

# 光电子智能信息处理系统技术研究

王汝笠

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘要:** 提出了光电子智能信息处理系统技术新概念, 并分析了它的技术特性; 概述了国内外在相关技术领域里的研究成果; 最后讨论了该技术的发展趋势和应用前景.

**关键词:** 智能信息, 光电子, 光计算, 人工神经网络.

## 引言

20世纪90年代是人类社会进入智能信息的时代, 运用光电子技术高速、大容量、自学习和联想处理信息已经成为世界科技发展的重要趋势之一. 如表1所示, 从60年代至今, 光电子技术的发展经历了三个阶段, 即60年代以激光器诞生标志着光电子技术的问世(第一阶段); 经过10多年光纤通信技术的发展, 把光电子技术推进到了工程发展阶段(第二阶段); 80年代至90年代, 随着现代科学技术的迅速发展, 光电子系统产品正在逐步替代着过去以元器件为主的产品市场(第三阶段). 以光计算作为基础研究动力之一的光电子技术现已发展到智能信息处理系统技术研究与应用的新时期, 预计到2000年, 它将会成为一个很有代表性的高技术产业, 其产值预计可达1030亿美元<sup>[1]</sup>.

表1 光电子技术研究发展一览表

Table 1 Research and development of optoelectronics technique

进展(阶段)	技术科学研究范例	主要产品及市场
60~70年代 (第一阶段)	红宝石激光器研制成功	各种类型的激光器销售材料、器件和组件等商品(科研、军事应用)
70~80年代 (第二阶段)	低损耗光纤研制成功; 发明了双异质结半导体激光器	光纤通信系统工程的发展; 光盘工业产品(军事应用和民用市场)
80~90年代 (第三阶段)	光学神经网络芯片研制成功; 对称自电光效应器件(S-SEED)研制成功; 二进制位相菲涅尔透镜列阵器件问世	智能传感系统的研究; 机器视觉及其在工业生产自动化中的应用; 原子级超精细刻蚀与检测系统产品(民用市场为主)

当今, 围绕着光电子智能信息处理系统技术的实用化已呈现出全球性竞争的局面. 美国国防部高级研究计划局(DARPA)率先资助研究一体化多功能的智能传感系统, 这种新

型系统可同时运用光子学、电子学方法对信号/语音处理、图像匹配、目标自动识别以及合成孔径雷达数据进行快速分析,做到对敌方的任何威胁都能作出及时而正确的反应.该系统利用计算机技术之外还采用了红外焦平面列阵探测技术、光信息处理和人工神经网络等高新技术.

应该指出:第一,光模式识别是光信息处理技术在实际应用中的一个成功典范.美国陆军导弹指挥部和 JPL 实验室已经研制出直径约为 2~3 英寸的光电混合相关器;美国空军罗姆(Rome)航空发展中心研究成功可在现实环境工作的光相关器试验样机;美国洛克希德导弹和空间公司研制出光模拟计算机原理样机;美国 NASA 正积极为未来太阳系探测计划作技术准备,把研制一种具有人工神经网络运算功能的高级光相关装置作为近期重要任务之一.第二,人工神经网络技术已成为目前高技术领域里最引人注目的新兴技术.头脑实际的企业家们已经开始着手考虑如何将其应用于提高企业的生产、服务与利润.例如,日本三菱公司继推出世界第一块能模拟 32 个神经元的光学神经芯片之后,现又研制可编程的光电混合神经芯片和人造视网膜;美国 Nestor 公司应用神经网络技术开发可以识别手写字符的阅读器;日本电气公司最新报道了一种能够识别人脸的混合型神经网络系统,它可存储 3500 幅人脸图像,系统在区别 1000 幅图像仅需用 0.594s 时间.第三,基于光学技术、微电子工艺制造技术研制微米级尺寸的光学元器件与光学系统,也许能在研究全新的超小型、三维化传感系统方面有开创性的突破.现在,美国麻省理工学院林肯实验室能够制造出含有 1 万个直径不过一根人头发粗细的透镜列阵器件;美国 AT&T 贝尔实验室研制成功 8 阶位相型菲涅尔透镜列阵器件,其中最细的条纹为  $5\mu\text{m}$ ,其衍射效率可达 91%;日本虽然起步晚一些,但自从 1981 年日本光学学会成立微光学研究小组以来,在 1990 年召开了第 35 届微光学专题研讨会,日本目前在微光学元器件工艺制造领域处于世界领先地位.综上所述,从信息科学迅速发展的观点出发,立足于现有良好的技术基础,提出光电子智能信息处理系统技术是可能的也是必然的.本文将介绍这一技术的新概念与技术特点,概述光电混合模式识别、人工神经网络技术、空间光调制器、微光学技术以及三维传感系统的研究状况,最后讨论技术发展趋势和应用前景.

## 1 光电子智能信息处理系统技术

### 1.1 概念

光电子智能信息处理系统技术是一种能够模拟人脑自学习、自联想与自组织功能的高速图像处理 and 随机模式识别的高新技术.这里,光电子具有双重含义:一是在整个信息处理中,把光子、电子作为信息载体;其二,光电子学是其研究的理论基础,换言之,它是基于现代光学和凝聚态物理的研究成果,结合光信息处理中所需要的各种要求(如,高速响应、低功耗、超并行等)而展开的光与电子、元激发相互作用基本规律的基础研究.

为了简单明确地表述行为表现的智能,我们将其概括为两个行为特征,即适应性和不可预测性.具体地讲,智能行为表现为有理性的适应所处的境况和并非是可以被预料的.然而,我们在信息处理技术中所提及的智能则是一种狭义的局部的机器智能,它不涉及所有的智能活动.人们已成功证明了人工智能与人工神经网络都属于那种能够模拟人类

局部智能行为的机器智能, 它们的智能标准总是在变动, 因此可以认为机器智能是一种建立在技术可行性不断变化的基础之上的智能活动. 50 年代人工智能可以用计算机弈棋水平的高低来作为一种衡量标准; 60 年代鼓励采用人工智能程序证明各种各样的定理或解决计算难题. 而今人们面临的问题是, 如何探索一种具有人脑运算、识别、学习、记忆、联想等功能的更加高级的信息处理技术, 以达到高速处理图像信息与随机模式识别的应用目标. 勿庸赘言, 这是一个具有重大意义的综合多种学科的前沿研究项目.

本系统技术除汇集了电子计算机、光信息处理和人工神经网络三大技术之外, 还隐含着其它相关的支撑技术, 比如, 微光学技术、超导技术, ……., 依靠这些技术的结合、扩展和深化, 预期在新的科学技术领域里有所发明和创造.

## 1.2 基本原理和主要研究内容

基本原理如图 1 所示, 光电子智能信息处理系统的基本工作原理是由高速的空间光调制器直接记录、读出、放大和转换图像信息, 通过光学或光电混合相关器、人工神经芯片实现快速分类和目标识别. 主要研究内容包括: (1) 软件开发环境研究: 面向目标特征提取的需求实施成本分析、指标确认和快速样机生成, 设计相关的程序库及管理支持能力的软件系统. (2) 光电子器件和信息处理电子器件集成化: 开发研制光电子器件的新方法、新设备与新工艺, 研究发展专用的人工神经网络硬件和高性能空间光调制器. (3) 光电混合信号/数据处理: 实时/准实时模式识别与智能型光学相关器研究, 三维失真不变匹配滤波技术研究和其它计算方法研究, 如密集支撑子波型结构和 Gabor 变换等. (4) 人工神经网络技术研究: 图像识别、分类和自主操作应用中的学习算法研究、自适应信号处理、算法自动设计以及光学神经网络研究.

## 1.3 技术特性分析

光电子智能信息处理系统技术之所以能模拟大脑的部分智能, 其关键在于它具备了以下几个基本特性: (1) 二维知识表示/输入: 众所周知, 人脑主要是靠各种感觉器官 (如眼睛、耳朵、鼻子、手脚、皮肤) 来获取丰富的万变世界知识, 其中最重要的感知来自于眼睛, 人眼是经历过几百万年生物自然进化所形成的最佳的二维数据敏感器, 它不需要任何运算过程, 通过本身特有的结构便能对外界形形色色变化的景像实时完成信号、数据的预处理, 这些特长是目前所有的多波段扫描仪、CCD 摄像机、成像光谱仪以及激光雷达等高级传感器所不能比拟的. 本系统技术利用高性能空间光调制器可以每秒 1000 帧预处理的速度实现二维数据的输入, 这样的二维知识表示形式较适合用来充当人工神经网络处理器

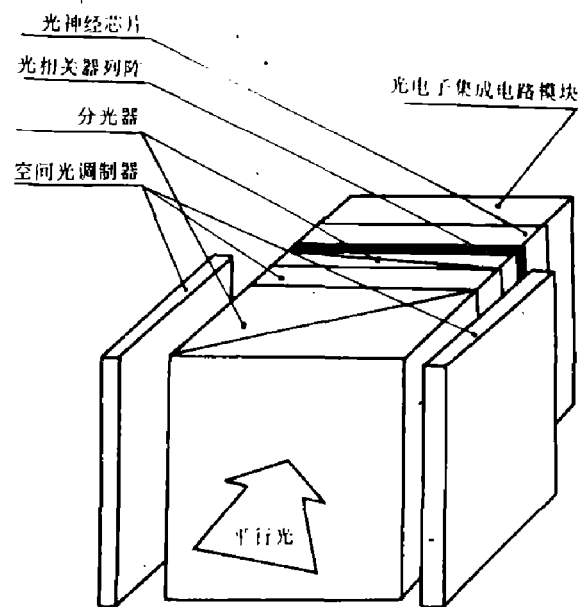


图 1 光电子智能信息处理系统技术基本工作原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of basic principle of optoelectronic intelligent information processing system technique

的输入端. (2) 平行分布式存储: 由于系统技术中的光学信息处理存在固有的并行结构以

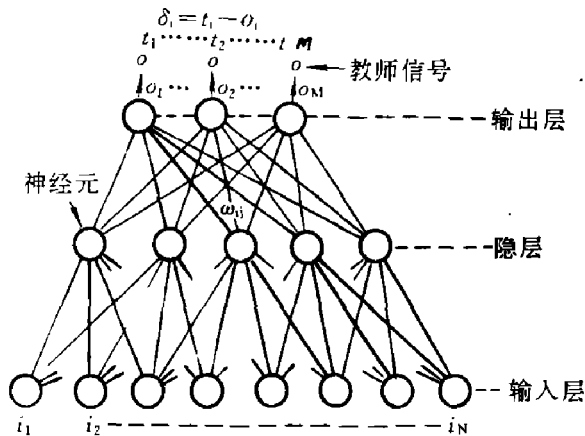


图2 反向传播法的神经网络分层结构模式  
 Fig. 2 Neural network layered structure model of back propagation (BP)

及光学器件的高开关速度, 所以能够成功模拟大量的神经元相互连接在一起所发挥的功能. 例如, 人工神经网络的记忆与判断功能是把存有记忆、判断的数据作为互联权重用平行分布方式构成各种类型的网络, 当有输入信号时立刻进入运算状态, 并且会很快得到收敛即进入稳定态. 此时产生的输出量能够用来解决只要有部分信息的输入也能获取与其相关的完整信息这样的联想存储功能和最优化等问题. 如图2所示, 在分层型网络里, 层与层之间都用突触相互连接, 信息通过层与层的连接关系互相传播. 在输入层与输出层之间存有一隐含层, 这种所谓反向传播法(back-propagation)可用于训练多层网络, 这是一种有导师的神经网络

学习方法. 其中:  $t_1, t_2, \dots, t_M$  为导师信号,  $O_1, O_2, \dots, O_M$  为输出量,  $i_1, i_2, \dots, i_N$  为输入信息,  $w_{ij}$  为突触连接时分配适当的量值. (3) 容错性: 事物是在不断地变化, 运动是宇宙万物最基本的物理现象. 为了使信息处理过程能够保持相应的适应性, 采用人工神经网络的容错特性可以得出正确、完美的结果. 容错性实质上是在一定程度上模拟大脑思维运动的一种动力学系统. 以联想记忆模型为例, 其动力系统方程

$$x(t + 1) = f(w \cdot x(t)) \tag{1}$$

被用来描述系统状态  $x(t)$  的演化, 其中,  $t$  是离散时间, 间隔为 1,  $w$  为互联矩阵,  $f$  是一个非线性函数, 状态  $x$  是一个矢量, 显然  $w \cdot x$  是内积运算. 一般均采用迭代过程来描述动力学的演化过程, 若  $x(t + 1)$  是  $t$  时刻的输出矢量, 并作为  $t + 1$  时刻的输入矢量, 则迭代过程将会逐步趋向于状态空间的一个不动点, 也就是满足

$$x = f(w \cdot x) \tag{2}$$

的状态. 例如, 我们由一个与标准态有偏离的状态出发经过一系列迭代过程, 最终会趋向一存储态(存储态均为不动点). 在状态空间中, 每一个存储态周围都存在一确定区域, 凡是以此区域内的状态作为初始态, 经迭代过程必然会趋向原存储态, 这样的区域被称作为该存储态的吸引域. 因此, 吸引域的形状与范围大小可以定量地表达人工神经网络的容错性. (4) 非线性: 现代科学业已证明, 大脑的智能是一种非常典型的非线性活动. 以往人们对自然界的线性描述仅属于局部的近似或模型化, 使得问题简化而又易于解释. 随着社会的进步, 许多外界客观规律正在被认识, 然而认识这些源于非线性的事物则需要相应的非线性信息处理技术, 系统技术采用非线性光学、神经元的输入与输出便是一例. 这里我们分析一下人工神经元的非线性属性. 如图3所示, 神经元作为一个基本的信息处理单元, 它具有抑制与兴奋两种状态, 这类两态行为用数学形式表示就是一种非线性关系. 也就是讲, 非线性是由神经元的输入与输出信号强度比来描述的. 若一个神经元  $j$  接收到来

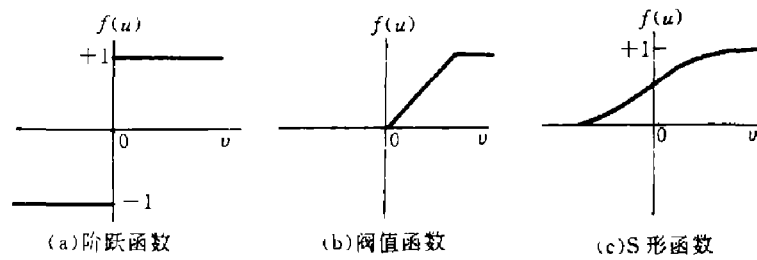


图3 人工神经元的输入和输出的非线性关系

Fig. 3 Nonlinear input-output relation of artificial neuron

自神经元  $i$  的输入  $x_i$ , 且相应互联强度为  $w_{ji}$ , 则神经元  $j$  的输出通常可以表示为

$$y_j = f\left(B \sum_{i=1} w_{ji} \cdot x_i - \zeta_j\right), \quad (3)$$

其中,  $f$  是一个非线性函数, 常数  $\zeta_j$  为兴奋阈值. 同理, 在单元之间也可以采用复杂的非线性互连而不用简单的线性连接, 这样做会使整个系统技术具有更强的非线性信息处理功能.

## 2 研究现状

### 2.1 光电混合模式识别<sup>[4~8]</sup>

借助于光学、电子学技术对一帧输入景像中的全部目标实施正确定位、分类与辨认是光电混合模式识别的基本设计思想. 由于目标存在比例大小、旋转方向以及背景干扰等因素的影响, 故人们根据不同的应用对象采取了相应的技术手段, 一般可以归纳如下.

#### 2.1.1 特征提取

人们在检验各种类别的产品质量 (包括检验其包装合格率) 往往会想到利用光学快速傅里叶变换 (FFT)、Hough 变换 (HT) 等技术. 这些方法能够解决实际应用中较难应付的大容量像元数的快速处理和分析等一类问题. 例如, 用楔形探测器 (WRD) 获取光学傅里叶变换空间频域数据, 可以用硅制作 WRD 器件, 也可以用计算机产生相同功效的全息图 (CGH). 显然, 经过 WRD 输出的数据确是输入目标的一个理想特征量, 其中楔形能够输出比例不变量, 环形输出旋转不变量 (参看图 4). 图 5 表示在工业产品质量检测流水线上利用上述两种变换方法的原理图. Hough 变换 (HT) 是由每条特征直线来描述物体, 即每条直线都有一峰值, 峰的方向用  $\theta$  坐标表示,  $\rho$  坐标表示直线至原点的距离, 峰高为直线的长度. 它的变换可以用方程 (4) 表示, 其中  $f(x, y)$  是输入数据, 即

$$f(\rho, \theta) = \iint f(x, y) \delta(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy. \quad (4)$$

#### 2.1.2 光学相关器

光学相关器是一种能够实时完成二维图像目标识别的优选光学系统之一. 现在, 人们关心的主要问题是如何将其有成效地运用到实际应用中去. 目前国际上研制各种紧凑的光

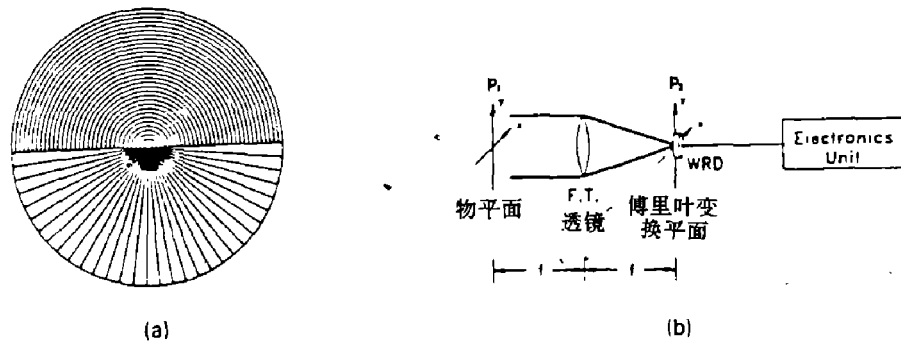


图 4. (a) 楔/环探测器 (WRD); (b) 用 WRD 采样的光学示意图

Fig. 4 (a) Wedge/ring detector (WRD);

(b) Optical schematic diagram of sampling with a wedge/ring detector

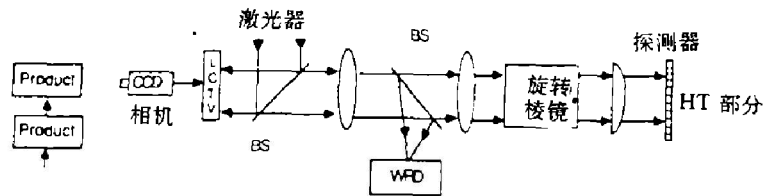


图 5 Hough 变换与 FT 变换相结合的图像处理器

Fig. 5 Image processor of combined Hough transformation and FT transformation

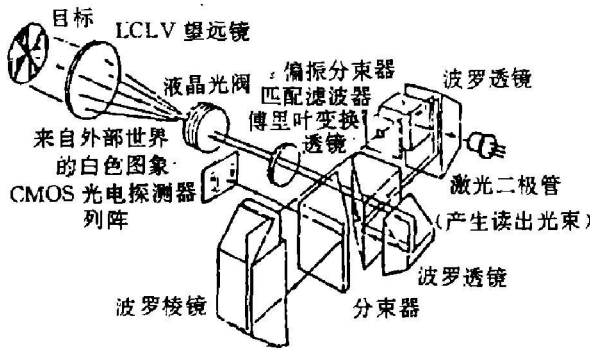


图 6 MCU 的光学通路和有关部件组合图

Fig. 6 Optical passage of MCU and combination of relevant units

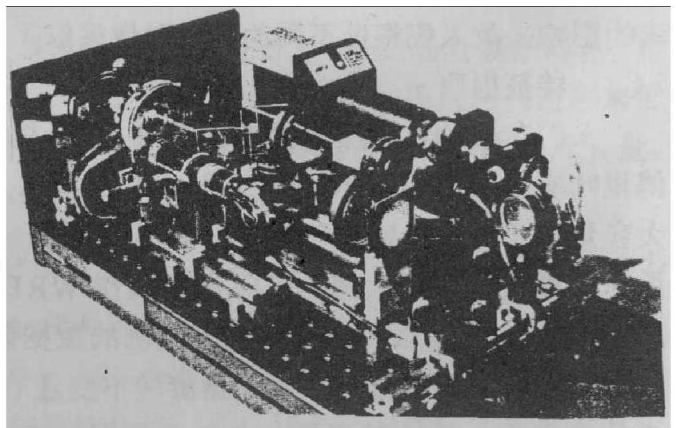


图 7 多光路组合式变换相关器照片

Fig. 7 Photo of optical multiple joint transformation correlator

学相关器已经成为一个“热点”，如美国陆军导弹指挥部、喷气推进实验室 (JPL) 和帕金-埃尔默 (Perkin-Elmer) 公司联合研制一种自主识别/跟踪的光学相关器，图 6 是微型化相关器部件 (MCU) 的分解图。1992 年法国和德国联合研制了一种用于机器人的紧凑光学相关器，采用光折射晶体进行动态全息图替换，目标识别速度约为 100ms，体积尺寸是  $600 \times 300\text{mm}^2$ ，参看图 7 和图 8。美国 Teledyne Brown 工程公司推出了一种固体组合式的光

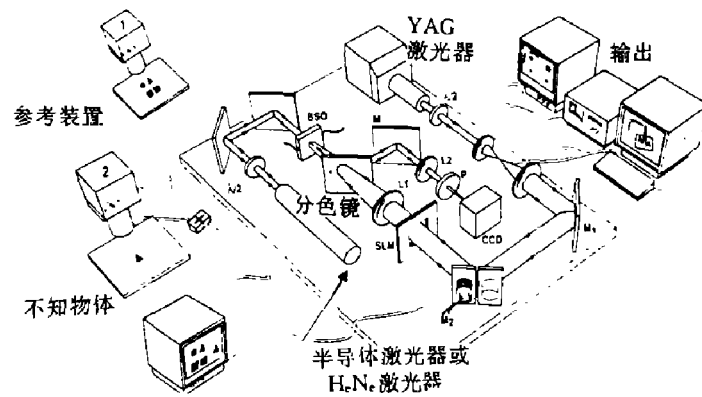


图 8 多路光学相关器的光路图

Fig. 8 Optical arrangement of multiple optical correlator

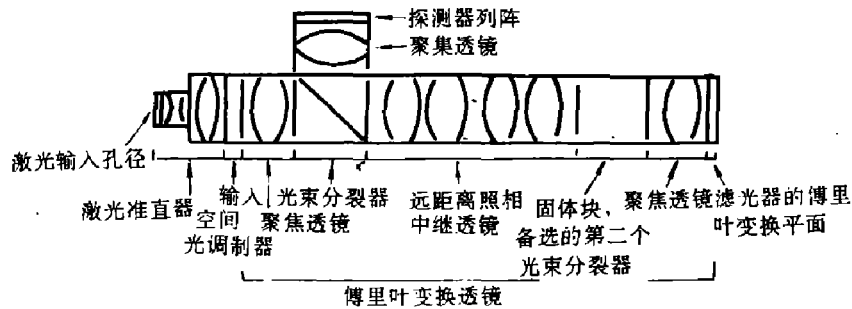


图 9 固体光学相关器的设计原理图

Fig. 9 Principle of design of solid optical correlator

学相关器，如图 9 所示。我国也在积极研制 3×3 多光路紧凑光学相关器，并取得了一些初步的结果，在文献 [3] 中有较详细的介绍。

### 2.1.3 景像分析

对存有复杂背景的目标识别、分类和跟踪，需要系统具备一定的景像分析功能，用方框图 (图 10) 说明景像分析的基本工作流程。我们认为近 5 年内采用光电混合技术对于系统设计既现实又有可行性，这也同样适用于新型光电子器件的研究，比如图 11 便是一种很吸引人的光电混合式多重处理器设计。

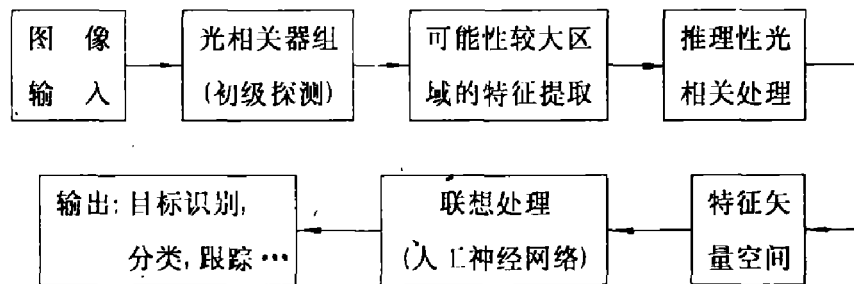


图 10 景像分析工作流程方框图

Fig. 10 Block diagram of scene analysis

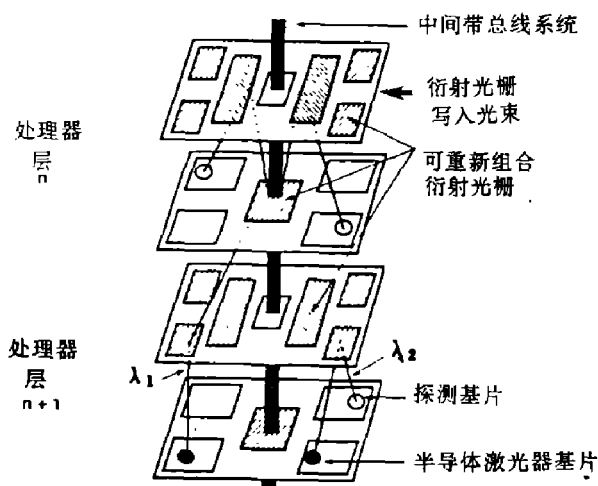


图 11 光电混合信息处理器结构示意图

Fig. 11 Schematic diagram of hybrid electro-optic information processor

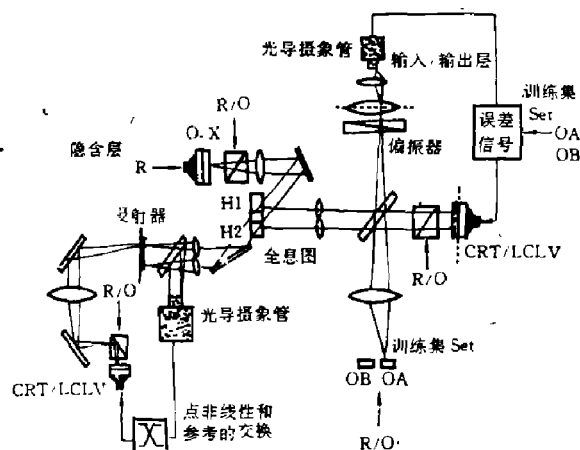


图 12 光电子双层神经网络原理图

Fig. 12 Principle diagram of two-layer optoelectronic neural network

为了满足自适应模式识别的需求,把光相关技术同光电混合神经网络结合起来是很有发展前途的,事实证明,无论是自联想存储器或迭代自联想存储器还是异联想存储器,对减少噪声、改善图像质量都是十分有益的。

## 2.2 人工神经网络技术<sup>[2,9,11~22]</sup>

在光电子智能信息处理过程中,我们设计的人工神经网络能够完成传感器数据处理、并行逻辑推理、假设判定和优化过程控制等任务。为了对神经网络的总体设计有一个基本概念,这里先介绍设计中的若干关键问题,再来评述国内外研究状况,这样有益于对人工神经网络的技术理论与科学规律作较深入的探讨。

### 2.2.1 设计人工神经网络需要解决的几个关键问题

主要问题有:(1)根据现有的技术基础与工艺条件,力求使较小规模的神经网络,即用那些较低智能的人工神经网络去完成一些较为复杂的任务。现在制造每层神经元规模仅保持在几百个到上千个神经元水平,距离人脑约有  $10^{10} \sim 10^{12}$  个神经元来讲,相差甚远。因此,利用光子学技术同微电子技术的有机结合可能是近几年里缩短这一距离的一个好方法。(2)多层网络结构和神经芯片研究是推进人工神经网络实用化的关键之一。随机模式识别与图像信息处理过程要求在几个层次上并行实施,故在设计神经网络时要考虑其层数与制作工艺制约之间的折衷方案,一般取 3~10 的层数较为适宜。神经芯片研制也偏向采取混合型,如光电混合、生物-光学混合等集成元器件。(3)在设计中要理清信息处理中不同子系统(如预处理子系统、识别子系统、判断子系统等)及其关系,尤其要做好预处理子系统的设计工作,预处理过程能够有效地压缩输入数据量,同时保留住其中相对不变的带有本质性的内容,即特征信息。利用传感器融合(Fusion)数据进行预处理则更为先进。(4)设计模型时,从逻辑推理的基本规律出发,去识别、推断和判定一些外界条件变化或所给信息不很精确、不很完整的目标。所以,联想记忆模型、约束优化模型以及无条件学习模型应是设计中经常被选用的学习方式。



### 2.2.2 光电子自适应神经网络

图 12 是一种光电子共振器联想存储系统，是利用全息在光致折射晶体内空间进行多路传输，实现由几百万个神经元构成的二层光学非线性全息联想存储器 (NHAM)。它具有自适应、大存储容量和平行权重更新能力。图 13 表示 NHAM 是由位于两个位相共轭谐振腔里的全息图所组成的，位相共轭反射镜则是依靠非线性光学晶体 (如，BaTiO<sub>3</sub>) 内的四波混频构成，四波混频可实现“动态”全息图的记录与读出。1978 年美国休斯研究实验室的 Y. Owechko 首先提出四波混频在实时模式识别中的应用，时隔 10 年该技术已经被扩展到自适应人工神经网络。

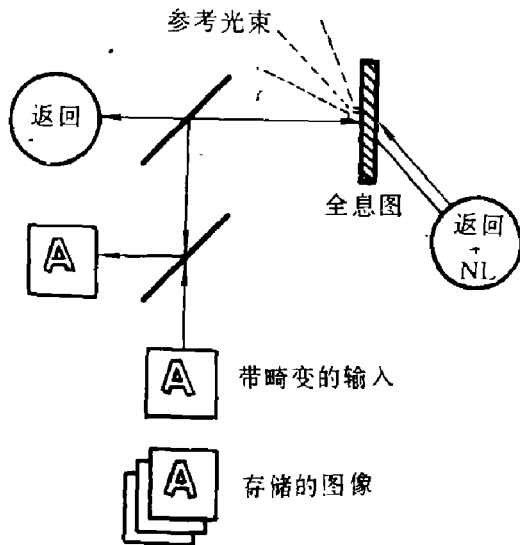


图 13 非线性全息联想存储器 (NHAM) 工作示意图

Fig. 13 Processing diagram of NHAM

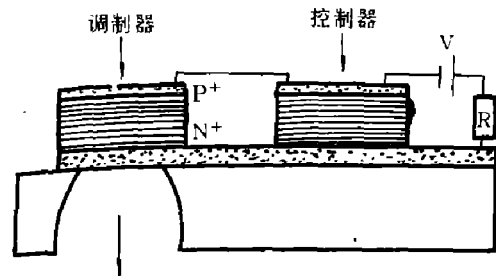


图 14 能够模拟神经元功能的调制-控制器件结构示意图

Fig. 14 Schematic diagram of modulation-control device capable of simulating neuron

### 2.2.3 基于量子阱的激子器件和神经芯片

利用多量子阱结构中激子跃迁的斯塔克 (Stark) 效应来研究神经元、互连掩膜表面的物理机理以及器件性能是十分有趣的。美国密执安大学和洛克韦尔国际公司科学中心在这方面作了一些初步的理论研究工作，认为现有的生长多量子阱结构的技术已经可用来制作具有一定规模的神经网络器件。计算机仿真实验表明，制作一种简单的霍普菲尔德 (Hopfield) 模型的具有良好的稳定性的全光学结构系统是可行的。图 14 表示用 GaAs / AlGaAs 的 P-I (多量子阱)-N 结构设计的一种模拟神经元的调制-控制器件。

神经芯片的研究工作正从“静态”向“动态”变化发展，由硅的大规模集成电路芯片发展成为光电子集成芯片。日本在各种不同的神经网络元器件研制方面有许多独创性，比如三菱电气公司发明了衍射光栅耦合型多层量子阱 DBR 激光器及其二维列阵光源 (如图 15 所示)，还率先提出多层 GaAs/AlGaAs 光学神经芯片，参看图 16。随着科学研究的深入、应用市场的开拓，人工神经芯片的研制会更为重要。

### 2.2.4 光学-超导神经网络

美国斯华龄博士在 1987 年发明用高温超导体开辟人工神经网络研究的新途径——光学-超导神经网络电脑。实验结果表明利用超导材料制作神经网络器件具有许多优点，例

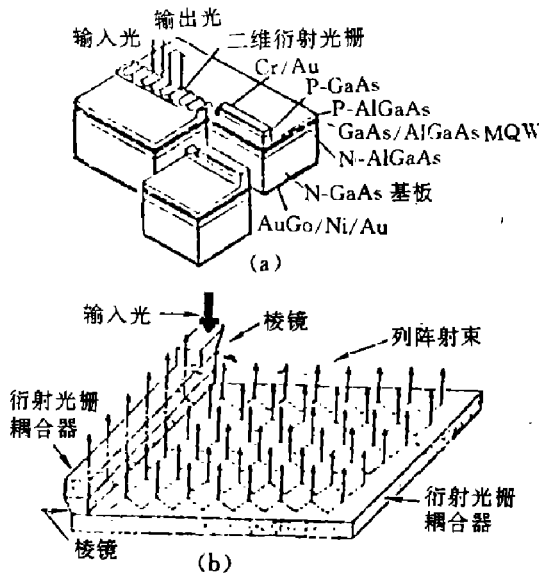


图 15 (a) DBR 激光器; (b) 二维阵列光源  
 Fig. 15 (a) DBR laser; (b) two-dimensional array of light source

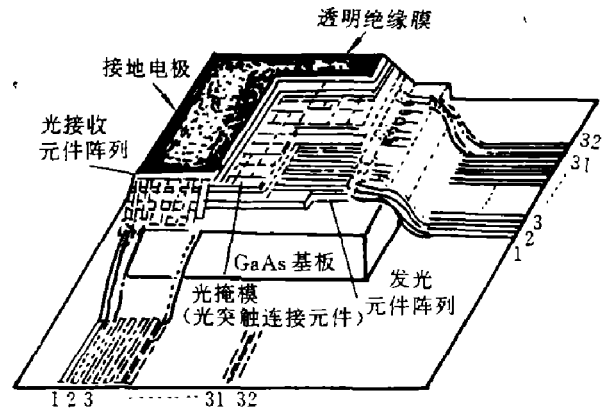


图 16 光学神经芯片结构示意图  
 Fig. 16 Schematic diagram of optical neural chips

如它可兼备光学和电子学系统的综合优势，即不但保持电的性质又不受泡利不相容原理的限制，使得大量载流子能够凝结在基态，而流动时几乎没有电阻。使用高温超导材料可以不用导线直接进行光通信，更令人注目的是这种网络的操作单元非常小(尺寸约为波长量级)，功耗低而开关速度快，接近 1ps。因此，理论上它能使整个神经网络的运算速度达到每秒  $10^{13}$  次。图 17 是光学-超导神经网络示意图，其中高温超导三极管是用光信号控制栅极，可以组合成焦平面阵列 (FPA)。在高温超导三极管组成的二维阵列中，每一个交叉点代表一个高温超导三极管，它们以连续模拟开关方式充当处理单元。图中，输入电流沿焦平面横向流动时，输出电流沿焦平面纵向流动。因为钇钡铜氧超导材料的多晶结构导致各向异性，所以在实施过程中要严格控制超导性的平面与二维阵列平面相重合，这样一旦有红外辐射沿阵列平面的垂直方向照射到高温超导三极管时，将会改变作为阴极和阳极

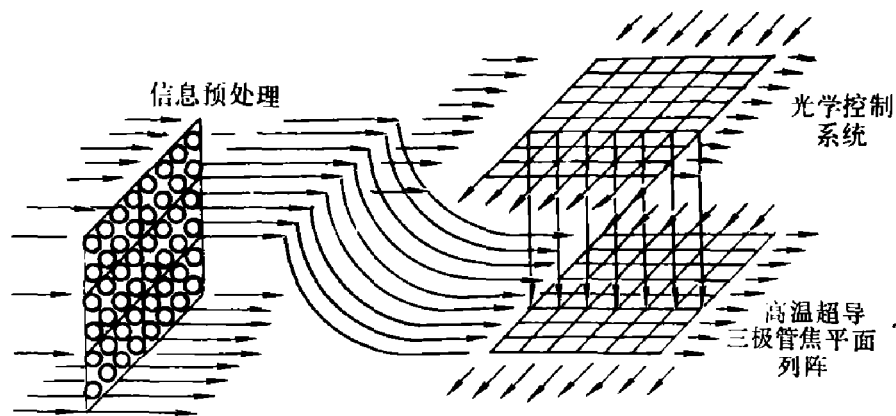


图 17 光学-超导神经网络工作原理图  
 Fig. 17 Processing principle of optics-superconductor neural network

的超导电极的超导材料的比例，从而影响输出电流，输出与输入电流之比取决于材料吸收的光子数，也就是与辐射强度有关。光辐射作用相当于改变电流方向，即转向  $90^\circ$ ，超导阵列的上方是一个控制辐射强度和频率的调制系统，它由一块晶体和一片薄膜透镜组成，当改变电流时直接影响晶体的介电常数，于是光辐射强度也随之变化。若将超导二维阵列的输出电流作为上层光学系统的输入，便可以形成上下层不断迭代的过程，实质上已成为人工神经网络。

### 2.3 空间光调制器和微光学器件<sup>[10,23~24]</sup>

空间光调制器在铁电液晶空间光调制器和磁光空间光调制器研制中进展很快，美国的科罗拉多大学及其所属公司，(如显示技术公司)在铁电液晶空间光调制器的研究和制作方面居领先地位。磁光空间光调制器现有较多公司销售，其质量也在不断提高，从事这方面工作较出色的有美国 Semetex 公司、里顿公司以及圣地亚哥州立大学等部门。

值得注意的是，还有一些新构思的空间光调制器在不断地涌现，比如日本东京大学 K. Tada 教授领导的科研小组研制一种基于光电子集成电路的空间光调制器(如图 18 所示)。由于它是由不同杂质类型和浓度的 GaAs/AlGaAs 多层薄膜所组成，所以能以很高的速率(约为 1.5ns)控制光束的“断”和“开”状态。这种集成化的空间光调制器可以同半导体激光器、光学敏感器以及驱动电路等元器件共同制作在一块电路基片上，为将来的智能信息处理系统的小型化打下基础。

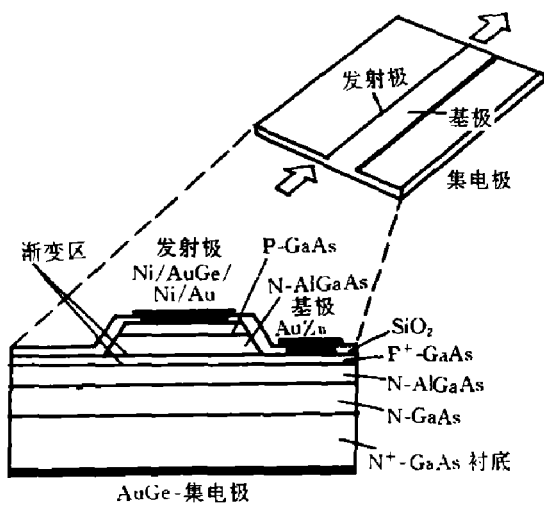


图 18 光电子集成的空间光调制器结构示意图  
Fig. 18 Schematic diagram of optoelectronic-integrated spatial light modulator

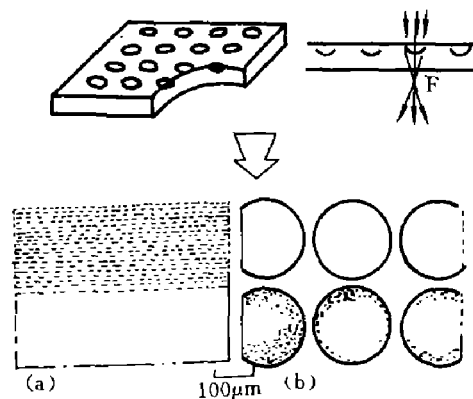


图 19 平板微透镜阵列器件  
(a) 直径为  $10\mu\text{m}$  的列阵透镜;  
(b) 直径为  $230\mu\text{m}$  的列阵透镜  
Fig. 19 Planar microlens array device  
(a) with  $10\mu\text{m}$  diameter; (b) with  $230\mu\text{m}$  diameter

微光学器件属于光学技术和微电子技术相结合的具有微米级尺寸的新颖光学元器件。美国麻省理工学院 (MIT) 的林肯实验室、牛津学院和乔治工业学院是较早从事微光学研究的科研机构。日本现已研制出多种有实际应用价值的微光学元器件，并且在工艺制造技术上处于世界领先的地位。这里，我们仅介绍两种微光学透镜元器件：一种是平板微透镜阵列器件，另一种是二进制位相型菲涅尔透镜阵列器件。图 19 表示在玻璃基板上利用离子交换法制成直径分别为  $10\sim 1000\mu\text{m}$ 、数值孔径  $(NA) \leq 0.25$ 、焦距  $20\sim 2000\mu\text{m}$  的平

板微透镜阵列. 这是一种折射率分布式微透镜阵列, 先用光刻技术制作出掩膜窗口, 然后把含有固定量一价阳离子的玻璃基板与高温状态下熔融的盐相接触, 实现熔融盐中的一价阳离子同玻璃中的一价阳离子进行交换, 随着离子交换玻璃的折射率发生改变, 只要严格控制好离子交换时间和掩膜孔径, 便能产生高精度的平板微透镜阵列器件. 图 20 是二进制位相菲涅尔透镜阵列器件制作过程示意图, 这类新型光学透镜几乎简化了传统光学透镜生产过程的所有加工制作步骤, 仅通过集成电路光刻技术在各种光学材料上直接蚀刻出特定的形状 (参看图 20 中 (a)~(e) 工艺制作示意). 很明显, 二进制光学技术具有非常高的制作精度, 因此, 能够生产各种质量很高的镜头. 此外, 它可以用很低的成本大量复制, 故这一新技术在很短的时间里拥有广阔的应用市场. 二进制光学器件的工作原理是惠更斯原理, 即将所处理光束的波前上任意一点看作为一个球面波源, 它们之间的相长与相消干涉可以产生一个新的波前. 换句话讲, 二进制光学器件是通过光学衍射来控制光线的. 通常透镜是依靠材料的不同折射率使光线弯折, 然而二进制光学技术则是在其镜片表面的每一点上将入射光线的波前分解, 并将它重新组成一种沿着需要的方向向焦点弯折的光波. 现在, 大规模集成电路制作技术已经可以做到大量复制尺寸只有  $0.5\mu\text{m}$ , 深度为  $1\text{mm}$  的微型结构. 基于这一技术基础可以认为二进制光学技术的起点是高的, 而费用却是低的.

二进制光学透镜和半导体芯片都能利用相同设备制造, 无论二进制光学技术及其器件还具有其它什么特色, 仅这一点就足以表明该技术将会给人类带来传感技术新纪元. 应该指明, 各种超密集、超小型的智能型传感系统的实现在目前已不受材料加工技术的制约.

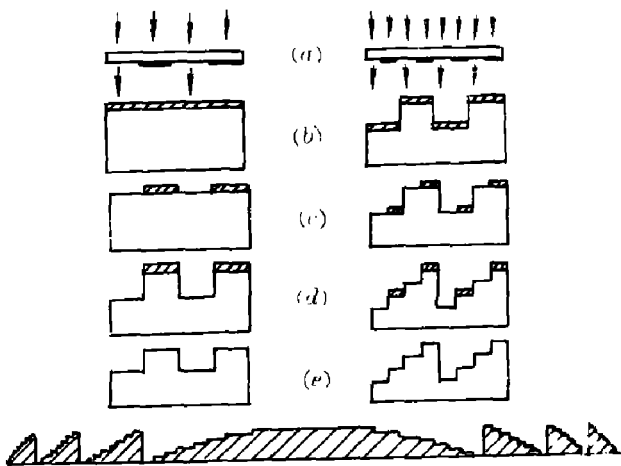


图 20 二进制位相型菲涅尔透镜制作原理  
Fig. 20 Manufacture principle of binary phase Fresnel lens

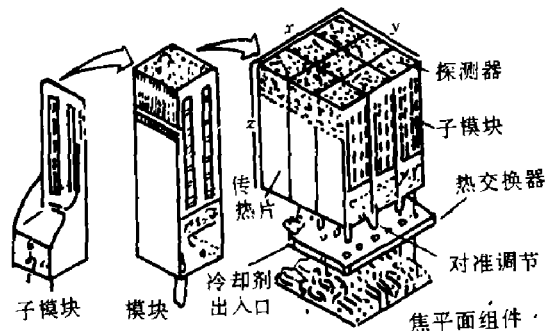


图 21 Grumman 系统的组装  
Fig. 21 Installation of Grumman focal plane units

### 2.4 三维传感系统<sup>[25~27]</sup>

所谓三维传感系统是将二维阵列探测器件和一部分信息处理电路用叠层法组装成立体传感—信号处理一体化系统, 例如 Z 平面技术便是一种把探测器、输入/输出线及信号处理模块连接在一起的新技术. 它最初 (1970 年) 是用于 PbS 探测器阵列, 信号处理电路装在陶瓷基板上. 随着超大规模集成电路工艺技术的发展, 可以把信号处理电路全部集成在一块硅片里, 省去中间的陶瓷板, 而且基片之间也不用焊接, 更有益的是可以实现薄层

硅片集成电路的叠合. 美国的格鲁曼航空航天公司 (Grumman Aerospace) 和埃尔温传感器公司 (Irvine Sensor) 是研究 Z 平面技术较为出色的二家公司. 格鲁曼公司采用氧化铝陶瓷片叠层的方法, 把 8~10 片的陶瓷片叠加在一起, 然后用环氧树脂粘合, 构成一个信号处理系统子模块 (总厚度约为 0.032~0.040 英寸), 探测器、输入输出接口、电极引线等安装在厚度仅有 0.004 英寸的陶瓷片上. 目前, 格鲁曼公司已经研制成  $256 \times 256$  元的子模块, 图 21 显示组装这种立体传感器系统的流程示意. 埃尔温公司利用叠层硅来组装信号处理模块, 即将焦平面的信号处理电路完全制作在硅片上, 再把这些硅片叠合, 用这种技术所制成的模块被称作为 HYMOSS. 现在这家公司可以研制出  $256 \times 256$  的信号处理单元模块, 图 22 是 HYMOSS 模块结构图. 尽管 Z 平面技术对传感系统的小型化、抑制噪声和减少数据传输量都会带来好处, 但是探测元与信号处理单元的数目却受到系统散热和导线互连的限制, 故它不太可能被作成超大规模系统.

综上所述, 如果光计算技术 (如光互连、光模式识别、光神经网络)、微光学技术 (二进制微光阵列器件) 和 Z 平面技术相结合, 那么具有一定智能的三维传感系统将会问世.

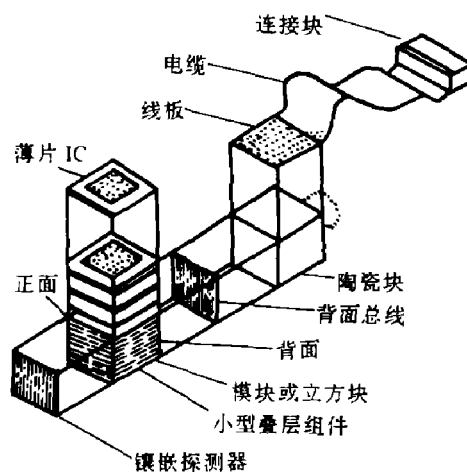


图 22 HYMOSS 模块结构示意图

Fig. 22 Schematic diagram of HYMOSS module

### 3 趋势和前景

光电子智能信息处理系统技术发展的主要趋势是: (1) 系统技术的崛起与市场发育同步, 即光电子智能信息处理系统的研究投资以及它的预研成果将会及时、全面地渗透到智能产业中, 因为单靠科研部门的力量往往筹集不到足够的研制经费. (2) 研究与应用开发光电子智能信息处理系统的重点将集中在实时随机模式识别和三维动态图像分析, 其研究成果转化为市场产品的周期将明显缩短. (3) 系统小型、集成化和信息获取与处理一体化将是发展目标, 为此须积极研制新颖、可靠、廉价的元器件或组件, 采用混合/模块式的体系结构和多重传感器融合 (Fusion) 等新方法. (4) 运用全新的测量与刻蚀技术开展分子/原子级尺寸的超微精细加工, 以及将柔性制造技术可靠地引入总体方案设计、功能器件设计和机械加工之中.

光电子智能信息处理系统/设备的市场前景展望是十分乐观的<sup>[28]</sup>. 预计到 90 年代后期, 它的增长率将超过所有其它工业. 其中最重要的应用市场是机器视觉, 在今后的 5~10 年中, 估计电子工业和汽车工业是最大用户, 其次是食品/饮料工业和生物医学/医药工业, 紧跟其后的是防御设备、商业航空航天工业以及军事非加工业, 如表 2 所示.

光电子智能信息处理系统技术在军事非加工业中主要被使用于自动车辆导向、自动瞄准、敌我识别、弹药自动化操作、侦察、计量、检测、印制板装配、自适应控制、战场应用、火力控制、机器人导向、焊接和其它杂务; 在其它工业部门的应用可以概括为鉴定、

表2 机器视觉系统/设备在各工业部门中的市场估计

Table 2 Market estimation of machine vision system/equipment various industrial departments.

工业部门	市场比例	工业部门	市场比例
电子工业	36%	防御设备	5%
汽车工业	31%	商业航空航天	5%
食品/饮料工业	11%	军事非加工业	1%
生物医学/医药工业	6%	其它	5%

计数、字符识别、分类、计量、检测、探伤、自适应控制、缝隙轨迹跟踪、过程控制等项目。

## 4 结语

光电子信息处理系统技术是人类自身模拟大脑部分功能的突破性技术，它综合了电子计算机、光信息处理和人工神经网络等技术的特长，形成一种能够快速完成图像处理与随机模式识别的新的技术途径。可以肯定该项技术在国际经济竞争中具有决定性的作用，但是技术本身并非能保证经济的繁荣和国家的安全。只有通过人们学会、掌握和有效地利用才能使其具有现实作用。本文尝试在报道科学创新成果的同时竭力促进将其转化为具有商业价值的高科技产品。

## 参考文献

- 1 国家自然科学基金委员会. 光学与光电子学, 科学出版社, 1991:5
- 2 斯华龄. 电脑人脑化, 神经网络——第六代计算机, 北京大学出版社, 1992:11, 65~70
- 3 王汝笠, 华铁均. 红外与毫米波学报, 1993,12(1):21
- 4 Martin S Marshall, Robert E Benner. *Opt. Eng.*, 1992,31(5):947
- 5 David P Casasent, Jeffrey Richards. *Opt. Eng.*, 1988,27(4):258~265
- 6 John A Neff. *Opt. Eng.*, 1987,26(1):2~9
- 7 Henri Rajbenbach et al. *Appl. Opt.*, 1992,31(26):5666~5674
- 8 Ph. Refregier. *Opt. Lett.*, 1990,15:854~856
- 9 Specht D F. *Neural Networks*, 1990,3:109~118
- 10 Alan Kathman, Eric Johnson. *Photonics Spectra*, 1992,(9):125~132
- 11 Guest C C. *Appl. Opt.*, 1987,26:4972
- 12 Farhat N. *Opt. Lett.*, 1987,12:448
- 13 Psaltis D. *Opt. Lett.*, 1987,10:98
- 14 Owechko Y. *Appl. Opt.*, 1987,26:1900
- 15 Kornfeld C D et al. *IEEE 2nd Int. Conf. Neural Networks*, 1988, p. II-357
- 16 Frye R C et al. *Int. Joint Conf. Neural Networks*, II-477, Washington D.C. (1989)
- 17 Taghizadeh M R et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1989,54:1492
- 18 甘利俊一. 神经回路网モデルとコネクションニズム, 东京: 东京大学出版社, 1989
- 19 Ohta J et al. *Appl. Opt.*, 1989,28:2426
- 20 Casasent D P. *SPIE*, 1992,1701:26
- 21 Wang R, Chen L, Luan C. *SPIE*, 1992,1701:43

- 22 Rogers S K et al. *SPIE*, 1992,1709:1
- 23 Miller D A B et al. *Opt. Eng.*, 1987,26(5):368~372
- 24 赵达尊, 张怀玉. 空间光调制器, 北京: 北京理工大学出版社, 1992
- 25 孙娟, 田种运. 信息获取与处理技术, 1991,2:54~57
- 26 O Akiwumi-Assani et al. *SPIE*, 1990,1246:34~44
- 27 Atherton T J et al. *SPIE*, 1990,1246:96~106
- 28 Peter G Heytler et al. *Machine Vision--A Delphi Forecast to 1990*, The Automated Vision Association of RIA, 1986

## RESEARCH OF OPTOELECTRONIC INTELLIGENT INFORMATION PROCESSING SYSTEM TECHNIQUE

Wang Ruli

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** The new concept of optoelectronic intelligent information processing system technique is proposed and technical characteristics are analyzed. The research results in relevant science and technological fields are described. Finally the trend of development and prospects of application of this technique are discussed.

**Key words:** intelligent information, optoelectronics, optical computing, artificial neural network.