

磁光盘数据信道不对称性对其噪声抑制能力的影响

曹丹华 吴裕斌 阮玉

(华中理工大学光电子工程系, 武汉 430074)

提要 针对磁光数据存储系统, 研究了差分读出信道的结构不对称性对其噪声性能的影响。研究中发现, 差分信道抑制共模噪声的能力取决于信道参数的匹配程度。另外还发现, 信道结构不对称将导致信道在读取数据“1”和数据“0”时, 信道的噪声强度不同。

关键词 磁光存储, 数据信道, 不对称, 噪声, 检偏方式

1 引言

在磁光数据存储系统中, 通常采用差分检偏方式检读磁光信号。由差分读出系统得到的信号幅值是非差分系统的两倍, 差分系统对诸如由读、写光功率波动, 或盘片反射率变化所产生的共模噪声具有一定的抑制能力。这样, 差分检偏方式因能够有效改善数据信道的信噪比性能而受到人们的青睐。然而, 差分检偏方式提高信道性能是以使用双倍的探测器为代价的。实际中, 两探测器的性能(如量子效应)存在差异是必然的, 这就使得差分信道不可避免地存在结构不对称性。除此之外, 差分信道的不对称性还表现为探测器负载电阻参数的不匹配。

目前, 尚未见有关这一问题的研究报告。本文旨在研究信道结构不对称性对信道噪声性能及噪声抑制能力的影响, 从中寻找消除信道不对称性影响的方法和途径。

2 磁光数据信道及信号检偏方式^[1,2]

磁光信号差分读出系统如图1所示, 图中从磁光盘, 经反射镜、偏振分束镜 PBS_1 、半波片、相位补偿器、偏振分束镜 PBS_2 到探测器 $PD_1(PD_2)$ 构成了磁光数据读出信道。其中 PBS_1 对 P 波和 S 波的振幅反射率分别为 ρ 和 1, PBS_2 对入射偏振光的透反比为 1:1。这里 PBS_2 的作用等效于由一个分束镜和两个检偏方向相互垂直的检偏器构成的检偏系统。

该类读出系统采用的检偏方式参见图2, 图中 p, s 分别代表 P 波、 S 波的偏振方向, 入射光场 E_i 的偏振方向为 P 偏振。 $E_0(+M)$ 、 $E_0(-M)$ 为盘面磁化为 $+M$ 、 $-M$ 时的反射光场。 A_1 、 A_2 依次代表检偏系统的两个相互垂直的透光方向。在方式1中, A_1 与 P 偏振的夹角为 φ ; 方式2中, 该夹角为 γ 。对应于方式1, 盘面记“0”(磁化方向为 $-M$)、“1”(磁化方向为 $+M$) 时, 读出信号幅值相等, 但极性相反; 对应于方式2, 盘面记“0”时读出信号为零。

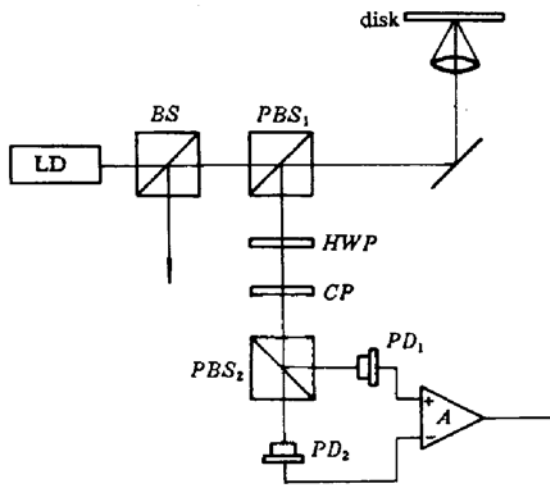


Fig. 1 A magneto-optical storage system with the differential detection method

LD: laser diode; BS: beam splitter; PBS: polarized beam splitter; HWP: Half wave plate; CP: compensation plate; PD: photodetector

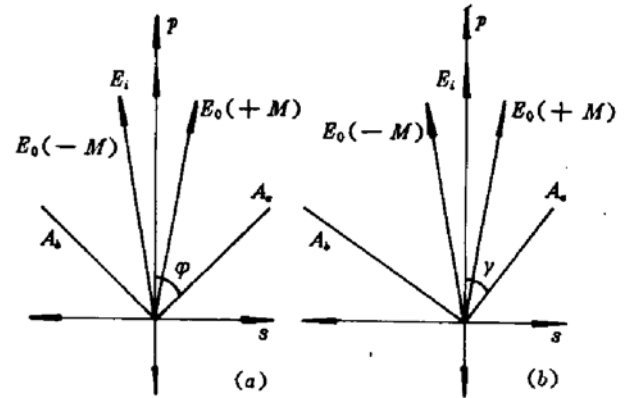


Fig. 2 Detection schemes for the magneto-optical storage system

(a) balanced differential detection;
(b) unbalanced differential detection

3 数据信道噪声特性

3.1 平衡差分信道(信道 1)

参见图 2 (a), 将 $E_o(\pm M)$ 作如下分解

$$E_o(\pm M) = E_{op}(\pm M)p + E_{os}(\pm M)s$$

且 $E_{op}(\pm M) = \rho E_o \cos \theta_k$, $E_{os}(\pm M) = \pm E_o \sin \theta_k$

其中, E_o 为反射光场振幅, θ_k 为磁光盘克尔角. $E_o(\pm M)$ 在 A_s, A_p 上的投影为

$$E_s(\pm M) = E_{op}(\pm M) \cdot \cos \varphi + E_{os}(\pm M) \cdot \sin \varphi$$

$$E_p(\pm M) = E_{op}(\pm M) \cdot \sin \varphi - E_{os}(\pm M) \cdot \cos \varphi$$

在差分信道中, 读出信号功率 $P_s(\pm M)$ 为

$$P_s(\pm M) = P_{s1}(\pm M) - P_{s2}(\pm M)$$

其中, $P_{s1}(\pm M), P_{s2}(\pm M)$ 分别为相应磁化方向下, 入射到探测器 PD_1, PD_2 表面的光功率。

若盘面入射光功率为 P_i , 盘片反射率、克尔角分别为 R 和 θ_k , 并考虑到 $\varphi = 45^\circ, \theta_k \ll 1, \rho^2 \gg \theta_k^2$, 可导出

$$P_{s1}(\pm M) \approx 0.5P_i R \rho^2 \pm P_i R \rho \theta_k \quad (1)$$

$$P_{s2}(\pm M) \approx 0.5P_i R \rho^2 \mp P_i R \rho \theta_k \quad (2)$$

$$P_s(\pm M) \approx \pm 2P_i R \rho \theta_k \quad (3)$$

设探测器 PD_1, PD_2 的量子效率和负载电阻分别为 η_1, η_2, r_1 和 r_2 , 放大器电压增益为 K_v , 可得读出信号电平 $V_s(\pm M)$ 为

$$\begin{aligned} V_s(\pm M) &= K_v [\eta_1 r_1 P_{s1}(\pm M) - \eta_2 r_2 P_{s2}(\pm M)] \\ &= K_v \eta_1 r_1 [0.5P_i R \rho^2 (1 - \varepsilon_\eta \varepsilon_r) \pm P_i R \rho \theta_k (1 + \varepsilon_\eta \varepsilon_r)] \end{aligned} \quad (4)$$

式中, $\varepsilon_\eta, \varepsilon_r$ 分别为参数 η 和 r 的匹配度, 定义如下

$$\varepsilon_\eta = \eta_2 / \eta_1, \quad \varepsilon_r = r_2 / r_1$$

令共模激励 COM 为

$$\text{COM} = 0.5P_i R \rho^2 (1 - \varepsilon_\eta \varepsilon_r)$$

可见当共模激励项 COM 变化时,即激光器功率波动或盘片反射率变化时,能否保证读出信号电平稳定,取决于参数 η, r 的对称性。 $\varepsilon_r, \varepsilon_e$ 越接近于 1, 信道抑制噪声的能力越强。同时还可看到:提高参数 r 的匹配度与提高 η 的对称性同等重要,在实际系统中单纯追求某一参数高匹配度对改善信道性能作用不大。

另外信道噪声(放大器输入端的等效噪声)可表示为

$$V_{\text{in}}^2 = \sum_{i=1}^2 i_i^2(P_{i1}) \cdot r_i^2 + \sum_{i=1}^2 V_{\text{in}}^2(T) = \sum_{i=1}^2 2e\eta_i P_{i1} \Delta f \cdot r_i^2 + \sum_{i=1}^2 4kT r_i \Delta f \quad (5)$$

其中 $i = 1, 2$, e 为电子电荷, Δf 为系统带宽, T 为绝对温度。将(1)、(2)式代入上式导出读取数据“1”和“0”时,信道噪声分别为

$$V_{\text{in}}^2(\pm M) = 2e\eta_1 [0.5P_i R \rho^2 \cdot (1 + \varepsilon_r \varepsilon_e^2) \pm P_i R \rho \theta_k \cdot (1 - \varepsilon_r \varepsilon_e^2)] \Delta f \cdot r_i^2 + 4kT(\tau_1 + \tau_2) \Delta f \quad (6)$$

且有

$$\Delta V_{\text{in}}^2 = V_{\text{in}}^2(+M) - V_{\text{in}}^2(-M) = 4e\eta_1 P_i R \rho \theta_k (1 - \varepsilon_r \varepsilon_e^2) \Delta f \cdot r_i^2 \quad (7)$$

分析(6)、(7)式可以看到,信道在读出数据“1”和“0”时,信道的噪声强度不同,即信道噪声特性也存在不对称性,该不对称性同样与参数 $\varepsilon_r, \varepsilon_e$ 的对称性有关。不同的是,负载电阻匹配度 ε_r 以平方形式影响噪声特性的对称性。另外,信道读出数据“1”和“0”时的噪声强度取决于信道结构,如 $\varepsilon_r \varepsilon_e^2 < 1$, 读出数据“1”时,信道噪声略大;反之读出数据“0”时,噪声略大。

由于磁光盘系统采用的是(2-7)RLL编码,因此数据流中“0”出现的概率高于“1”出现的概率。上述结论表明,在设计读出系统时通过合理选择 $\varepsilon_r, \varepsilon_e$ 可降低读取数据“0”时的噪声,达到减少系统误码的目的。

3.2 非平衡差分信道(信道 2)

参见图 2(b),同理可导出

$$P_{r1}(\pm M) \approx P_i R (\rho^2 \cos^2 \gamma \pm \rho \theta_k \sin 2\gamma) \quad (8)$$

$$P_{r2}(\pm M) \approx P_i R (\rho^2 \sin^2 \gamma \mp \rho \theta_k \sin 2\gamma) \quad (9)$$

$$P_s(\pm M) \approx P_i R [\rho^2 (\cos^2 \gamma - \sin^2 \gamma) \pm 2\rho \theta_k \sin 2\gamma] \quad (10)$$

同理在信道 c 中存在

$$V_s(\pm M) = K_r \eta_1 r_1 [P_i R \rho^2 \cos^2 \gamma (1 - \varepsilon_r \varepsilon_e \tan^2 \gamma) \pm P_i R \rho \theta_k \sin 2\gamma (1 + \varepsilon_r \varepsilon_e)] \quad (11)$$

令信道 2 中共模激励 COM 为

$$\text{COM} = P_i R \rho^2 \cos^2 \gamma (1 - \varepsilon_r \varepsilon_e \tan^2 \gamma) \quad (12)$$

可以看到,信道 2 抑制激光器功率波动和盘片反射率变化的能力不仅与 $\varepsilon_r, \varepsilon_e$ 有关,还依赖于检偏角 γ 。因实际系统中 $\gamma < 45^\circ$, 这样在信道 2 中 ε_r 或 ε_e 略大于 1 反而有利于改善信道性能,这一点与信道 1 有所不同。

同样,全盘记“1”和“0”时信道中的噪声分别为

$$V_{\text{in}}^2(\pm M) = 2e\eta_1 [P_i R \rho^2 \cos^2 \gamma (1 + \varepsilon_r \varepsilon_e^2 \tan^2 \gamma) \pm P_i R \rho \theta_k \sin 2\gamma (1 - \varepsilon_r \varepsilon_e^2)] \cdot \Delta f \cdot r_i^2 + 4kT(\tau_1 + \tau_2) \Delta f \quad (13)$$

且有

$$\Delta V_{\text{in}}^2 = 4e\eta_1 P_i R \rho \theta_k \sin 2\gamma (1 - \varepsilon_r \varepsilon_e^2) \cdot \Delta f \cdot r_i^2 \quad (14)$$

比较(14)式与(7)式看到,信道 2 读取数据“1”和“0”时,信道噪声强度仍然存在差异,但该差异小于信道 1。与信道 1 一样,信道读出数据“1”和“0”时的噪声强度取决于信道结构, $\varepsilon_r \varepsilon_e^2 < 1$, 读取数据“1”时,信道噪声略大。反之,读取数据“0”时,信道噪声略大。

4 结 论

本文针对平衡差分信道和非平衡差分信道,研究了信道结构不对称性与其噪声性能之间的关系。研究中发现:差分信道抑制共模噪声的能力与参数 η 、 r 的对称性有关。对于信道 1, $\varepsilon_r \varepsilon_t$ 越接近于 1 越好;对于信道 2, $\varepsilon_r \varepsilon_t$ 略大于 1 较好。另外,差分信道只有在理想状态下 ($\varepsilon_r \varepsilon_t^2 = 1$),读取数据“1”和“0”时,信道噪声强度才相同。实际信道的噪声特性不对称性与 $\varepsilon_r \varepsilon_t^2$ 有关,且信道 1 的不对称性略高于信道 2。

综上所述,设计磁光读出系统时,提高 r 的匹配度与提高 η 的匹配度同等重要。另外通过合理选取 ε_r 、 ε_t 值可使信道读取数据“0”时的噪声较小,从而减小系统误码。

参 考 文 献

- 1 M. Mansuriper, G. A. N. Connel. Signal and noise in magneto-optical readout. *J. Appl. Phys.*, 1982, **53**(6): 4485~4494
- 2 D. Treves, D. S. Bloomberg. Signal, noise, and codes in optical memories. *Opt. Eng.*, 1986, **25**(7): 881~891

The Effects of the Unsymmetry of Data Channels on the Restraint of Noises in Magneto-optical Storage Systems

Cao Danhua Wu Yubin Ruan Yu

(Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

Abstract An analysis is done of the effects of the unsymmetrical structure in differential data channels on noise characteristics for magneto-optical data storage systems. It is found that the capability of differential channels to eliminate common-mode noise is dependent on the match degree of channel parameters. It is also found that the unsymmetrical structure in channels results in the different noise intensities, when the data of “1” and “0” read out.

Key words magneto-optical storage, data channel, unsymmetry, noise, detection method