被控对象转动角度; θ_E 代表由开关电路控制函数变压器形成的等效电角度,感应同步器的输出信号为

$$e = KU \sin(\theta_M - \theta_E) \cos \omega t. \quad (3-1)$$

式中 K 为常数; ω 为振荡器角频率。

从图 3-1 和 (3-1) 式可以看出,所述方案实际上是一个“电子随动”系统。该系统总是力图使 $e \rightarrow 0$, 即力图使 $\theta_M = \theta_E$, 而且在 θ_E 跟踪 θ_M 的过程中,使增量计数器送出高分辨率的信息。

无疑图 3-1 所示硬件可以用单板计算机取代。

需要指出,除了上面谈到的感应同步器以外,磁栅、轴角编码器、光栅、编码盘、电荷耦合器件 (CCD) 等都需要组成相应的系统进行相应的信号处理。

2. 微型计算机在自动检测中的应用

前面已经谈过,微型计算机(微处理器、单板机等)在自动检测中的应用是大势所趋。这和自动检测技术中需进行信号处理有关,而处理形式是各种各样的。如要提高测温精确度,则应考虑到热电偶温度传感器的输出 $e(t)$ 和温度 t 存在下列近似关系:

$$e(t) = C_{x_1} t + C_{x_2} t^2. \quad (3-2)$$

其中 C_{x_1}, C_{x_2} 为常数,与温度范围有关。

此外,在有些自动检测系统中,微型计算机作为组成单元之一。图 3-2 为计算相关函数确定流体通过两定点的时间 t ,从而求出速度 v ,最终得到流速信息的方案。因为流体

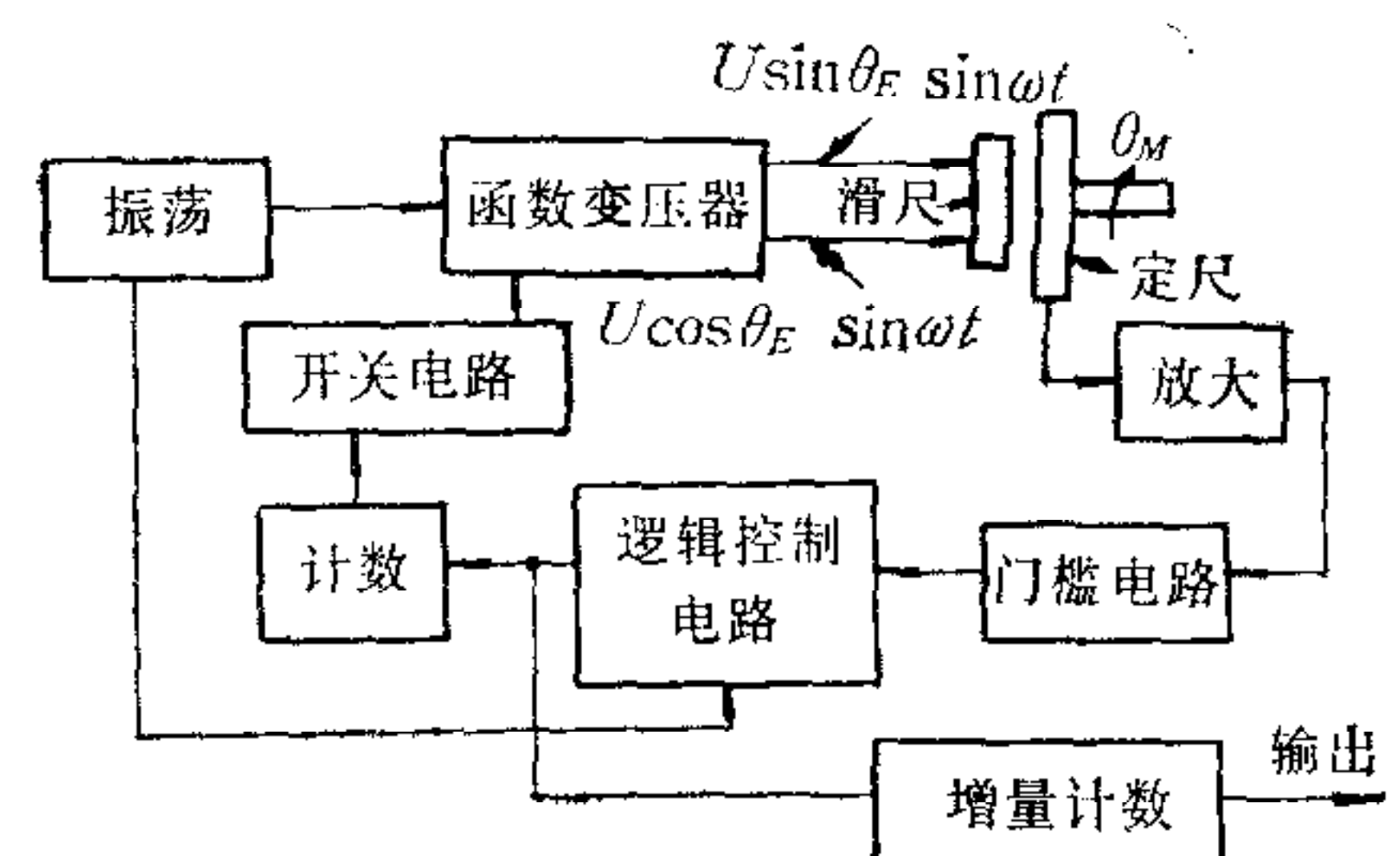


图 3-1

通过管道时总有变化的迹象，这些迹象可作为一种标志。安装两个相距 L 的传感器 D_1 , D_2 ，检测出上述变化迹象信息 $S_1(t)$, $S_2(t)$ ，然后由微型计算机求出 $S_1(t)$ 和 $S_2(t)$ 的相关函数：

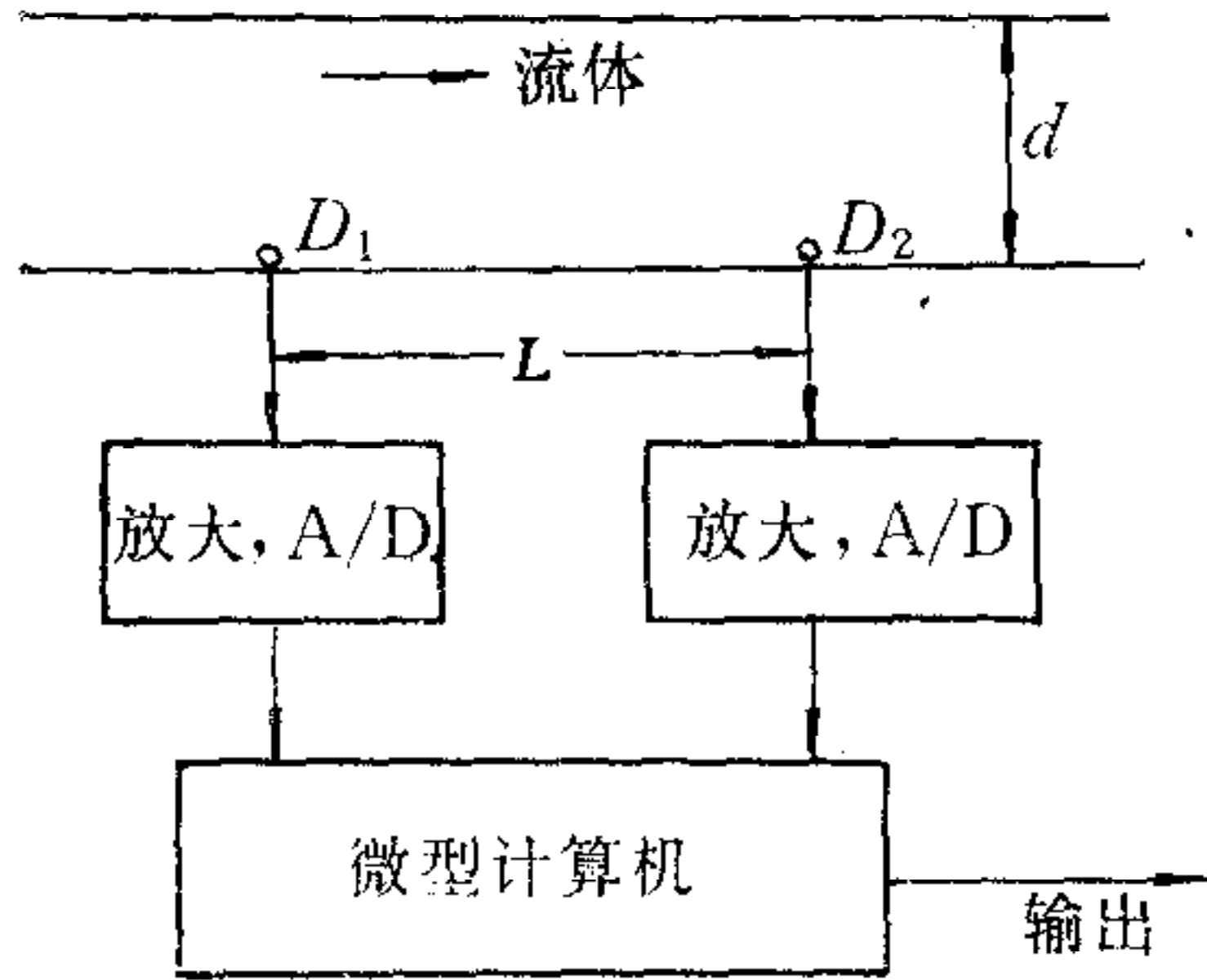


图 3-2

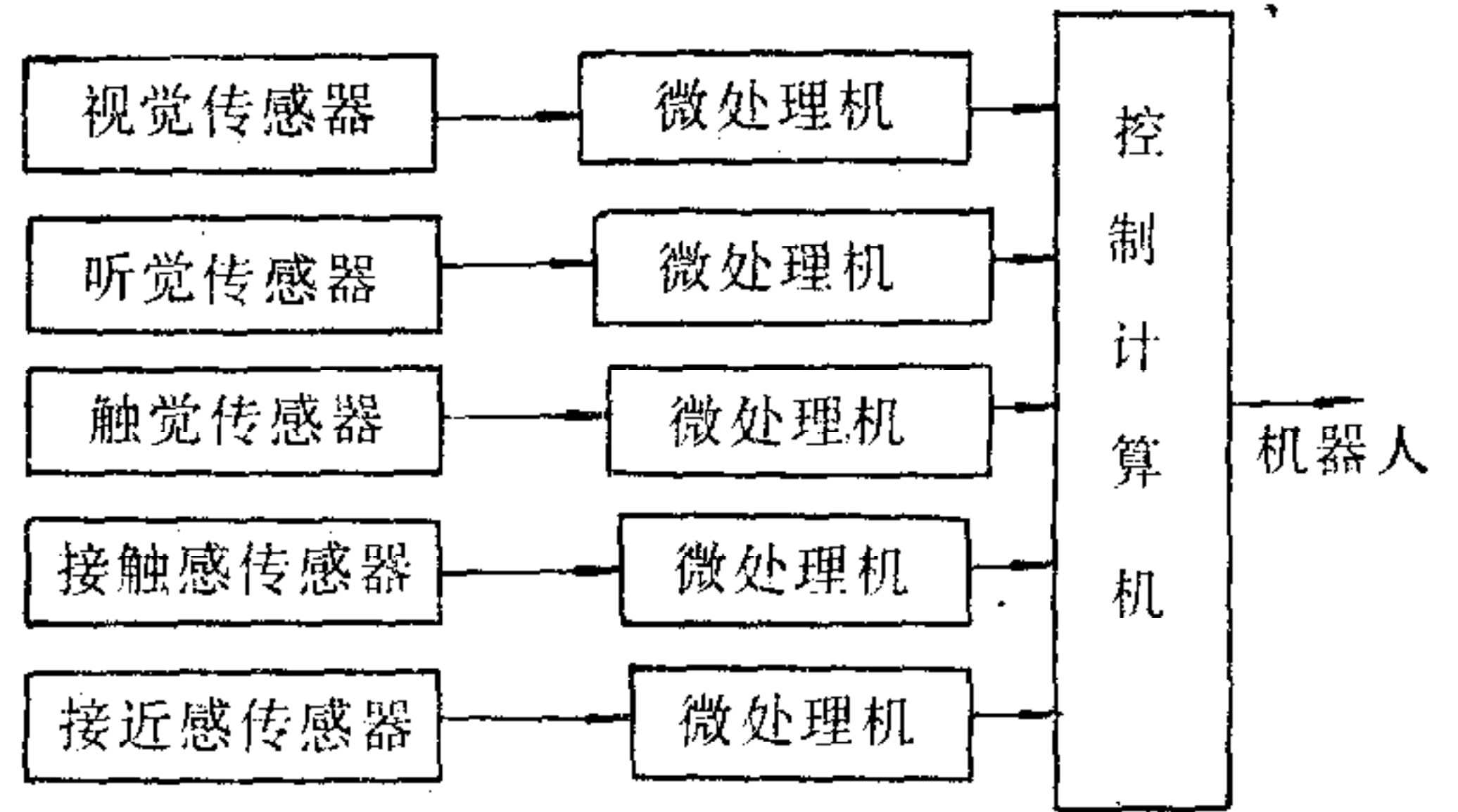


图 3-3

$$R_{S_1 S_2}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T S_1(t - \tau) S_2(t) dt, \tag{3-3}$$

从而可以决定流体通过距离 L 所需的时间 t ，并计算出流速 $v = L/t$ ，流量 $Q = 1 / 4 \pi d^2 v$ 。式中 d 为通过流体管道的直径。

随着智能机器人的研究和发展，出现了各种智能传感器，这些智能传感器具有声音识别、符号识别等系统，它们是以采用计算机为先决条件(图 3-3)。

总之，自动检测技术中需要进行运算处理的地方很多，而微型计算机体积小、功能全。采用微型计算机可以简化自动检测系统的硬件，提高性能，从而成为发展自动检测技术不可逆转的方向之一。

3. 自动检测系统中的数字通信

随着科学技术的进展，需要获取的信息越来越多，而且测点可能分散，往往需要对信息进行远距离传输，集中处理。这样使得自动检测和数字通信结合起来。例如一个大型建筑物的恒温系统，可以有许多温度、湿度检测点，但需要对这些信息进行集中显示，集中处理，则可采用数字通信系统，国外已有先例(见图 3-4)。

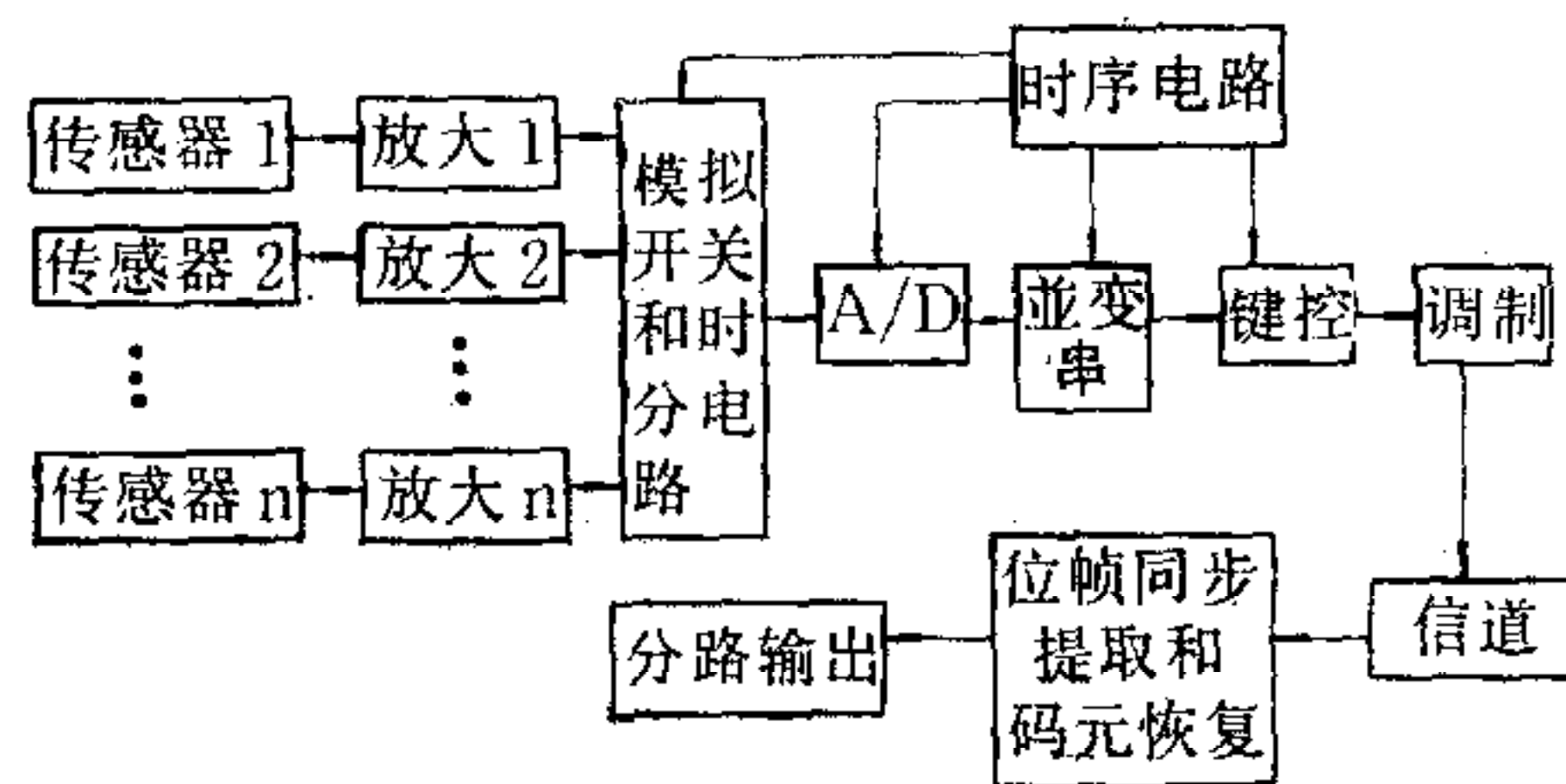


图 3-4

数字通信的工作原理，许多文献中均提到，这里不赘述^[29]。采用数字通信技术，可以大大减少长距离电路往返，减少投资，便于和计算机连接，达到技术上的相互匹配。

参 考 文 献

- [1] 邱化元, 自动检测技术, 机械工业出版社(1982), 上、中册.
- [2] 刘余善、谷宝贵, 实用管理系统工程, 浙江人民出版社(1984).
- [3] 孙景森, 控制论与中医学. 自动化创刊号, 1983, 6—7.
- [4] 钱学森、宋健, 工程控制论(下册), 科学出版社.
- [5] 慕振兴, 漫话传感器, 自动化创刊号, 1983, p. 14.
- [6] 文鸣岐, 过程控制中的传感技术, 工业仪表与自动化装置, (1982), No. 3, 13—21.
- [7] 南京航空学院、北京航空学院, 传感器原理, 国防工业出版社(1983).
- [8] 吕广平、徐笑貌, 集成电路应用 5000 例, 人民邮电出版社(1983).
- [9] 王友超, 连续式测频, 工业仪表与自动化装置, (1982) No. 2, 11—13.
- [10] B. B. Солодовников, Основы Автоматического Регулирования, Том II.
- [11] Rich Merritt, New Trends in Temperature Technology, *Instruments and Control Systems*. 55 (1982), No. 6, 45—51.
- [12] John Hall, New Device, Systems for Level Monitoring, *ibid*, 55 (1982), No. 11, 44—50.
- [13] Bailey, S. J. Pressure Sensos 1982: Digital Lags Analog, But Chips Hold Big Promise, *Control Engineering* 29(1982), No. 5, 89—94.
- [14] Chris, M. J. Wilmering, Honey Well B. U., Microprocessors Play Role in Process Control Instrument Coupling, *ibid* 29(1982), No. 2, 42—44.
- [15] Bailey, S. J., Optical Sensors Critical to Future Productivity, *ibid.*, 29 (1982), No. 2, 72—76.
- [16] Tily, P. J., Viscosity Measurements (part I), *Measurement and Control*, 16 (1983), No. 3, 111—115,
- [17] Jones, B. E., Instrument Science and Technology: A Systemised Discipline, *ibid*, 16(1983), No. 2, 63—70.
- [18] 柴田幸男, 集成化和功能器件化, 日本科学与技术(1982), No. 3, 1—9.
- [19] 铃木俊一, 集成化磁性传感器, *ibid*, (1982), No. 3, 17—24.
- [20] 白江公辅, SQUID 立体传感器在微弱磁场向量的测量上发威力, *ibid*, (1982), No. 3, 25—32.
- [21] 马昌贵, 磁性传感器新花, 仪器与未来, (1982), No. 10, 8.
- [22] 木下源一郎, ロボットの触覚セサ技術, 计測と制御, 21, (1982), No. 12, 20—26.
- [23] 张宝鑫, “流量测量及仪表国内外情况综述”讲座第三讲, 自动化仪表, (1983), No. 2, 46—52.
- [24] 沈兴武, 涡街流量计发展的现状和前景, 自动化仪表, (1983), No. 2, 53—56.
- [25] 王骏康、王耀良, 用微处理机使铂电阻电桥输出线性化, 仪器制造(1983), No. 1, 25—27.
- [26] 李植源, 微型计算机应用系统——检测处理系统, 信息与控制(1983), No. 2, 46—49.
- [27] 广州机床研究所等, 感应同步器数显表, 机械工业出版社(1979).
- [28] 王仲文, 工程遥控遥测系统, 同上.
- [29] 孔宪正, 数字信息传输基本原理, 国防工业出版社(1976).
- [30] 巫智方, 国内电子敏感元件情况在电子工业系统内发展的初步建议, 传感器技术(1984), No. 1, 1—9.
- [31] 饶夫基, 传感器的组成技术, *ibid*, 36—40.
- [32] Coe, R. F. Transducers and Their Application, *Physics in Technology*, 14 (1983), No. 1, 3.
- [33] Jones, B. E., New Transducers Using Microcomputers, Fibre Optics and Thin Films, *ibid*, 4—9.

A SURVEY ON AUTOMATIC DETECTION TECHNIQUE

MAO XUJIN

(Institute of Automation, Academia Sinica)

ABSTRACT

The task of “automatic detection” technique contains information acquisition, information processing and information transmission. In automatic detection systems, various new achievements of science and technology are always used to the greatest extent. Its level of development represents that of a country in industry, science and technology in a sense.