



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105099553 B

(45)授权公告日 2017. 10. 20

(21)申请号 201510552213.X

(22)申请日 2015.08.31

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105099553 A

(43)申请公布日 2015.11.25

(73)专利权人 华南理工大学  
地址 510640 广东省广州市天河区五山路  
381号

(72)发明人 文尚胜 关伟鹏 张恒 张广慧

(74)专利代理机构 广州市华学知识产权代理有  
限公司 44245

代理人 罗观祥

(51)Int. Cl.  
H04B 10/116(2013.01)

(56)对比文件

CN 104158632 A, 2014.11.19,  
CN 103546214 A, 2014.01.29,  
WO 2011142174 A1, 2011.11.17,

审查员 胡文好

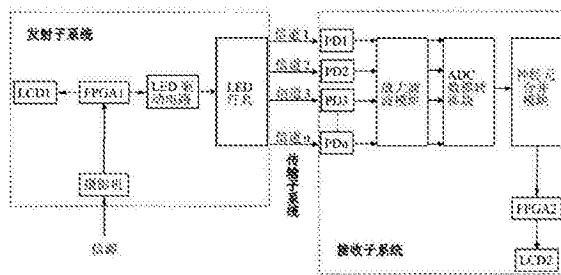
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于神经网络的可见光通信接收方法及其系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于神经网络的可见光通信接收方法,包括以下步骤:1、第一可编程门阵列将信源发出的视频信号转换为数字信号;2、所述数字信号通过LED驱动电路驱动LED灯具发射光信号;3、所述光信号经过n个光电检测器件进入接收子系统;4、所述的n个数据流输入到经过训练后的神经元合并模块中;5、所述神经元合并模块将所述n个数据流作均衡处理并输出合并数据流;所述合并数据流经第二可编程门阵列解调处理转化为视频信号。本发明还公开了一种实现所述的基于神经网络的可见光通信接收方法的可见光通信接收系统,包括:发射子系统、传输子系统和接收子系统。本发明具有广阔的应用前景等优点。



1. 一种基于神经网络的可见光通信接收方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、第一可编程门阵列将信源发出的视频信号转换为数字信号;

步骤2、所述数字信号通过LED驱动电路驱动LED灯具发射光信号;

步骤3、所述光信号经过n个光电检测器件进入接收子系统,其中,n为正整数;所述n个光电检测器对应传输子系统的n个子信道;所述n个子信道对应接收子系统的n个数据流;

步骤4、所述的n个数据流经过放大处理、滤波处理后,输出到经过训练后的神经元合并模块中;

步骤5、所述神经元合并模块将所述n个数据流作均衡处理并输出合并数据流;所述合并数据流经第二可编程门阵列解调处理转化为视频信号。

2. 根据权利要求1所述的基于神经网络的可见光通信接收方法,其特征在于,在步骤4中,经过训练后的所述神经元合并模块包括以下步骤:

步骤41、训练时,把一组输入值和与之相匹配的期望值给予所述的神经网络,按这组训练数据来调整连接加权值;通过所述的期望值与正向传播的实际输出值对比可得到误差信号;

$$Y_i = f\left(\sum_{j=1}^n \omega_{ij} V_j - Q_i\right)$$

$$E(x) = [y(x) - F(x)]^2$$

式中, $Y_i$ 是对于第*i*个神经元的输出状态, $\omega_{ij}$ 是第*i*个神经元与第*j*个神经元的连接加权取值; $V_j$ 是第*j*个神经元的输出; $Q_i$ 是第*i*个神经元的阈值; $f$ 为激活函数; $x$ 和 $y(x)$ 分别代表输入信号以及与之相对应的实际输出信号; $F(x)$ 为期望输出信号;

步骤42、利用梯度下降法进行误差反向传播和权值校正,通过反复学习使所述的误差信号达到或低于设定值;

$$\omega_{ij}(n+1) = \omega_{ij}(n) - \gamma \frac{\partial E(x)}{\partial \omega_{ij}(n)}$$

其中, $\omega_{ij}$ 代表连接加权值, $\gamma$ 表示学习速率;

步骤43、通过上述方程的训练可以使所述的连接加权值调整到使神经网络的实际输出与所述的期望输出间的均方误差最小。

3. 一种实现权利要求1所述的基于神经网络的可见光通信接收方法的接收系统,其特征在于,包括:发射子系统、传输子系统和接收子系统,所述发射子系统具有:第一可编程门阵列、LED驱动电路和LED灯具;所述的第一可编程门阵列、LED驱动电路和LED灯具依次连接;所述接收子系统具有:n个光电检测器件、ADC模数转换器、神经元合并模块、第二可编程门阵列;所述的n个光电检测器件、ADC模数转换器、神经元合并模块、第二可编程门阵列依次连接;所述传输子系统用于把LED灯具发出的可见光信号传输给n个光电检测器件;所述n个光电检测器件对应传输子系统的n个子信道;所述第一可编程门阵列、LED驱动电路、LED灯具、光电检测器件、ADC模数转换器、神经元合并模块和第二可编程门阵列依次连接;所述第一可编程门阵列将视频信号转换为数字信号,并把所述数字信号传输给LED驱动电路;所述LED驱动电路驱动LED灯具发射光信号;所述光信号经过自由空间进入光电检测器件;所述n个光电检测器件把光信号转换成模拟信号,形成n路数据流;所述ADC数模转换器把光电检测器件输出的模拟信号取样成n路数字信号;所述的n路数字信号经神经元合并模块进行

合并以及均衡处理后,输到第二可编程门阵列;所述第二可编程门阵列把信号经过解调还原为视频信号,其中, $n$ 为正整数。

4. 根据权利要求3所述的接收系统,其特征在于,所述LED驱动电路包括:信源、可变电阻、高速缓冲器、Bias Tee模块、直流电流源和限流电阻,所述的信源、可变电阻、高速缓冲器、Bias Tee模块和限流电阻依次连接;所述直流电流源的正极和信源连接,所述直流电流源的负极和Bias Tee模块连接;所述的Bias Tee模块包括电容和电感;所述电感的一端与直流电流源的负极连接,所述电感的另一端与电容的负极连接,所述电容的正极与高速缓冲器连接;所述信源输出的电信号通过高速缓冲器传输到Bias Tee模块,所述直流电流源所输出的直流电信号与高速缓冲器所传输的信号在Bias Tee模块中进行耦合以生成耦合电信号;所述耦合电信号通过限流电阻输出到LED灯具。

5. 根据权利要求3所述的接收系统,其特征在于,所述神经元合并模块其合并处理过程在可编程门阵列或数字信号处理芯片等信号处理芯片中进行。

6. 根据权利要求3所述的接收系统,其特征在于,所述发射子系统还包括:第一液晶显示器和摄影机,所述接收子系统还包括放大电路、滤波电路和第二液晶显示器;所述的第一液晶显示器和摄影机均与第一可编程门阵列连接,光电检测器件通过前置放大电路和后置放大电路与ADC数模转换器连接,第二可编程门阵列和第二液晶显示器连接;所述的摄影机将视频信号传输给第一可编程门阵列;所述第一可编程门阵列把视频信号传输给第一液晶显示器;所述光电检测器件把模拟信号通过放大电路进行放大处理;放大后的所述模拟信号经过滤波电路进行滤波处理再传输给ADC模数转换器;所述第二可编程门阵列把视频信号传输给第二液晶显示器。

## 一种基于神经网络的可见光通信接收方法及其系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及可见光通信技术,特别涉及一种基于神经网络的可见光通信接收方法及其系统。

### 背景技术

[0002] 与传统的红外和无线通信相比,LED可见光通信技术具有发射功率高、无电磁干扰、无需申请频谱资源和信息的保密性等优点。然而,可见光通信仍然面临不少挑战,其中最大挑战之一是码间干扰大大限制了可见光通信系统数据传输速率。用于照明的白光LED一般为LED阵列形式,不同的点光源LED对应着不同的光路径,而光路径间信号传输的延迟会产生码间干扰;同时当系统数据传输速率比较高时,由于LED带宽的限制,会造成一个信号的影响扩展到相邻信号上,产生码间干扰而使系统误码率大大提升;并且由于信道不理想,码元在发送过程中会发生拓宽和时延,在波形上表现为码元脉冲产生拖尾,相邻脉冲的拖尾会互相重叠,亦会产生码间干扰,提升了误码率,从而影响了通信的质量。一般情况下,可通过改变编码方式,如:将OOK调制方式中不归零编码改为归零码或使用正交频分复用技术来降低码间干扰。然而却大大地增加了可见光通信系统的复杂程度。

[0003] 在散射、中继、微波等通信领域中,常使用分集接收技术来解决由于信道参数的不稳定性而导致的多径效应。分集接收技术是同一信号通过不同的路径、时间、角度、频率等方式分散传输,接收端获得多组独立信号,并通过合适的合并方式,如选择合并、等增益合并或最大比值相加等;将多组独立信号合并成总的接收信号。同时在分集接收系统中,由于接收模块具有多个光电探测器,相当于增大了光电二极管的接收面积,从而为系统提供了分集增益,故可使用分集接收技术来改善可见光通信系统的性能。然而,由于无线信道的时变性与随机性,不同的环境下所选取的合并方式不同;且所接收的数据是信道中受干扰的原始数据,并没有对数据进一步优化处理。

### 发明内容

[0004] 为了克服现有技术的上述缺点与不足,本发明的首要目的在于提供一种基于神经网络的可见光通信接收方法,该可见光通信接收方法进一步优化了VLC系统信道性能,在不增加器件带宽前提下,成倍提高无线通信的质量与数据传输速率。

[0005] 为了克服现有技术的上述缺点与不足,本发明的另一目的在于提供基于神经网络的可见光通信接收方法的可见光通信接收系统,该可见光通信接收系统基于简单的基带调制技术,通过运用角度分集接收技术来减弱码间干扰对系统的影响,并使用人工神经网络来对分集接收所获得的数据进行合并以及优化以降低系统的误码率。克服了传统的分集接收技术在不同环境下合并方式的多样性。

[0006] 本发明的首要目的通过以下技术方案实现:一种基于神经网络的可见光通信接收方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤1、第一可编程门阵列将信源发出的视频信号转换为数字信号;

[0008] 步骤2、所述数字信号通过LED驱动电路驱动LED灯具发射光信号；

[0009] 步骤3、所述光信号经过n个光电检测器件进入接收子系统，其中，n为正整数；所述n个光电检测器对应传输子系统的n个子信道；所述n个子信道对应接收子系统的n个数据流；

[0010] 步骤4、所述的n个数据流经过放大处理、滤波处理后，输到经过训练后的神经元合并模块中；

[0011] 步骤5、所述神经元合并模块将所述n个数据流作均衡处理并输出合并数据流；所述合并数据流经第二可编程门阵列解调处理转化为视频信号。

[0012] 所述步骤5中的经过训练后的神经元合并模块包括以下步骤：

[0013] 步骤41、训练时，把一组输入值和与之相匹配的期望值给予所述的神经网络，按这组训练数据来调整连接加权值，通过所述的期望值与正向传播的实际输出值对比得到误差信号；

$$[0014] \quad Y_i = f\left(\sum_{j=1}^n \omega_{ij} V_j - Q_i\right)$$

$$[0015] \quad E(x) = [y(x) - F(x)]^2;$$

[0016] 步骤42、利用梯度下降法进行误差反向传播和权值校正，通过反复学习使所述的误差信号达到或低于设定值；

$$[0017] \quad \omega_{ij}(n+1) = \omega_{ij}(n) - \gamma \frac{\partial E(x)}{\partial \omega_{ij}(n)};$$

[0018] 步骤43、通过上述方程的训练可以使所述的连接加权值调整到使神经网络的实际输出与所述的期望输出间的均方误差最小；经过BP算法训练后，对于任意输入值，神经元均衡器均能给出相对较为合适的输出，以完成对信道的均衡处理。

[0019] 本发明的另一目的可以通过以下技术方案实现：一种实现所述的基于神经网络的可见光通信接收方法的可见光通信接收系统，包括：发射子系统、传输子系统和接收子系统，所述发射子系统具有：第一可编程门阵列、LED驱动电路和LED灯具，所述接收子系统具有：n个光电检测器件、ADC模数转换器、神经元合并模块和第二可编程门阵列；所述传输子系统用于把LED灯具发出的可见光信号传输给n个光电检测器件；所述n个光电检测器件对应传输子系统的n个子信道；所述第一可编程门阵列、LED驱动电路、LED灯具、光电检测器件、ADC模数转换器、神经元合并模块和第二可编程门阵列依次连接；所述第一可编程门阵列将视频信号转换为数字信号，并把所述数字信号传输给LED驱动电路；所述LED驱动电路驱动LED灯具发射光信号；所述光信号经过自由空间进入光电检测器件；所述n个光电检测器件把光信号转换成模拟信号，形成n路数据流；所述ADC数模转换器把光电检测器件输出的模拟信号取样成n路数字信号；所述的n路数字信号经神经元合并模块进行合并以及均衡处理后，输到第二可编程门阵列；所述第二可编程门阵列把信号经过解调还原为视频信号。

[0020] 所述LED驱动电路包括：信源、可变电阻、高速缓冲器、Bias Tee模块、直流电流源和限流电阻，所述的信源、可变电阻、高速缓冲器、Bias Tee模块和限流电阻依次连接；所述直流电流源的正极和信源连接，所述直流电流源的负极和Bias Tee模块连接；所述的Bias Tee模块包括电容和电感；所述电感的一端与直流电流源的负极连接，所述电感的另一端与电容的负极连接，所述电容的正极与高速缓冲器连接；所述信源输出的电信号经过高速缓

冲器传输到Bias Tee模块,所述直流电流源所输出的直流电信号与高速缓冲器所传输的信号在Bias Tee模块中进行耦合,生成耦合电信号;所述耦合电信号通过限流电阻输出到LED灯具。

[0021] 所述神经元合并模块其合并处理通过可编程门阵列信号处理芯片或数字信号处理芯片中完成。

[0022] 所述发射子系统还包括:第一液晶显示器和摄影机,所述接收子系统还包括放大电路、滤波电路和第二液晶显示器;所述的第一液晶显示器和摄影机均与第一可编程门阵列连接,光电检测器件通过前置放大电路和后置放大电路与ADC数模转换器连接,第二可编程门阵列和第二液晶显示器连接;所述的摄影机将视频信号传输给第一可编程门阵列;所述第一可编程门阵列把视频信号传输给第一液晶显示器;所述光电检测器件把模拟信号通过放大电路进行放大处理;放大后的所述模拟信号经过滤波电路进行滤波处理再传输给ADC模数转换器;所述第二可编程门阵列把视频信号传输给第二液晶显示器。

[0023] 本发明的另一目的也可以通过以下技术方案实现:一种基于神经网络的可见光通信接收方法的可见光通信接收系统,包括:发射子系统、传输子系统和接收子系统,所述发射子系统通过LED驱动电路将数据输入LED灯具中,发出可见光,通过传输子系统将光信号进行有效地传输,最后通过接收子系统把感应光强的变化与数据的转换实现通信。

[0024] 所述发射子系统由摄影机、第一可编程门阵列、第一液晶显示器、LED驱动电路、LED灯具组成,进一步地,所述LED驱动电路由电容与电感等电学元件组成。

[0025] 所述传输子系统为自由空间,具有n条子信道,其中,n为正整数。

[0026] 所述接收子系统由n个光电检测器、放大电路、滤波电路、神经元合并模块、第二可编程门阵列、第二液晶显示器组成。

[0027] 本发明的原理:本发明利用率分集接收技术与神经元合并网络,所述分集接收技术是同一信号通过不同的路径、时间、角度、频率等方式分散传输,在接收端由多个光电检测器件获得多组独立信号,并通过合适的合并方式,如选择合并、等增益合并或最大比值相加等;将多组独立信号合并成总的接收信号。同时由于分集接收技术有多个光电检测器,相当于增大了接收器光接收的有效面积,故在信源的信噪比不变的情况下增大了接收信噪比,从而使到系统误码率更低、容错性更强。所述神经元合并模块是对所获得的多组数据进行合并优化构成总的输出信号。通过使用非线性的传递函数来实现输入输出的非线性映射关系。进而对受到干扰的信号进行滤波处理、对信道进行相移的估计与补偿等以实现均衡处理。由于码间干扰的影响,导致可见光通信系统的误码率提升,为此,通过运用分集接收技术来减弱码间干扰对系统的影响,并使用人工神经网络来对分集接收所获得的数据进行合并以及优化以降低系统的误码率。该接收系统可以有效地降低码间干扰对系统的影响,提高接收信号的信噪比,降低系统的误码率。在不增加器件带宽前提下,成倍提高无线通信的质量与数据传输速率;具有广阔的应用前景。

[0028] 与现有技术相比,本发明具有以下优点和有益效果:

[0029] 1、本发明基于简单的基带调制技术,比起传统的使用正交分频复用调制、离散多音调制技术等,大大简化了系统的复杂程度,且可以不增加LED器件带宽的前提下,成倍地提高了无线通信的质量及信道的容量。

[0030] 2、本发明运用了人工神经网络对分集接收技术所获得的多组数据进行合并优

化,在实现了消除码间干扰的影响的同时,降低了误码率,起到了后均衡的作用。

### 附图说明

[0031] 图1为本发明实现基于神经网络的可见光通信接收系统的示意图。

[0032] 图2为本发明LED驱动电路的示意图。

[0033] 图3为本发明MLP神经网络示意图。

[0034] 图4为本发明使用BP训练算法的示意图。

[0035] 图5为本发明神经元合并模块的工作示意图。

### 具体实施方式

[0036] 下面结合实施例及附图,对本发明作进一步地详细说明,但本发明的实施方式不限于此。

[0037] 实施例

[0038] 如图1所示,一种基于神经网络的可见光通信系统。包括:发射子系统、传输子系统、接收子系统。所述的发射子系统,摄影机接收实时视频信号通过第一可编程门阵列传输到第一液晶显示器;所述第一液晶显示器显示出原始视频信号;所述第一可编程门阵列对所述实时视频信号进行调制和相应视频信号处理技术后,传输到LED驱动电路中;所述LED驱动电路驱动LED灯具发射可见光信号。如图2所示,为LED驱动电路的示意图,通过Bias Tee结构的电容与电感T型结合,实现直流信号与交流信号的耦合从而保证了信号在LED中不会丢失。

[0039] 进一步地,光信号通过传输子系统到达接收子系统;所述传输子系统在本实施方式中为4条不同的信道。所述光信号分别经4个光电检测器转换为电信号,形式4路数据流;所述的4路数据流由放大电路与滤波电路进行滤波放大处理,再由ADC模数转换器对电信号进行量化转换为数字信号。然后通过神经元合并模块对4路数据流进行合并处理获得最终数据流。

[0040] 进一步地,所述神经元合并模块使用三层的MLP神经网络,并使用BP算法对神经网络进行学习训练。如图3所示,为三层MLP神经网络的结构示意图;如图4所示,为BP训练算法。对于第*i*个神经元的输出状态 $Y_i$ 为:

$$[0041] \quad Y_i = f\left(\sum_{j=1}^n \omega_{ij} V_j - Q_i\right)$$

[0042] 式中, $\omega_{ij}$ 是第*i*个神经元与第*j*个神经元的连接加权取值; $V_j$ 是第*j*个神经元的输出; $Q_i$ 是第*i*个神经元的阈值; $f$ 为激活函数。

[0043] 训练时把一组输入值和与之相匹配的期望值给予所述的神经网络,按这组训练数据来调整连接加权值。通过所述的期望值与正向传播的输出值对比可得到误差信号。

$$[0044] \quad E(x) = [y(x) - F(x)]^2,$$

[0045] 其中, $x$ 和 $y(x)$ 分别代表输入信号以及与之相对应的实际输出信号; $F(x)$ 为期望输出信号。利用梯度下降法进行误差反向传播和权值校正,通过反复学习使所述的误差信号达到或低于设定值。

$$[0046] \quad \omega_{ij}(n+1) = \omega_{ij}(n) - \gamma \frac{\partial E(x)}{\partial \omega_{ij}(n)},$$

[0047] 其中， $\omega_{ij}$ 代表连接加权值， $\gamma$ 表示学习速率。通过上述方程的训练可以使所述的连接加权值调整到使神经网络的实际输出与所述的期望输出间的均方误差最小。经过BP算法训练后，对于任意输入值，神经元均衡器均能给出相对较为合适的输出。进而实现了对信道的均衡处理。如图5所示，训练后的神经网络将n路数据合并为一路数据流，并在神经元的输出端设置一个阈值为0.5以产生二进制代码。其中，在本实例中， $n=4$ 。

[0048] 所述最终数据流再由第二可编程门阵列将信号转换为视频信号，再传到第二液晶显示器中。通过第一液晶显示器与第二液晶显示器中信号比较，可测试出系统的误码率，用于验证系统的操作。

[0049] 上述实施例仅为本发明的一种实施方式，但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制，其他任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化均应为等效的置换方式，都包含在本发明的保护范围之内。



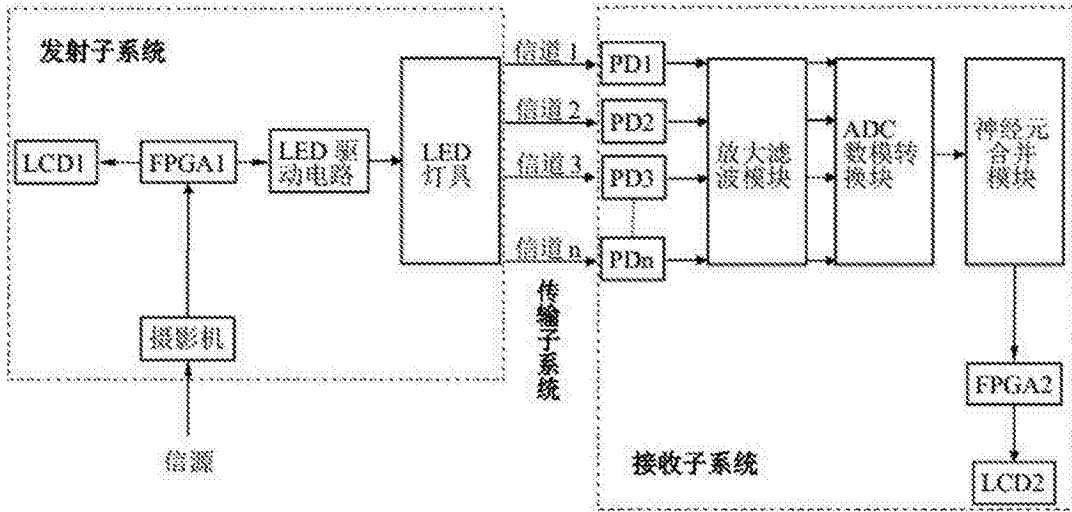


图1

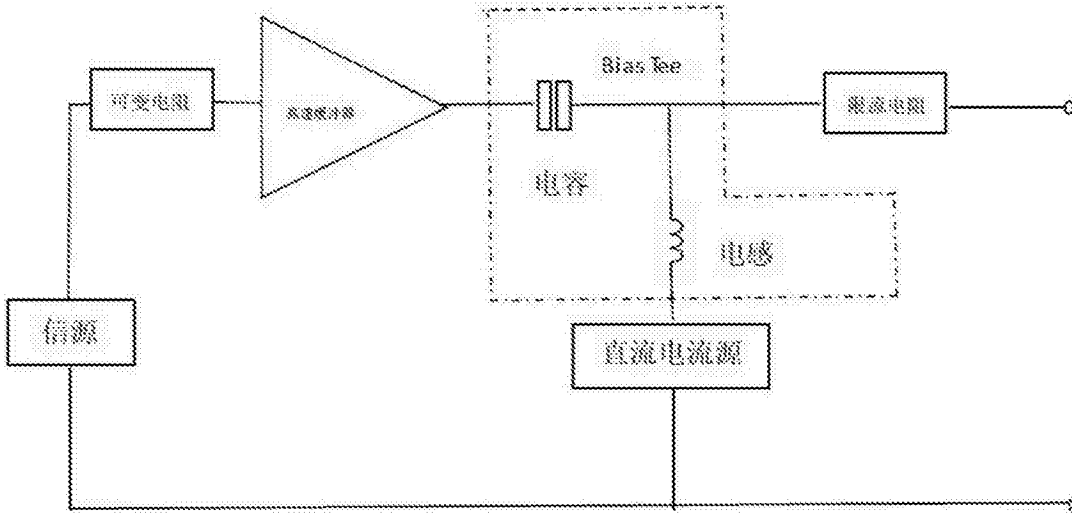


图2

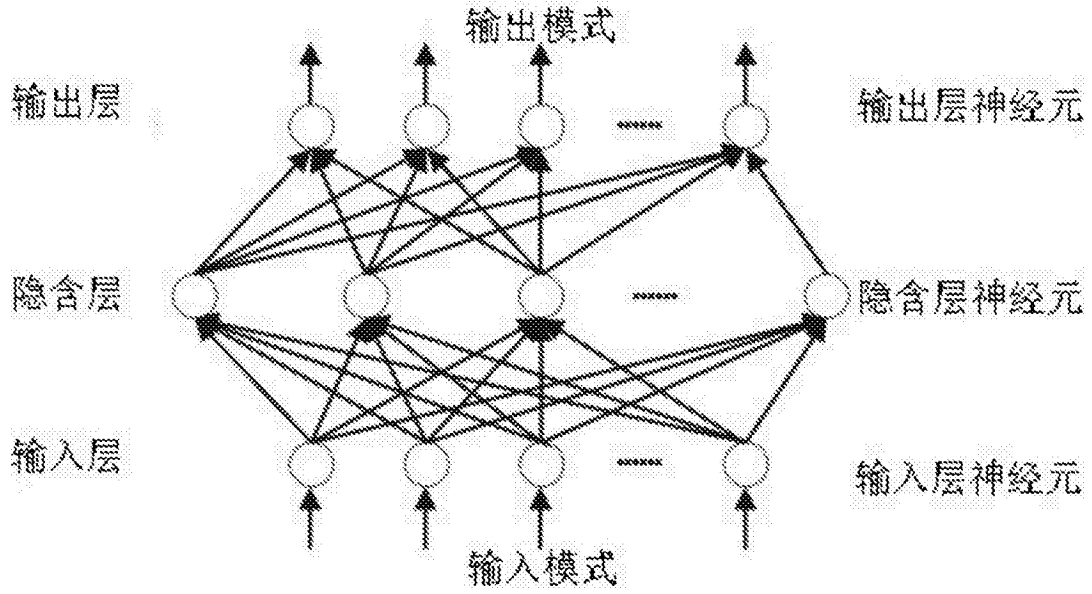


图3

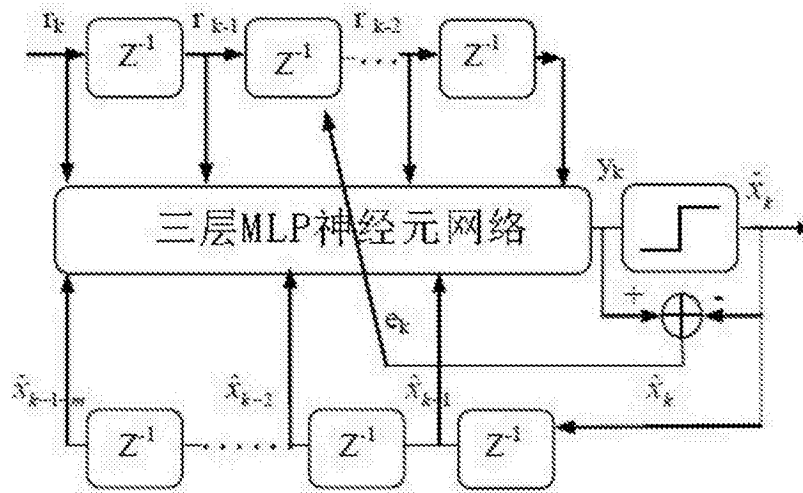


图4

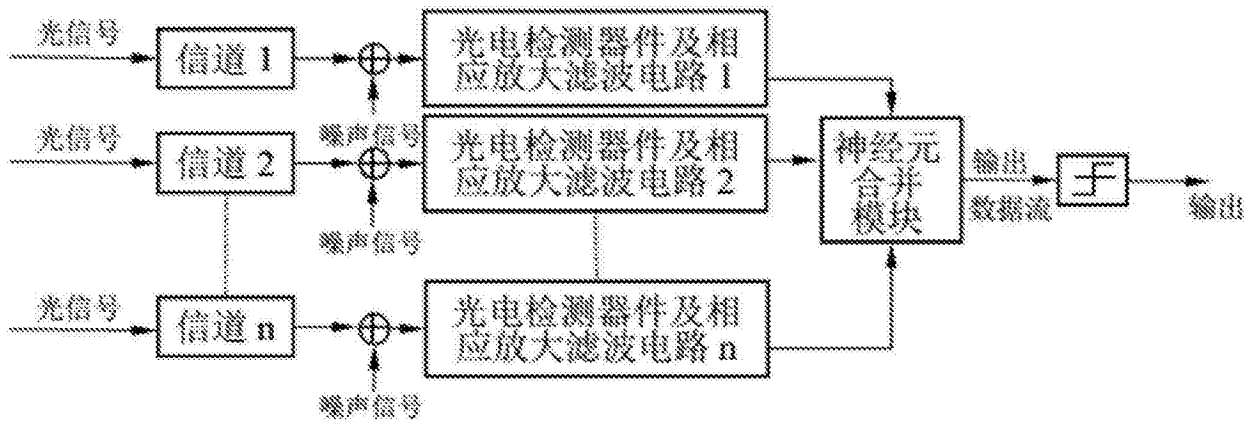


图5