

一种全光模糊智能信息处理系统设计*

郭玉彬 邢 培

(长春邮电学院通信工程系, 长春 130012)

摘要 提出了一种全光模糊智能信息处理系统设计方案, 该设计将神经网络与光计算技术相结合, 论述了它的正确性, 并给出了系统的主要构成。

关键词 光学信息处理 人工神经网络 光交换

1 引 言

对于未来的具有极高传输速率(几十 Gbit/s ~ 近百 Gbit/s)的宽带综合业务数字网(B-ISDN), 还需要发展相应的用于传输节点的高速信息处理技术。但是传统的以电子技术为基础的信息处理技术的速率提高大大落后于光子技术, 为了克服这一电子瓶颈, 必须发展以光子技术为基础的全光信息处理技术。

由于光信号具有高度的空间并行性, 交叉失真小, 传播容量大, 保密性强, 有可能实现高速运算, 大容量并行负荷(10^{12} 路)神经网络互连^[1]。因而, 无论是在光通信领域, 还是在光智能领域中, 都具有非常诱人的前景。近几年, 光运算器件、光逻辑器件、全光互连器件、光全息技术都有了长足进展, 使全光可编程计算机的实现成为可能。电学模糊神经网络的发展, 使信息处理进入到一个新的阶段。光学技术和电学模糊神经网络的有机结合, 将开辟一个崭新的信息处理领域。本文通过神经网络技术与光计算原理的有机结合, 将电学模糊智能网络已取得的部分成果引入光纤通信领域, 提出了一种光学模糊智能信息处理系统的初步设计方案。该方案中提出并运用了编码成像检码法、小波时分滤波器、光偏振片突触权值阵列和光学信号模糊检测器。对其中的器件或原理作了有关的描述。

* 本文工作得到吉林大学博士后基金资助

收稿日期: 1997- 04- 03

修稿日期: 1997- 08- 05

2 光学模糊智能信息处理系统

2.1 系统设计原理

目前电学通信技术已经发展的相当成熟,电学模糊神经网络也取得了不少成果。从光学变换原理和光计算原理可知,可将电学中已取得的部分成果移植到光学领域中来,以实现全光模糊智能信息处理。近几年光运算器件、光逻辑器件、全光互连器件、光全息技术的长足进展,从实践上证明了我们的设想。因此我们将电学信息处理技术引入光学模糊智能信息处理系统的设计方案中。我们采取了与现行光通信系统相类似的结构(如图 1 所示),并引入了模糊智能系统,其原因如下:

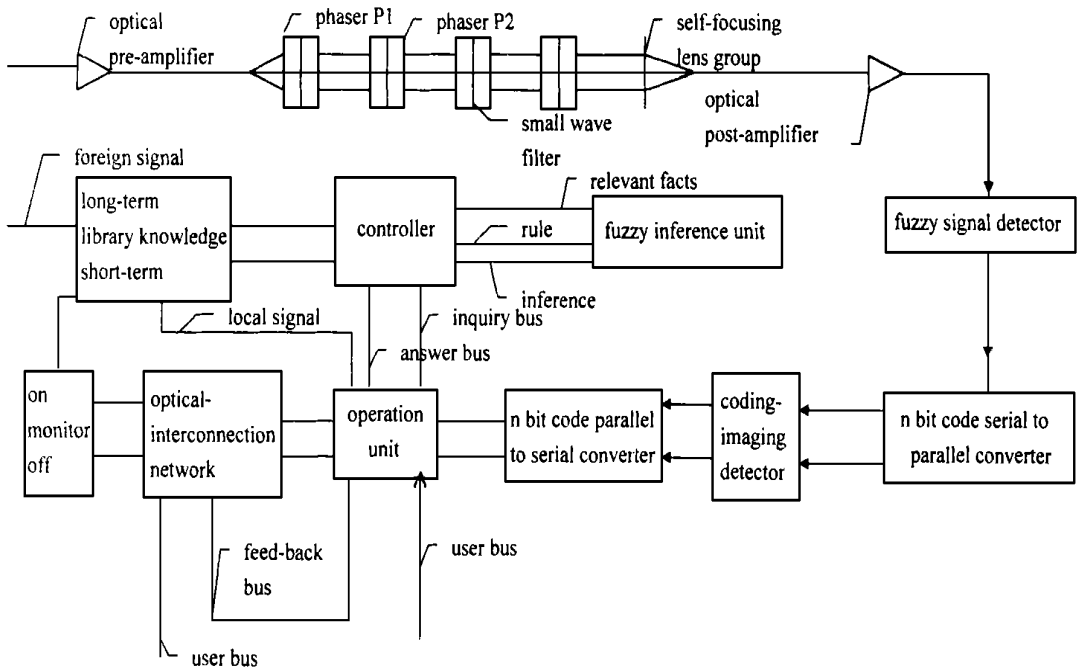


Fig. 1 Experimental arrangement for processing all-optical signal with fuzzy intelligence network

(1) 该方案移植于现行的光通信系统,采用这种结构,可与现行光通信系统兼容,有利于我们逐步更新现行通信系统中的器件,实现光学模糊智能信息处理,减少一次性硬件投资;(2) 与现行系统相比,该方案设计光信号同样存在信号衰减,信噪比劣化等类似因素;(3) 模糊智能信息处理具有一定的容错能力和智能,可提高现行通信系统的信息处理能力。

2.2 系统结构

图 1 是光学模糊智能信息处理系统的框图,它由噪声处理部、信号模糊检测部、编码成像检码部和智能信息处理部构成。

2.2.1 噪声处理部

噪声处理部主要由前置光放大器 OA_1 、纯位相片 P_1 、 P_2 、小波滤波器、自聚焦耦合透镜组

和后置光放大器 OA_2 组成。信号经前置放大器^[2]放大后被纯位相片 P_1 、 P_2 由椭圆高斯光束变换成均匀圆形光束^[3], 然后由小波滤波器滤波后经过自聚焦透镜组耦合^[4]输入后置放大器 OA_2 放大。自聚焦透镜端面可直接与光纤端面粘接, 结构紧凑稳固, 调整方便。耦合损耗在采用减反射措施后可小于 0.5dB, 而且基本上与透镜间距($< 20\text{mm}$)及光纤中的模式功率分布无关^[4]。放大后的信号输入信号模糊检测器。

采用全息技术研制的具有小波运算功能的时分复用小波滤波器。可实现对信号的小波滤波。由于小波分析中信号强度的下限为零, 因而小波滤波器具有很强的弱信号处理能力, 有利于延长中继距离, 甚至实现无中继通信^[5]。

同轴 P_1 和 P_2 相距 L 。 P_1 的作用是调制输入光在该平面的位相分布, 使其经过距离 L 的传播后输出平面上光强度分布达到指定的强度分布; P_2 的作用是补偿输出面上的位相分布, 使光 P_2 后得到等位相分布, 进而达到整形和准直的目的。

光纤输出光束全椭圆高斯型分布, 它的变换实际上等价于已知两个面强度分布的位相恢复问题, 设输入光的复振幅分布为:

$$f(X, Y) = R_1 \exp\left(-\frac{X^2}{W_1^2} - \frac{Y^2}{W_2^2}\right) \exp[i\varphi(X, Y)] \quad (1)$$

其中, R_1 为常数, W_1 和 W_2 为椭圆高斯型光束在输入面上的两个特性束径, 而 $\varphi(X, Y)$ 为输入的位相分布。均匀圆形输出光振幅分布为

$$g(X, Y) = R_1 R_2 \text{Circ}\left(\frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{a}\right) \quad (2)$$

其中, a 为圆半径, $R_1 \cdot R_2$ 为输出光束振幅, R_2 由能量守恒确定

$$R_2 = W_1 \cdot W_2 / (2a^2) \quad (3)$$

采用量化迭代法^[3], 设计出实现变换的二元光学元件。将修正为

$$\varphi(X, Y) = [\varphi(X, Y)N / 2\pi] (2\pi N)$$

其中, $[\]$ 为取整运算, N 为二元光学元件的阶数。取 $N = 16$, 已做出的模拟计算表明, 该光学元件的能量转换效率可达 93.8%, 且波形较理想。

2.2.2 信号模糊检测器

在包含许多级联放大器的通信系统中, 放大的自发辐射(ASE)无疑将引起信号的时间抖动和强度噪声, 从而限制了传输距离和传输码率的提高。全光信号再生可以减小时间抖动, 恢复信号的时间特性, 同时可消除强度噪声和幅度抖动^[6]。

图 2 是全光信号模糊检测器的原理框图, 图中左端为一利用交叉相位调制产生光时钟信号的环形光纤锁模激光器^[6]。将信号注入环形掺铒光纤激光器, 使腔内非线性元件产生交叉相位调制, 当调制频率恰为谐振腔纵模间隔的整数倍时, 实现谐波主动锁模。藉助腔内滤波器, 可在 1550~1570nm 范围内调整激光器波长(λ)。波长为 1540nm (λ_e)的信号流经 WDM 光纤耦合器注入环形腔, 经一段 8.8km 色散位移光纤(DSF)后又通过另一 WDM 光纤耦合器泄至腔外。当信号通过 DSF 光纤时, 使波长为 λ_1 的光产生周期性交叉相位调制。用这种方法产生的锁模脉冲可用作光时钟脉冲波长为 λ_0 。 λ_1 和 λ_2 的选择要考虑光纤色散引起的走离效应, 若 λ_0 为光纤的零色散波长, 应选择 $\lambda_2 < \lambda_0 < \lambda_1$, 故选用色散位移光纤(DSF)。

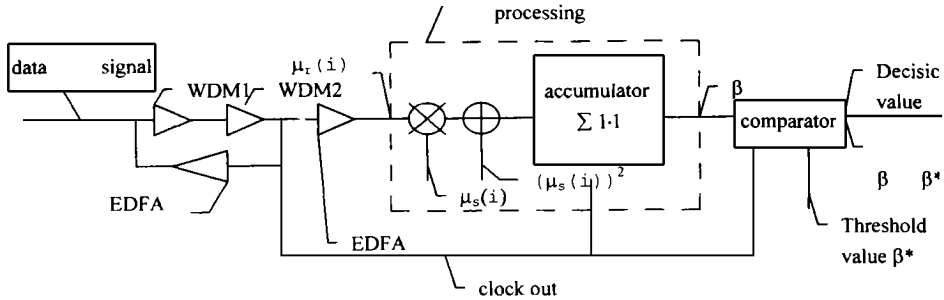


Fig. 2 Fuzzy intelligence network for detecting all-optical signal

右端为模糊互相关检测器(FCCD)^[7]。它的电学模型是由美国 Duke 大学电气工程系 M. B. E. Fatmi 和 P. P. Wang 教授 1981 年发表的“用于通信的模糊器和模糊估计器”一文中给出。本文将模糊信息处理技术引入所设计的光信息处理模型中,用光学器件实现其功能,以达到既保留了光学信号的优点,又获得了信号模糊检测的优点的目的,实现高速信号检测。

在 $S/N = -20\text{dB}$ 情况下,就 SKE(Signal Known Exactly)和 SKEP(Signal Known Except for Phase)两种典型的正弦信号对其模糊检测器进行了 Monte-Carlo 仿真试验。结果表明,这些模糊检测器不仅在结构上简单,易于实现,而且在低噪声比背景下具有检测微弱信号的良好性能^[7]。Fatmi 和 Wang 的工作直接证实了模糊集合理论应用于信号检测的可行性。考虑下面的假设检验问题:

$$H_0: r(t) = N(t)$$

$$H_1: r(t) = A \sin(\omega t + \theta) + N(t), t \in [T_a, T_f]$$

这里,幅度 A 和频率 ω 是已知的,相位 θ 分为确知(SKE)和不确定(SKEP)两种情况;噪声 $N(t)$ 是平稳随机过程。对观测信号 $r(t)$ 进行采样,并作归一化处理得

$$\mu_r(i) = \frac{r(iT) + |r_{\min}|}{|r_{\max}| + |r_{\min}|}, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

T 是采样间隔,

$$r_{\min} = \min_{i=1}^n r(iT), r_{\max} = \max_{i=1}^n r(iT)$$

令

$$\mu_s(i) = \frac{S(iT) + A}{2A}, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

其中 $\mu_r(i)$ 为输入信号; $\mu_s(i)$ 为纯数据信号。模糊检测器框图如图 3 所示。可以看出,模糊数据处理算法是模糊检测器的核心部分,它的设计直接影响到检测器结构以及检测器性能的好坏。

模糊互相关检测器(FCCD)的设计思想是:按距离的意义进行度量,与纯噪声数据序列相

比, 一个含有信号的混合数据序列其波形更接近于纯信号序列的波形。因此, 当信号数据与有噪声的数据相比时, 在每一个抽样点上, 其线性距离平均来说将会小于纯信号与纯噪声之间的线性距离。也就是说, 如果把每一个抽样点的距离累加起来, 当信号存在时, 我们得到一个数, 当信号不存在时, 我们得到另一个数, 前者比后者小。模糊检测器是根据波形之间的距离测度进行设计的。就其结构而言, 模糊检测器并不特别依赖于噪声背景的先验知识; 在模糊检测器中信号的流通是以归一化的形式出现的, 其判决量的构成除了普通的加法和乘法运算外, 还包含了模糊逻辑运算和。令 β 为累加线性距离, β^* 为比较门限, 则模糊检测器的判决规则是

$$\beta \underset{H_0}{>} \underset{H_1}{<} \beta^* \quad (7)$$

FCCD 的线性距离

$$\beta = \sum_{i=1}^n |\mu_s(i) \cdot [\mu_r(i) - \mu_s(i)]| \quad (8)$$

自接收到的光信号中提取的脉冲同步信号将提供给 FCCD 累加器和比较器。由信号模糊检测器输出的全光再生信号馈送到编码成像检码部。

2.2.3 编码成像检码部

编码成像检码部主要由 n 位码串—并转换器、编码成像检码器、 n 位码并—串转换器组成。 n 位码串—并转换器和 n 位码并—串转换器的原理图分别如图 3、图 4 所示, 其主要原理是利用光信号在光纤中传播不同距离所用时间不同。

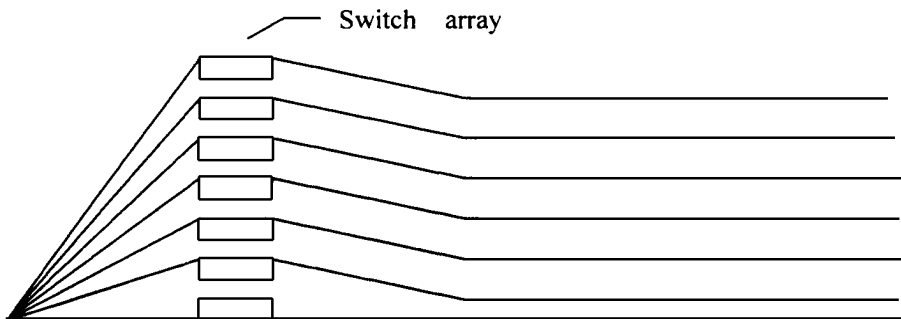


Fig. 3 N bit code parallel to serial converter

鉴于光学信号的高度并行性和光学神经网络对图象的识别处理能力, 我们把串行码转换为并行码, 并按照一定的规则, 通过特定的编码技术, 使不同码组呈现不同的图像, 并利用全息技术记录下所规定的正确码组图像。当输入不同的码组时, 平行输入接口使码组变换成不同的图像, 输入检码系统, 与所存储的图像比较, 与其完全相同或最佳匹配的图像得到输出, 因而检码器能检验出误码, 并自动输出正确的码组, 输入信号经编码成像检码后输入智能信息处理部。

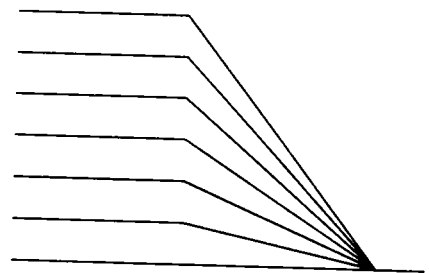


Fig. 4 N bit code serial to parallel converter

由于与电信号相比,光信号具有高度的并行性、可靠性(抗干扰能力强),无交叉失真,传播速度快,加之引进了较先进的并行处理技术,可充分利用神经网络对图像的辨别能力,并行地全面监测一组编码,从而提高了检码的速度和可靠性,并使检码网络处于不连续工作状态,有利于降低功耗或进行多路时分复用,降低硬件投资。

2.2.4 模糊智能信息处理部

模糊智能信息处理部主要由光交换机和光学模糊智能系统组成。光交换机由运算器(含光端机)和光互连网络组成,主要完成编码解码光路互连、信号传送和路由选择等。光学模糊智能系统主要由知识库、控制器、推理筛选器、开关监测器等组成。主要完成信息存取、模糊推理、网络监测、指令发送和指令控制等信息处理功能。

运算器:对输入信号进行逻辑运算处理。例如,编码、解码等,并向控制器发送询问信号。电控制器再进行相应处理,收到控制器响应信号后,再对信号进行相应处理,如光路互连、发送指令信号等。

知识库:由长期知识库和短期知识库组成。长期知识库主要存贮一些档案性信息,如用户信息等。短期知识库主要存贮一些动态信息,如线路网信息,如用户信息等。短期知识库主要存贮一些动态信息,如线路网信息、特殊业务服务请求信息等。

控制器:控制各部件运行,完成信息加工处理,是整个系统指挥中枢。开关检测器则是用于监测光互连网络的状态,以反映用户的线路状态(主要是监测用户线路是否占线等)。

推理筛选器:用光学模糊智能网络模拟人脑完成推理功能。从上级传送来的信号输入运算器后,由运算器进行解码,并向控制器发出询问信号,控制器发出指令控制知识库和模糊推理器运行,完成模糊智能信息处理,并向运算器发出应答信号,然后运算器作相应的运算,进行路由选择和光路互连。

3 模糊智能网络的光学实现

本方案中控制器采用模糊神经网络控制模型 $L_2^{[8]}$,推理筛选器采用神经网络驱动性模糊推理网络^[8],通过光学技术实现上述电学网络。知识库使用可擦试光盘和光ROM存储器。

采用强度调制,以光强的大小表示信号幅度的大小,因此多个输入的加法运算可由光强的直接叠加实现。

神经网络中的运算一般为权值积和运算。如前所述,加法运算我们已可解决,为了能实现突触权值在 $[0, 1]$ 间可调,我们设计了光偏振片突触权值阵列。

信号光使用偏振光,由马吕定律

$$I_1 = I_0 \cos^2 \theta \quad (9)$$

可知,当 θ 角在 $[0, \pi/2]$ 之间连续变化时,输出光强 I_1 经 (I_1/I_0) 归一化后可实现在 $[0, 1]$ 间连续变化,其中 I_1 为输出光强, I_0 为输入光强, θ 为偏振光电矢量与偏振片透光轴间的夹角。我们以 $\cos^2 \theta$ 作为权值,因此只要控制角 θ 在 $[0, \pi/2]$ 间连续变化,便可实现突触权值在 $[0, 1]$ 间连续可调,摆脱了以往光互连权值变化范围小的限制。

我们把偏振片装在自适应微控微电机阵列上,用反馈信息控制各个微电机的旋转角度 θ 从而达到调整权值阵列的目的。

4 光端机自适应性的一点改进

在目前光端机的基础上, 我们提出了一点自适应性改进, 其关键技术是在原有基础上加装一台自适应控制器。

光信号在光纤中传输时, 会受到一定程度衰减。

$$\frac{I_1}{I_0} = 10^{-(\alpha/10)L} \quad (10)$$

其中, I_1 为输出光强度, I_0 为输入光强度, α 为损耗系数, L 为光纤长度。由上式可知, 当 L 一定时, 其衰减程度取决于损耗系数 α , α 又由光纤传输特性所决定, 而光纤传输特性又在一定程度上取决于外部环境条件。选取相当于用户线平均长度的光纤作为反馈信息光纤能在一定程度上反映出用户线路的平均状况。

把发射机的驱动电流在一定范围内设置为可变的。外界条件发生变化时, 则光纤的传输特性发生变化, 信号的衰减程度也会随之变化, 因而反馈光纤的输出功率也会有所变化。发射机接收到反馈信号后, 对驱动电流作相应调整, 使接收到的反馈信号强度稳定在一定水平上, 从而保证用户端的光纤输出功率趋于稳定, 以改善服务质量。当驱动电流增大到一定程度时, 光端机便维持电流不再增大, 并发出报警信息。发射机器件的老化程度用发射功率与驱动电流的比值表示。它下降到一定程度后发射机发出报警信号, 等待更换器件。

由于采用自适应技术, 改变了驱动电流固定不变的传统方式, 在一定范围内驱动电流可调, 因而能在较大动态范围内保持信号稳定, 提高了通信的可靠性和稳定性。

5 结 论

本文通过光学模糊智能信息处理系统以及小波时分滤波器、光学信号模糊检测器、光偏振片突触权值阵列的设计得到如下结论:

(1) 使用小波滤波器和光学信号模糊检测器可以延长中继距离, 提高系统的弱信号处理能力; (2) 采用编码成像检码技术可提高检码速度和检码可靠性, 提高设备利用率, 降低硬件投资; (3) 对光端机的自适应性改进可在较大的动态范围内提高通信的可靠性和稳定性; (4) 用光偏振片突触权值阵列可实现数值在 $[0, 1]$ 间连续变化, 扩大了光互连权值的变化范围。

由于全光模糊智能信息处理系具有一定的智能和容错能力, 信息处理能力强, 速度快, 可靠性高, 容量大, 在未来全光高速长距离光通信系统以及 B-ISDN 中将扮演重要角色。同时这一课题的研究和应用将在军事、经济、通信等领域发挥重要作用。

参 考 文 献

- 1 王汝笠, 章明, 周斌. 第六代计算机. 北京: 科学技术文献出版社, 1992: 90 ~ 148
- 2 邱昆. 光纤通信导论. 成都: 电子科技大学出版社, 1995: 181
- 3 姬扬, 张静娟. 将椭圆高斯光束转换成圆光束. 光子学报, 1994, 22(1): 81 ~ 88
- 4 刘德明, 向清, 黄德修. 光学光纤. 北京: 国防工业出版社, 1995: 144 ~ 145
- 5 崔锦泰著, 程正兴译. 小波分析导论. 西安: 西安交通大学出版社, 1995: 99 ~ 186

- 6 高以智,姚敏玉,娄采云等.用于超高速光通信的全光信息处理基础技术.光电子·激光 1995,6(1):1~6
- 7 郭桂蓉,庄钊文.信息处理中的模糊技术.长沙:国防科学技术大学出版社,1994.387~390
- 8 李晓忠,汪培庄,罗承忠.模糊神经网络.贵阳:贵州科学技术出版社,1994:266~288

The Design of an All-optical Signal-processing System with Fuzzy Intelligence Networks

GUO Yu-Bin, XING Pei

*(Department of Communication Engineering,
Changchun Institute of Posts and Telecommunications, Changchun 130012)*

Abstract

A new category of all-optical signal-processing system with fuzzy intelligence networks is proposed. Its design combines the artificial network principle with the optical calculation technologies. The correctness of this system is discussed. Some major devices are designed.

Key words: All-optical signal processing, Artificial networks, Optical switching

郭玉彬 男,1962年5月生,长春邮电学院通信工程系副研究员。1995年于中国科学院长春光机所获理学光学博士学位。现主要从事光电子及光通信领域教学研究工作。