

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G11B 20/10 (2006.01)

G11B 20/18 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02126510.0

[45] 授权公告日 2007 年 3 月 21 日

[11] 授权公告号 CN 1306514C

[22] 申请日 2002.7.19 [21] 申请号 02126510.0

[30] 优先权

[32] 2001. 7. 19 [33] JP [31] 2001 - 219372

[32] 2001. 8. 22 [33] JP [31] 2001 - 251138

[73] 专利权人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 中嶋健 宫下晴旬 石桥广通

古宫成

[56] 参考文献

US5, 465, 241A 1995. 11. 7

US5, 363, 412A 1994. 11. 8

US5, 938, 791A 1999. 8. 17

审查员 徐佳颖

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 汪惠民

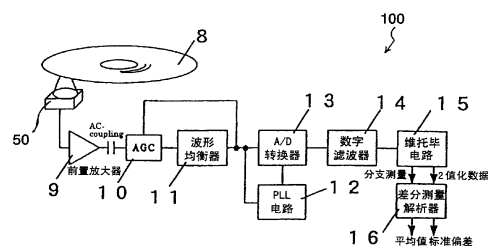
权利要求书 4 页 说明书 40 页 附图 18 页

[54] 发明名称

再现信号质量的评价方法和信息再现装置

[57] 摘要

一种再现信号质量评价方法，在时刻  $k$  ( $k$  为任意整数) 具有多个状态，具有从时刻  $k-j$  ( $j$  为 2 以上的整数) 的状态至时刻  $k$  的状态，能取得  $n$  ( $n$  为 2 以上的整数) 种状态转变列的状态转变规则，在推断  $n$  种状态转变列中似乎最可靠的状态列的最佳译码方式中，如果把从  $n$  种状态转变列中似乎最可靠的状态转变列的时刻  $k-j$  的状态转变到时刻  $k$  的状态的状态转变的可靠性设为  $P_a$ ，把从似乎第二可靠的状态转变列的时刻  $k-j$  的状态转变到时刻  $k$  的状态的状态转变的可靠性设定为  $P_b$ ，从时刻  $k-j$  到时刻  $k$  的译码结果的可靠性为  $|P_a - P_b|$ ，则通过求出给定时间或给定次数、 $|P_a - P_b|$  的值，并求出其偏移，就能得到与最佳译码的 2 值化结果的错误率相关的表示信号质量的指标。



1. 一种再现信号质量评价方法，是通过从时刻  $k-j$  的记录符号的第一状态  $S_{k-j}$  转变到时刻  $k$  的记录符号的第二状态  $S_k$  的  $n$  种状态转变列中选择最可靠的状态转变列的最佳译码方式，来进行再现信号的译码时的所述被译码的信号的质量评价方法，其中  $k$  为 3 以上的整数， $j$  为 2 以上的整数， $n$  为 2 以上的整数，其特征在于：

所述被译码的信号的质量评价方法，包括：

10 对从所述时刻  $k-j$  到时刻  $k$  的给定期间  $j$  的所述  $n$  种状态转变列进行检测的过程；

基于所述  $n$  种状态列中与实际的采样值的距离最近的第一状态转变列与所述实际的采样值的距离，对表示所述给定的期间  $j$  中的所述第一状态转移列的可靠性的指标  $P_a$  进行计算的过程；

15 基于所述  $n$  种状态列中与实际的采样值的距离第二接近的第二状态转变列与所述实际的采样值的距离，对表示所述给定的期间  $j$  中的所述第二状态转移列的可靠性的指标  $P_b$  进行计算的过程；

根据  $|P_a - P_b|$  的值，判断从所述时刻  $k-j$  到时刻  $k$  的译码结果的可靠性的过程。

20 2. 根据权利要求 1 所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：

根据所述给定期间  $j$  的所述第一状态转变列表示的期望值和实际采样值的差来规定所述  $P_a$ ，根据所述给定期间  $j$  的所述第二状态转变列表示的期望值和所述实际采样值的差来规定所述  $P_b$ 。

3. 根据权利要求 2 所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：

25 所述  $P_a$  与从所述给定期间  $j$  中所述第一状态转变列表示的时刻  $k-j+1$  到时刻  $k$  的期望值  $l_{k-j+1}, \dots, l_{k-1}, l_k$  和所述实际采样值  $y_{k-j+1}, \dots, y_{k-1}, y_k$  的差的平方的累积值对应；所述  $P_b$  与从所述第二状态转变列表示的时刻  $k-j+1$  到时刻  $k$  的期望值  $m_{k-j+1}, \dots, m_{k-1}, m_k$  和所述实际采样值  $y_{k-j+1}, \dots, y_{k-1}, y_k$  的差的平方的累积值对应。

30 4. 根据权利要求 1 所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：

n=2。

5. 根据权利要求1所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：  
所述第一状态转变列和所述第二状态转变列的欧几里德距离具有最小值。

5 6. 根据权利要求1所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：  
还包括通过多次测定所述  $|Pa-Pb|$ ，来判断所述译码结果的可靠性的偏移的过程。

7. 根据权利要求6所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：  
使用所述  $|Pa-Pb|$  的分布的标准偏差来表示所述可靠性的偏移。

10 8. 根据权利要求6所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：  
使用所述  $|Pa-Pb|$  的标准偏差和所述  $|Pa-Pb|$  的分布的平均值来表示所述可靠性的偏移。

9. 根据权利要求6所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：  
通过检测所述  $|Pa-Pb|$  超过给定值的频度，来判断所述译码结果的可靠性的偏移。

10. 根据权利要求1所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：  
记录符号的最小极性颠倒间隔为2，并且对被 PR (C0, C1, C0) 均值化的再现信号进行译码。

11. 根据权利要求1所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：  
20 记录符号的最小极性颠倒间隔为2，并且对被 PR (C0, C1, C1, C0) 均值化的再现信号进行译码。

12. 根据权利要求1所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：  
记录符号的最小极性颠倒间隔为2，并且对被 PR (C0, C1, C2, C1, C0) 均值化的再现信号进行译码。

13. 根据权利要求2或3所述的再现信号质量评价方法，其特征在于：

当计算所述  $|Pa-Pb|$  时，不进行所述实际采样值的平方的计算。

14. 一种信息再现装置，其特征在于：  
包括：

30 调整再现信号的振幅值的增益控制器；

对所述再现信号进行波形整形，使其呈给定的均衡特性的波形均衡器；

生成与所述再现信号取得了同步的再现时钟的再现时钟生成部；

通过用所述再现时钟对所述再现信号进行采样，来生成采样数据，

5 并输出所述采样数据的 A/D 转换器；

数字滤波器，其对所述采样数据的频率特性进行调整，以使得成为所述规定的均衡特性；

分支测量运算部，其对分支测量进行计算，所述分支测量是根据以最正确译码为前提的特性所决定的再生信号所取得的期望值与通过所述数字滤波器的样本数据的差的平方；

加法/比较/选择部，其对所述分支测量与从寄存器输出的表示到现在为止的可靠性的过去的分支测量的累积和进行给定的加法运算，选择更可靠的状态，并对分支测量的累积和进行更新，并输出更可靠的状态转变的选择结果以及更新后的分支测量的累积和；

15 寄存器，其对所述更新后的分支测量的累积和进行保持，并作为过去的分支测量的累积和而输出到所述加法/比较/选择部；

路径存储器，其基于从所述加法/比较/选择部输出的更为可靠的状态转变的选择结果，确定与由最正确译码所确定的状态转变规则相对应的最可靠的状态转变列；

20 状态转变检测部，其使用从所述路径存储器输出的最可靠的状态转变列，对用于信号质量评价的给定的状态转移进行检测；

延迟部，其在所述状态转变检测部检测出规定的状态转变时，与所述加法/比较/选择部和所述路径存储器的处理时间相一致地，使所述分支测量运算部的输出延迟；

25 差分测量运算器，其根据所述状态转变检测部所检测出的给定的状态转变和所述延迟部输出的分支测量，对表示由所述路径存储器所确定的状态转变列的可靠性进行计算；

平均值标准偏差运算部，其根据从所述差分运算器输出的差分测量的平均值和标准偏差进行计算。

30 15. 根据权利要求 14 所述的信息再现装置，其特征在于：

---

还具有，受理从所述增益控制器输出的再现信号，并对所述再现信号的波形进行整形，使之呈现与所述波形均衡器不同的给定均衡特性的追加的波形均衡器；

5 所述再现时钟生成回路，从通过所述追加的波形均衡器进行了波形整形的再现信号，生成所述再现时钟。

## 再现信号质量的评价方法和信息再现装置

5

## 技术领域

本发明涉及一种在通过最佳译码方式对记录在记录媒体中的数字信息进行译码时，能评价被译码的信号的质的方法和进行这种评价的信息再现装置。

10

## 背景技术

近年来，在 AV 仪器和个人计算机等中，HDD（硬盘驱动器）、光盘驱动器或光磁盘驱动器等能再现记录媒体中记录的数字信息的装置被广泛应用。

15

图 1 表示了以往光盘驱动器 900 的部分结构。来自光盘 1 的反射光由光学头 2 变换为再现信号。再现信号由波形均衡器进行了波形整形后，在比较器 4 被 2 值化。比较器 4 的阈值电压通常被反馈控制，使从比较器 4 输出的 2 值化信号的积分结果变为 0。

20

在光盘驱动器 900 中，通过 PLL（phase locked loop）电路生成了与再现信号同步的时钟信号（再现时钟信号）。为了生成再现时钟信号，相位比较器 5 检测从比较器 4 输出的 2 值化信号和从 VCO（电压控制振荡器）7 输出的时钟信号的相位误差。通过 LPF（低通滤波器）6 对所检测的相位误差进行平均化处理，根据来自该 LPF6 的输出设置 VCO7 的控制电压。这样一来，就能反馈控制 VCO7 的控制电压（VCO7 的振荡频率），使从相位比较器 5 输出的相位误差总是变为 0。由此，就能通过 VCO7，输出与再现信号同步的时钟信号。如果使用这样的 PLL 电路，例如即使在光盘具有偏心时，也能稳定地抽出与再现信号同步的时钟信号。

25

再现时钟信号被用于判断记录符号（数字信息）是 1 还是 0。更更具体地说，通过检测在由再现时钟信号规定的窗宽度内，是否存在比较

30

器 4 的检测脉冲（即超过从比较器 4 输出的 2 值化信号的阈值的信号部分），能再现数字信息。

但是，由于再现信号的符号间干涉和记录标记的变形或电路噪声和 PLL 电路的控制残差，从比较器 4 输出的检测脉冲偏离了窗宽度，由此，  
5 有时会发生错误。这样的比较器 4 的检测脉冲和再现时钟间的时间偏差被称作“偏差”。

当按以上所述的那样来再现数字信息时，通过求出偏差（波动）的分布，就能检测出再现信号质量（错误率）。该偏差的分布能假定为平均值为 0 的正态分布，此时，错误率  $P_j$  ( $\sigma/T_w$ ) 使用偏差分布的标准  
10 偏差  $\sigma$ ，用以下所述的表达式 (1) 和 (2) 来表示。

【表达式 1】

$$P_j(\sigma/T_w) = 2\text{erfc}\left(\frac{T_w/2}{\sigma}\right) \quad \dots (1)$$

【表达式 2】

$$\text{erfc}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^{\infty} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad \dots (2)$$

在此， $\sigma$  是假定为正态分布的偏差（波动）的分布的标准偏差， $T_w$  是窗宽度。

15 从图 2 所示的曲线图可知，伴随着偏差的标准偏差的增加，错误率（位错误率 BER）增加。再现信号的偏差能用 TIA（时间间隔分析器）实际测定。因此，即使现实地不发生错误时，也能用偏差的标准偏差  $\sigma/T_w$  评价信号的质量，由此，能预测发生错误的容易程度。这样，如果测定了偏差的标准偏差，就能确认和检查光学头的性能。另外，通过调节均衡器的参数等，使偏差的标准偏差下降，能进行更稳定的再现动作。  
20

另一方面，众所周知，如以上所述那样，有一种与从比较器 4 输出的 2 值化信号来直接再现数字信息的方法不同的、通过最佳译码方式来再现数字信息的方法。作为该最佳译码方式，众所周知的例如有 PRML

(Partial Response Maximum Likelihood) 方式。在 PRML 方式中，在考虑到了当记录密度高时会产生符号间干涉的基础上，进行数据的记录和再现。更更具体地说，在使用波形均衡器和数字滤波器等对从记录媒体再现的信号进行部分响应均衡化，使之具有给定的频率特性之后，使用  
5 维托毕 (Viterbi) 译码等，译码为最佳的 (最可靠) 2 值化数据。在 PRML 方式中，即使从 S/N (信噪比) 低的再现信号和符号间干涉的影响比较大的再现信号中，也能对错误率较低的数据进行译码。

在这样的最佳译码方式中，根据再现信号，通过选择似乎最可靠的状态转变列，进行了译码。一般，用表达式 (3) 定义了到时刻 k 的状态  
10  $S_n$  (n 为状态数) 的状态转变的可靠性。

【表达式 3】

$$L^{S_n} = \sum_{i=0}^k (y_i - level_v)^2 \quad \dots (3)$$

在此， $y_i$  是时刻 i 的再现信号 (数字采样数据) 的值， $level_v$  是所期望的理想的再现信号的值。

在最佳译码电路中，选择了用所述表达式 (3) 求出的表示可靠程度的量为最小的状态转变列。当使用最佳译码方式时，与在以上所述时刻 k，以检测脉冲是否进入了窗宽度判别“1”和“0”的方法不同，在  
15 每个时刻 k，使用用再现时钟采样的数据  $y_k$ ，求出欧几里德距离  $(y_k - level_v)^2$ ，根据该欧几里德距离进行译码。因此，用最佳译码方式的译码结果也被过去采样的再现信号的采样值  $y_k$  所影响。

当使用这样的最佳译码方式时，即使是偏差 (波动) 的标准偏差  $\sigma$   
20 值相同的再现信号，也有发生错误的时候和不发生错误的时候。因此，使用再现信号的偏差 (波动) 的标准偏差  $\sigma$ ，很难预测通过最佳译码得到的 2 值化结果的错误率。因此，有必要使用比最佳译码方式更适合的错误率预测方法 (信号质量的评价方法)。

例如在特开平 10-21651 号公报中公开了评价用最佳译码方式再现  
25 的信号的的质量的方法。在该公报所述的装置中，求出欧几里德距离变为最小的两个路径 (状态转变列) 的似然的差，并通过统计处理该差来评



价信号质量。

更更具体地说，在时刻  $k$ ，为了求出取得同一状态的两个路径的似然的差，使用了在时刻  $k-1$  不同的两个状态（各路径中的在时刻  $k-1$  的状态）的分别已经被判断为最佳的路径（剩下的路径）的分支测量的累积值。但是，当使用在时刻  $k-1$  的分支测量的累积值时，作为时刻  $k-1$  以前的路径，当错误地选择了与实际想调查似然的路径不同的路径时，就有可能使用了不是所希望的分支测量的累积值。在所述公报中，虽然记载着选择欧几里德距离变为最小的两个路径，求出它们的似然的差，但是并没有特别记载用于更准确地进行关于这两个路径的实际想求出的似然的计算的方法。

### 发明内容

鉴于以上所述问题的存在，本发明的目的在于：提供一种使用了与基于最佳译码的 2 值化结果的错误率相关的指标的再现信号质量的评价方法和评价装置。

本发明的再现信号质量的评价方法是通过从时刻  $k-j$  ( $k$  为 3 以上的整数、 $j$  为 2 以上的整数) 的第一状态  $S_{k-j}$  转变到时刻  $k$  的第二状态  $S_k$  的  $n$  ( $n$  为 2 以上的整数) 种状态转变列中选择最可靠的状态转变列的最佳译码方式，来进行再现信号的译码时的所述被译码的信号的质量评价方法，包括：

检测规定从所述时刻  $k-j$  到时刻  $k$  的给定期间  $j$  的所述  $n$  种状态转变列的所述第一状态  $S_{k-j}$  和所述第二状态  $S_k$  的给定组合的过程；

当把表示由所述检测的所述给定的组合来规定的所述  $n$  种状态转变列中最可靠的第一状态转变列的所述给定期间  $j$  的状态转变的可靠性的指标设为  $P_a$ ，把表示第二可靠的第二状态转变列的所述给定期间  $j$  的状态转变的可靠性的指标设为  $P_b$  时，使用  $|P_a - P_b|$  来判断从所述时刻  $k-j$  到时刻  $k$  的译码结果的可靠性的过程；

对从所述时刻  $k-j$  到时刻  $k$  的给定期间  $j$  的所述  $n$  种状态转变列进行检测的过程；

基于所述  $n$  种状态列中与实际的采样值的距离最近的第一状态转变列与所述实际的采样值的距离，对表示所述给定的期间  $j$  中的所述第

一状态转移列的可靠性的指标  $P_a$  进行计算的过程；

基于所述  $n$  种状态列中与实际的采样值的距离第二接近的第二状态转变列与所述的实际的采样值的距离，对表示所述给定的期间  $j$  中的所述第二状态转移列的可靠性的指标  $P_b$  进行计算的过程；

- 5 根据  $|P_a - P_b|$  的值，判断从所述时刻  $k-j$  到时刻  $k$  的译码结果的可靠性的过程。

在某一优选实施例中，根据所述给定期间  $j$  的所述第一状态转变列表示的期待值和实际采样值的差规定所述  $P_a$ ，根据所述给定期间  $j$  的所述第二状态转变列表示的期望值和所述实际采样值的差规定了所述  $P_b$ 。

- 10 在某一优选实施例中，所述  $P_a$  与所述给定期间  $j$  中所述第一状态转变列表示的时刻  $k-j+1$  到时刻  $k$  的期望值  $l_{k-j+1}, \dots, l_{k-1}, l_k$  和所述实际采样值  $y_{k-j+1}, \dots, y_{k-1}, y_k$  的差的平方的累积值对应，所述  $P_b$  与从所述第二状态转变列表示的时刻  $k-j+1$  到时刻  $k$  的期望值  $m_{k-j+1}, \dots, m_{k-1}, m_k$  和所述实际采样值  $y_{k-j+1}, \dots, y_{k-1}, y_k$  的差的平方的累积值对应。

- 15 在某一优选实施例中， $n=2$ 。

在某一优选实施例中，所述第一状态转变列和所述第二状态转变列的欧几里德距离具有最小值。

在某一优选实施例中，还具有通过多次测定所述  $|P_a - P_b|$ ，来判断所述译码结果的可靠性的偏移的过程。

- 20 在某一优选实施例中，使用所述  $|P_a - P_b|$  的分布的标准偏差表示了所述可靠性的偏移。

在某一优选实施例中，使用所述  $|P_a - P_b|$  的标准偏差和所述  $|P_a - P_b|$  的分布的平均值表示所述可靠性的偏移。

- 25 在某一优选实施例中，通过检测所述  $|P_a - P_b|$  超过给定的值的频度，来判断所述译码结果的可靠性的偏移。

在某一优选实施例中，其特征在于：记录符号的最小极性颠倒间隔为 2，并且对被 PR (C0, C1, C0) 均值化的再现信号进行译码。

在某一优选实施例中，其特征在于：记录符号的最小极性颠倒间隔为 2，并且对被 PR (C0, C1, C1, C0) 均值化的再现信号进行译码。

- 30 在某一优选实施例中，其特征在于：记录符号的最小极性颠倒间隔为 2，并且把被 PR (C0, C1, C2, C1, C0) 均值化的再现信号译码。

在某一优选实施例中，其特征在于：当计算所述  $|Pa-Pb|$  时，不进行所述实际采样值的平方的计算。

本发明的信息再现装置，包括：调整再现信号的振幅值的增益控制器；对所述再现信号进行波形整形，使其呈给定的均衡特性的波形均衡器；；生成与所述再现信号取得了同步的再现时钟的再现时钟生成部；  
5 通过用所述再现时钟对所述再现信号进行采样，生成采样数据，并输出所述采样数据的 A/D 转换器；从所述采样数据对最可靠的数字信息进行译码的最佳检测器；在所述最佳检测器中，当把表示判断为最可靠的第一状态转变列的在给定期间的状态转变的可靠性的指标设定为  $Pa$ ，把表示  
10 示似乎第二可靠的第二状态转变列的所述给定期间的状态转变的可靠性的指标设定为  $Pb$  时，计算出  $|Pa-Pb|$  的差分测量运算器。

数字滤波器，其对所述采样数据的频率特性进行调整，以使得成为所述规定的均衡特性；

分支测量运算部，其对分支测量进行计算，所述分支测量是根据以  
15 最正确译码为前提的特性所决定的再生信号所取得的期望值与通过所述数字滤波器的样本数据的差的平方；

加法/比较/选择部，其对所述分支测量与从寄存器输出的表示到现在为止的可靠性的过去的分支测量的累积和进行规定的加法运算，选择更可靠的状态，并对分支测量的累积和进行更新，并输出更可靠的状态  
20 转变的选择结果以及更新后的分支测量的累积和；

寄存器，其对所述更新后的分支测量的累积和进行保持，并作为过去的分支测量的累积和而输出到所述加法/比较/选择部；

路径存储器，其基于从所述加法/比较/选择部输出的更为可靠的状态转变的选择结果，确定与由最正确译码所确定的状态转变规则相对应的  
25 的最可靠的状态转变列；

状态转变检测部，其使用从所述路径存储器输出的最可靠的状态转变列，对用于信号质量评价的给定的状态转移进行检测；

延迟部，其在所述状态转变检测部检测出规定的状态转变时，与所述加法/比较/选择部和所述路径存储器的处理时间相一致地，使所述分  
30 支测量运算部的输出延迟；

差分测量运算器，其根据所述状态转变检测部所检测出的给定的状

态转变和所述延迟部输出的分支测量，对表示由所述路径存储器所确定的状态转变列的可靠性进行计算；

平均值标准偏差运算部，其根据从所述差分运算器输出的差分测量的平均值和标准偏差进行计算。在某一优选实施例中，还具有进行波形整形，使之变成与所述波形均衡器不同的给定的均衡特性的追加的波形均衡器；从通过所述追加的波形均衡器进行了波形整形的再现信号生成所述再现时钟。

### 附图说明

10 下面简要说明附图。

图 1 是以往的光盘驱动器的结构图。

图 2 是表示偏差和位错误率的关系的图。

图 3 是由本发明的实施例中使用的最小极性颠倒间隔为 2 和 PR (1, 2, 2, 1) 均衡化的制约决定的状态转变图。

15 图 4 是由本发明的实施例中使用的最小极性颠倒间隔为 2 和 PR (1, 2, 2, 1) 均衡化的制约决定的格构图。

图 5 是表示在本发明的实施例中使用的格构图中，能在状态  $S0_k$  和  $S0_{k-5}$  之间取得的两个状态转变列的图。

图 6 是表示译码结果的可靠性的 Pa-Pb 的分布的模式图。

20 图 7 是本发明的再现信号质量评价装置的结构图。

图 8 是本发明的再现信号质量评价装置的维托毕电路、差分测量解析器的详细结构图。

图 9 是本发明的再现信号质量评价装置的路径存储器的结构图。

图 10 是本发明的再现信号质量评价装置的第二结构图。

25 图 11 是本发明的再现信号质量评价装置的第三结构图。

图 12 是本发明的再现信号质量评价装置的第四结构图。

图 13 是本发明的实施例 2 的光盘装置的框图。

图 14 是本发明的实施例 3 的光盘装置的框图。

图 15 是本发明的实施例 4 的光盘装置的框图。

30 图 16 是表示指标 MLSA 和错误率 BER (Bit Error Rate) 的关系的曲线图。

图 17 是由本发明的实施例中使用的最小极性颠倒间隔为 2 和 PR (C0, C1, C0) 均衡化的制约决定的状态转变图。

图 18 是由本发明的实施例中使用的最小极性颠倒间隔为 2 和 PR (C0, C1, C0) 均衡化的制约决定的格构图。

5 图 19 是从本发明的实施例中使用的最小极性颠倒间隔为 2 和 PR (C0, C1, C2, C1, C0) 均衡化的制约决定的状态转变图。

图 20 是从本发明的实施例中使用的最小极性颠倒间隔为 2 和 PR (C0, C1, C2, C1, C0) 均衡化的制约决定的格构图。

10 下面简要说明附图符号。

1、8—光盘；2—光学头；3、11—波形均衡器；4—比较器；5—相位比较器；6—LPF；7—VCO；9—前置放大器；10、28—AGC；12—PLL 电路；13—A/D 转换器；14—数字滤波器；15—维托毕电路；16—差分测量解析器；17—分支测量演算电路；18—加法/比较/选择电路；19—  
15 寄存器；20—路径存储器；21—延迟电路；22—差分测量运算器；23—状态转变检测器；24—选择器 A；25—选择器 B；26、27—平均值/标准偏差运算器；28—波形均衡器 B；29—频率特性控制手段。

### 具体实施方式

20 下面，说明本发明的再现信号质量的评价方法和信息再现装置的实施例。

下面，就本发明的实施例中的再现信号质量的评价方法加以说明。在以下说明的形态中，作为记录符号，使用了根据 (1, 7) RLL 调制方式等规定的最小极性颠倒间隔为 2 的符号。即记录符号 0 或 1 一定连续  
25 两个以上。另外，使用记录系统的频率特性和再现系统的频率特性被设置为作为整体表示了 PR (1, 2, 2, 1) 均衡特性的 PRML 方式，进行译码。下面，说明更具体的译码步骤。

记录符号 (0 或 1 中的任意一个) 表述如下。

现在的记录符号： $b_k$

30 1 时刻前的记录符号： $b_{k-1}$

2 时刻前的记录符号： $b_{k-2}$

3 时刻前的记录符号： $b_{k-3}$

如果被 PR (1, 2, 2, 1) 均衡化时的再现信号的理想值为  $Level_v$ ，  
则  $Level_v$  由以下所述的表达式 (4) 表示。

5

【表达式 4】

$$Level_v = b_{k-3} + 2b_{k-2} + 2b_{k-1} + b_k \quad \dots (4)$$

在此， $k$  是表示时刻的整数， $v$  为 0~6 的整数。当 PR (1, 2, 2, 1) 均衡化时，按照记录符号的组合，理想的采样值（期望值）能取得 0~6 的 7 个值 ( $Level_v$ )。

10 下面，说明记录符号的状态的转变。在时刻  $k$  的状态为  $S(b_{k-2}, b_{k-1}, b_k)$ ，在时刻  $k-1$  的状态为  $S(b_{k-3}, b_{k-2}, b_{k-1})$ 。如果考虑在时刻  $k-1$  的状态和在时刻  $k$  的状态的组合，就得到了如下所述的表 1 所示的状态转变表。以上所述，因为采用了 0 和 1 的最小颠倒间隔为 2 的调制方式，所以记录符号能取得的状态转变被限定在以下所述的 10 个。

[表 1]

从最小颠倒间隔 2 和 PR(1,2,2,1) 的制约决定的状态转变表

在时刻 $k-1$ 的状态 $S(b_{k-3}, b_{k-2}, b_{k-1})$	在时刻 $k$ 的状态 $S(b_{k-2}, b_{k-1}, b_k)$	$b_k/Level_v$
S(0,0,0)	S(0,0,0)	0/0
S(0,0,0)	S(0,0,1)	1/1
S(0,0,1)	S(0,1,1)	1/3
S(0,1,1)	S(1,1,0)	0/4
S(0,1,1)	S(1,1,1)	1/5
S(1,0,0)	S(0,0,0)	0/1
S(1,0,0)	S(0,0,1)	1/2
S(1,1,0)	S(1,0,0)	0/3
S(1,1,1)	S(1,1,0)	0/5
S(1,1,1)	S(1,1,1)	1/6

15

为了简单,把时刻  $k$  的状态  $S(0, 0, 0)_k$  记录为  $S0_k$ , 把状态  $S(0, 0, 1)_k$  记录为  $S1_k$ , 把状态  $S(0, 1, 1)_k$  记录为  $S2_k$ , 把状态  $S(1, 1, 1)_k$  记录为  $S3_k$ , 把状态  $S(1, 1, 0)_k$  记录为  $S4_k$ , 把状态  $S(1, 0, 0)_k$  记录为  $S5_k$ 。用图 3 所示的状态转变图表示了从时刻  $k-1$  到时刻  $k$  的期间(与再现时钟的一个周期  $T$  对应的时间)能产生的状态转变, 并且, 如果把它关于时间轴展开, 则得到图 4 所示的格构图。

在此, 注意在时刻  $k$  的状态  $S0_k$  和在时刻  $k-5$  的状态  $S0_{k-5}$ 。图 5 表示了状态  $S0_k$  和状态  $S0_{k-5}$  之间能取得的两个状态转变列。如果把能取得的状态转变列的一方作为 A, 则路径 A 沿着状态  $S0_{k-5}$ 、 $S0_{k-4}$ 、 $S0_{k-3}$ 、 $S0_{k-2}$ 、 $S0_{k-1}$ 、 $S0_k$  转变, 如果另一方的状态转变列为 B, 则沿着  $S0_{k-5}$ 、 $S1_{k-4}$ 、 $S2_{k-3}$ 、 $S3_{k-2}$ 、 $S5_{k-1}$ 、 $S0_k$  转变。并且, 在图 4 和图 5 中, 每次状态转变表示了(记录符号/Level $v$ ), Level $v$  是取  $-3\sim 7$  的值,  $-3\sim 3$  的各值分别与所述的 Level $v$  的  $0\sim 6$  的各值对应。

这样, 当在时刻  $k-5$  的状态为  $S0$ , 并且在时刻  $k$  的状态为  $S0$  时, 推定为沿着以上所述的路径 A 或路径 B 中的任意一个转变。即当得到了变为从时刻  $k-7$  到时刻  $k$  的译码数据  $(C_{k-7}, C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 0, x, x, 0, 0, 0)$  的译码结果( $x$  为 0 或 1 的值)时, 推定路径 A 或路径 B 的状态转变似乎是最可靠的。

这样, 当检测了在时刻  $k$  的状态  $S0_k$  和在时刻  $k-5$  的状态  $S0_{k-5}$  时(即得到了变为  $(0, 0, 0, x, x, 0, 0, 0)$  的译码结果时), 判断路径 A 和路径 B 中的哪一个更靠。能通过把路径 A 表示的理想的采样值(希望值)和实际采样值的偏移的大小与路径 B 表示的理想的采样值(希望值)和实际采样值的偏移的大小做比较, 进行该判断。更更具体地说, 根据路径 A 和路径 B 分别表示的从时刻  $k-4$  到时刻  $k$  的期望值(Level $v$ )的各值与从再现信号  $y_{k-4}$  到  $y_k$  的实际值的各值的差的平方的累积结果, 能判断路径 A 或路径 B 中的哪一个的状态转变列似乎更可靠。

在此, 如果把路径 A 表示的从时刻  $k-4$  到时刻  $k$  的期望值  $l_{k-4}, l_{k-3}, l_{k-2}, l_{k-1}, l_k$  (即  $0, 0, 0, 0, 0$ ) 的各值与从再现信号  $y_{k-4}$  到  $y_k$  的值的差的平方的累积值作为  $Pa$ , 如果把路径 B 表示的从时刻  $k-4$  到时刻  $k$  的期望值  $m_{k-4}, m_{k-3}, m_{k-2}, m_{k-1}, m_k$  (即  $1, 3, 4, 3, 1$ ) 与从再现信号  $y_{k-4}$

到  $y_k$  的值的差的平方的累积值作为  $P_a$ ，则累积值  $P_a$  由以下表达式 (5) 表示，累积值  $P_b$  由以下表达式 (6) 表示。

【表达式 5】

$$P_a = (y_{k-4} - 0)^2 + (y_{k-3} - 0)^2 + (y_{k-2} - 0)^2 + (y_{k-1} - 0)^2 + (y_k - 0)^2 \quad \dots (5)$$

【表达式 6】

$$P_b = (y_{k-4} - 1)^2 + (y_{k-3} - 3)^2 + (y_{k-2} - 4)^2 + (y_{k-1} - 3)^2 + (y_k - 1)^2 \quad \dots (6)$$

5 这样求出的累积值  $P_a$  是表示从时刻  $k-5$  到时刻  $k$  的给定期间中的路径 A 的转变的可靠性的指标， $P_a$  的值越小，路径 A 越可靠。另外，累积值  $P_b$  是表示从时刻  $k-5$  到时刻  $k$  的给定期间中的路径 B 的转变的可靠性的指标， $P_b$  的值越小，路径 B 越可靠。当  $P_a$  或  $P_b$  的值为 0 时，路径 A 或路径 B 的可靠性最大。

10 下面，说明  $P_a$  和  $P_b$  的差  $P_a - P_b$  的意义。如果  $P_a \ll P_b$ ，最佳译码电路对路径 A 具有信心，选择路径 A，如果  $P_a \gg P_b$ ，则对路径 B 具有信心，选择路径 B。但是，如果  $P_a = P_b$ ，选择路径 A 或路径 B 中的哪一个都可以，译码结果是否正确可以说是五五开。因此， $P_a - P_b$  的值能用于判断译码结果的可靠性。即  $P_a - P_b$  的绝对值越大，译码结果的可靠性越高， $P_a - P_b$  的绝对值越靠近 0，译码结果的可靠性变得低。

15 表示该译码结果的可靠性的指标  $P_a - P_b$  被用于评价再现信号的质量。因此，例如根据译码结果，通过求出给定的时间或给定的次数  $P_a - P_b$ ，得到  $P_a - P_b$  的分布。图 6 表示了  $P_a - P_b$  的分布的模式图。图 6 (a) 表示了当再现信号中重叠了噪声时的  $P_a - P_b$  的分布。该分布中具有两个峰值，  
20 一个是当  $P_a = 0$  时，频度变为极大，另一个是当  $P_b = 0$  时，频度变为极大。把  $P_a = 0$  时的  $P_a - P_b$  的值表示为  $-P_{std}$ ，把  $P_b = 0$  时的  $P_a - P_b$  的值表示为  $P_{std}$ 。如果取  $P_a - P_b$  的绝对值，求出  $|P_a - P_b| - P_{std}$ ，就得到图 6 (b) 所示的分布。

假定该分布为正态分布，求出分布的标准偏差  $\sigma$  和平均值  $P_{ave}$ 。该



分布的标准偏差  $\sigma$  和平均值  $P_{ave}$  能用于预测位错误率。例如，最为表示  $|P_a - P_b|$  的分布而推断的分布曲线是平缓的，当该分布曲线由  $|P_a - P_b|$  的值能取 0 以下所述的函数规定时，当用与  $|P_a - P_b|$  的值变为 0 以下所述的概率对应的频度视为发生错误时，用标准偏差  $\sigma$  和平均值  $P_{ave}$ ，能通过以下所述的表达式 (7) 规定错误概率  $P(\sigma, P_{ave})$ 。

【表达式 7】

$$P(\sigma, P_{ave}) = \text{erfc}(P_{std} + P_{ave} / \sigma) \quad \dots (7)$$

这样，如果使用从  $P_a - P_b$  的分布求出的平均值  $P_{ave}$  和标准偏差  $\sigma$ ，能预测基于最佳译码方式的 2 值化结果的错误率。即能把平均值  $P_{ave}$  和标准偏差  $\sigma$  作为再现信号质量的指标使用。并且，在所述的例子中，假定  $|P_a - P_b|$  的分布为正态分布，但是当很难把  $|P_a - P_b|$  的分布视为正态分布时，代替求出以上所述的平均值  $P_{ave}$  和标准偏差  $\sigma$ ，可以计算  $|P_a - P_b|$  的值变为给定的基准值以下所述的次数。这样得到的计数数能变为表示  $|P_a - P_b|$  的偏移的程度的指标。

如以上所说明的那样，根据本实施例，在给定期间中，当从产生了从给定的第一状态（例如  $S_0$ ）向给定的第二状态（例如  $S_0$ ）的状态转变时，能通过计算能取得的两个路径的所述给定期间的可靠性的差的绝对值  $|P_a - P_b|$ ，判断译码的可靠性。通过多次测定  $|P_a - P_b|$ ，得到译码的可靠性  $|P_a - P_b|$  的偏移程度（分布），能进行再现信号的质量的评价（位错误率的预测）。

并且，根据这样的方法进行信号质量的评价时，选择能取得最容易产生错误的两个路径（即两个路径间的欧几里德距离最短的）的组合，使用这两个路径的可靠性的差的绝对值  $|P_a - P_b|$ ，评价信号质量就可以了。下面，详细说明此点。

如以上所述，当根据最小极性颠倒间隔为 2，并且使用了 PR(1, 2, 2, 1) 均衡的状态转变原则对再现信号译码时，能取得的两个路径的状态转变在从时刻  $k-5$  到时刻  $k$  的范围中，除了以上所述的从  $S_{0_{k-5}}$  到  $S_{0_k}$

的转变，还有 15 个。在以下所述的表 2 中表示了它的状态转变（在时刻  $k-5$  的状态和在时刻  $k$  的状态的组合）、在各状态转变中  $P_a \cdot P_b$  能取得的值（ $P_{std}$ ）。

[表 2] 能取得两个转变列的最短状态转变的组合

状态转变	译码结果的可靠性 $P_a \cdot P_b$	
	$P_a=0$ 时	$P_b=0$ 时
$S_{0k-5} \rightarrow S_{0k}$	-36	+36
$S_{0k-5} \rightarrow S_{1k}$	-36	+36
$S_{0k-4} \rightarrow S_{4k}$	-10	+10
$S_{0k-4} \rightarrow S_{3k}$	-10	+10
$S_{2k-4} \rightarrow S_{0k}$	-10	+10
$S_{2k-4} \rightarrow S_{1k}$	-10	+10
$S_{2k-5} \rightarrow S_{4k}$	-36	+36
$S_{2k-5} \rightarrow S_{3k}$	-36	+36
$S_{5k-5} \rightarrow S_{0k}$	-36	+36
$S_{5k-5} \rightarrow S_{1k}$	-36	+36
$S_{5k-4} \rightarrow S_{4k}$	-10	+10
$S_{5k-4} \rightarrow S_{3k}$	-10	+10
$S_{3k-4} \rightarrow S_{0k}$	-10	+10
$S_{3k-4} \rightarrow S_{1k}$	-10	+10
$S_{3k-5} \rightarrow S_{4k}$	-36	+36
$S_{3k-5} \rightarrow S_{3k}$	-36	+36

5

能将以上所述 16 种译码结果的可靠性  $P_a \cdot P_b$  用以下所述的表达式 (8) 来表示。

10

## 【表达式8】

$$\begin{aligned}
& (c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 0, 0, x, x, 0, 0, 0) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (A_{k-4}-B_{k-4}) + (A_{k-3}-D_{k-3}) + (A_{k-2}-E_{k-2}) + (A_{k-1}-D_{k-1}) + (A_k-B_k) \\
& (c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 0, 0, x, x, 0, 0, 1) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (A_{k-4}-B_{k-4}) + (A_{k-3}-D_{k-3}) + (A_{k-2}-E_{k-2}) + (A_{k-1}-D_{k-1}) + (B_k-C_k) \\
& (c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 0, 0, x, 1, 1, 0) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (A_{k-3}-B_{k-3}) + (B_{k-2}-D_{k-2}) + (D_{k-1}-F_{k-1}) + (E_k-F_k) \\
& (c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 0, 0, x, 1, 1, 1) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (A_{k-3}-B_{k-3}) + (B_{k-2}-D_{k-2}) + (D_{k-1}-F_{k-1}) + (F_k-G_k) \\
& (c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 1, 1, x, 0, 0, 0) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (E_{k-3}-F_{k-3}) + (D_{k-2}-F_{k-2}) + (B_{k-1}-D_{k-1}) + (A_k-B_k) \\
& (c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 1, 1, x, 0, 0, 1) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (E_{k-3}-F_{k-3}) + (D_{k-2}-F_{k-2}) + (B_{k-1}-D_{k-1}) + (B_k-C_k) \\
& (c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 1, 1, x, x, 1, 1, 0) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (E_{k-4}-F_{k-4}) + (D_{k-3}-G_{k-3}) + (C_{k-2}-G_{k-2}) + (D_{k-1}-G_{k-1}) + (E_k-F_k) \\
& (c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 1, 1, x, x, 1, 1, 1) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (E_{k-4}-F_{k-4}) + (D_{k-3}-G_{k-3}) + (C_{k-2}-G_{k-2}) + (D_{k-1}-G_{k-1}) + (F_k-G_k) \\
& (c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 0, 0, x, x, 0, 0, 0) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (B_{k-4}-C_{k-4}) + (A_{k-3}-D_{k-3}) + (A_{k-2}-E_{k-2}) + (A_{k-1}-D_{k-1}) + (A_k-B_k) \\
& (c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 0, 0, x, x, 0, 0, 1) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (B_{k-4}-C_{k-4}) + (A_{k-3}-D_{k-3}) + (A_{k-2}-E_{k-2}) + (A_{k-1}-D_{k-1}) + (B_k-C_k) \\
& (c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 0, 0, x, 1, 1, 0) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (B_{k-3}-C_{k-3}) + (B_{k-2}-D_{k-2}) + (D_{k-1}-F_{k-1}) + (E_k-F_k) \\
& (c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 0, 0, x, 1, 1, 1) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (B_{k-3}-C_{k-3}) + (B_{k-2}-D_{k-2}) + (D_{k-1}-F_{k-1}) + (F_k-G_k) \\
& (c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 1, 1, x, 0, 0, 0) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (F_{k-3}-G_{k-3}) + (D_{k-2}-F_{k-2}) + (B_{k-1}-D_{k-1}) + (A_k-B_k) \\
& (c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 1, 1, x, 0, 0, 1) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (F_{k-3}-G_{k-3}) + (D_{k-2}-F_{k-2}) + (B_{k-1}-D_{k-1}) + (B_k-C_k) \\
& (c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 1, 1, x, x, 1, 1, 0) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (F_{k-4}-G_{k-4}) + (D_{k-3}-G_{k-3}) + (C_{k-2}-G_{k-2}) + (D_{k-1}-G_{k-1}) + (E_k-F_k) \\
& (c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 1, 1, x, x, 1, 1, 1) \text{ 时} \\
& Pa-Pb = (F_{k-4}-G_{k-4}) + (D_{k-3}-G_{k-3}) + (C_{k-2}-G_{k-2}) + (D_{k-1}-G_{k-1}) + (F_k-G_k)
\end{aligned}$$

… (8)

并且,  $A_k = (y_k - 0)^2$ ,  $B_k = (y_k - 1)^2$ ,  $C_k = (y_k - 2)^2$ ,  $D_k = (y_k - 3)^2$ ,  $E_k = (y_k - 4)^2$ ,  $F_k = (y_k - 5)^2$ ,  $G_k = (y_k - 6)^2$ 。

另外, 如果把所述表达式(8)分为 Pstd 为 10 时和为 36 时表示, 则用表达式(9)表示了 Pstd=10 时, 用表达式(10)表示了 Pstd=36 时。

5

## 【表达式9】

$(c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 0, 0, x, 1, 1, 0)$  时

$$Pa - Pb = (A_{k-3} - B_{k-3}) + (B_{k-2} - D_{k-2}) + (D_{k-1} - F_{k-1}) + (E_k - F_k)$$

$(c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 0, 0, x, 1, 1, 1)$  时

$$Pa - Pb = (A_{k-3} - B_{k-3}) + (B_{k-2} - D_{k-2}) + (D_{k-1} - F_{k-1}) + (F_k - G_k)$$

$(c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 1, 1, x, 0, 0, 0)$  时

$$Pa - Pb = (E_{k-3} - F_{k-3}) + (D_{k-2} - F_{k-2}) + (B_{k-1} - D_{k-1}) + (A_k - B_k)$$

$(c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 1, 1, x, 0, 0, 1)$  时

$$Pa - Pb = (E_{k-3} - F_{k-3}) + (D_{k-2} - F_{k-2}) + (B_{k-1} - D_{k-1}) + (B_k - C_k)$$

$(c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 0, 0, x, 1, 1, 0)$  时

$$Pa - Pb = (B_{k-3} - C_{k-3}) + (B_{k-2} - D_{k-2}) + (D_{k-1} - F_{k-1}) + (E_k - F_k)$$

$(c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 0, 0, x, 1, 1, 1)$  时

$$Pa - Pb = (B_{k-3} - C_{k-3}) + (B_{k-2} - D_{k-2}) + (D_{k-1} - F_{k-1}) + (F_k - G_k)$$

$(c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 1, 1, x, 0, 0, 0)$  时

$$Pa - Pb = (F_{k-3} - G_{k-3}) + (D_{k-2} - F_{k-2}) + (B_{k-1} - D_{k-1}) + (A_k - B_k)$$

$(c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 1, 1, x, 0, 0, 1)$  时

$$Pa - Pb = (F_{k-3} - G_{k-3}) + (D_{k-2} - F_{k-2}) + (B_{k-1} - D_{k-1}) + (B_k - C_k)$$

... (9)

10

## 【表达式10】

$$\begin{aligned}
(c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) &= (0, 0, 0, x, x, 0, 0, 0) \text{ 时} \\
Pa-Pb &= (A_{k-4}-B_{k-4}) + (A_{k-3}-D_{k-3}) + (A_{k-2}-E_{k-2}) + (A_{k-1}-D_{k-1}) + (A_k-B_k) \\
(c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) &= (0, 0, 0, x, x, 0, 0, 1) \text{ 时} \\
Pa-Pb &= (A_{k-4}-B_{k-4}) + (A_{k-3}-D_{k-3}) + (A_{k-2}-E_{k-2}) + (A_{k-1}-D_{k-1}) + (B_k-C_k) \\
(c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) &= (0, 1, 1, x, x, 1, 1, 0) \text{ 时} \\
Pa-Pb &= (E_{k-4}-F_{k-4}) + (D_{k-3}-G_{k-3}) + (C_{k-2}-G_{k-2}) + (D_{k-1}-G_{k-1}) + (E_k-F_k) \\
(c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) &= (0, 1, 1, x, x, 1, 1, 1) \text{ 时} \\
Pa-Pb &= (E_{k-4}-F_{k-4}) + (D_{k-3}-G_{k-3}) + (C_{k-2}-G_{k-2}) + (D_{k-1}-G_{k-1}) + (F_k-G_k) \\
(c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) &= (1, 0, 0, x, x, 0, 0, 0) \text{ 时} \\
Pa-Pb &= (B_{k-4}-C_{k-4}) + (A_{k-3}-D_{k-3}) + (A_{k-2}-E_{k-2}) + (A_{k-1}-D_{k-1}) + (A_k-B_k) \\
(c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) &= (1, 0, 0, x, x, 0, 0, 1) \text{ 时} \\
Pa-Pb &= (B_{k-4}-C_{k-4}) + (A_{k-3}-D_{k-3}) + (A_{k-2}-E_{k-2}) + (A_{k-1}-D_{k-1}) + (B_k-C_k) \\
(c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) &= (1, 1, 1, x, x, 1, 1, 0) \text{ 时} \\
Pa-Pb &= (F_{k-4}-G_{k-4}) + (D_{k-3}-G_{k-3}) + (C_{k-2}-G_{k-2}) + (D_{k-1}-G_{k-1}) + (E_k-F_k) \\
(c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) &= (1, 1, 1, x, x, 1, 1, 1) \text{ 时} \\
Pa-Pb &= (F_{k-4}-G_{k-4}) + (D_{k-3}-G_{k-3}) + (C_{k-2}-G_{k-2}) + (D_{k-1}-G_{k-1}) + (F_k-G_k) \\
&\dots (10)
\end{aligned}$$

在此，考虑了各种情况下得到的错误率的指标。在 Pstd 为 10 的状态转变中，从最佳译码结果  $c_k$  求出满足表达式 (9) 的 Pa-Pb，从它的分布求出标准偏差  $\sigma_{10}$  和平均值  $Pave_{10}$ 。而在 Pstd 为 36 的状态转变中，最佳译码结果  $c_k$  求出满足表达式 (10) 的 Pa-Pb，从它的分布求出标准偏差  $\sigma_{36}$  和平均值  $Pave_{36}$ 。如果假定各分布为正态分布，则分别用以下所述的表达式 (11) 和 (12) 表示发生错误的概率  $P_{10}$ 、 $P_{36}$ 。即能对每个最佳译码的模式推断错误率，能把标准偏差  $\sigma_{10}$  和平均值  $Pave_{10}$  或标准偏差  $\sigma_{36}$  和平均值  $Pave_{36}$  作为再现信号的质量指标使用。

【表达式1 1】

$$P_{10}(\sigma_{10}, Pave_{10}) = erfc\left(\frac{10 + Pave_{10}}{\sigma_{10}}\right) \quad \dots (11)$$

【表达式1 2】

$$P_{36}(\sigma_{36}, Pave_{36}) = erfc\left(\frac{36 + Pave_{36}}{\sigma_{36}}\right) \quad \dots (12)$$

另外，当把检测状态转变的模式范围增加一个时刻，检测从时刻  $k-6$  到时刻  $k$  的范围中能取得的两个状态转变列的状态转变的组合模式  
5 时，又检测到以下所述的表 3 中表示的八个模式。

【表 3】

能取得两个转变列的最短状态转变的组合

状态转变	译码结果的可靠性 $P_a \cdot P_b$	
	$P_a=0$ 时	$P_b=0$ 时
$S_{0_{k-6}} \rightarrow S_{0_k}$	-12	+12
$S_{0_{k-6}} \rightarrow S_{1_k}$	-12	+12
$S_{2_{k-6}} \rightarrow S_{3_k}$	-12	+12
$S_{2_{k-6}} \rightarrow S_{4_k}$	-12	+12
$S_{5_{k-6}} \rightarrow S_{0_k}$	-12	+12
$S_{5_{k-6}} \rightarrow S_{1_k}$	-12	+12
$S_{3_{k-6}} \rightarrow S_{3_k}$	-12	+12
$S_{3_{k-6}} \rightarrow S_{4_k}$	-12	+12

与上述表达式 (11)、(12) 同样，用表达式 (13) 表示了表 3 的模式中发生错误的概率  $P_{12}$ 。

【表达式1 3】

$$P_{12}(\sigma_{12}, Pave_{12}) = erfc\left(\frac{12 + Pave_{12}}{\sigma_{12}}\right) \quad \dots (13)$$

在此，重要的是为了把可靠性 $|Pa-Pb|$ 作为再现信号质量的指标恰当地利用，只要检出错误可能性（错误率）大的状态转变的模式就可以了。总之，即使不检测所有的状态转变模式，也能得到与错误率相关的指标。

在此，错误可能性大的状态转变的模式是指可靠性 $|Pa-Pb|$ 的最大值小的状态转变模式（路径 A 和路径 B 的绝对距离即欧几里德距离最小的模式）。在此，表 2 所示的 Pa 或 Pb 中的任意一方为 0 时，取  $Pa-Pb=\pm 10$  的 8 个模式与此对应。

如果再现信号中包含的噪声中白噪声占支配地位，则预测为  $P_{10} > P_{12} >> P_{36}$ 。只有  $P_{10}$  表示 1 位转变错误，其它的模式表示 2 位以往的转变错误。如果分析 PRML 处理后的错误模式，则以为几乎是 1 位转变错误，所以能根据使用  $P_{10}$  的表达式 (11) 恰当地推断再现信号的错误率。这样，在给定期间中检测取得给定的状态转变的模式，把该检测的状态转变中的  $|Pa-Pb|-P_{std}$  的分布的标准偏差  $\sigma_{10}$  和平均值  $Pave_{10}$  作为指标使用，能评价再现信号的质量。

以上所述，使用标准偏差  $\sigma_{10}$  预测了错误率，但是，例如也可以使用由以下所述的表达式 (14) 定义的 PRML 误差指标 MLSA (Maximum Likelihood Sequence Amplitude) 作为表示信号质量（错误率）的指标使用。

【表达式 1 4】

$$M = \frac{\sigma_{10}}{2 \cdot d_{\min}^2} [\%] \quad \dots (14)$$

在此， $d_{\min}^2$  是能取得的两个路径的欧几里德距离的最小值的平方，本实施例的调制符号和 PRML 方式的组合中变为 10。并且，所述指标 MLSA 是在假定表达式 (11) 中的平均值  $Pave_{10}$  为 0 的基础上规定的。这是因为能考虑到平均值  $Pave_{10}$  取靠近 0 的值，当不考虑平均值  $Pave_{10}$  时，作为指标得到了与错误率具有相关性的。

图 16 表示了表达式 (14) 定义的指标 MLSA 和由表达式 (11) 能计算出的错误率 BER (Bit Error Rate) 的关系。与图 2 所示的偏差和错

误率的关系同样，随着指标 MLSA 的增加，错误率也增加。即使用指标 MLSA，能预测 PRML 处理后的错误率。

并且，以上具体说明了作为一般的  $(C_0, C_1, C_1, C_0)$  均衡 ( $C_0, C_1$  为任意的正的数) 的一个例子，适用了 PR (1, 2, 2, 1) 均衡化时的情况，对于适用了此外的  $(C_0, C_1, C_1, C_0)$  均衡 ( $C_0, C_1$  为任意的正的数) 时的情况，也能用与所述同样的步骤得到与错误率相关的指标。

以下，说明作为与所述的形态不同的形态，即使用了最小极性颠倒间隔为 2 的记录符号，并且适用了 PR  $(C_0, C_1, C_0)$  均衡 (例如，P (1, 2, 1) 均衡) 的形态。并且， $C_0, C_1$  为任意的正的数。

记录符号表示如下。

现在时刻的记录符号： $b_k$

1 时刻前的记录符号： $b_{k-1}$

2 时刻前的记录符号： $b_{k-2}$

如果被 PR  $(C_0, C_1, C_0)$  均衡化时的再现信号的理想值为 Level $v$ ，则 Level $v$  由以下所述的表达式 (15) 表示。

【表达式 15】

$$\text{Level } v = C_0 \times b_{k-2} + C_1 \times b_{k-1} + C_0 \times b_k \quad \dots (15)$$

在此， $k$  是表示时刻的整数， $v$  为 0~3 的整数。另外，如果时刻  $k$  的状态为  $S(b_{k-1}, b_k)$ ，则得到以下所述的表 4 所示的状态转变表。

【表 4】

从最小极性颠倒间隔 2 和 PR  $(C_0, C_1, C_0)$  均衡的制约决定的状态转变表

在时刻 $k-1$ 的状态 $S(b_{k-2}, b_{k-1})$	在时刻 $k$ 的状态 $S(b_{k-1}, b_k)$	$b_k / \text{Level } v$
S (0, 0)	S (0, 0)	0 / 0
S (0, 0)	S (0, 1)	1 / $C_0$
S (0, 1)	S (1, 1)	1 / $C_0 + C_1$
S (1, 1)	S (1, 0)	0 / $C_1 + C_0$
S (1, 1)	S (1, 1)	1 / $C_0 + C_1 + C_0$
S (1, 0)	S (0, 0)	0 / $C_0$



为了简单,把时刻  $k$  的状态  $S(0, 0)_k$  记录为  $S0_k$ , 把状态  $S(0, 1)_k$  记录为  $S1_k$ , 把状态  $S(1, 1)_k$  记录为  $S2_k$ , 把状态  $S(1, 0)_k$  记录为  $S3_k$ 。用图 17 所示的状态转变图表示了此时的状态转变, 另外, 如果把它关于时间轴展开, 则得到图 18 所示的格构图。

在此, 在记录符号最小极性颠倒间隔为 2, 并且使用了  $PR(C0, C1, C0)$  均衡的条件下, 从某一时刻的给定的状态转变到别的时刻的给定的状态时, 如表 5 所示, 能取得两个状态转变 (路径 A 和路径 B) 的状态转变模式 (状态组合) 有 6 个。

10 (表 5)

与能取得两个转变的状态转变对应的路径

状态转变	路径 A 的记录符号 ( $b_{k-1}, \dots, b_k$ )	路径 B 的记录符号 ( $b_{k-1}, \dots, b_k$ )
$S0_{k-3} \rightarrow S2_k$	(0,0,0,1,1)	(0,0,1,1,1)
$S0_{k-3} \rightarrow S0_k$	(1,1,0,0,0)	(1,1,1,0,0)
$S0_{k-4} \rightarrow S0_k$	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,1,1,0,0)
$S0_{k-4} \rightarrow S2_k$	(1,1,0,0,1,1)	(1,1,1,1,1,1)
$S0_{k-5} \rightarrow S0_k$	(0,0,0,1,1,0,0)	(0,0,1,1,0,0,0)
$S0_{k-5} \rightarrow S2_k$	(1,1,0,0,0,1,1)	(1,1,1,0,0,1,1)

在此, 判断了路径 A 和路径 B 中的哪一个似乎更可靠。能通过把路径

【表 4】

从最小极性颠倒间隔 2 和  $PR(C0, C1, C0)$  均衡的制约决定的状态转变表

在时刻 $k-1$ 的状态 $S(b_{k-2}, b_{k-1})$	在时刻 $k$ 的状态 $S(b_{k-1}, b_k)$	$b_k / Level$
$S(0, 0)$	$S(0, 0)$	0 / 0
$S(0, 0)$	$S(0, 1)$	1 / C0
$S(0, 1)$	$S(1, 1)$	1 / C0+C1
$S(1, 1)$	$S(1, 0)$	0 / C1+C0
$S(1, 1)$	$S(1, 1)$	1 / C0+C1+C0
$S(1, 0)$	$S(0, 0)$	0 / C0

A 表示的理想的采样值（希望值）和实际采样值的偏移的大小与路径 B 表示的理想的采样值（希望值）和实际采样值的偏移的大小做比较，进行该判断。

例如，如果推断了状态转变  $S0_{k-3} \rightarrow S2_k$ ，则即使沿着路径 A ( $S0_{k-3}$ ,  $S0_{k-2}$ ,  $S1_{k-1}$ ,  $S2_k$ )、路径 B ( $S0_{k-3}$ ,  $S1_{k-2}$ ,  $S2_{k-1}$ ,  $S2_k$ ) 的任意一个转变时，在时刻  $k-3$ ，取状态  $S0_{k-3}$ ，在时刻  $k$ ，取状态  $S2_k$ 。此时，根据从时刻  $k-2$  到时刻  $k$  的希望值与再现信号的值  $y_{k-2}$ 、 $y_{k-1}$ 、 $y_k$  的差的平方的累积值，判断了路径 A 和路径 B 中的哪一个的状态转变似乎更准确。在此，如果把路径 A 表示从时刻  $k-2$  到时刻  $k$  的期望值的各值与从再现信号  $y_{k-2}$  到  $y_k$  的值的差的平方的累积值定为  $P_a$ ，把路径 B 表示从时刻  $k-4$  到时刻  $k$  的期望值的各值与从再现信号  $y_{k-2}$  到  $y_k$  的值的差的平方的累积值定为  $P_b$ ，则用以下所述的表达式 (16) 表示了累积值  $P_a$ ，用以下所述的表达式 (17) 表示了累积值  $P_b$ 。

【表达式1 6】

$$P_a = (y_{k-2} - 0)^2 + (y_{k-1} - C_0)^2 + (y_k - (C_1 + C_2))^2 \quad \dots (16)$$

【表达式1 7】

$$P_b = (y_{k-2} - C_0)^2 + (y_{k-1} - (C_0 + C_1))^2 + (y_k - (2 \times C_0 + C_1))^2 \quad \dots (17)$$

在此，如果  $P_a \ll P_b$ ，则推断为路径 A 的可能性高，如果  $P_a \gg P_b$ ，则推断为路径 B 的可能性高。总之，即使当使用了最小极性颠倒间隔为 2 的记录符号和 PR ( $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_0$ ) 均衡化时，也能使用  $|P_a - P_b|$  判断译码结果的可靠性。另外，根据  $|P_a - P_b|$  的分布，能进行再现信号质量的评价（错误率的推断）。

另外，如果考虑在传输路线中重叠了白噪声时的情况，则最容易发生错误的状态转变是路径 A 和路径 B 的欧几里德距离变得最小的状态转变。这样，作为取得欧几里德距离变得最小的两个路径，列举了在以下所述的表 6 所示的两个状态转变的模式。

（表 6）

与能取得两个转变的状态转变对应的路径

状态转变	路径 A 的记录符号 ( $b_{k-4}, b_{k-3}, b_{k-2}, b_{k-1}, b_k$ )	路径 B 的记录符号 ( $b_{k-4}, b_{k-3}, b_{k-2}, b_{k-1}, b_k$ )
$S0_{k-3} \rightarrow S2_k$	(0,0,0,1,1)	(0,0,1,1,1)
$S0_{k-3} \rightarrow S0_k$	(1,1,0,0,0)	(1,1,1,0,0)

在此，如果译码结果为  $c_k$  ( $k$  为整数)，总结表 6 所示的状态转变中的可靠性  $Pa-Pb$ ，则得到表达式 (18)。

【表达式 18】

$$\begin{aligned}
 & (c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (0, 0, x, 1, 1) \text{ 时} \\
 Pa - Pb &= (AA_{k-2} - BB_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (CC_k - DD_k) \\
 & (c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = (1, 1, x, 0, 0) \text{ 时} \\
 Pa - Pb &= (CC_{k-2} - DD_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (AA_k - BB_k) \\
 & \dots (18)
 \end{aligned}$$

在此，用以下所述的表达式表示  $AA_k$ 、 $BB_k$ 、 $CD_k$ 、 $DD_k$ 。

$$\begin{aligned}
 AA_k &= (y_k - 0)^2, & BB_k &= (y_k - C0)^2, \\
 CC_k &= (y_k - (C0 + C1))^2, & DD_k &= (y_k - (2 \times C0 + C1))^2,
 \end{aligned}$$

从译码结果为  $c_k$  求出满足表达式 (18) 的  $|Pa-Pb| - (2 \times C0^2 + C1^2)$ ，从它的分布求出标准偏差  $\sigma$  和平均值  $Pave$ 。如果假定分布为正态分布，  
10 则用表达式 (19) 表示了发生错误的概率。因此，能通过标准偏差  $\sigma$  和平均值  $Pave$  推断再现信号的错误率，能作为信号质量的指标。

【表达式 19】

$$P(\sigma, Pave) = \text{erfc}\left(\frac{Pave}{\sigma}\right) \quad \dots (19)$$

这样一来，当使用了最小极性颠倒间隔为 2 的记录符号，并且适用了 PR (C0, C1, C0) 均衡化时，也能根据取得给定的状态转变的路径的  
15 给定期间中的可靠性的差  $|Pa-Pb|$ ，评价再现信号的质量。

下面，说明作为与所述的形态不同的形态，即使用了最小极性颠倒  
间隔为 2 的记录符号，并且适用了 PR (C0, C1, C2, C1, C0) 均衡的形  
态。并且，C0, C1, C2 为任意的正的数。

记录符号表示如下。

现在时刻的记录符号： $b_k$

1时刻前的记录符号： $b_{k-1}$

2时刻前的记录符号： $b_{k-2}$

5 3时刻前的记录符号： $b_{k-3}$

4时刻前的记录符号： $b_{k-4}$

如果被 PR (C0, C1, C2, C1, C0) 均衡化时的再现信号的理想值为 Levelv, 则 Levelv 由以下所述的表达式 (20) 表示。

【表达式 20】

$$Levelv = C0 \times b_{k-4} + C1 \times b_{k-3} + C2 \times b_{k-2} + C1 \times b_{k-1} + C0 \times b_k \dots (20)$$

在此, k 是表示时刻的整数, v 为 0~8 的整数。另外, 如果时刻 k 的状态为 S ( $b_{k-3}, b_{k-2}, b_{k-1}, b_k$ ), 则得到以下所述的表 7 所示的状态转变表。

【表 7】

从最小极性颠倒间隔 2 和 PR (C0, C1, C2, C1, C0) 均衡的制约决定的状态转变表

在时刻 k-1 的状态 $S(b_{k-4}, b_{k-3}, b_{k-2}, b_{k-1})$	在时刻 k 的状态 $S(b_{k-3}, b_{k-2}, b_{k-1}, b_k)$	$b_k / LEVELv$
S(0,0,0,0)	S(0,0,0,0)	0/0
S(0,0,0,0)	S(0,0,0,1)	1/C0
S(0,0,0,1)	S(0,0,1,1)	1/C0+C1
S(0,0,1,1)	S(0,1,1,0)	0/C1+C2
S(0,0,1,1)	S(0,1,1,1)	1/C0+C1+C2
S(0,1,1,0)	S(1,1,0,0)	0/C1+C2
S(0,1,1,1)	S(1,1,1,0)	0/2*C1+C2
S(0,1,1,1)	S(1,1,1,1)	1/C0+2*C1+C2
S(1,0,0,0)	S(0,0,0,0)	0/C0
S(1,0,0,0)	S(0,0,0,1)	1/2*C0
S(1,0,0,1)	S(0,0,1,1)	1/2*C0+C1
S(1,1,0,0)	S(1,0,0,0)	0/C0+C1
S(1,1,0,0)	S(1,0,0,1)	1/2*C0+C1
S(1,1,1,0)	S(1,1,0,0)	0/C0+C1+C2
S(1,1,1,1)	S(1,1,1,0)	0/C0+2*C1+C2
S(1,1,1,1)	S(1,1,1,1)	1/2*C0+2*C1+C2

为了简单, 把时刻 k 的状态 S (0, 0, 0, 0)<sub>k</sub> 记录为 S0<sub>k</sub>, 把状态

$S(0, 0, 0, 1)_k$  记录为  $S1_k$ , 把状态  $S(0, 0, 1, 1)_k$  记录为  $S2_k$ , 把  
状态  $S(0, 1, 1, 1)_k$  记录为  $S3_k$ , 把状态  $S(1, 1, 1, 1)_k$  记录为  $S4_k$ ,  
把状态  $S(1, 1, 1, 0)_k$  记录为  $S5_k$ , 把状态  $S(1, 1, 0, 0)_k$  记录为  
5  $S6_k$ , 把状态  $S(1, 0, 0, 0)_k$  记录为  $S7_k$ , 把状态  $S(1, 0, 0, 1)_k$  记  
录为  $S8_k$ , 把状态  $S(0, 1, 1, 0)_k$  记录为  $S9_k$ 。用图 19 所示的状态转  
变图表示了此时的状态转变, 另外, 如果把它关于时间轴展开, 则得到  
图 20 所示的格构图。

在此, 在记录符号最小极性颠倒间隔为 2, 并且使用了 PR(C0, C1,  
C2, C1, C0) 均衡的条件下, 从某一时刻的给定的状态转变到别的时  
10 刻的给定的状态时, 如表 8 所示, 能取得两个状态转变(路径 A 和路径  
B) 的状态转变模式(状态组合) 有 90 个。

【表 8】

与能取得两个转变的状态转变对应的路径

状态转变	路径 A 的记录符号 ( $b_{k-i}, \dots, b_k$ )	路径 B 的记录符号 ( $b_{k-i}, \dots, b_k$ )
$S_{0_{k-5}} \rightarrow S_{6_k}$	(0,0,0,0,0,1,1,0,0)	(0,0,0,0,1,1,1,0,0)
$S_{0_{k-5}} \rightarrow S_{5_k}$	(0,0,0,0,0,1,1,1,0)	(0,0,0,0,1,1,1,1,0)
$S_{0_{k-5}} \rightarrow S_{4_k}$	(0,0,0,0,0,1,1,1,1)	(0,0,0,0,1,1,1,1,1)
$S_{2_{k-5}} \rightarrow S_{0_k}$	(0,0,1,1,0,0,0,0,0)	(0,0,1,1,1,0,0,0,0)
$S_{2_{k-5}} \rightarrow S_{1_k}$	(0,0,1,1,0,0,0,0,1)	(0,0,1,1,1,0,0,0,1)
$S_{2_{k-5}} \rightarrow S_{2_k}$	(0,0,1,1,0,0,0,1,1)	(0,0,1,1,1,0,0,1,1)
$S_{3_{k-5}} \rightarrow S_{0_k}$	(0,1,1,1,0,0,0,0,0)	(0,1,1,1,1,0,0,0,0)
$S_{3_{k-5}} \rightarrow S_{1_k}$	(0,1,1,1,0,0,0,0,1)	(0,1,1,1,1,0,0,0,1)
$S_{3_{k-5}} \rightarrow S_{2_k}$	(0,1,1,1,0,0,0,1,1)	(0,1,1,1,1,0,0,1,1)
$S_{7_{k-5}} \rightarrow S_{6_k}$	(1,0,0,0,0,1,1,0,0)	(1,0,0,0,1,1,1,0,0)
$S_{7_{k-5}} \rightarrow S_{5_k}$	(1,0,0,0,0,1,1,1,0)	(1,0,0,0,1,1,1,1,0)
$S_{7_{k-5}} \rightarrow S_{4_k}$	(1,0,0,0,0,1,1,1,1)	(1,0,0,0,1,1,1,1,1)
$S_{6_{k-5}} \rightarrow S_{6_k}$	(1,1,0,0,0,1,1,0,0)	(1,1,0,0,1,1,1,0,0)
$S_{6_{k-5}} \rightarrow S_{5_k}$	(1,1,0,0,0,1,1,1,0)	(1,1,0,0,1,1,1,1,0)
$S_{6_{k-5}} \rightarrow S_{4_k}$	(1,1,0,0,0,1,1,1,1)	(1,1,0,0,1,1,1,1,1)
$S_{4_{k-5}} \rightarrow S_{0_k}$	(1,1,1,1,0,0,0,0,0)	(1,1,1,1,1,0,0,0,0)
$S_{4_{k-5}} \rightarrow S_{1_k}$	(1,1,1,1,0,0,0,0,1)	(1,1,1,1,1,0,0,0,1)
$S_{4_{k-5}} \rightarrow S_{2_k}$	(1,1,1,1,0,0,0,1,1)	(1,1,1,1,1,0,0,1,1)
$S_{0_{k-6}} \rightarrow S_{0_k}$	(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,1,1,0,0,0,0)
$S_{0_{k-6}} \rightarrow S_{1_k}$	(0,0,0,0,0,0,0,0,0,1)	(0,0,0,0,1,1,0,0,0,1)
$S_{0_{k-6}} \rightarrow S_{2_k}$	(0,0,0,0,0,0,0,0,1,1)	(0,0,0,0,1,1,0,0,1,1)
$S_{2_{k-6}} \rightarrow S_{6_k}$	(0,0,1,1,0,0,1,1,0,0)	(0,0,1,1,1,1,1,1,0,0)
$S_{2_{k-6}} \rightarrow S_{5_k}$	(0,0,1,1,0,0,1,1,1,0)	(0,0,1,1,1,1,1,1,1,0)
$S_{2_{k-6}} \rightarrow S_{4_k}$	(0,0,1,1,0,0,1,1,1,1)	(0,0,1,1,1,1,1,1,1,1)
$S_{3_{k-6}} \rightarrow S_{6_k}$	(0,1,1,1,0,0,1,1,0,0)	(0,1,1,1,1,1,1,1,0,0)
$S_{3_{k-6}} \rightarrow S_{5_k}$	(0,1,1,1,0,0,1,1,1,0)	(0,1,1,1,1,1,1,1,1,0)
$S_{3_{k-6}} \rightarrow S_{4_k}$	(0,1,1,1,0,0,1,1,1,1)	(0,1,1,1,1,1,1,1,1,1)
$S_{7_{k-6}} \rightarrow S_{0_k}$	(1,0,0,0,0,0,0,0,0,0)	(1,0,0,0,1,1,0,0,0,0)
$S_{7_{k-6}} \rightarrow S_{1_k}$	(1,0,0,0,0,0,0,0,0,1)	(1,0,0,0,1,1,0,0,0,1)
$S_{7_{k-6}} \rightarrow S_{2_k}$	(1,0,0,0,0,0,0,0,1,1)	(1,0,0,0,1,1,0,0,1,1)
$S_{6_{k-6}} \rightarrow S_{0_k}$	(1,1,0,0,0,0,0,0,0,0)	(1,1,0,0,1,1,0,0,0,0)
$S_{6_{k-6}} \rightarrow S_{1_k}$	(1,1,0,0,0,0,0,0,0,1)	(1,1,0,0,1,1,0,0,0,1)
$S_{6_{k-6}} \rightarrow S_{2_k}$	(1,1,0,0,0,0,0,0,1,1)	(1,1,0,0,1,1,0,0,1,1)
$S_{4_{k-6}} \rightarrow S_{6_k}$	(1,1,1,1,0,0,1,1,0,0)	(1,1,1,1,1,1,1,1,0,0)
$S_{4_{k-6}} \rightarrow S_{5_k}$	(1,1,1,1,0,0,1,1,1,0)	(1,1,1,1,1,1,1,1,1,0)
$S_{4_{k-6}} \rightarrow S_{4_k}$	(1,1,1,1,0,0,1,1,1,1)	(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)
$S_{0_{k-7}} \rightarrow S_{0_k}$	(0,0,0,0,0,1,1,0,0,0,0)	(0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0)
$S_{0_{k-7}} \rightarrow S_{1_k}$	(0,0,0,0,0,1,1,0,0,0,1)	(0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,1)

$S_{0k-7} \rightarrow S_{2k}$	(0,0,0,0,0,1,1,0,0,1,1)	(0,0,0,0,1,1,0,0,0,1,1)
$S_{2k-7} \rightarrow S_{6k}$	(0,0,1,1,0,0,1,1,1,0,0)	(0,0,1,1,1,0,0,1,1,0,0)
$S_{2k-7} \rightarrow S_{5k}$	(0,0,1,1,0,0,1,1,1,1,0)	(0,0,1,1,1,0,0,1,1,1,0)
$S_{2k-7} \rightarrow S_{4k}$	(0,0,1,1,0,0,1,1,1,1,1)	(0,0,1,1,1,0,0,1,1,1,1)
$S_{3k-7} \rightarrow S_{6k}$	(0,1,1,1,0,0,1,1,1,0,0)	(0,1,1,1,1,0,0,1,1,0,0)
$S_{3k-7} \rightarrow S_{5k}$	(0,1,1,1,0,0,1,1,1,1,0)	(0,1,1,1,1,0,0,1,1,1,0)
$S_{3k-7} \rightarrow S_{4k}$	(0,1,1,1,0,0,1,1,1,1,1)	(0,1,1,1,1,0,0,1,1,1,1)
$S_{7k-7} \rightarrow S_{0k}$	(1,0,0,0,0,1,1,0,0,0,0)	(1,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0)
$S_{7k-7} \rightarrow S_{1k}$	(1,0,0,0,0,1,1,0,0,0,1)	(1,0,0,0,1,1,0,0,0,0,1)
$S_{7k-7} \rightarrow S_{2k}$	(1,0,0,0,0,1,1,0,0,1,1)	(1,0,0,0,1,1,0,0,0,1,1)
$S_{6k-7} \rightarrow S_{0k}$	(1,1,0,0,0,1,1,0,0,0,0)	(1,1,0,0,1,1,0,0,0,0,0)
$S_{6k-7} \rightarrow S_{1k}$	(1,1,0,0,0,1,1,0,0,0,1)	(1,1,0,0,1,1,0,0,0,0,1)
$S_{6k-7} \rightarrow S_{2k}$	(1,1,0,0,0,1,1,0,0,1,1)	(1,1,0,0,1,1,0,0,0,1,1)
$S_{4k-7} \rightarrow S_{6k}$	(1,1,1,1,0,0,1,1,1,0,0)	(1,1,1,1,1,0,0,1,1,0,0)
$S_{4k-7} \rightarrow S_{5k}$	(1,1,1,1,0,0,1,1,1,1,0)	(1,1,1,1,1,0,0,1,1,1,0)
$S_{4k-7} \rightarrow S_{4k}$	(1,1,1,1,0,0,1,1,1,1,1)	(1,1,1,1,1,0,0,1,1,1,1)
$S_{0k-8} \rightarrow S_{0k}$	(0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0)	(0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,0)
$S_{0k-8} \rightarrow S_{1k}$	(0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,1)	(0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,1)
$S_{0k-8} \rightarrow S_{2k}$	(0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,1,1)	(0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,1,1)
$S_{2k-8} \rightarrow S_{6k}$	(0,0,1,1,0,0,0,1,1,1,0,0)	(0,0,1,1,1,0,0,0,1,1,0,0)
$S_{2k-8} \rightarrow S_{5k}$	(0,0,1,1,0,0,0,1,1,1,1,0)	(0,0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0)
$S_{2k-8} \rightarrow S_{4k}$	(0,0,1,1,0,0,0,1,1,1,1,1)	(0,0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1)
$S_{3k-8} \rightarrow S_{6k}$	(0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0,0)	(0,1,1,1,1,0,0,0,1,1,0,0)
$S_{3k-8} \rightarrow S_{5k}$	(0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,0)	(0,1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0)
$S_{3k-8} \rightarrow S_{4k}$	(0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,1)	(0,1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1)
$S_{7k-8} \rightarrow S_{0k}$	(1,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0)	(1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,0)
$S_{7k-8} \rightarrow S_{1k}$	(1,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,1)	(1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,1)
$S_{7k-8} \rightarrow S_{2k}$	(1,0,0,0,0,1,1,1,0,0,1,1)	(1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,1,1)
$S_{6k-8} \rightarrow S_{0k}$	(1,1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0)	(1,1,0,0,1,1,1,0,0,0,0,0)
$S_{6k-8} \rightarrow S_{1k}$	(1,1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,1)	(1,1,0,0,1,1,1,0,0,0,0,1)
$S_{6k-8} \rightarrow S_{2k}$	(1,1,0,0,0,1,1,1,0,0,1,1)	(1,1,0,0,1,1,1,0,0,0,1,1)
$S_{4k-8} \rightarrow S_{6k}$	(1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0,0)	(1,1,1,1,1,0,0,0,1,1,0,0)
$S_{4k-8} \rightarrow S_{5k}$	(1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,0)	(1,1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0)
$S_{4k-8} \rightarrow S_{4k}$	(1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,1)	(1,1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1)
$S_{0k-9} \rightarrow S_{0k}$	(0,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0)	(0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,0)
$S_{0k-9} \rightarrow S_{1k}$	(0,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1)	(0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,1)
$S_{0k-9} \rightarrow S_{2k}$	(0,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,1,1)	(0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1,1)
$S_{2k-9} \rightarrow S_{6k}$	(0,0,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0,0)	(0,0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,0,0)
$S_{2k-9} \rightarrow S_{5k}$	(0,0,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,0)	(0,0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0)
$S_{2k-9} \rightarrow S_{4k}$	(0,0,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,1)	(0,0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1)
$S_{3k-9} \rightarrow S_{6k}$	(0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0,0)	(0,1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,0,0)
$S_{3k-9} \rightarrow S_{5k}$	(0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,0)	(0,1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0)
$S_{3k-9} \rightarrow S_{4k}$	(0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,1)	(0,1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1)

$S7_{k-9} \rightarrow S0_k$	(1,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0)	(1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,0)
$S7_{k-9} \rightarrow S1_k$	(1,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1)	(1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,1)
$S7_{k-9} \rightarrow S2_k$	(1,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,1,1)	(1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1,1)
$S6_{k-9} \rightarrow S0_k$	(1,1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0)	(1,1,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,0)
$S6_{k-9} \rightarrow S1_k$	(1,1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1)	(1,1,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,1)
$S6_{k-9} \rightarrow S2_k$	(1,1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,1,1)	(1,1,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1,1)
$S4_{k-9} \rightarrow S6_k$	(1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0,0)	(1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,0,0)
$S4_{k-9} \rightarrow S5_k$	(1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,0)	(1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0)
$S4_{k-9} \rightarrow S4_k$	(1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,1)	(1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1)

在此，判断了路径 A 和路径 B 中的哪一个似乎更可靠。能通过把路径 A 表示的理想的采样值（希望值）和实际采样值的偏移的大小与路径 B 表示的理想的采样值（希望值）和实际采样值的偏移的大小做比较，进行该判断。

例如，如果推断了状态转变  $S0_{k-5} \rightarrow S6_k$ ，则即使沿着路径 A、路径 B 的任意一个转变时，在时刻  $k-5$ ，取状态  $S0_{k-5}$ ，在时刻  $k$ ，取状态  $S6_k$ ，所以，根据根据从时刻  $k-4$  到时刻  $k$  的再现信号的值  $y_{k-4}$ 、 $y_{k-3}$ 、 $y_{k-2}$ 、 $y_{k-1}$ 、 $y_k$  和期望值的差的平方的累积值，判断了路径 A 和路径 B 中的哪一个的状态转变似乎更准确。如果把路径 A 的期望值与实际值的差的平方的累积值定为  $Pa$ ，把路径 B 的期望值与实际值的差的平方的累积值定为  $Pb$ ，则用以下所述的表达式 (21) 表示了累积值  $Pa$ ，用以下所述的表达式 (22) 表示了累积值  $Pb$ 。

【表达式 2 1】

$$P a = (y_{k-4} - 0)^2 + (y_{k-3} - C0)^2 + (y_{k-2} - (C0+C1))^2 + (y_{k-1} - (C0+C1+C2))^2 + (y_k - (2 \times C1+C2))^2 \quad \dots (21)$$

【表达式 2 2】

$$P b = (y_{k-4} - C0)^2 + (y_{k-3} - (C0+C1))^2 + (y_{k-2} - (C0+C1+C2))^2 + (y_{k-1} - (C0+2 \times C1+C2))^2 + (y_k - (C0+2 \times C1+C2))^2 \quad \dots (22)$$



在此，如果  $P_a \ll P_b$ ，则推断为路径 A 的可能性高，如果  $P_a \gg P_b$ ，则推断为路径 B 的可能性高。总之，即使当使用了最小极性颠倒间隔为 2 的记录符号和 PR (C0, C1, C2, C1, C0) 均衡化时，也能使用  $|P_a - P_b|$  判断译码结果的可靠性。另外，根据  $|P_a - P_b|$  的分布，能进行再现信号质量的评价（错误率的推断）。

另外，如果考虑在传输路线中重叠了白噪声时的情况，则最容易发生错误的状态转变是路径 A 和路径 B 的欧几里德距离变得最小的状态转变，列举了在以下所述的表 9 所示的 18 个状态转变的模式。

【表 9】

与欧几里德距离变得最小的转变对应的路径

状态转变	路径 A 的记录符号 ( $b_{k-i}, \dots, b_k$ )	路径 B 的记录符号 ( $b_{k-i}, \dots, b_k$ )
$S_{0_{k-5}} \rightarrow S_{6_k}$	(0,0,0,0,0,1,1,0,0)	(0,0,0,0,1,1,1,0,0)
$S_{0_{k-5}} \rightarrow S_{5_k}$	(0,0,0,0,0,1,1,1,0)	(0,0,0,0,1,1,1,1,0)
$S_{0_{k-5}} \rightarrow S_{4_k}$	(0,0,0,0,0,1,1,1,1)	(0,0,0,0,1,1,1,1,1)
$S_{2_{k-5}} \rightarrow S_{0_k}$	(0,0,1,1,0,0,0,0,0)	(0,0,1,1,1,0,0,0,0)
$S_{2_{k-5}} \rightarrow S_{1_k}$	(0,0,1,1,0,0,0,0,1)	(0,0,1,1,1,0,0,0,1)
$S_{2_{k-5}} \rightarrow S_{2_k}$	(0,0,1,1,0,0,0,1,1)	(0,0,1,1,1,0,0,1,1)
$S_{3_{k-5}} \rightarrow S_{0_k}$	(0,1,1,1,0,0,0,0,0)	(0,1,1,1,1,0,0,0,0)
$S_{3_{k-5}} \rightarrow S_{1_k}$	(0,1,1,1,0,0,0,0,1)	(0,1,1,1,1,0,0,0,1)
$S_{3_{k-5}} \rightarrow S_{2_k}$	(0,1,1,1,0,0,0,1,1)	(0,1,1,1,1,0,0,1,1)
$S_{7_{k-5}} \rightarrow S_{6_k}$	(1,0,0,0,0,1,1,0,0)	(1,0,0,0,1,1,1,0,0)
$S_{7_{k-5}} \rightarrow S_{5_k}$	(1,0,0,0,0,1,1,1,0)	(1,0,0,0,1,1,1,1,0)
$S_{7_{k-5}} \rightarrow S_{4_k}$	(1,0,0,0,0,1,1,1,1)	(1,0,0,0,1,1,1,1,1)
$S_{6_{k-5}} \rightarrow S_{6_k}$	(1,1,0,0,0,1,1,0,0)	(1,1,0,0,1,1,1,0,0)
$S_{6_{k-5}} \rightarrow S_{5_k}$	(1,1,0,0,0,1,1,1,0)	(1,1,0,0,1,1,1,1,0)
$S_{6_{k-5}} \rightarrow S_{4_k}$	(1,1,0,0,0,1,1,1,1)	(1,1,0,0,1,1,1,1,1)
$S_{4_{k-5}} \rightarrow S_{0_k}$	(1,1,1,1,0,0,0,0,0)	(1,1,1,1,1,0,0,0,0)
$S_{4_{k-5}} \rightarrow S_{1_k}$	(1,1,1,1,0,0,0,0,1)	(1,1,1,1,1,0,0,0,1)
$S_{4_{k-5}} \rightarrow S_{2_k}$	(1,1,1,1,0,0,0,1,1)	(1,1,1,1,1,0,0,1,1)

10

如果设所述 18 个状态转变时的译码结果为  $c_k$  ( $k$  为整数)，总结表 9 所示的状态转变中的可靠性  $P_a - P_b$ ，则得到表达式 (23)。

## 【表达式23】

$$(c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) =$$

(0, 0, 0, 0, x, 1, 1, 0, 0)时

$$Pa - Pb = (AA_{k-4} - BB_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (DD_{k-1} - FF_{k-1}) + (DD_k - EE_k)$$

$$(c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) =$$

(0, 0, 0, 0, x, 1, 1, 1, 0)时

$$Pa - Pb = (AA_{k-4} - BB_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (FF_k - GG_k)$$

$$(c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) =$$

(0, 0, 0, 0, x, 1, 1, 1, 1)时

$$Pa - Pb = (AA_{k-4} - BB_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (GG_k - JJ_k)$$

$$(c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) =$$

(0, 0, 1, 1, x, 0, 0, 0, 0)时

$$Pa - Pb = (DD_{k-4} - EE_{k-4}) + (DD_{k-3} - FF_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (AA_k - BB_k)$$

$$(c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) =$$

(0, 0, 1, 1, x, 0, 0, 0, 1)时

$$Pa - Pb = (DD_{k-4} - EE_{k-4}) + (DD_{k-3} - FF_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (BB_k - HH_k)$$

$$(c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) =$$

(0, 0, 1, 1, x, 0, 0, 1, 1)时

$$Pa - Pb = (DD_{k-4} - EE_{k-4}) + (DD_{k-3} - FF_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (HH_{k-1} - II_{k-1}) + (CC_k - II_k)$$

$$(c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) =$$

(0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 0, 0)时

$$Pa - Pb = (FF_{k-4} - GG_{k-4}) + (EE_{k-3} - GG_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (AA_k - BB_k)$$

$$(c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) =$$

(0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 0, 1)时

$$Pa - Pb = (FF_{k-4} - GG_{k-4}) + (EE_{k-3} - GG_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (BB_k - HH_k)$$

$$\begin{aligned}
& (c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = \\
& (0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 1, 1) \text{ 时} \\
& Pa - Pb = (FF_{k-4} - GG_{k-4}) + (EE_{k-3} - GG_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (HH_{k-1} - II_{k-1}) + (CC_k - II_k) \\
& (c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = \\
& (1, 0, 0, 0, x, 1, 1, 0, 0) \text{ 时} \\
& Pa - Pb = (BB_{k-4} - HH_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (DD_{k-1} - FF_{k-1}) + (DD_k - EE_k) \\
& (c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = \\
& (1, 0, 0, 0, x, 1, 1, 1, 0) \text{ 时} \\
& Pa - Pb = (BB_{k-4} - HH_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (FF_k - GG_k) \\
& (c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = \\
& (1, 0, 0, 0, x, 1, 1, 1, 1) \text{ 时} \\
& Pa - Pb = (BB_{k-4} - HH_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (GG_k - JJ_k) \\
& (c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = \\
& (1, 1, 0, 0, x, 1, 1, 0, 0) \text{ 时} \\
& Pa - Pb = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (DD_{k-1} - FF_{k-1}) + (DD_k - EE_k) \\
& (c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = \\
& (1, 1, 0, 0, x, 1, 1, 1, 0) \text{ 时} \\
& Pa - Pb = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (FF_k - GG_k) \\
& (c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = \\
& (1, 1, 0, 0, x, 1, 1, 1, 1) \text{ 时} \\
& Pa - Pb = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (GG_k - JJ_k) \\
& (c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = \\
& (1, 1, 1, 1, x, 0, 0, 0, 0) \text{ 时} \\
& Pa - Pb = (GG_{k-4} - JJ_{k-4}) + (EE_{k-3} - GG_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (AA_k - BB_k) \\
& (c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = \\
& (1, 1, 1, 1, x, 0, 0, 0, 1) \text{ 时}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Pa - Pb &= (GG_{k-4} - JJ_{k-4}) + (EE_{k-3} - GG_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (BB_k - HH_k) \\
&= (c_{k-8}, c_{k-7}, c_{k-6}, c_{k-5}, c_{k-4}, c_{k-3}, c_{k-2}, c_{k-1}, c_k) = \\
&(0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 1, 1) \text{ 时} \\
Pa - Pb &= (GG_{k-4} - JJ_{k-4}) + (EE_{k-3} - GG_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (HH_{k-1} - II_{k-1}) + (CC_k - II_k) \\
&\dots (23)
\end{aligned}$$

在此，用以下所述的表达式表示  $AA_k$ 、 $BB_k$ 、 $CD_k$ 、 $DD_k$ 、 $EE_k$ 、 $FF_k$ 、 $GG_k$ 、 $HH_k$ 、 $II_k$ 、 $JJ_k$ 。

$$\begin{aligned}
5 \quad AA_k &= (y_k - 0)^2, & BB_k &= (y_k - C0)^2, \\
CC_k &= (y_k - (C0 + C1))^2, & DD_k &= (y_k - (C1 + C2))^2, \\
EE_k &= (y_k - (C0 + C1 + C2))^2, & FF_k &= (y_k - (2 \times C1 + C2))^2, \\
GG_k &= (y_k - (C0 + 2 \times C1 + C2))^2, & HH_k &= (y_k - 2 \times C0)^2, \\
10 \quad II_k &= (y_k - (2 \times C0 + C1))^2, & JJ_k &= (y_k - (2 \times C0 + 2 \times C1 + C2))^2
\end{aligned}$$

从译码结果为  $c_k$  求出满足表达式 (23) 的  $|Pa - Pb| - (2 \times C0^2 + 2 \times C1^2 + C2^2)$ ，从它的分布求出标准偏差  $\sigma$  和平均值  $P_{ave}$ 。如果假定分布为正态分布，则用表达式 (24) 表示了发生错误的概率。因此，能通过标准偏差  $\sigma$  和平均值  $P_{ave}$  推断再现信号的错误率，能评价信号质量。

15

【表达式 2 4】

$$P(\sigma, P_{ave}) = \operatorname{erfc}\left(\frac{P_{ave}}{\sigma}\right) \quad \dots (24)$$

这样，当使用了最小极性颠倒间隔为 2 的记录符号，并且适用了 PR (C0, C1, C2, C1, C0) 均衡化时，也能根据取得给定的状态转变的路径的给定期间中的可靠性的差  $|Pa - Pb|$ ，评价再现信号的质量。

20

(实施例 2)

下面，对于计算根据使用了所述中所示的 PR (1, 2, 2, 1) 均衡的 PRML 方式进行译码时的各状态的可靠性和译码的可靠性 Pa-Pb 的方法的具体例子加以详细说明。

5 以上所述，当使用 PR (1, 2, 2, 1) 均衡化时，得到图 4 所示的格状线图。在此，如下所示，用在时刻 k-1 的给定状态的可靠性  $L_{k-1}^{S0} \sim L_{k-1}^{S5}$  和在时刻 k 的实际采样值  $y_k$ ，用以下所述的表达式(25)表示了各状态 S0~S5 的时刻 k 的可靠性  $L_k^{S0} \sim L_k^{S5}$ 。并且，以下所述的表达式中的算子  $\min[xxx, zzz]$  选择 xxx、zzz 中小的一方。

【表达式2 5】

$$\begin{aligned}
 L_k^{S0} &= \min [L_{k-1}^{S0} + (y_k + 3)^2, L_{k-1}^{S5} + (y_k + 2)^2] \\
 L_k^{S1} &= \min [L_{k-1}^{S0} + (y_k + 2)^2, L_{k-1}^{S5} + (y_k + 1)^2] \\
 L_k^{S2} &= L_{k-1}^{S1} + (y_k + 0)^2 \\
 L_k^{S3} &= \min [L_{k-1}^{S3} + (y_k - 3)^2, L_{k-1}^{S2} + (y_k - 2)^2] \\
 L_k^{S4} &= \min [L_{k-1}^{S3} + (y_k - 2)^2, L_{k-1}^{S2} + (y_k - 1)^2] \\
 L_k^{S5} &= L_{k-1}^{S4} + (y_k + 0)^2
 \end{aligned}$$

... (25)

10

在本实施例中，与在时刻 k-1 的可靠性  $L_{k-1}$  相加的分支测量（例如  $(y_k + 3)^2$  总是 1/2，并且减去了  $y_k^2/2$ 。并且，在所述 PRML 方式中，能把以上所述的  $L_k^{S0} \sim L_k^{S5}$  彼此比较，选择值小的，所以当把所述的计算规则对求出  $L_k^{S0} \sim L_k^{S5}$  的所有表达式适用时，不会影响译码结果。结果，用

15 以下所述的表达式 (26) 表示各状态 S0~S5 的时刻 k 的可靠性  $L_k^{S0} \sim L_k^{S5}$ 。

20

【表达式2 6】

$$\begin{aligned}
 L_k^{S0} &= \min [L_{k-1}^{S0} + (y_k + 3)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{S5} + (y_k + 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \\
 L_k^{S1} &= \min [L_{k-1}^{S0} + (y_k + 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{S5} + (y_k + 1)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \\
 L_k^{S2} &= L_{k-1}^{S1} + (y_k + 0)^2 / 2 - y_k^2 / 2 \\
 L_k^{S3} &= \min [L_{k-1}^{S3} + (y_k - 3)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{S2} + (y_k - 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \\
 L_k^{S4} &= \min [L_{k-1}^{S3} + (y_k - 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{S2} + (y_k - 1)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \\
 L_k^{S5} &= L_{k-1}^{S4} + (y_k + 0)^2 / 2 - y_k^2 / 2 \\
 &\dots (26)
 \end{aligned}$$

如果展开该表达式 (26), 就得到以下所述的表达式 (27)。

【表达式2 7】

$$\begin{aligned}
 L_k^{S0} &= \min [L_{k-1}^{S0} + 3y_k + 9/2, L_{k-1}^{S5} + 2y_k + 2] \\
 L_k^{S1} &= \min [L_{k-1}^{S0} + 2y_k + 2, L_{k-1}^{S5} + y_k + 1/2] \\
 L_k^{S2} &= L_{k-1}^{S1} \\
 L_k^{S3} &= \min [L_{k-1}^{S3} - 3y_k + 9/2, L_{k-1}^{S2} - 2y_k + 2] \\
 L_k^{S4} &= \min [L_{k-1}^{S3} - 2y_k + 2, L_{k-1}^{S2} - y_k + 1/2] \\
 L_k^{S5} &= L_{k-1}^{S4} \\
 &\dots (27)
 \end{aligned}$$

5

在此,  $A_k$ 、 $B_k$ 、 $C_k$ 、 $D_k$ 、 $E_k$ 、 $F_k$ 、 $G_k$  定义如下。

10

$$\begin{aligned}
 A_k &= 3y_k + 9/2 = (y_k - th4) + (y_k - th5) + (y_k - th6) \\
 B_k &= 2y_k + 2 = (y_k - th4) + (y_k - th5) \\
 C_k &= y_k + 1/2 = (y_k - th4) \\
 E_k &= -y_k + 1/2 = (th3 - y_k) \\
 F_k &= -2y_k + 2 = (th3 - y_k) + (th2 - y_k) \\
 G_k &= -3y_k + 9/2 = (th3 - y_k) + (th2 - y_k) + (th1 - y_k)
 \end{aligned}$$

并且, 满足  $th1=5/2$ ,  $th2=3/2$ ,  $th3=1/2$ ,  $th4=-1/2$ ,  $th5=-3/2$ ,  $th6=-5/2$ 。

如果这样根据所述表达式 (27) 求出  $L_k^{S0} \sim L_k^{S5}$ , 当检测了在时刻  $k$  的采样值  $y_k$  时, 即使不进行理想值和采样值的差的平方的计算, 也能通过  $A_k \sim G_k$  表示的单纯的乘法和加法求出  $L_k^{S0} \sim L_k^{S5}$ 。因此, 能得到不使  
5 电路结构变复杂的优点。

如实施例 1 中所说明的, 能通过求出两个能取得的状态转变列 (路径 A 和路径 B) 的可靠性的差  $|Pa-Pb|$ , 评价再现信号的质量, 但是, 能使求出该  $Pa-Pb$  的计算为不包含平方的计算的比较简单的计算。以下, 具体说明求出  $Pa-Pb$  的方法。

10 例如, 如实施例 1 中所说明的, 当适用了 PR (1, 2, 2, 1) 均衡化时, 最好对于欧几里德距离变得最小的路径 A 和路径 B 求出  $Pa-Pb$ 。即在表 2 所示的状态转变中, 当  $Pa=0$  或  $Pb=0$  时, 产生了取  $\pm 10$  的 8 个状态转变时, 求出  $Pa-Pb$ 。

15 例如, 说明所述 8 个状态转变中, 对于  $S0_{k-4} \rightarrow S4_k$  的转变, 求出  $Pa-Pb$  时的情况。此时, 路径 A 沿着  $S0 \rightarrow S0 \rightarrow S1 \rightarrow S2 \rightarrow S4$  转变, 路径 B 沿着  $S0 \rightarrow S1 \rightarrow S2 \rightarrow S3 \rightarrow S4$  转变。此时, 路径 A 的可靠性  $Pa$  用  $(y_{k-3}+3)^2/2 + (y_{k-2}+2)^2/2 + (y_{k-1}+0)^2/2 + (y_k-1)^2/2$  表示。另外, 路径 B 的可靠性  $Pb$  用  $(y_{k-3}+2)^2/2 + (y_{k-2}+0)^2/2 + (y_{k-1}-2)^2/2 + (y_k-2)^2/2$  表示。

20 此时, 能用以上所述的  $A_k \sim G_k$  表示  $Pa-Pb$ 。更具体地说, 用  $Pa-Pb = (A_{k-3} - B_{k-3}) + B_{k-2} - F_{k-1} + (E_k - F_k)$ 。这样, 根据本实施例, 因为使用由采样值  $y_k$  和设置值  $th1 \sim th6$  的单纯的加减运算求出的  $A_k \sim G_k$  表示了  $Pa-Pb$ , 所以不需要进行平方的演算, 就能比较容易求出结果。因此, 得到了能使电路结果不复杂的优点。

25 并且, 在所述中说明了对于转变  $S0_{k-4} \rightarrow S4_k$  的  $Pa-Pb$  的求出方法, 但是, 对于其它的转变的  $Pa-Pb$  也能同样用所述的  $A_k \sim G_k$  表示。以下表示了它们的例子。

当状态转变  $S0_{k-4} \rightarrow S3_k$  时,

$$P a - P b = (A_{k-3} - B_{k-3}) + B_{k-2} - F_{k-1} + (F_k - G_k)$$

30 当状态转变  $S2_{k-4} \rightarrow S0_k$  时,

$$P a - P b = (E_{k-3} - F_{k-3}) - F_{k-2} + B_{k-1} + (A_k - B_k)$$

当状态转变  $S2_{k4} \rightarrow S1_k$  时,

$$5 \quad P a - P b = (E_{k-3} - F_{k-3}) - F_{k-2} + B_{k-1} + (B_k - C_k)$$

当状态转变  $S5_{k4} \rightarrow S4_k$  时,

$$P a - P b = (B_{k-3} - C_{k-3}) + B_{k-2} - F_{k-1} + (E_k - F_k)$$

当状态转变  $S5_{k4} \rightarrow S3_k$  时,

$$10 \quad P a - P b = (B_{k-3} - C_{k-3}) + B_{k-2} - F_{k-1} + (F_k - G_k)$$

当状态转变  $S3_{k4} \rightarrow S0_k$  时,

$$P a - P b = (F_{k-3} - G_{k-3}) - F_{k-2} + B_{k-1} + (A_k - B_k)$$

15 当状态转变  $S3_{k4} \rightarrow S1_k$  时,

$$P a - P b = (F_{k-3} - G_{k-3}) - F_{k-2} + B_{k-1} + (B_k - C_k)$$

(实施例 3)

下面, 参照图 7, 说明用 PRML 方式进行再现信号的译码的光盘装置  
20 100。

在光盘装置 100 中, 由光头 50 从光盘 8 读出的再现信号由前置放  
大器 9 放大, 在 AC 耦合后, 输入到 AGC (automatic gain controller)  
10 中。在 AGC 中, 调整了增益, 使后段的波形均衡器 11 的输出变为给  
定振幅。从 AGC 输出的再现信号由波形均衡器 11 进行波形整形。进行  
25 了波形整形的再现信号被输出到 PLL 电路 12 和 A/D 转换器 13。

PLL 电路 12 生成与再现信号同步的再现时钟。并且, 该 PLL 电路 12  
可以具有与图 1 所示的以往的 PLL 电路 (由相位比较器 5、LPF6 和 VC07  
构成的电路) 同样的结构。另外, A/D 转换器 13 与从 PLL 电路 12 输出  
的再现时钟同步, 进行再现信号的采样。把这样得到的采样数据从 A/D  
30 转换器 13 输出到数字滤波器 14。



数字滤波器 1 具有设置的频率特性，使记录再现系统的频率特性变为维托毕电路 15 的假想特性（在本实施例中为 PR (1, 2, 2, 1) 均衡特性）。从该数字滤波器 14 输出的数据被输入到进行最佳译码的维托毕电路 15 中。维托毕电路 15 通过最佳译码方式对 PR (1, 2, 2, 1) 均衡的信号进行译码，输出 2 值化数据。

另外，从维托毕电路 15 与译码的 2 值化数据一起还向差分测量解析器 16 输出各时刻的欧几里德距离的计算结果（分支测量）。差分测量解析器 16 从由维托毕电路 15 得到的 2 值化数据判别状态转变，根据该判别结果和分支测量，求出表示译码结果的可靠性的 Pa-Pb。由此，能推断译码结果的错误率。

下面，参照图 8，就维托毕电路 15 和差分测量解析器 16 加以详细的说明。图 8 表示了维托毕电路 15 和差分测量解析器 16 的结构。从数字滤波器 14 输出的采样值  $y_k$  被输入到维托毕电路 15 的分支测量演算电路 17 中。在分支测量演算电路 17 中，计算了与采样值  $y_k$  和期望值 levelv 的距离相当的分支测量。因为使用了 PR (1, 2, 2, 1) 均衡，所以期望值 levelv 具有 0~6 的 7 个值。用以下所述的表达式 (28) 规定了表示在时刻 k 的各期望值和采样值  $y_k$  的距离的分支测量  $A_k$ 、 $B_k$ 、 $C_k$ 、 $D_k$ 、 $E_k$ 、 $F_k$ 、 $G_k$  的各值。

【表达式 28】

$$\begin{aligned} A_k &= (y_k - 0)^2, B_k = (y_k - 1)^2, C_k = (y_k - 2)^2, D_k = (y_k - 3)^2, \\ E_k &= (y_k - 4)^2, F_k = (y_k - 5)^2, G_k = (y_k - 6)^2 \quad \dots (28) \end{aligned}$$

20

这样计算的分支测量被输入到加法/比较/选择电路 18 中。从输入的时刻 k 的分支测量和时刻 k-1 的各状态的可靠性（分支测量）求出在时刻 k 各状态 S0~S5（参照图 4）的可靠性。用表达式 (29) 表示了各状态的可靠性。并且， $\min[xxx, zzz]$  是选择 xxx 或 zzz 中小的一方的值的函数。

25

【数 2 9】

$$\begin{aligned}
 L_k^{S0} &= \min[ L_{k-1}^{S0} + A_k, L_{k-1}^{S5} + B_k ] \\
 L_k^{S1} &= \min[ L_{k-1}^{S0} + B_k, L_{k-1}^{S5} + C_k ] \\
 L_k^{S2} &= L_{k-1}^{S1} + D_k \\
 L_k^{S3} &= \min[ L_{k-1}^{S3} + G_k, L_{k-1}^{S2} + F_k ] \\
 L_k^{S4} &= \min[ L_{k-1}^{S3} + F_k, L_{k-1}^{S2} + E_k ] \\
 L_k^{S5} &= L_{k-1}^{S4} + D_k
 \end{aligned}
 \tag{29}$$

在时刻  $k$  的测量值  $L_k^{S0} \sim L_k^{S5}$  被存储在寄存器 19 中，用于下一个时刻  $k+1$  的各状态的测量值的演算。另外，电路 18 根据表达式 (29) 选择测量值变为最小的状态转变，并且如以下所述的表达式 (30) 所示，根据选择结果，把控制信号  $Se10 \sim Se13$  输出到具有图 9 所示的电路结构的路径存储器 20 中。

【表达式 3 0】

$$\begin{aligned}
 L_{k-1}^{S0} + A_k &\geq L_{k-1}^{S5} + B_k & : & \text{Sel0} = '1' \\
 L_{k-1}^{S0} + A_k &< L_{k-1}^{S5} + B_k & : & \text{Sel0} = '0' \\
 L_{k-1}^{S0} + B_k &\geq L_{k-1}^{S5} + C_k & : & \text{Sel1} = '1' \\
 L_{k-1}^{S0} + B_k &< L_{k-1}^{S5} + C_k & : & \text{Sel1} = '0' \\
 L_{k-1}^{S3} + G_k &\geq L_{k-1}^{S2} + F_k & : & \text{Sel2} = '1' \\
 L_{k-1}^{S3} + G_k &< L_{k-1}^{S2} + F_k & : & \text{Sel2} = '0' \\
 L_{k-1}^{S3} + F_k &\geq L_{k-1}^{S2} + E_k & : & \text{Sel3} = '1' \\
 L_{k-1}^{S3} + F_k &< L_{k-1}^{S2} + E_k & : & \text{Sel3} = '0'
 \end{aligned}
 \tag{30}$$

10 路径存储器 20 能根据输入的控制信号推断遵从状态转变规则的似乎最可靠的状态转变列，输出与该推断的状态转变列对应的 2 值化数据  $c_k$ 。

另一方面，为了进行再现信号的评价，把从分支测量演算电路 17 输出的分支测量输入到延迟电路 21 中，延迟了加法/比较/选择电路 18 和路

径存储器 20 的信号处理时间后, 输出到差分测量运算器 22 中。更具体地说, 进行了与以上所述的表达式 (9) 表示的 8 个状态转变对应的数据模式的检测。差分测量运算器 22 当状态转变检测器 23 检测了给定的状态转变时, 根据以上所述的表达式 (9), 计算关于该检测的状态转变的 Pa-Pb。

5 并且, 也能用实施例 2 中说明的不含平方的演算的计算方法求出 Pa-Pb。根据实施例 2 的方法, 不用由分支测量演算电路 17 计算的分支测量就能求出 Pa-Pb。因此, 此时, 可以采用只通过延迟电路 21, 就能把从数字滤波器 14 输出的采样值  $y_k$  直接输入到差分测量运算器 22 中的电路结构。在差分测量运算器 22 中, 根据在实施例 2 中说明的方法, 从采样值  
10  $y_k$  能求出 Pa-Pb。

把这样计算的观测检测的给定状态转变的 Pa-Pb 的值输入到平均值/标准偏差运算器 24 中。平均值/标准偏差运算器 24 求出输入的 Pa-Pb 的分布的平均值和标准偏差, 输出这两个值 (即平均值  $Pave_{10}$  和标准偏差  $\sigma_{10}$ )。并且, 在此输出的平均值  $Pave_{10}$  和标准偏差  $\sigma_{10}$  是关于两个路径的欧  
15 几里德距离取最小值 (即弄错路径的可能性高) 的给定状态转变的值。根据表达式 (11), 能从平均值  $Pave_{10}$  和标准偏差  $\sigma_{10}$  推断再现信号的错误率。即从平均值/标准偏差运算器 24 得到的标准偏差、平均值被作为与错误率相关的表示再现信号质量的指标使用。并且, 以上所述, 因为预测平均值取接近 0 的值, 所以可以把  $Pave_{10}$  看作 0, 求出错误率。

20 以上说明具有图 7 所示的结构的光盘装置 100, 但是如图 10 所示, 光盘装置可以具有还设置了为了 PLL 电路的时钟再现, 而具有适合的均衡特性波形均衡器 B28 的结构。此时, 与图 7 所示的光盘装置 100 同样, 能求出标准偏差、平均值, 由此, 能评价再现信号的质量。另外, 通过分别设置进行适合于时钟再现的波形整形的波形均衡器、进行适合于 PRML  
25 译码方式的波形整形的波形均衡器, 能生成想要的再现时钟信号, 并且能提高 PRML 方式的译码的正确性。并且, 在由与本申请的申请人同一的申请人提出的美国特许申请号码第 09/996, 843 号中记载了使用了这样的两个以上所述的波形均衡器的光盘装置。在本说明书中引用了该美国特许  
30 申请号码第 09/996, 843 号。

另外, 如图 11 所示, 也可以从 A/D 转换器 13 的输出 (数字信号)

生成再现时钟。此时，与图 7 所示的光盘装置 100 同样，能求出平均值，由此，能评价再现信号的质量。

另外，以上所述，能使用从差分测量解析器 16 输出的 Pa-Pb 的分布的标准偏差  $\sigma$  和平均值  $P_{ave}$  作为指标，评价再现信号的质量，但是也能根据该指标（标准偏差  $\sigma$  和平均值  $P_{ave}$ ）进行改善再现信号的质量的控制。例如，如图 12 所示，通过使用频率特性控制手段 29 改变波形均衡器的频率特性，使从差分测量解析器 16 输出的平均值变为 0，或标准偏差变为最小，就能改善再现信号的质量。另外，在能记录信息的光盘装置中，通过控制记录能量记录补偿量，使从差分测量解析器 16 输出的平均值变为 0，或标准偏差变为最小，就能进行记录参数的最优化。

#### （实施例 4）

下面，参照图 13 就本发明的实施例 4 的光盘装置加以说明。

在本实施例中差分测量解析器 160 的结构使根据以上所述的表达式（14）规定的 PRML 误差指标 MLSA ( $M = \sigma / 2 \cdot d_{min}^2$ )。并且，通过把似乎最可靠的状态转变列和再现信号的标准偏差（平均平方误差） $\sigma$  除以该状态转变列和第二可靠的状态转变列的欧几里德距离，求出 PRML 误差指标 MLSA。PRML 误差指标 MLSA 是能恰当地评价使用了 PRML 的再现信号质量的指标。

从差分测量解析器 160 输出的误差指标 MLSA 被提供给频率特性控制手段 29。频率特性控制手段 29 把波形均衡器的特性（例如放大量和放大中心频率）最佳化，使该误差指标 MLSA 变为最小。例如，使放大量稍微变化，比较变化前后的点的 PRML 误差指标 MLSA，选择 MLSA 变得更小一方的放大量。通过重复这样的动作，最佳化了波形均衡器的特性，能使 PRML 误差指标 MLSA 收敛于最小值。

另外，如图 14 所示，可以把由差分测量解析器 160 生成的 PRML 误差指标 MLSA 提供给聚焦偏移探查手段 291。在信号再现时，进行了聚焦伺服控制，使光头 100 射出的光点总能扫描光盘 8 的信息记录面附近。通过反馈控制光头 100 的聚焦激励器（图中未显示），执行该该聚焦伺服控制，使由伺服放大器 91 检测的聚焦误差信号通过减法器 92 变为给定的目标值  $X_0$ 。在此，聚焦偏移探查手段 291 如果对减法器 92，作为给定的目

标值 X0 输出使 PRML 误差指标 MLSA 变得最小的目标值 X0，则能进行使 PRML 误差指标 MLSA 变得最小的（即错误率变得最小）聚焦伺服控制。另外，为了进行这样的目标值 X0 的探查，例如可以检测和比较使所述目标值 X0 稍微变化时的 PRML 误差指标 MLSA 的变化。

- 5 并且，在本实施例中，使用 PRML 误差指标 MLSA 使聚焦目标值最优化，但是本发明也能应用于其它的伺服目标值的最优化。使用所述的 PRML 误差指标 MLSA，例如能进行跟踪伺服、盘倾斜控制、透镜球面像差修正控制等。

10 如图 15 所示，在具有信号再现用光头 50 和信号记录用光头 51 等两种光头的光盘装置中，可以使用从差分测量解析器 160 输出的 PRML 误差指标 MLSA，控制记录能量。应该记录到光盘的信号通过记录信号生成手段，通过调制器 102 提供给信号记录用光头 101。解调器 102 把适当的记录能量 P 和所述记录信号相乘，提供给光头 101。此时，通过把由差分测量解析器 160 生成的 PRML 误差指标 MLSA 提供给记录能量控制手段 292，记录能量控制手段 292 决定所述记录能量 P，使 PRML 误差指

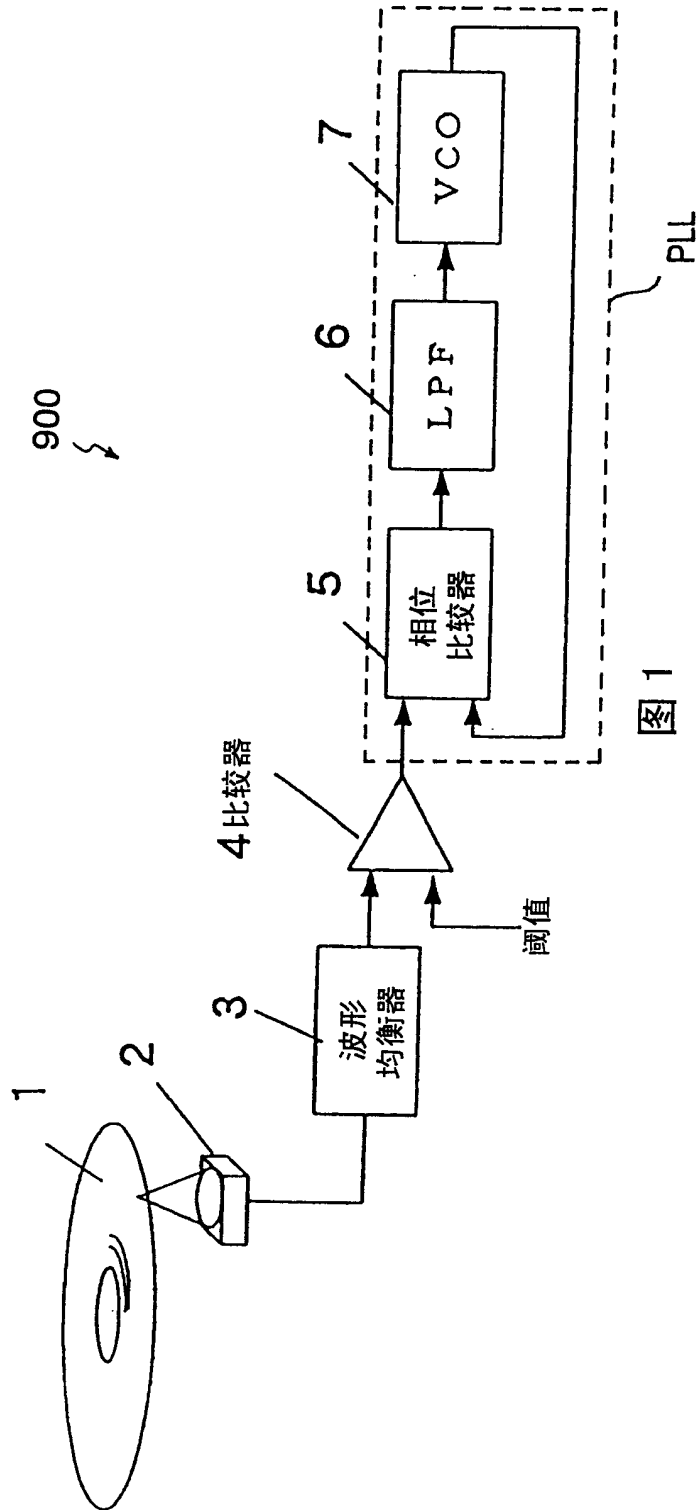
15 标 MLSA 变为最小。

并且，图 15 所示的光盘装置分别用不同的头分别进行记录动作和再现动作，但是也可以把一个头的功能在记录和再现之间切换，执行所述的各动作。另外，在所述中，表示了控制记录能量的例子，也可以采用根据 PRML 误差指标 MLSA 控制记录脉冲的幅度和相位的结构。

20

根据本发明的再现信号质量的评价方法再现信号质量的评价方法，在从 n 种状态转变列中推断似乎最可靠的状态转变列的最佳译码方式中，以从时刻 k-j 的状态到时刻 k 的状态的给定期间中的状态转变的可靠性（例如给定期间中的欧几里德距离的累积值）为 PA，以从似乎第二

25 可靠的状态转变列的时刻 k-j 的状态到时刻 k 的状态的给定期间中的状态转变的可靠性（例如给定期间中的欧几里德距离的累积值）为 PB 时，通过  $|PA-PB|$  来判断从时刻 k-j 到时刻 k 的译码结果的可靠性。而且，通过求出该多次测定的  $|PA-PB|$  的偏移，就能得到与最佳译码的 2 值化结果的错误率相关的表示信号质量的指标。



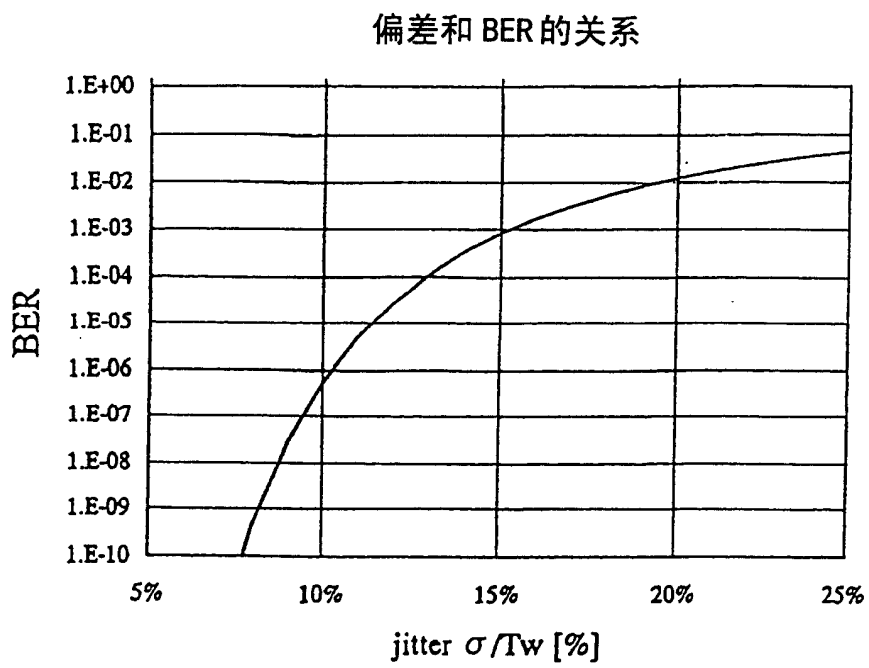
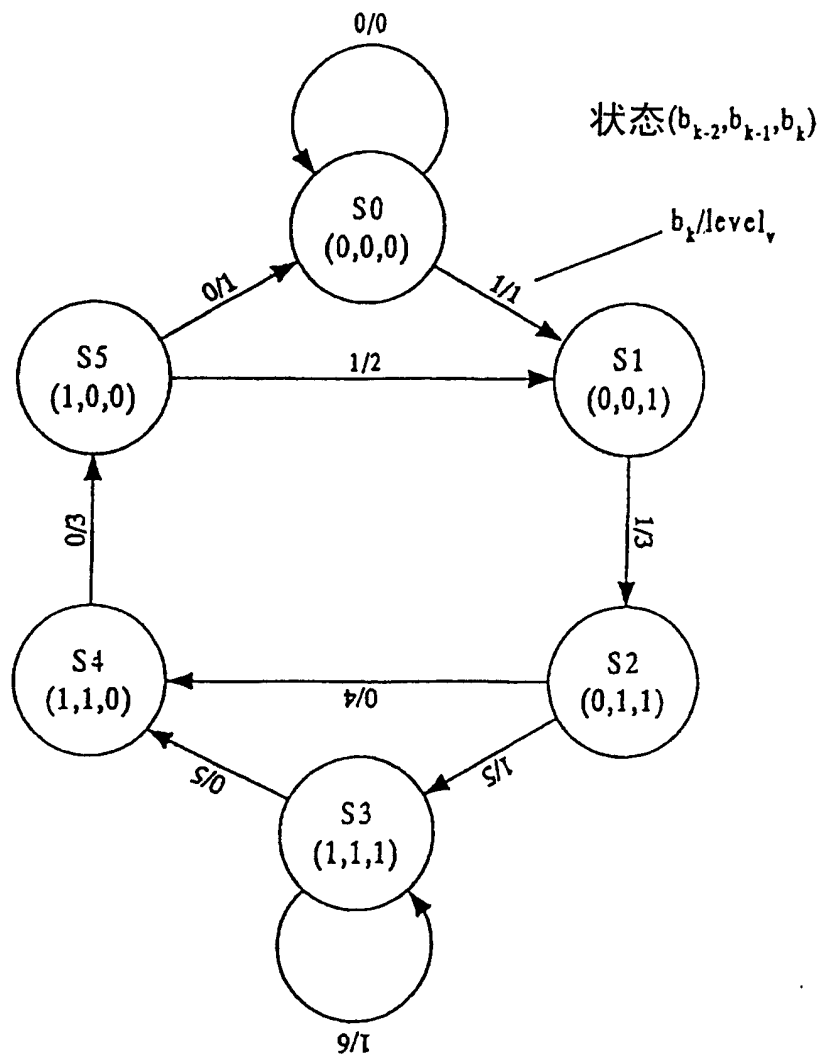


图 2

最小极性颠倒间隔  $2 + PR(1,2,2,1)$  的状态转变图



最小极性颠倒间隔  $2+PR(1, 2, 2, 1)$  的格子线图

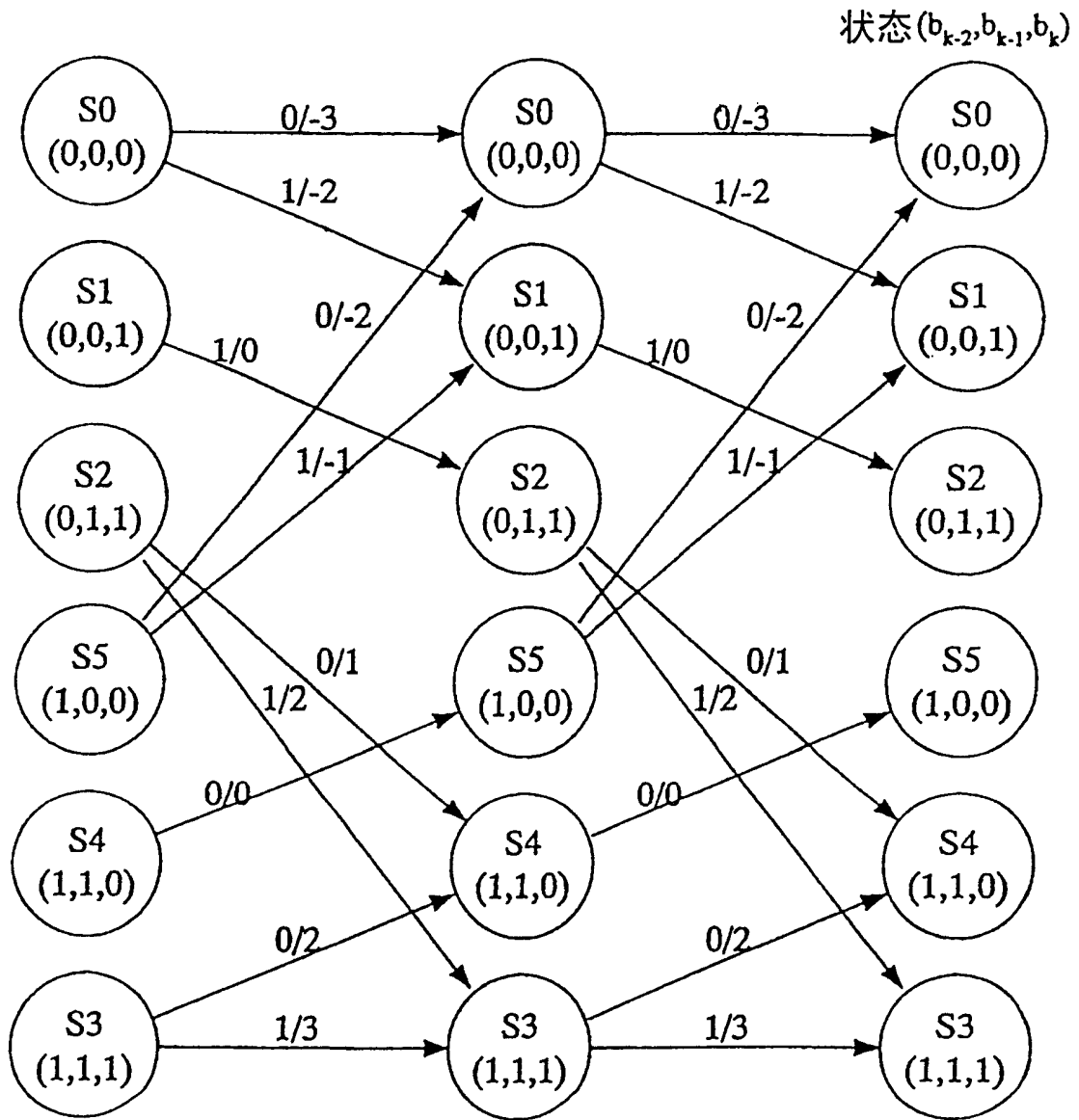


图 4

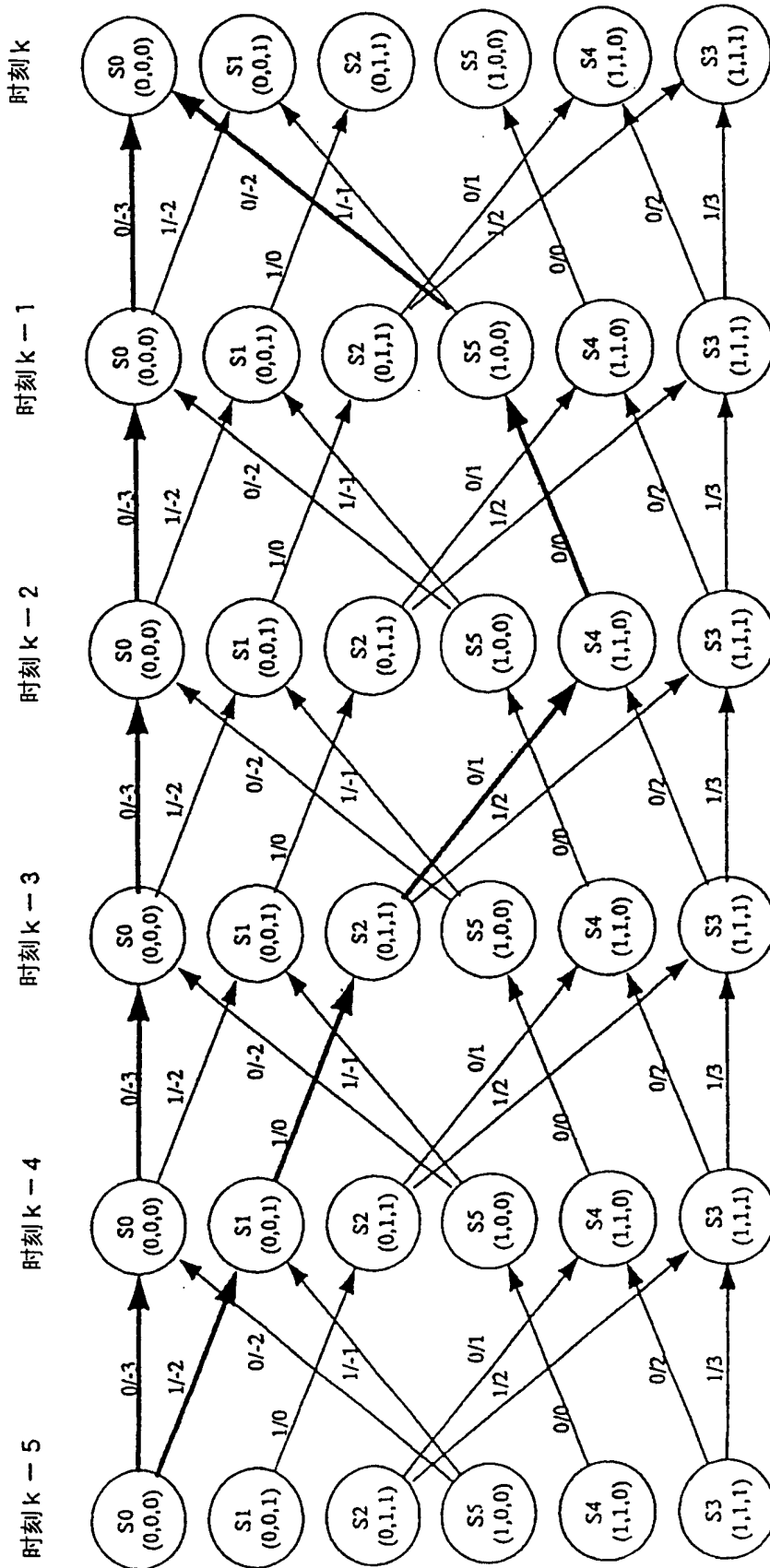


图 5

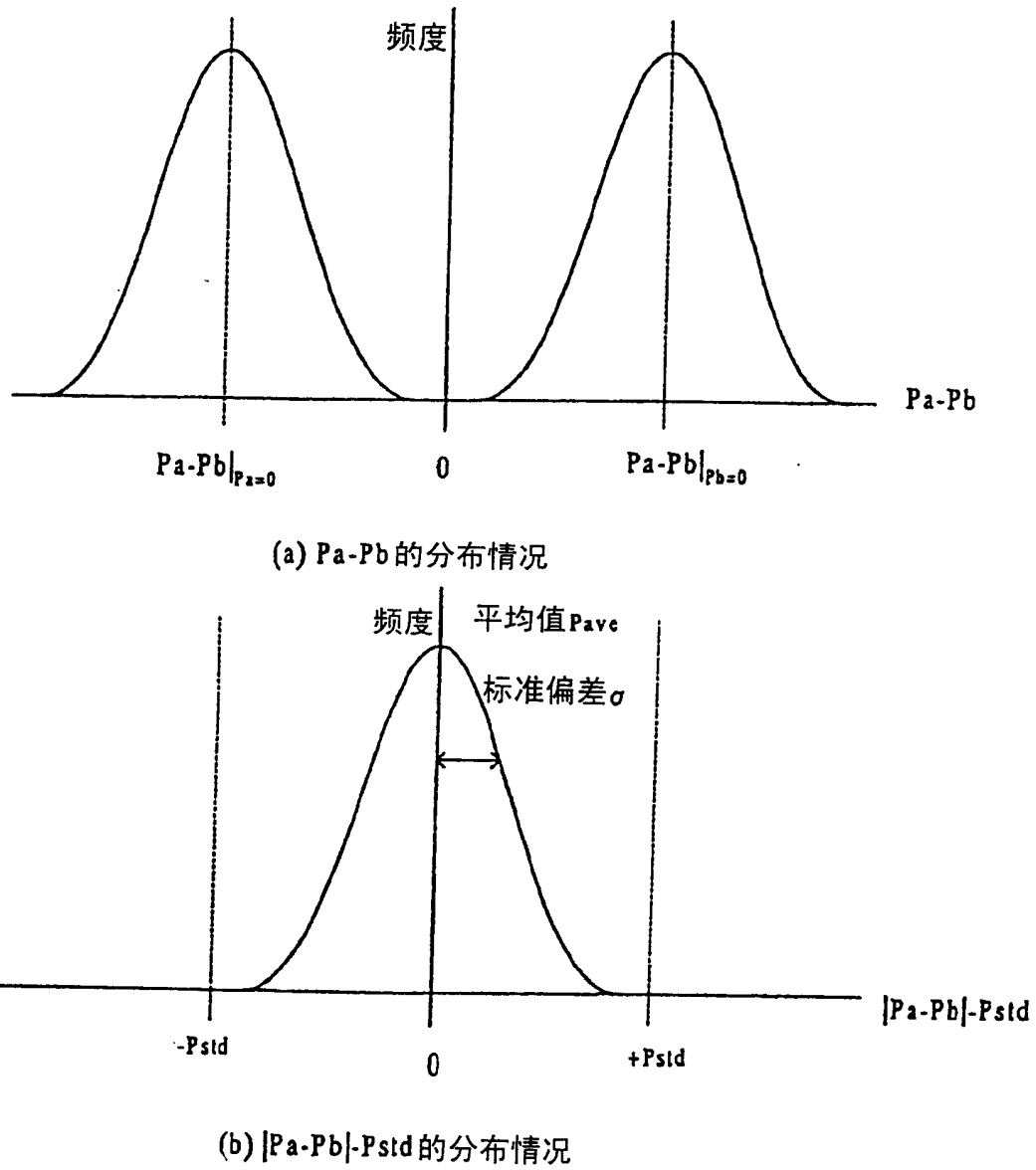


图 6

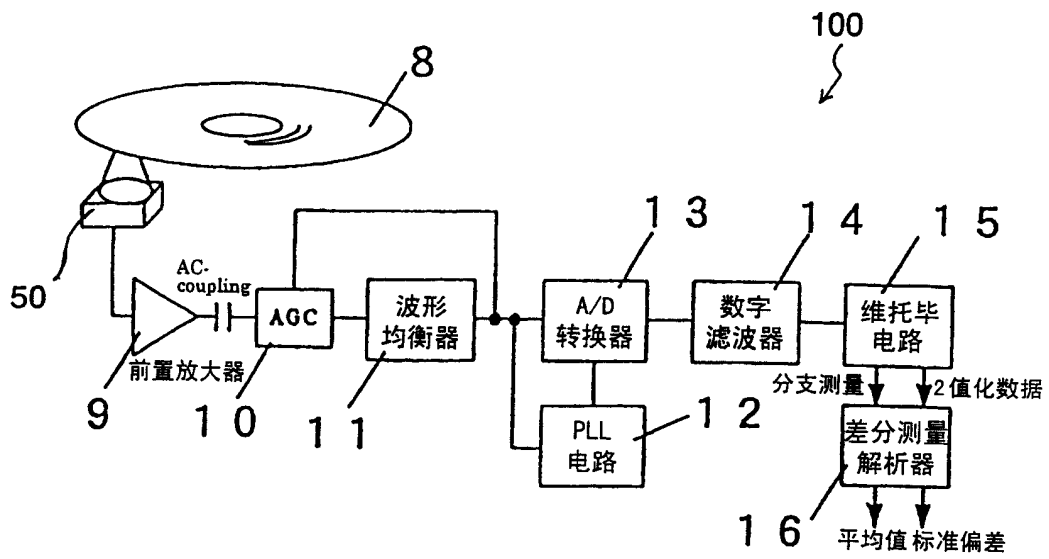


图 7

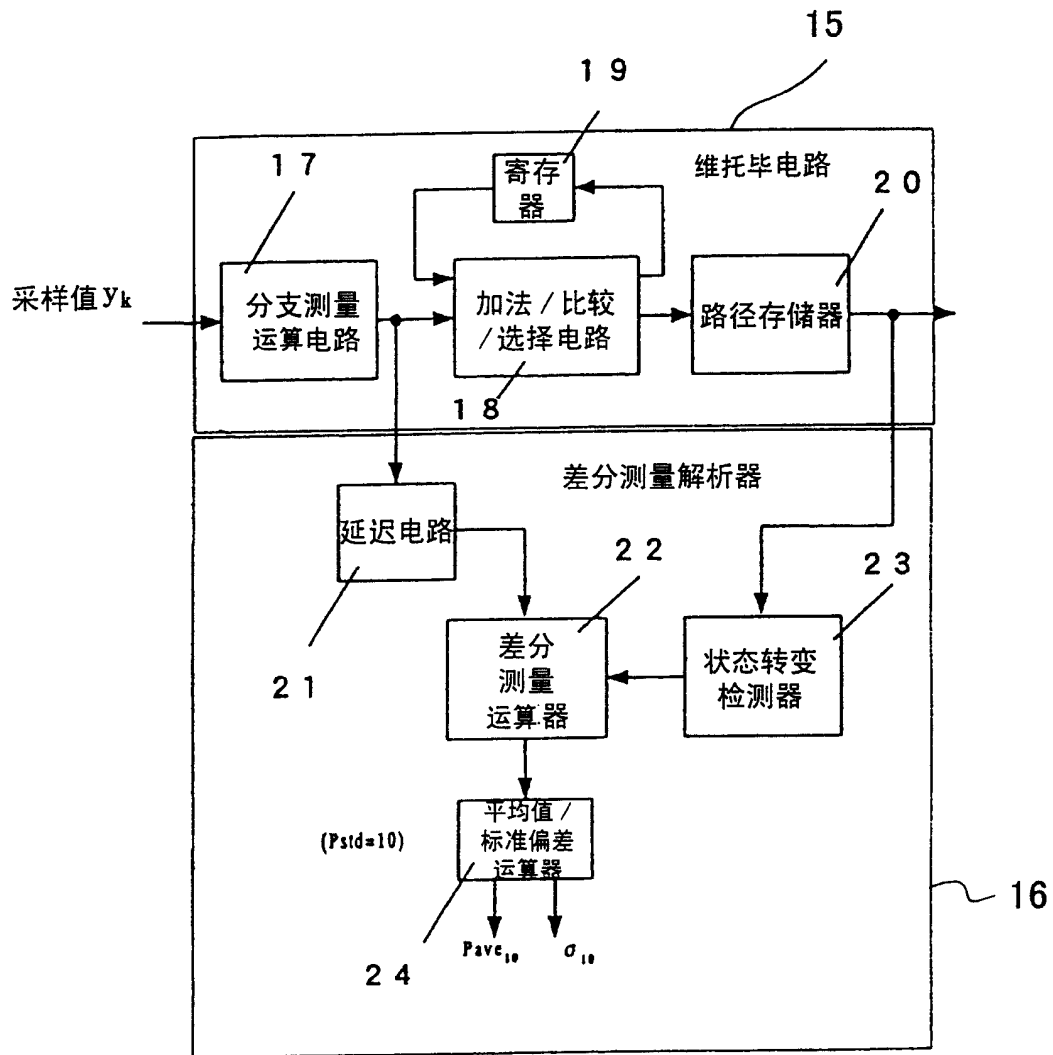
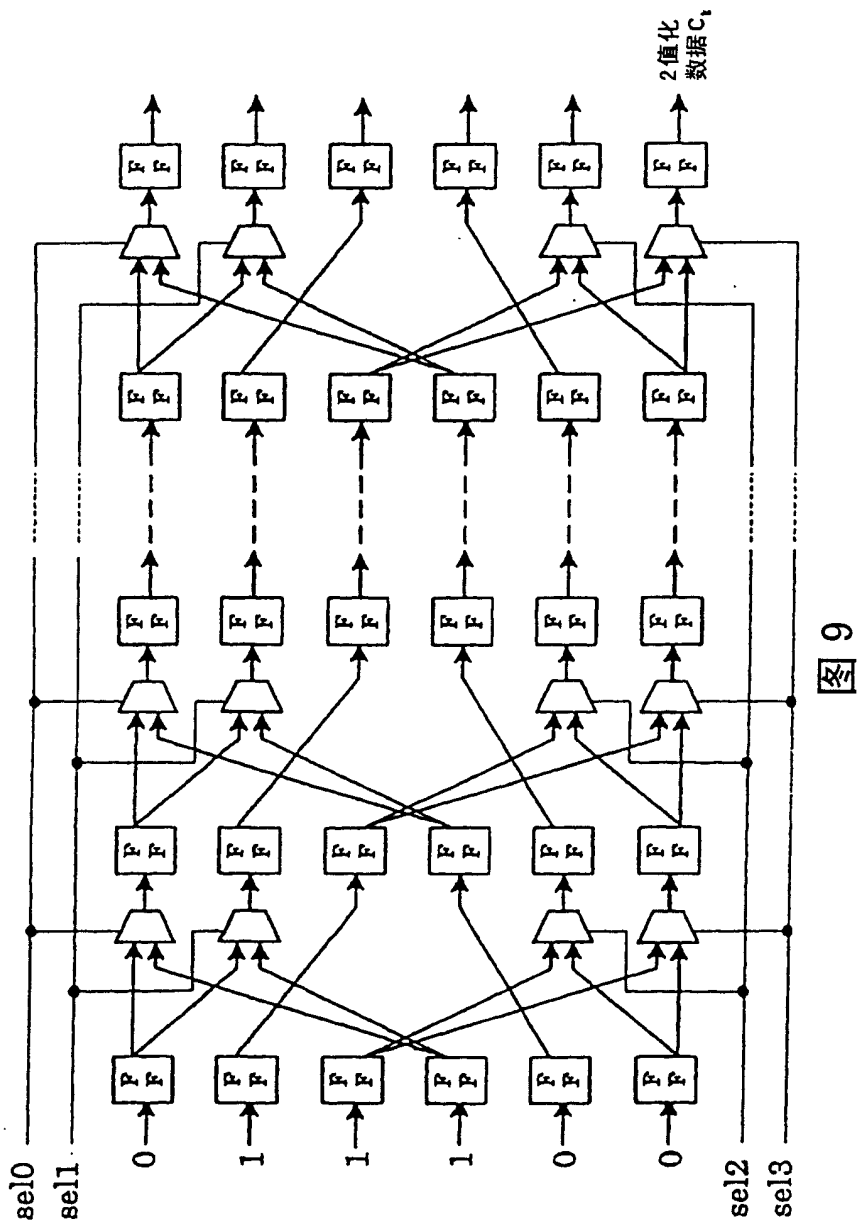


图 8



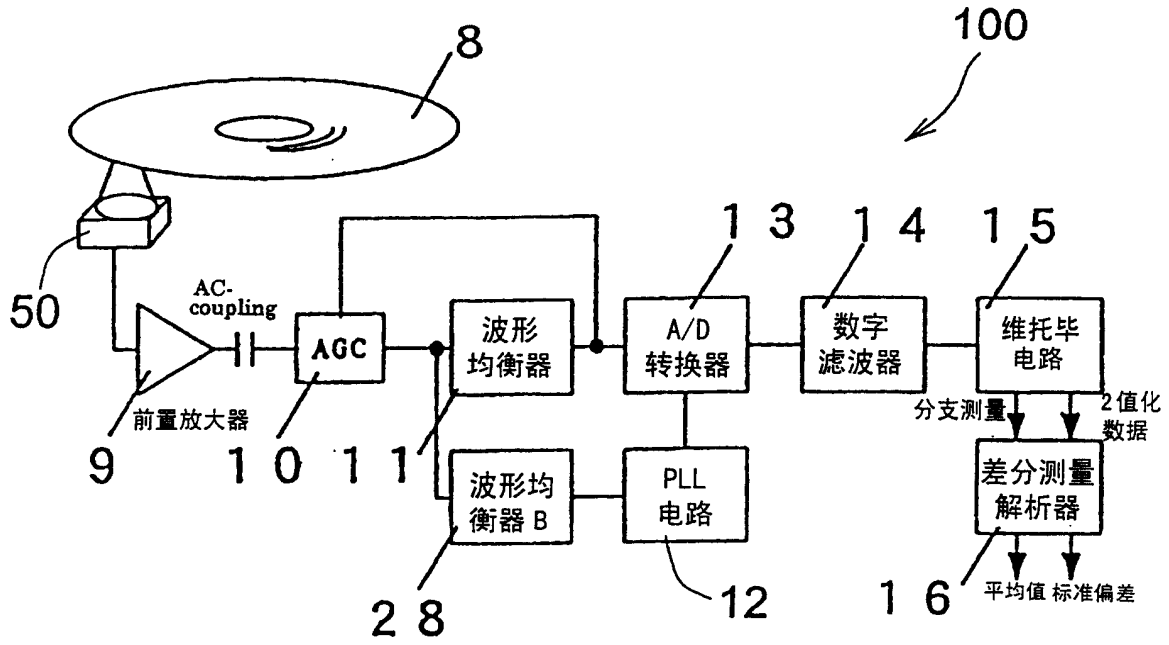


图 10

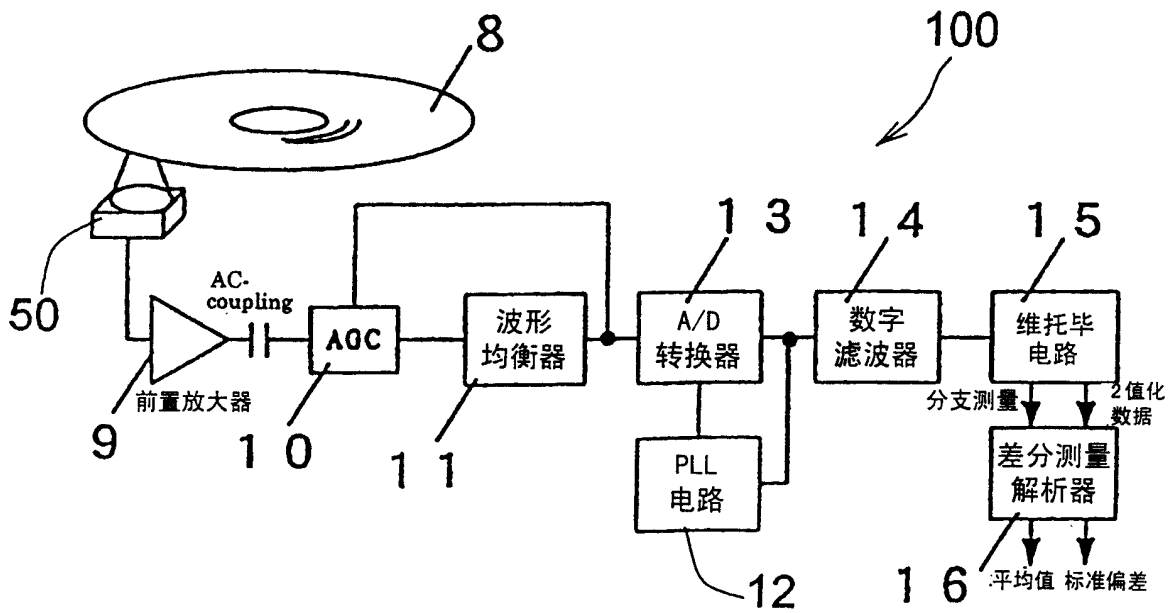


图 11

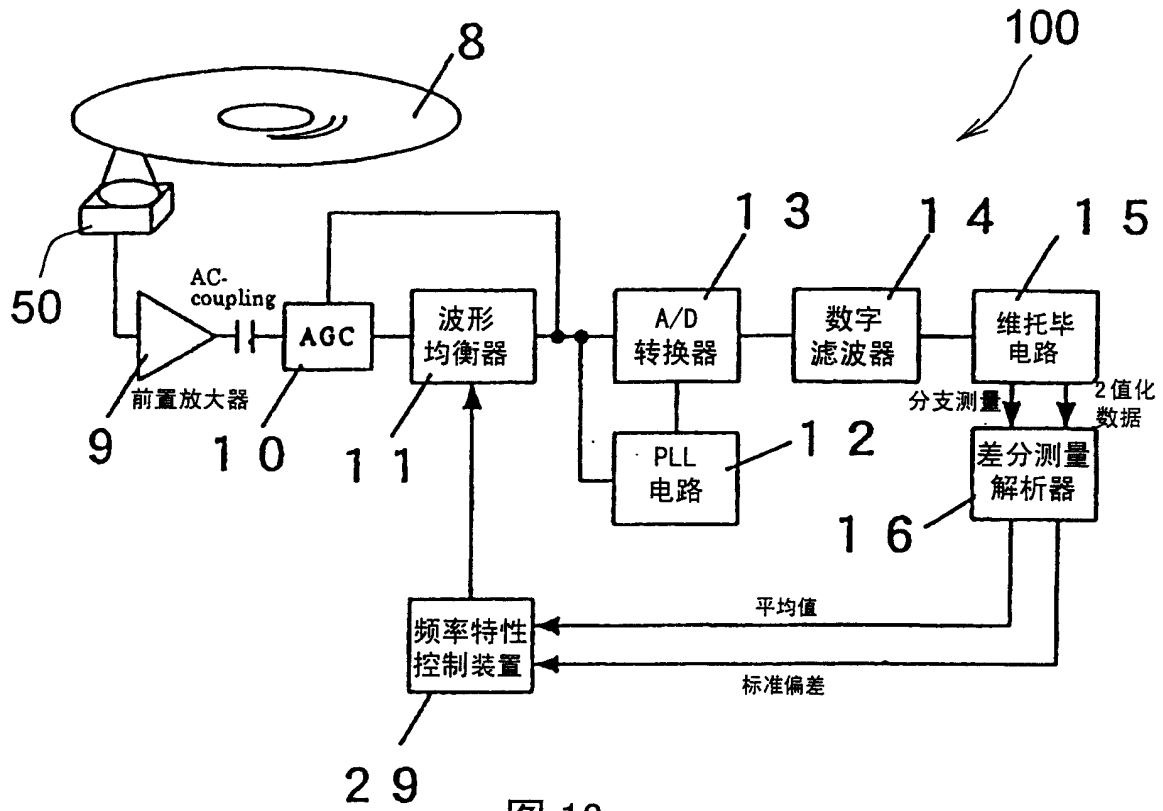
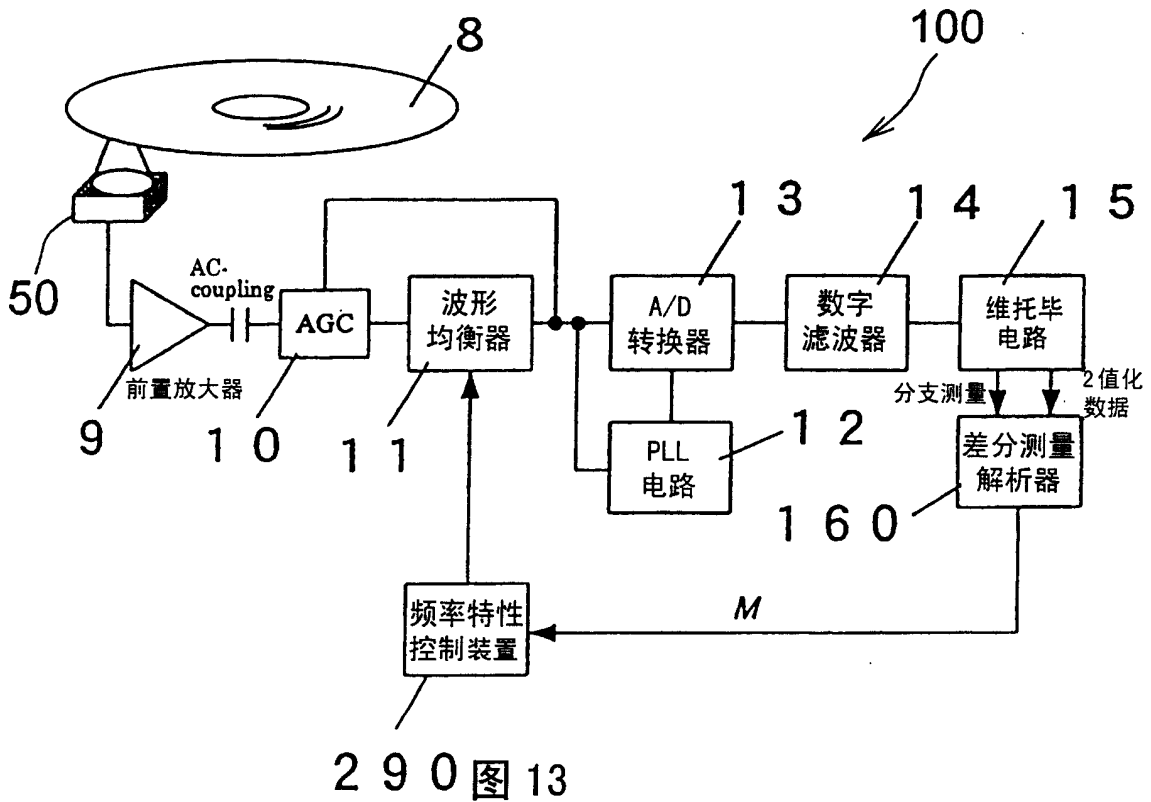
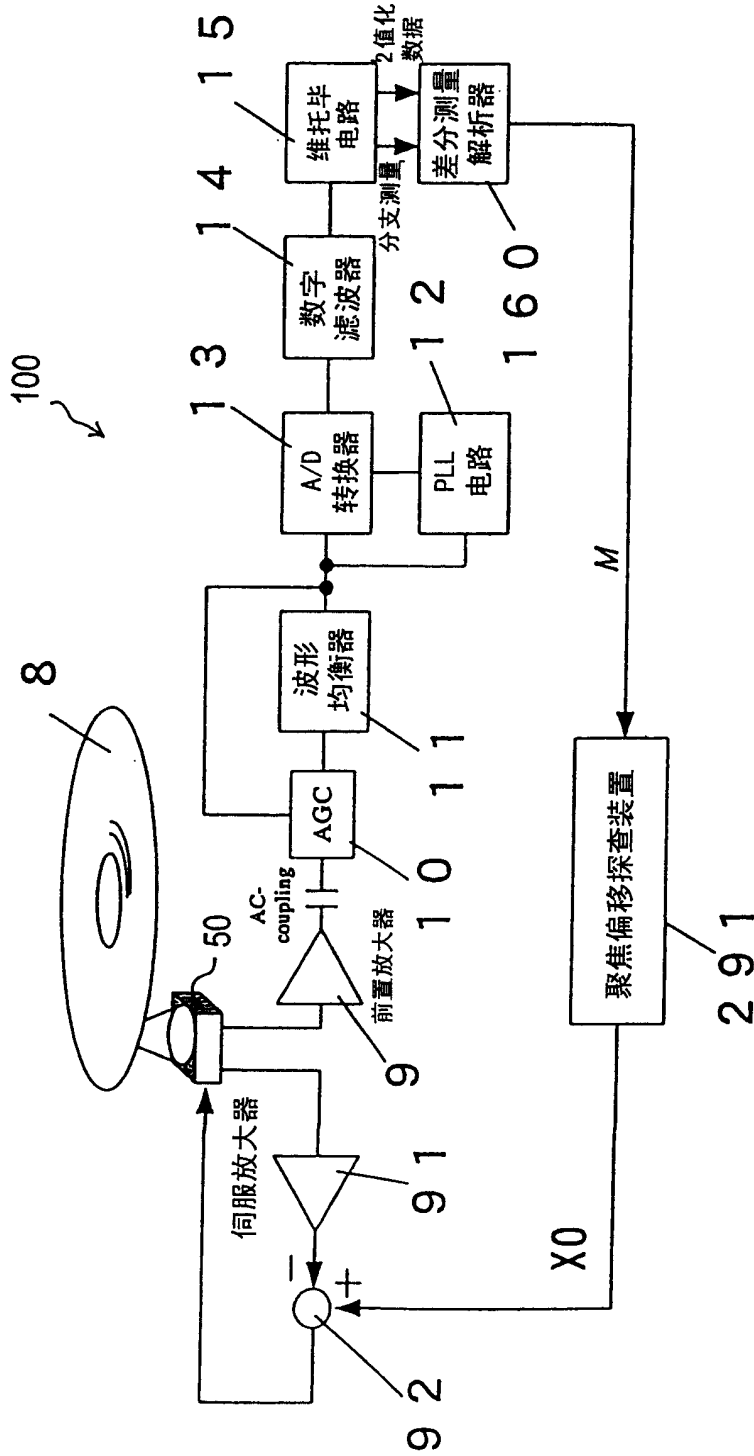


图 12



290 图 13





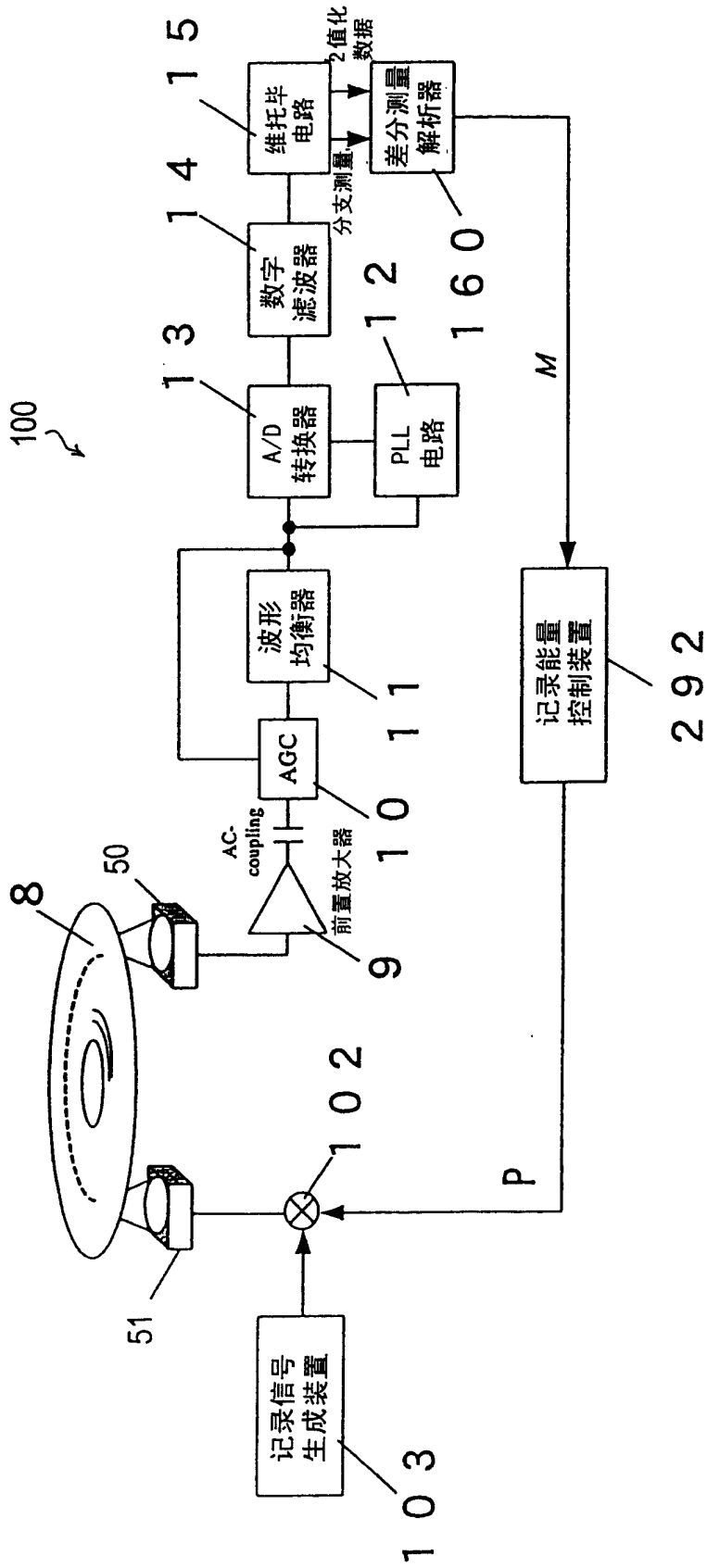


图 15

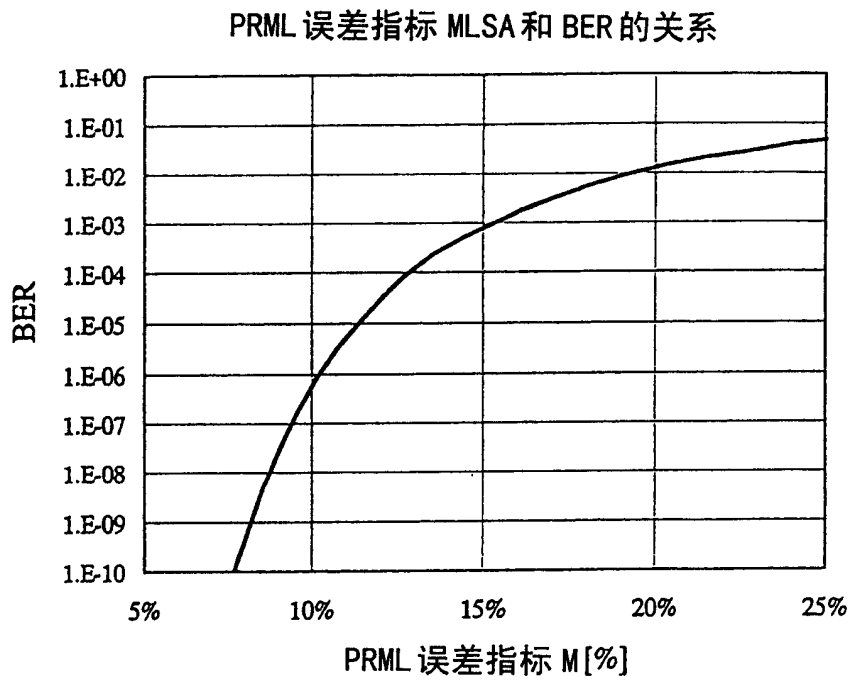


图 16

最小极性颠倒间隔  $2 + PR(C0, C1, C0)$  的状态转变图

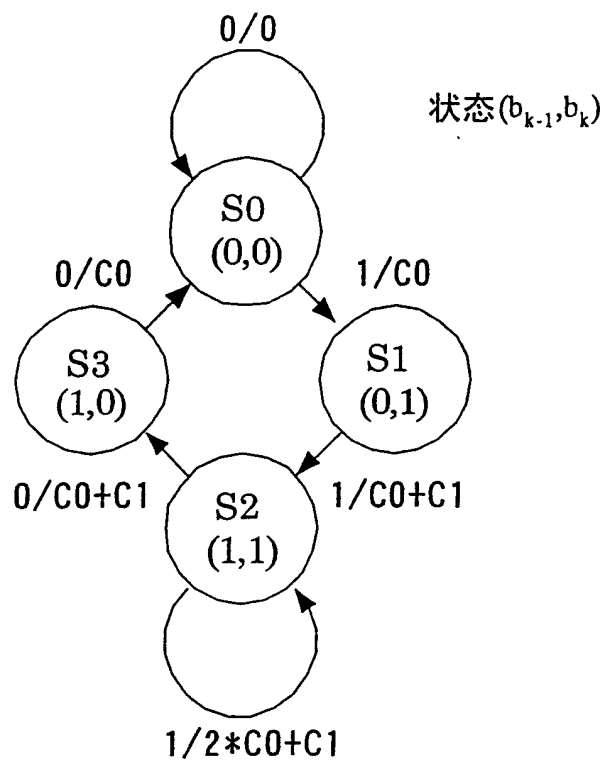


图 17

最小极性颠倒间隔  $2 + PR(C0,C1,C0)$ 的格子图

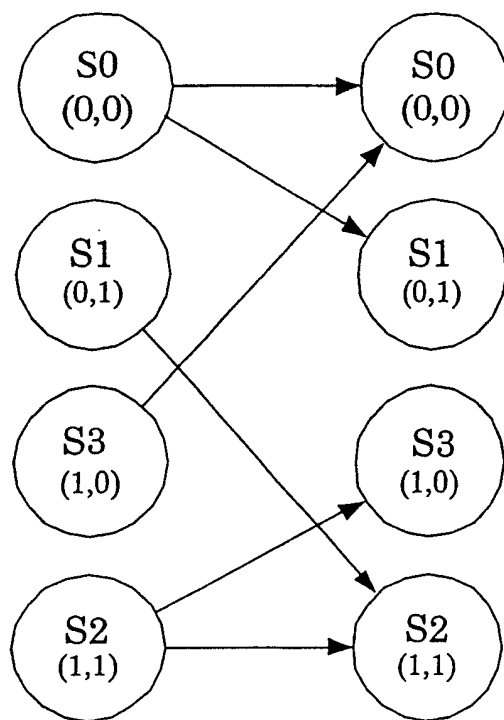


图 18

最小极性颠倒间隔  $2 + PR(C0, C1, C2, C1, C0)$  的状态转变图

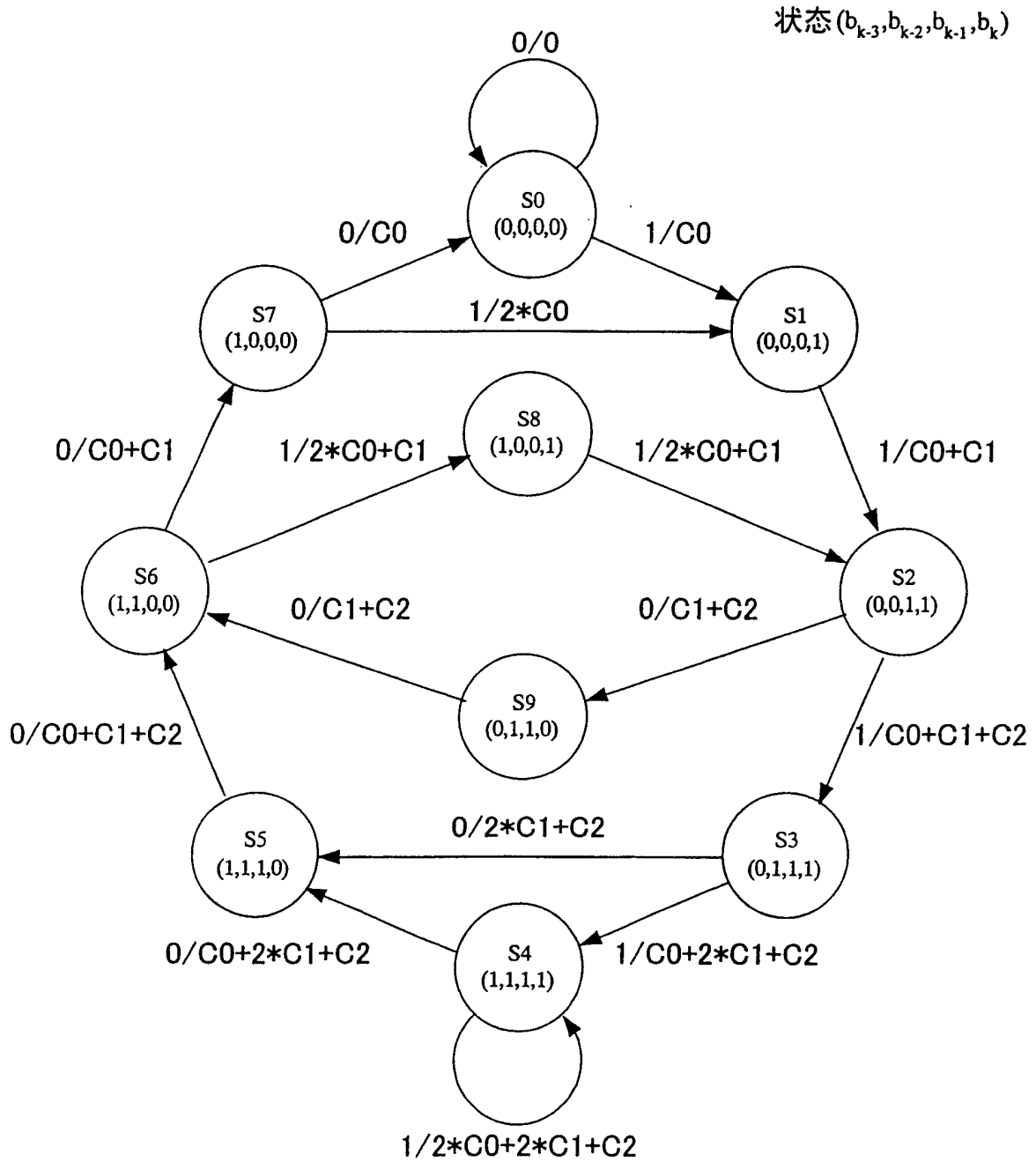


图 19

### 最小极性颠倒间隔 $2 + PR(C0,C1,C2,C1,C0)$ 的格子图

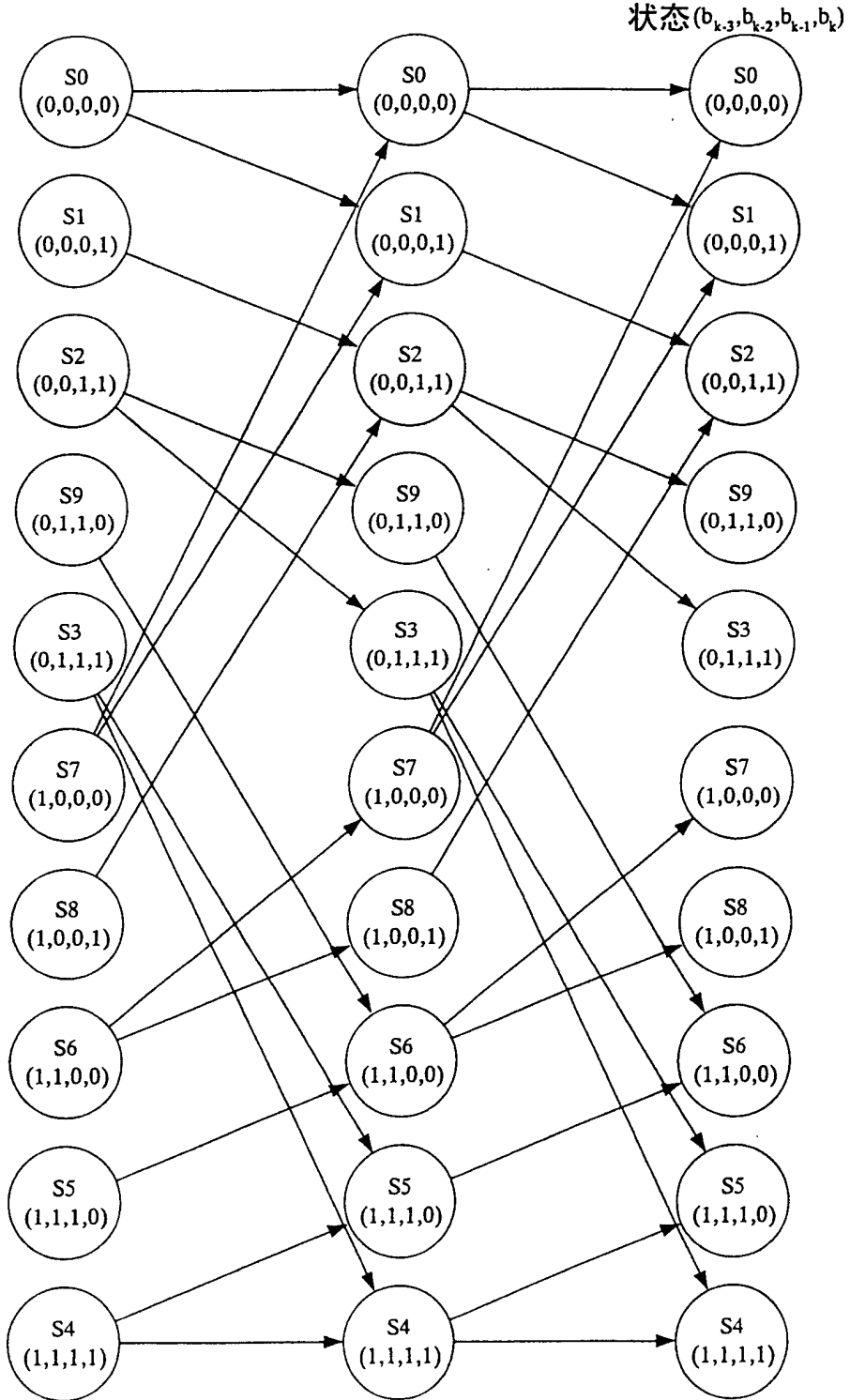


图 20