

神奇的仿生与传感

THE MYSTICAL BIONICS AND TRANSDUCING

张问骅

今天的世界,从宏观的宇宙探测到微观的原子计量,人类越来越多地依赖于传感器,自动化更是离不开各式各样的传感器,尤其是根据仿生原理与新型材料相结合的传感元,来延伸人的眼、耳、鼻、舌、身的功能,采集多种多样的信息,来服务于人类。

美国发射的“先驱者10号”宇宙深空探测器,在长途跋涉了11年之后,终于在1983年第一次飞出了太阳系。今天,遥感器即使从太阳系外56亿公里之遥发回的太空信息,4小时即可抵达人间。红外传感器已用来探测地球表面的温度分布、海洋与潮流的温度特性,并进行台风、暴雨的预测。通过人体表面的温度测量与分析,还可发现癌症的病变。半导体传感器已广泛地用来测量铸模的气体 and 液体的压力、压差、流量、张力及变形,还可测量重量、位移、转速、转矩及加速度。推动着工业自动化的进展。早在第一次世界大战时,美国还在利用海豹作为活的潜艇噪声探测器来识别敌舰。今天,人们造出的超高灵敏度光电倍增管光计数器已能一个一个地把光子检测出来。总之,宇宙内外,天上人间,处处都有传感器的足迹。起先人们在动物园里用冷球和热球要寻响尾蛇时发现,在它眼睛与鼻子之间有个“颊窝”,具有红外敏感作用,嘎拉·嘎拉蛇能在相当远的距离内探测出1/1 000摄氏度的温度变化而进行热定位。继而在40年代发现了能敏感红外线的硫化铅,于是在50年代诞生了“响尾蛇导弹”。它不仅可以根据发动机发出的少量热量来追踪飞机与舰艇,而且还能根据在空中或水下留下的“热痕”来顺藤摸瓜

地跟踪追击。60年代以来锑化铟替代了硫化铅,出现了更为完善的仿生红外探测器,使导弹的功能更有扩展。后来人们又发现蟒蛇的(的上部具有线列的红外敏感器官,敏感元件也在60年代由单元发展到“线列”结构。70年代发现昆虫所以能交替地作直飞、静飞、急转等运动是与它们的复眼有关的,复眼具有焦平面的光学(或红外)敏感性。复眼由上千个单眼组成,每个小眼都是一个小透镜,能把光聚焦在几个细胞上。当神经系统把处于透镜焦点上的敏感元的信息连接起来之后,就形成全视场的信息。通过对昆虫复眼的研究,70年代中期,发展了焦平面列阵探测器,也叫凝视探测器。70年代后期,又发展了扫积型探测器,目前正在研究超晶格探测器,它的敏感元厚度才几个或几十个原子层。光学和红外探测器的发展,从单元、线列到焦平面陈列,可以说是仿生学给我们的启示。

人们从蜻蜓、蜜蜂、蚊子、苍蝇等具有复眼的启示下,模仿蝇眼的蜂窝型结构,又制成了“蝇眼”照相机。蝇眼是由4 000多个小单眼组成的复眼,它有极高的分辨力。一般物体摆在人的眼前0.05秒,人才能看清它的轮廓,可是苍蝇却只要0.01秒就够了。当我们用1329块小镜头粘合起来作成“蝇眼”照相机的镜头时,一次就能拍下1329张照片,分辨率高达每厘米4 000条线。可用来复制电子计算机中的显微线路。

人们利用海蜇(水母)能听到快速气流与海水磨擦而产生的“次声波”(每秒振荡频率约8~13次)来预感风暴即将来临的启示,制成了“水母耳

风暴预测仪”，可提前15小时预报风暴的强度和击来的方向。来预防灾害。由于每秒振动次数不到20次的“次声”频率很低，波长很长，传播过程中不易被大气吸收，能量衰减很少，所以能传播很远。

核试验时所产生的次声波可绕地球5圈多。次声在空气中以每小时200多公里的速度前进，而风暴移动的速度才每小时不到100公里，所以水母能在风暴到来之前10多个小时就离开海岸，潜游海底避难去了。

直到1942年人们才发现，蝙蝠能在黑夜中飞行并非靠它的“夜明眼”，原来在喉内能产生每秒20 000次以上的超声波，通过口或鼻发射出去，根据回声可判定目标的距离与方位。人们利用这个原理已制成为盲人探路的“声纳眼镜”。

人能分辨出200多种气味，一公斤水中，只要溶有0.0000001毫克的紫罗兰酮便可引起嗅觉。对于 4×10^{-9} 毫克/升浓度的乙硫醇也能辨别。但狗的嗅觉要远比人灵敏100万倍，能感觉200万种不同浓度的物质。根据狗鼻机理制成的“电子犬”在化工厂能测定浓度达到千万分之一的过氧乙烯毒气。瑞典的地质学家用“探矿犬”找到了埋在地下一米多深的黄铁矿、毒砂等单独矿段。利用汞蒸气能吸收波长为2 537 Å的紫外线共振谱线的原理制成的“测汞电子犬”，可以准确地测出每立方米空气中含量为10纳克以下的汞蒸气。一种灵敏度比狗鼻还要高1 000倍的“电子警犬”已经问世，已工作在侦缉战线上。

自然界中，除了蝙蝠以外，海豹、海狮、鲸鱼、燕子、夜蛾等都有声波定位与通讯的本领。海豹耳的结构就给声纳的设计带来了启示。最初的水听器只能在舰艇停航时才能收听到潜艇噪音的信号，因为舰艇航行时的水动力噪声太大，往往淹没了潜艇信号。可是海豹却不怕干扰，它能在高速游泳中清晰地辨别远处的声音，人们就仿照海豹耳设计出声纳的导流罩，改善了声纳的滤波效果。

人造声纳的体积很大，最大的声纳高达十几米，重150吨，而蝙蝠的听觉器官才几分之一克，夜

蛾的大脑才两个听觉细胞。如果以一个分辨力为1厘米，重量为12克，最大输出功率为0.1毫瓦，探测距离为2米的设备作为基准的回声定位仪，则蝙蝠声纳的效率竟高达 2×10^8 (20亿)倍，而一部重12吨、目标直径为5米、探测距离为150公里、最大输出功率为75千瓦的雷达，其效率才 6×10^{-5} (十万分之六)，声纳的效率约 2×10^{-3} (千分之二)，真是令人堂目结舌。

今天，虽然根据光电、光导、热电效应已制成光传感器；根据压电、霍尔、约瑟夫逊效应制成了压力传感器和磁传感器；根据吸收效应造出了气体传感器和温度传感器；利用应变电阻、热电阻效应制成了压力传感器和温度传感器。这些传感器分别反映人的视觉、听觉、嗅觉与触觉，可是味觉——反映人舌头功能的传感器尚有待于仿生学的发展与新材料的发现。

我们已经利用塞贝克效应的电阻温度计或热电偶来检测温度。利用化学的或物理的吸收效应制成了陶瓷湿度传感器来测量湿度。利用霍尔效应作成的高斯表可量测磁通，由于约瑟夫逊效应的发现，甚至可以测出 10^{-7} 特的磁通量密度。今天，人们不仅能测得0.000001K的低温和热核等离子体几千万度的高温；而且利用SQUID超导量子干涉仪可测出千亿分之一地磁场的强度。利用激光光谱仪可测出低于0.01ppm的含量。人们不仅探测到200亿光年的宏观宇宙，而且细察到原子的显微尺度。人们不仅创造出物理传感器、化学传感器而且生物化学传感器——酶传感器、微生物传感器和免疫传感器等等都已降生人间。看来，人已有很大的“本领”，但是，更大的潜力蕴藏在仿生的机理之中。厚度仅1~4毫米，具有120亿个神经细胞的人脑机理，光合作用的机理，蝙蝠能在比自己发声大2 000多倍的噪声中检测出反射回声的机理，正等待着我们去探索，去利用。动物完善的传感器据说是经过了 10^{11} 次的试行中才形成的，而人造的工程传感器的历史才百年有余。所以，仿生与传感，前途无量！

(上接第65页) 电子学进化至微电子学，又进化至光电子学，最后进化至光子学。虽迄今尚无把握说何日才能实现光子的C-C(通信和计算机)，然而不容置疑地说，这是当代科学工作者向往的研究方向。可以乐观地相信，在未来的年代里，光电

子学和光子学(或数字光学)定会不断地取得辉煌的成果，为信息时代的来临增添光彩。

本文承孟晤英老教授审阅和指教，敬致以衷心感谢。