

179-183

昆虫、视觉、复眼

20830(22)

1997 34 (3)

昆虫知识 ENTOMOLOGICAL KNOWLEDGE

· 179 ·

昆虫视觉的研究及其应用*

吴卫国 吴梅英

(中国科学院生物物理研究所 北京 100101)

Q965

在科学技术高度发展,现代化工业极为发达的今天,作为现代社会的三大资源之一的“信息”,其价值已经超过物质和能量资源,成为人类社会生产力快速发展的必要条件,同时,一个高速有效的信息处理系统在工业、农业、国防和科学技术等领域发挥了越来越大的作用。以微电子和电子计算机为基础的一个完整的现代化信息系统,由信息的采集与存储、处理与提取、传输与交换三大部分组成。尽管多功能、超大规模集成电路的出现,使信息系统逐渐走向微型化,并在一定程度上降低了功耗、提高了速度和可靠性,但是,无论在体积、功耗、速度、可靠性以及寿命、自动化和自补偿程度等方面都无法与自然界亿万年进化的产物——动物的脑相提并论,于是,人工智能工程师们便转向借鉴生物学的研究成果,希望通过模拟动物脑的功能及其机理研制出新一代的人工智能器件和智能机。

在亿万年的进化过程中,许多不能适应环境变化的动物种群被逐渐消亡,现存动物种类的75%以上是昆虫,而且都不同程度地发展了它们的生存绝技,有些技能甚至连号称万物之灵的人类也会自叹不如。比如螳螂,它匍匐在植物的花茎上,当有小虫飞过,它能在0.05秒内一跃而起,吞下飞行中的小虫,在这0.05秒内,它需要准确地测出虫的大小、飞行方向和速度。要达到这种检测速度和精度,从目前的微电子和自动化技术是难以实行的,而小小的昆虫却靠它的一对大复眼和颈部的一个本体感受器轻而易举地实现了。动物脑的信息有90%以上来自眼睛,尽管昆虫复眼及脑结构比较简单,神经元的数量为一万到几十万,是人脑的百万分之一,但昆虫的复眼却和

人及哺乳动物的透镜眼有相同的基本功能,包括脑的高级功能——学习和记忆功能,有些甚至是人和哺乳动物透镜眼所不及的。例如昆虫复眼能感知偏振光、紫外线,对运动目标特别敏感等等。因而,昆虫复眼视觉信息加工的研究引起了国内外科学家,特别是人工智能方面科学家的高度重视。

1 昆虫复眼具有独特的结构和奇异功能

1.1 复眼本身是一个精巧的定向导航控制系统:昆虫(特别是雄性家蝇)具有快速与准确的处理视觉信息的能力,它能实时计算出前面飞行着的雌蝇的方向和速度,同时发出指令,控制并校正自己的飞行方向和速度,能实时处理图象信息,及时作出反应,以便跟踪和拦截雌蝇和目标。

1.2 昆虫复眼具有一个多孔径光学系统:比如蜻蜓复眼由近2000个子系统组成。到目前为止,所有人类发明的光学器件,甚至人类目前尚不能制造的一些光学器件都能在昆虫复眼的光学系统各种组合中找到对应结构。所以,这种多孔径的具有智能特征的视觉系统,能加深我们对多孔径光学原理的理解和应用,促使传统光学微型化、阵列化、集成化和网络化;使之与电子技术相匹配,可实现光学系统智能化。

1.3 昆虫复眼能检测目标——背景相对运动:许多昆虫能在复杂的背景中检测、跟踪与背景有相对运动的目标。当背景和目标有相同的质地时,目标没有明显的边界和轮廓,如果

*国家自然科学基金,国防科工委基金和中国科学院视觉信息加工开放实验室资助。

两者无相对运动,昆虫不能发现淹没在背景中的目标,而当目标与背景有相对运动时,昆虫具有发现和跟踪目标的能力。

1.4 昆虫复眼是一个高度平行的信息加工系统:昆虫复眼从外周网膜到各级神经节都具有平行加工的能力,它是一个高度平行密集分布状的、互相连接、具有自适应、自组织以及容错能力的超级计算网络。这与目前基于冯诺依曼理论的计算机有本质的不同,这种计算网络适合于模式识别、联想和推理方面的运算,这正是目前基于冯诺依曼理论的计算机所无能为力的。对于包括脑在内的视觉系统信息加工体系、算法及神经网络研究,将为实时信息处理以及新一代具有平行分布特点智能计算机提供原理。可以预测,以脑结构与功能为原型将产生新一代计算机,为此美国贝尔实验室在1975年专门成立了大脑研究室。

1.5 许多昆虫(特别是蜜蜂)具有出色的学习和记忆能力:研究表明,蜜蜂经过一次或多次奖赏训练以后,能学会分辨物体的气味、颜色、模式以及时间表等。进一步研究证实,蜜蜂复眼的蘑菇体负责这种功能。如果把该机理用于工程模型,可使该模型具有学习、记忆和识别能力。

2 昆虫视觉研究成果已在工程技术上得到应用

在国际上,许多关于昆虫复眼视觉信息加工研究成果已在国防上和工程技术领域内得到应用。

2.1 偏振光导航仪:根据蜜蜂复眼对偏振光敏感的视细胞结构,在单个小眼中相邻地排列着偏振方向稍有差别的偏振片^[1]。如图1:a所示,模型是由8块小三角形的检偏振片组成,若把这种“人工蜂眼”向天空望去,随着太阳位置的改变明暗图案发生变化,由此即可知光的偏振方向,如图1:b所示,研制的偏振光导航仪早已在航海事业中使用。

2.2 多孔径光学系统装置:科学家根据昆虫复眼多孔径光学系统的结构特点,设计了一种

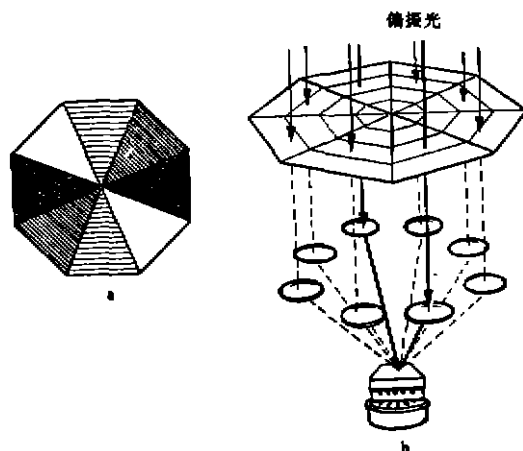


图1 模仿蜜蜂眼睛的偏振光天文罗盘

a 看天空时透过光的情景 b. 偏振光导航仪

半球型多孔径光学系统装置(图2)。该装置是由多孔径光学系统、前置放大系统和探测系统组成^[2]。由于该装置视场大、容易搜索到目标,所以国外已在一些重要武器系统中使用,例如,大型红外望远镜,装在预警卫星上,如果进一步提高该装置的灵敏度、分辨率和作用距离,可以用在雷达系统、舰艇的搜索和跟踪系统及宇宙空间的监测等。

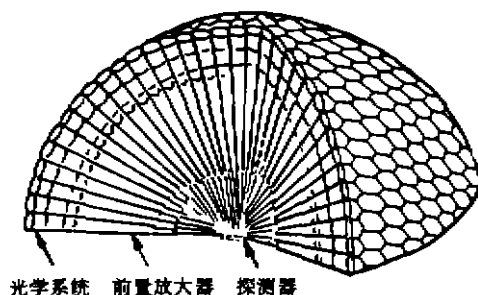


图2 半球大视场多元光波红外装置

2.3 空对地速度计:科学家在测量甲虫视动反应的基础上,提出了运动知觉模型。这个模型的本质是相关运算,由于目标运动,空间位置不同的感受器的信号有位相的差别,因此,对不同感受器输出的信号经过相关运算,可以测量出目标的运动速度和方向。该运动知觉模型已用在飞机上来测量飞机和地面的相对速度(图3)。

2.4 侧抑制网络模型:生活在水中的某些昆

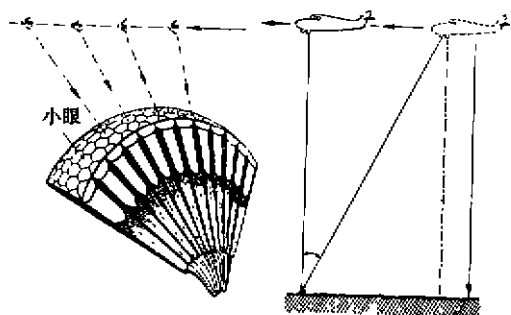


图3 模拟象甲复眼的飞机对地速度计

虫,其复眼的每个小眼对其它小眼都可以产生抑制作用,而且这种抑制作用在小眼间是相互的。当一个小眼(A或B)分别单独受到光照时,各自都具有一定频率的脉冲发放,而当小眼A和B同时受到光照时,二者的脉冲发放频率同时都变低了。这是由于二者相互受到对方抑制作用的缘故^[2]。进一步研究相邻多个小眼之间的抑制作用时,发现相互都存在着抑制作用,小眼延伸出的神经纤维之间有许多侧向神经联系,形成了神经网络,这就是侧抑制的神经基础。通过侧向抑制神经联系实现的抑制作用,称为侧抑制作用。由于侧抑制作用的存在,能够使眼睛将所有接收到的光学信息进行加工,以便增强边缘反差,突出轮廓,使图象看起来更加清晰,保证了昆虫在昏暗水中能够准确捕食,有效地逃避敌害。

在电生理研究的基础上,对侧抑制作用进行了定量分析,提出了侧抑制作用的数学模型,针对不同的应用目的,对数学模型可以采取不同的简化处理,从而得到不同的电子模型。侧抑制网络的电子模型可以用在各种摄影系统和图象探测系统,以便增强图象边缘反差和突出轮廓。

3 昆虫复眼视觉信息加工研究的应用前景广阔

国际上由于工程技术的迅速发展,许多难以克服的问题也相继出现,促使了不同部门,不同领域的科学家共同参加研究有关昆虫复眼视觉信息加工的机理,进一步揭示昆虫复眼的独特结构和奇异功能,把有关研究成果应用于

军事领域和工程技术上,这必将显示更加诱人的前景。

3.1 运动机器人的视觉导航装置:1992年,由法国神经生物学和自动控制专家根据家蝇精确定向导航机理共同设计、模拟和研制了运动机器人的视觉导航装置^[3,4]。该装置的视动系统由5个亚系统(或层)组成。从外周向内依次为:光学层、光感受器层、初级运动检测器层、抗碰撞层以及驱动发动机和控制发动机层。光学和光感受器层利用100多个微型透镜和相应数量的光电二极管组成,取样360度方位角。视动系统位于装置的顶部,重约1kg,装置的底部有3个同步驱动车轮,总重量约10kg。视动系统能正确判断它与周围环境目标物的方向、位置和距离,实时进行定向导航。目前该装置仅在陆地上使用,能在随机分布的森林地带和有障碍物的环境中顺利穿行,不至于碰到障碍物(图4,5,6,7)。

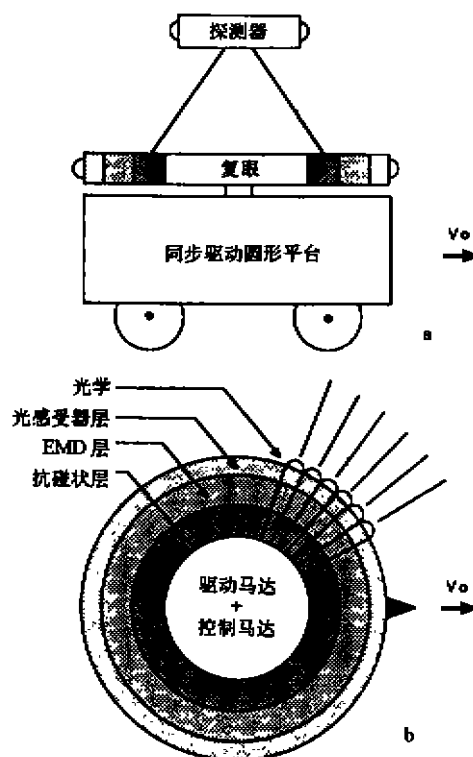


图4 具有全视场复眼的机器人简图

a. 视动系统纵剖面 b. 视觉导航装置纵剖面
(V_0 表示速度的矢量)

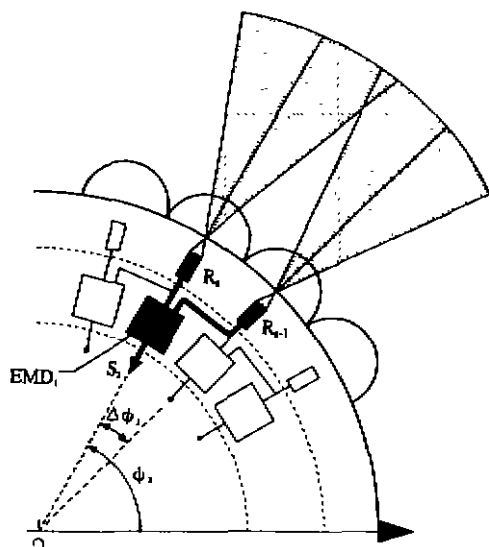


图5 基于运动视差的避免碰撞原理

R_i 、 R_{i-1} 为两个相邻的光感受器， EMD_i 为初级运动检测器， $\Delta\phi_i$ 为小眼间角， ϕ_i 为 EMD_i 的极角， S_i 为 EMD_i 的输出信号， O 为交点。

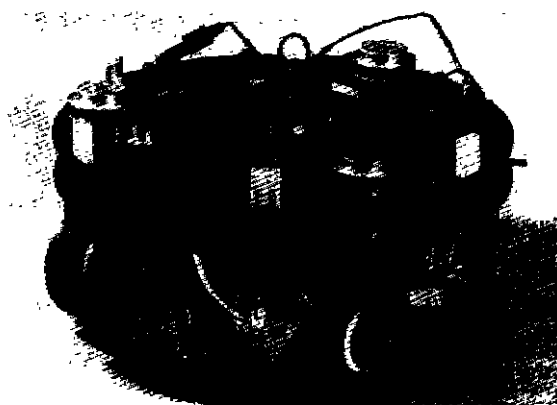


图6 具有复眼的机器人外形

3.2 仿昆虫复眼寻的末制导装置：1980年、美国佛罗里达大学和美国英格林空军基地将昆虫复眼信息加工原理用于空对空导弹的制导研究。1985年，他们的研究工作又得到美国海军的支持。根据家蝇精确定向导航原理，现已成功地研制了工程模型^[50]。仿复眼寻的末制导导引头具有以下特点：

- (1) 体积小、焦距短、重量轻、大视场、非机械扫描、容易降温。
- (2) 多通道操作，通道之间可以交叉修正

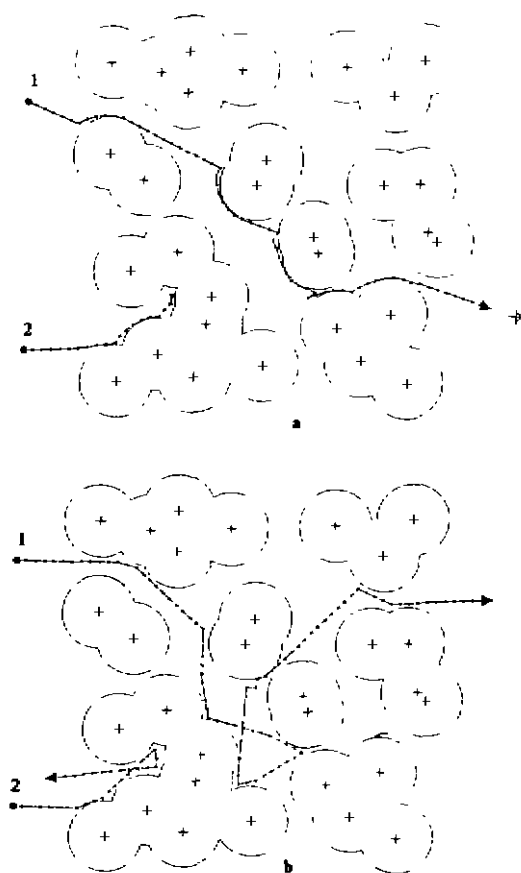


图7 模拟复杂的森林环境

- a. 机器人发现目标物并且找到通过森林的路
- b. 机器人没有发现目标物，无目的穿过森林

及一些相关效应。

(3) 采用被动方式制导，工作波段为 $1 \sim 14\mu$ ，即可以滤掉太阳的光谱辐射，又可以充分利用敌人导弹的红外辐射能量，因此可以全天候工作。

(4) 该装置采用昆虫视觉跟踪制导原理，因此具有较强的跟踪和搜索能力。

(5) 该系统是凝视红外系统，不含有任何机械扫描元件。

(6) 本系统电路设计利用复眼的侧抑制和信息平行加工原理，因此具有很高的抗干扰能力和实时处理信息的能力。

(7) 对目标具有自适应能力。

(8) 具有高度的容错能力。

3.3 昆虫化的机器人：美国已经专门建立了

制造微型化的机器人公司, 该公司帮助计算科学家实现昆虫化机器人。他们认为, 从事机器人研究的科学家、工程师以前走错了路, 试图建造象人那样的机器人, 用计算机当大脑, 眼睛是电子视觉系统, 手和脚全由计算机协调, 结果耗资巨大, 研制出的机器人却智能很低, 只能干些焊接汽车之类的简单而重复性很强的活。昆虫化机器人造价低廉、能承担某些特殊任务, 而且活动自如。

参考文献

[1] 王书荣. 自然的启示. 上海: 上海人民出版社, 1974.

25 ~ 26. 48 ~ 50.

- [2] 王谷岩. 视觉与仿生学. 上海: 上海知识出版社. 1985 94 ~ 95, 126 ~ 127.
- [3] Franceschini N., Pichon J. M., Blanes C. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 1992, 337: 283 ~ 291.
- [4] Franceschini N. In: F. H. Eeckman ed. *Analysts and modeling of neural systems*. Boston: Kluwer Acad. Publ. 1992. 189 ~ 197.
- [5] Richard T. In: G. T. Andrew ed. *Application of digital image processing IX*. San Diego: SPIE-The International Society for Engineering Publ. 1986. 316 ~ 326.
- [6] Pichon J. M., Blanes C., Franceschini N. In: W. J. Wolf, W. H. Chun eds *Mobile Robots IV*. Philadelphia: SPIE-The International Society for optical Engineering Publ. 1989. 44 ~ 55.

183-186

数量遗传学在害虫种群抗性进化研究中的应用

莫建初

唐振华

(中国科学院上海昆虫研究所 上海 300025)

S433

S481.4

自 1908 年 Melander^[1] 首次发现美国的梨园蚧 *Aspidionus perniciosus* Comstock 对石硫合剂有抗药性以来, 已有 500 多种害虫和害螨对一种或多种不同类群的杀虫剂产生了抗药性^[2]. Dobzhansky^[3] 认为, 杀虫剂抗性是一种进化现象, 是害虫种群内部遗传结构在杀虫剂选择作用下持续变化的外在表现。目前, 害虫抗性种群内部遗传结构在杀虫剂选择作用下动态变化的研究主要集中在抗性等位基因频率和抗性遗传力两个方面。遗传力估计是数量遗传学中研究生物群体遗传结构变化趋势的基本方法之一, 由于这种方法不需对控制性状的基因数作任何假设, 因此在不清楚控制抗性的基因数目的情况下, 利用它进行抗性害虫种群遗传分析非常有用。自 Via^[4] 将数量遗传学中的这一方法引入害虫种群抗性进化研究以来, 这项技术日益受到害虫抗性治理研究工作者的普遍关注。

1 抗性遗传力的估计方法

在数量遗传学中, 性状的表现型值与遗传

离差(包括加性遗传值、显性离差及互作离差)和环境离差成线性相关。在影响表现型值的诸多因子中只有加性遗传值是可固定、遗传的, 因此也只有它才会对后代的性状产生影响。当离差值用方差表示时, 表型方差(V_p)可表示为^[5]

$$V_p = V_G + V_E = V_A + V_D + V_I + V_E$$

式中: V_G 为遗传方差; V_E 为环境方差; V_A 为加性遗传方差; V_D 为显性方差; V_I 为互作方差。

狭义遗传力(h^2)被定义为加性遗传方差与表型方差的比率, 即

$$h^2 = V_A / V_p = V_A / (V_G + V_E)$$

既然 $h^2 = V_A / (V_G + V_E)$, 因此如果 V_E 改变, h^2 的大小就会受到影响。如果 V_E 变大, h^2 就会变小; 反之, h^2 就会变大。此外, 在一代代的繁殖中, V_G 和 V_A 也不是一成不变的。由于显隐性关系或互作关系的改变, 或基因频率的变化(这种变化可由选择造成), V_G 和 V_A 都要受到影响, 因而 h^2 也不是不变的。但在短期内