

[51] Int. Cl⁷

H03M 13/00

G11B 20/14 H03M 13/35

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01801821.1

[43]公开日 2002 年 12 月 4 日

[11]公开号 CN 1383617A

[22] 申请日 2001.6.26 [21] 申请号 01801821.1

[30] 优先权

[32] 2000. 6. 27 [33] US [31] 60/214,699

[86] 国际申请 PCT/US01/20311 2001.6.26

[87] 国际公布 W002/01561 英 2002.1.3

[85] 进入国家阶段日期 2002.2.27

[71] 申请人 西加特技术有限责任公司

地址 美国加利福尼亚州

[72]发明人 B·鲁布

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

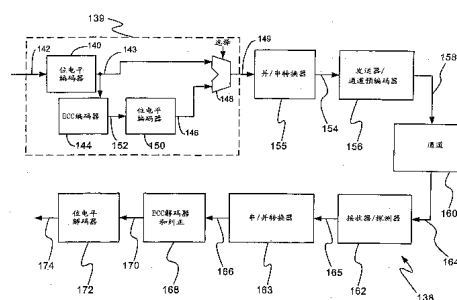
代理人 李 玲

权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图 6 页

[54]发明名称 在具有链接纠错码的磁性记录通道中不平衡保护编码的方法和设备

[57] 摘要

本发明提供一种对数据字编码的编码器和方法,它将至少一个数据字的块映射到一个纠错码(ECC)代码字。由多个被边界分割开的多位 ECC 符号定义 ECC 代码字。根据位模式与边界的相对位置,限制位模式不出现在 ECC 代码字中。



ISSN 1008-4274

1. 一种对数据字编码的方法，该方法包括步骤：

(a) 将至少一个数据字的块映射到一个纠错码 (ECC) 代码字，该代码字由被边界分割开的多个多位 ECC 符号限定；以及

(b) 根据位模式与边界的相对位置，约束位模式不出现在 ECC 代码字中。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：

在步骤 (a)，每个 ECC 符号包含多个“内部”位位置和多个“外围”位位置，“外围”位位置比“内部”位位置更靠近各自的边界；以及

在步骤 (b)，约束位模式包含对“外围”位位置及“内部”位位置施加不同的代码约束，以避免在“内部”位位置中被允许的所选位模式不出现在“外围”位位置中。

3. 如权利要求 1 所述的方法，步骤 (a) 还包括：

(a) (1) 根据一个代码将每个数据字编码成一个数据代码字，此代码是根据位模式在数据代码字中的位置相对于在数据代码字中的位位置，约束位模式不出现在数据字中，所述的数据代码字中的位位置对应于多位 ECC 符号之间的边界；以及

(a) (2) 将至少一个数据字的块映射到包括第一组 ECC 符号的 ECC 代码字的数据字段。

4. 如权利要求 3 所述的方法，其中步骤 (a) 还包括：

(a) (3) 产生由边界分割开的第二组 ECC 符号，作为第一组 ECC 符号的多项式函数。

(a) (4) 依据位位置与第二组 ECC 符号的边界的相对位置，约束位模式不出现在第二组 ECC 符号中；以及

(a) (5) 将第二组 ECC 符号映射到 ECC 代码字的 ECC 字段。

5. 如权利要求 1 中所述的方法，其特征在于：

位模式包括具有第一与第二二进制状态之间三个连续转化的位模式，其中中间一个转化发生在边界之一上。

6. 一种用于将连续数据字编码成各自的连续代码字的编码器，该编码器包括：

一个数据字输入；

一个代码字输出；以及

一个第一编码器单元，第一编码器单元根据第一代码将数据字输入收到的每个连续数据字映射到代码字输出上的各自的连续代码字，其中第一代码识别每个代码中的多位纠错码(ECC)符号之间的边界，并对靠近边界的每个代码字中的位位置与远离边界的每个代码字中的位位置施加不同的代码约束。

7. 如权利要求 6 所述的编码器，还包括：

一个 ECC 编码器，它接收来自第一编码器单元的连续代码字，将至少一个数据字的块映射到 ECC 代码字的数据字段，并根据该数据字段和一预定的多项式函数将 ECC 字段衔接在数据字段上，其中，ECC 代码字是由数据字段及 ECC 字段内的多个多位 ECC 符号来限定的。

8. 如权利要求 7 所述的编码器，还包括：

一个第二 ECC 编码器单元，它根据第二代码将 ECC 字段内的每个 ECC 符号映射到一个经编码的 ECC 符号，其中，第二代码识别 ECC 字段内的经编码的 ECC 符号之间的边界，并对靠近 ECC 字段中边界的每个经编码 ECC 符号中的位位置与离 ECC 字段中边界的位位置施加不同的代码约束。

9. 如权利要求 8 所述的编码器，其中，第一和第二代码阻止所选的位模式不出现在 ECC 代码字中，其中，所选位模式包括具有在第一和第二二进制状态之间三个连续转化的位模式，中间一个转化发生在 ECC 代码字中的 ECC 符号边界之一上。

10. 一种盘驱动存储通道，包括：

一个能与数据存储盘通讯的传感器；以及

与传感器耦合的编码装置，用于根据一个代码将数据编码为由多位 ECC 符号形成的连续纠错码(ECC)代码字，其中，根据位模式与多位 ECC 符号之间边界的相对位置该代码约束位模式不出现在每个 ECC 代码字中，并将 ECC 代码字作为代码字流发送到传感器。

11. 一种盘驱动存储通道，包括：

一个能与数据存储盘通讯的传感器；以及

与传感器耦合的解码装置，用于接收来自传感器的读取信号并根据一个代码将读取信号表示的连续纠错码(ECC)代码字解码为连续数据字，其中，每个

ECC 代码字包括多个多位 ECC 符号，根据位模式与多位 ECC 符号之间边界的相对位置，该代码约束每个 ECC 代码字中的位模式。

在具有链接纠错码的磁性记录通道中不平衡保护编码 的方法和设备

相关申请的交叉参考

本申请要求 2000 年 6 月 27 日提交的题为“用于具有串联纠错码的磁性记录通道中的不平衡保护编码”的 60/214, 699 美国临时申请的优先权。

发明领域

本发明涉及编码系统。具体来说，本发明涉及记录通道中，如盘驱动器和其他数据存储系统中的编码系统。

发明背景

在数据通讯系统中，数字信息通过一个通道从一个发送器被传达至一个接收器。“通道”是一个总称，它可包括许多不同媒介，如记录媒介、电话线和电磁频谱。在数据存储系统中，如磁性盘驱动器，通道包括一个存储媒介，并且数字信息被发送到存储媒介，在恢复前存储一段时间，再传达至接收器。

一个典型的磁性盘驱动器包括安置在枢轴或主轴上旋转的一个或几个硬性盘。每个盘有一个流体动力轴承和传感器组成的关联头，用于与盘表面的通讯。机电传动器将数据头在盘表面放射状地移动用于轨迹寻查操作，并将传感器直接控制在盘表面的所需轨迹上用于轨迹追踪操作。驱动控制器依据从主系统接收的命令控制盘驱动器，从而找回来自盘的信息并将信息存储在盘上。驱动控制器包括各种子系统，如一个用于与主系统通讯的“主界面”，一个用于控制传动器的“伺服系统”，一个用于在存储媒介上记录数据的“写入通道”，以及一个用于接收来自存储媒介的已记录的数据的“读取通道”。

信息一般存储在盘表面的同心数据轨迹上。通过传感器的电流方向受控制，从而在经选择的数据轨迹内编码盘表面的磁通量反转。在一种被称为不归零反转(NRZI)编码的编码类型中，数字“1”由在数据轨迹中从一个磁性区域到下一个的一个磁通量反转来表示，数字“2”由在数据轨迹中从一个磁性区

域到下一个的一个磁通量反转的缺损来表示。

在恢复来自盘的数据中，伺服系统控制机电传动器，从而数据头飞过所需数据轨迹，感应存储在数据轨迹中的流量反转，并根据那些流量反转产生一个读取的信号。所读取的信号一般是有条件的，随后，信号被读取通道解码以恢复流量反转所代表的数据。一个典型的读取通道包括自动获取控制电路、一个低通滤波器、一个模拟-数字转换器或取样器、一个序列探测器和一个解码器。

以前一个维特比探测器被用作读取通道的序列探测器。当探测器的输入数据由一个信号加上附加白高斯噪音组成以及当使用一个典型的分支公制(向探测器提供的信号中的误差平方)，该维特比探测器是作为一个最大可能性(ML)的序列探测器进行工作。然后，探测到的位序列被传至解码器，从而被解码为原始用户数据。

所有的通道，包括盘驱动存储通道，将噪音传入它们传达的信号中。为了探测以及有时纠正由通道噪音引起的信号误差，人们已开发了多个编码技术。这些编码技术将由一些数据位形成的用户数据字转化成由一些数据位形成的编码文字。强加在编码文字中的代码约束能经设计以避免易于产生错误事件的位序列，并能允许探测以及有时纠正从通道接收到的信号的误差。

用户数据位的数目与代码位的数目的平均比率 m/n 被称为是代码的编码率。一般来说，在一个接收通道中探测和纠正误差的能力可能随着编码率的下降而增加，因为一个低编码率意味着编码文字中的多个多余的信息。然而，每个编码器附加的额外的位增加了通过通道传送信号所需的时间和能量。

已经提出了几种类型代码约束。例如，在一个盘驱动器中，旋转磁性媒介的主轴电机的旋转速度随时间改变。这导致读取信号电压脉冲之间的非均匀时间间隔。一个相位锁定回路(PLL)被用于将读取记时钟的相位和频率锁定在读取信号电压脉冲的相位和频率。为确保定期更新 PLL，可使用一个代码，该代码限制读取信号中的连续的“0”的数目不超过最大数目“k”。这种代码被称作含“k”约束的游程长度限制(RLL)码。“k”值越小，PLL 的性能越好。然而，“k”值越小，代码变得越难实施。

该代码还可能限制在代码位流中的连续的“1”的数目以限制符号之间干扰的效应，这种效应是在被传送信号中的连续转化互相干扰的时候产生的。这

样的代码被称作含“j”约束的最大转化运行(MTR)码,其中“j”为通道信号中所允许的连续转化的最大数目。例如,为避免三个或三个以上连续转化,可设计含MTR约束的 $j=2$ 的代码。虽然MTR码降低符号之间的干扰,但是它们除去了多个可获取的编码文字,使得很难有时不可能用高编码率实施MTR限制。

一些磁性记录通道通过使用纠错码(ECCs)提供进一步的保护。连续的数据块(编码或未编码)被映射到具有一个数据字段和一个ECC字段的连续的纠错码。数据块被映射到被分割为一些多位ECC符号的数据字段。数据字段中的ECC符号被应用于多项式函数,该函数产生形成ECC字段的被称为“奇偶位”的附加的多位ECC符号。连接数据字段的附加的ECC符号的数目决定了可被纠正的ECC码中的ECC符号的数目。例如,通过一个Reed-Solomon型ECC,需要二个附加ECC符号纠正ECC代码字中的一个符号。具有连接数据字段的ECC字段的24个附加ECC符号的一个ECC码有能力纠正ECC代码字中的多达十二个符号的误差事件。

随后在读取通道中使用一个ECC解码器探测并纠正ECC代码字中的误差。对于接收到的ECC代码字中的与传送的ECC代码字中的通信符号不匹配的每个符号,ECC解码器根据接收到的编码文字中的其他符号和用于产生附加符号的多项式运行来确定正确的符号。

虽然这些编码技术在避免某些错误事件提供纠正大多数留存的误差事件的方法,却很难用高编码率实施。这限制了代码的效率和记录通道的速度。本发明阐明了这些及其他问题,并提供了先前技术之外的优势。

发明概述

本发明的一方面涉及对数据字编码的一种方法,其中将数据字至少之一的块映射到一个纠错码(ECC)代码字。ECC代码字由被边界隔开的多个多位ECC符号来定义的。依据位模式对边界的相对位置,约束位模式不出现在ECC代码字中。

本发明的另一方面涉及一种用于将连续数据字编码为各自的连续代码字的编码器。该编码器包括一个数据字输入;一个代码字输出;以及一个第一编码器单元。第一编码器单元根据第一代码将数据字输入收到的每个连续数据字映射到代码字输出上的各自的连续代码字。第一代码识别每个代码中的多位纠

错码 (ECC) 符号之间的边界, 并对靠近边界的每个代码字的位位置比对远离边界的每个代码字的位位置施加不同的代码约束。

本发明的另一方面是有关包括一个传感器和一个编码器的一个盘存储通道。传感器能与数据存储盘通讯。编码器与传感器耦合, 根据一个代码将数据编码为由多位 ECC 符号形成的连续纠错码 (ECC) 代码字。依据位模式与多位 ECC 符号之间边界的相对位置, 该代码约束位模式不出现在每个 ECC 代码字中。然后, 编码器将 ECC 代码字作为代码字流发送到传感器。

本发明的再一方面是有包括一个传感器和一个解码器的一个盘驱动通道。传感器能与一个数据存储盘通讯。解码器与传感器耦合, 接收来自传感器的读取信号并根据一个代码将读取信号所表示的连续纠错码 (ECC) 代码字解码为连续数据字。每个 ECC 代码字包括多个多位 ECC 符号, 依据位模式与多位 ECC 符号之间边界的相对位置, 该代码约束在每个 ECC 代码字中的位模式。

附图简述

图 1 为可以实施本发明诸方面的盘驱动器的透视图。

图 2 为按照本发明一个实施例的图 1 中所示盘驱动器内一个数据存储通道的框图。

图 3-1 和图 3-2 为表示含有非法 NRZ 位模式的 ECC 代码字部分的框图, 它们被图 2 所示的存储通道所使用的编码器和解码器所避免。

图 3-3 和图 3-4 为表示含有一些合法 NRZ 位模式的 ECC 代码字部分的框图, 它们被图 2 所示的存储通道所使用的编码器和解码器所允许。

图 4 是一曲线图, 绘制经纠正的位差错率与具有相连 ECC 代码的编码和未编码通道的事件差错率的函数关系。

图 5 为根据本发明的一个实施例的框图, 它表示由图 2 中所示的第一位电平编码器执行的编码过程。

图 6 为根据本发明的一个例子的流程图, 描述图 2 所示的 ECC 编码器和第二位电平编码器执行的过程。

图 7 为描述通过图 2 所示的 ECC 编码器和位电平编码器的数据流的流程图。

图 8 为根据本发明的另一个实施例的编码器电路的框图。

示例性实施例的详述

图 1 为本发明实用的盘驱动器 100 的透视图。盘驱动器 100 包括具有一个基座 102 和一个顶盖(未显示)的外壳。盘驱动器 100 还包括一个由盘夹 108 安置在主轴电机(未显示)上的盘组 106。盘组 106 包括被安置绕中心轴 109 共同旋转的多项单个盘。每个盘表面具有一个关联的盘头滑动器 110, 滑动器安置在盘驱动器 100 上用于与盘表面通讯。在图 1 所示的例子中, 滑动器 110 由悬梁 112 支撑, 后者又附着于传动器 116 的轨迹连接臂 114。图 1 所示的传动器为所知的一种旋转移动线圈传动器, 它包括一个通常以 118 表示的音圈电机(VCM)。音圈电机 118 用其附着头 110 绕着轴支点 120 旋转传动器 116, 使得附着头 110 沿着盘内径 124 和盘外径 126 之间的一个弓形路径 122 将头 110 定位在所需数据轨道。音圈电机 118 由位于内部电路 128 的伺服电子依据头 110 和主计算机(未显示)产生的信号被驱动。

内部电路 128 中的写入电路对待存入连续代码字中的数据编码, 然后将它们预编码为不归零反转(NRZI)形式(或, 也可是 NRZ 形式)并被调制以形成连续的模拟写入信号。头 110 上的写入传感器根据模拟写入信号编码在盘表面上磁性层内的磁通量反转。在读取操作过程中, 头 110 中的读取传感器感应磁通量反转并产生一个串行模拟读出信号。模拟读出信号被转化成一个串行数字信号, 该信号提供给内部电路 128 内的探测器和解码器电路, 从而产生一个经恢复的数字信号。

图 2 为采用本发明的一个通常通讯系统 138 的框图。对于图 1 的盘驱动器, 通讯系统 138 由头 110、盘 106 以及电路 128 内的内部逻辑形成。通讯系统 138 包括编码器电路 139, 编码器电路包括一个第一位电平编码器 140、一个符号电平纠错码(ECC)编码器、一个复用器 148 和一个第二位电平编码器 150。位电平编码器 140 接收连续数据字 142 并根据一个代码将连续数据字编码成连续数据代码字 143。每个数据字 142 包含任何数目的位。位的数目越大, 编码器 140 能达到的编码率越高。该代码将连续数据代码字 143 约束在一个位水平上以避免具有已知会在通道 160 中产生某些普遍的误差事件的位模式的代码字。

例如, 该代码可包括一个具有一个“k”约束的游程长度限制(RLL)码。“k”约束限制读取信号中的连续零的数目不超过最大值“k”。该代码还可限制一

个编码位流中的连续一的数目从而限制符号间干扰效应，该效应发生在被传送信号中的连续转化彼此相互干扰的时候。这样的代码被称作具有“j”约束的最大转化游程(MTR)码，其中“j”为通道信号中所允许的连续转化的最大数目。其他类型代码可由编码器 140 使用以附加到或替代上述的代码种类。在以下详述的一个实施例中，根据每一位将在多位 ECC 符号中的相对位置，该代码对每个数据代码字 142 中的不同位位置施加不同的约束。这需要编码器 140 实施的代码在每一数据代码字 143 内确定 ECC 符号边界。

编码器 140 可包括一个块编码器或可被状态驱动，并且所有的代码字 143 经仔细挑选以避免产生普遍的误差事件的代码字。编码器 140 可通过合并逻辑或具有查询表的软件来执行，从而实现每个用户数据字及其相应代码字之间的转换。也可使用其他硬件和软件执行。

由编码器 140 产生的连续数据代码字 143 提供给复用器 148 的一个输入以及 ECC 编码器 144，复用器和编码器一起将数据代码字 143 的连续块(或部分)编码为复用器 148 的输出上的连续 ECC 代码字(也称为 ECC 块或部分)149。每个 ECC 代码字 149 包括一个数据字段和一个 ECC 字段，它们各由一个或多个的多位 ECC 符号形成。复用器 148 将每块数据代码字 143 映射到一个相应的 ECC 代码字 149 的数据字段，从而在数据字段中形成一个或多个的 ECC 符号。

ECC 编码器 144 依据数据字段中的 ECC 符号为 ECC 字段产生附加的 ECC 符号 152。例如，附加的 ECC 符号可通过将数据字段中的 ECC 符号应用于一个多项式函数来产生。连接在 ECC 字段的附加的 ECC 符号的数目决定了每个 ECC 代码字中的可纠正的 ECC 符号的总数。例如，一个特定 ECC 可能对 ECC 代码字中的每个可纠正的 ECC 符号需要二个附加 ECC 符号。可使用任一种 ECC，如一个 Reed-Solomon ECC。

位电平编码器 150 编码附加 ECC 符号 152 并如用编码器 140 应用于数据代码字 142 一样应用相似的代码约束。而且，依据 ECC 符号中的每一位的相对位置，代码对不同的位位置施加不同约束。在一个实施例中，每个 ECC 符号被编码为一个相应的经编码的 ECC 符号 146。由于每个附加的 ECC 符号中的位数目比每个代码字 142 中的少，位电平编码器 150 的编码率比位电平编码器 140 的编码率低。在另一个实施例中，多个附加 ECC 符号被一起编码为一个相应代码字。随后，由此产生的经编码的 ECC 符号 146 提供给复用器 148 的另一个输

入。

复用器 148 将数据代码字 143 的每个块映射到一个相应的 ECC 代码字 149 的数据字段并将各个一组附加的经编码的 ECC 符号 146 通过时间复用，复用器的输入映射到相应的 ECC 代码字 149 的 ECC 字段。可使用另一个实施例的其他构造和方法将经编码的 ECC 符号 146 与相应的 ECC 代码字 149 的数据字段相连接。

并-串转换器 155 接收连续 ECC 代码字 149，将每个 ECC 代码字 149 转化成一个串行表示并连接此串行表示，以产生一个 ECC 代码字位 154 的串行流。发送器/预编码器 156 接收串行 ECC 代码字流 154 并达到序列要求从而优化用于恢复来自通道的信号的那种探测器。发送器/预编码器 156 产生提供给通道 160 的一个经编码的写入信号 158。

在盘驱动器 100 中，通道 160 包括头 110 中的写入传感器、盘组以及头 110 中的读取传感器。经编码的写入信号被写入传感器存储在盘表面。在读取操作过程中，读取传感器从盘表面读取存储的编码的信息并将编码的信息作为一个读取信号 164 发送到接收器/探测器 162。接收器/探测器 162 放大并过滤读取信号 164，然后使用几个所知的探测方法之一恢复来自读取信号的经编码信息。举例来说，接收器/探测器 162 可使用一个维特比探测器、决策反馈均衡化 (DFE)、具有决策反馈的固定迟滞树状搜寻 (FDTS/DF) 或降低的状态序列探测 (RSSE)。接收器/探测器 162 在放大并过滤来自通道 160 的信号之后，产生经恢复的代码字位 165 的序列以提供给串-并转换器 163。

串-并转换器 163 将位组合成 ECC 代码字并将 ECC 代码字从串行形式转化成并行形式。连续恢复的 ECC 代码字 166 的长度相应于编码器 139 产生的 ECC 代码字的长度。然后，串-并转换器 163 以并行形式将连续恢复的 ECC 代码字 166 输出至 ECC 解码器和纠正电路 168。电路 168 使用编码器 150 使用的编码规则的反转，根据 ECC 代码字 166 中的 ECC 符号和 ECC 编码器 144 使用的多项式函数将 ECC 字段中的附加 ECC 符号解码成原始 ECC 符号，并且确定任一 ECC 符号是否含有误差。只要含有误差的 ECC 符号的数目不大于可被电路 168 纠正的符号的最大数目，原始传送的 ECC 符号被恢复。

然后从已恢复的 ECC 代码字剥离数据字段，以恢复数据代码字的原始块 170，随后提供给解码器 172。位水平解码器 172 采用编码器 140 使用的编码规

则的反转将连续数据代码字 170 解码为各自的代码字 174。

如上所述，位电平编码器 140 和 150 向每个 ECC 符号中的不同位位置提供不等的误差保护。在一个实施例中，向靠近 ECC 符号边界的位位置提供比靠近每个 ECC 符号中心的位位置更多的误差保护。这是通过将一组代码约束应用于每个 ECC 符号的“外围”位位置以及将另一组代码约束应用于每个 ECC 符号的“内部”位位置来实现的。

这就提供了更大的保护以抵御对 ECC 编码器及纠正电路 168 纠正误差的能力有巨大影响的误差事件。编码器 140 和 150 使用的代码提供了更大的保护以抵御跨越 ECC 符号的边界的误差比不跨越 ECC 符号的边界的误差更大。跨越 ECC 符号的边界的误差事件导致二个连续 ECC 符号出现误差。通过避免这些多重符号误差事件，在每个 ECC 代码字中含有误差的 ECC 符号的总数减少了，有更大可能电路 168 能恢复给定 ECC 代码字中所有 ECC 符号。

而且，通过允许某些在“外围”位位置所不被允许的一些位模式发生在“内部”位位置，由于只有影响 ECC 符号边界的位模式受约束，便可保持相对高的编码率。这样，就可使用更大的位模式的总数。

通过磁性记录通道，最为可能的误差事件是一位和三位的误差事件。一位误差事件导致一位 ECC 符号误差。三位误差事件如跨越 ECC 符号的边界，导致二个 ECC 符号误差。在一个实施例中，编码器 140 和 150 使用一个边界 MTR 编码用于将三位误差事件从 ECC 符号的边界去除。代码消除了二个 NRZ 模式(或一个 NRZ 模式)，它们导致在 ECC 符号边界具有中间转化的一个三位。

图 3-1 和图 3-2 为表示含有非法 NRZ 位模式的 ECC 代码字部分的框图，编码器和解码器避免该非法部分。如上所述，每个 ECC 代码字由在数据和 ECC 字段互相连接的多个多位 ECC 符号形成。在图 3-1 中，ECC 代码字 300 包含 10 位 ECC 符号 301 和 302，它们之间存在边界 303。ECC 代码字 300 中的每个 ECC 符号具有可能相互重叠的一个或几个“外围”位位置 304 和一个或几个“内部”边界位位置 306。由 ECC 符号 301 在“外围”边界位位置上的“01”以及 ECC 符号 302 在“外围”边界位位置的“01”形成的 NRZ 模式产生三个转化结果，其中中间转化发生在边界 303。在图 3-2 中，ECC 代码字 310 包含 ECC 符号 311 和 312，它们之间存在边界 313。与图 3-1 所示的类型相似，NRZ 模式“1010”产生三个转化结果，其中中间转化发生在 ECC 符号 311 和 312 之间的边界 313。

这些位模式被编码器 140 和 150 在“外围”边界位位置 304 位模式避免，而在“内部”边界位位置 306 被允许。

图 3-3 和图 3-4 为表示含有一些合法 NRZ 位模式的 ECC 代码字部分的框图，这部分未被编码器 140 和 150 所避免。在图 3-3 中，ECC 代码字 320 包含 ECC 符号 321 和 322，它们之间存在边界 323。虽然，NRZ 模式“10100”导致三个转化结果，但中间转化并不发生在“外围”位位置 304 内的边界 313。在图 3-4 中，ECC 代码字 330 包含 ECC 符号 331 和 332，它们之间存在边界 333。与图 3-3 所示的模式相似，NRZ 模式“00101”导致三个转化结果，但中间转化并不发生在二个 ECC 符号 331 和 332 之间的边界 333。

使用编码器 140 和 150 消除图 3-1 和图 3-2 所显示的类型并在解码器 168 和 172 上施加相应约束，除去了 ECC 符号边界的二个可能的三位误差事件以及包括在 ECC 符号边界三位的任何更大的误差事件。同样的约束没有施加在发生在单个符号的内部位位置 306 的三位误差事件因此在 ECC 符号的边界附近的位位置的位差错率的可能性比 ECC 符号内的位位置低。

由于必须使用多个代码位以避免导致三位的所有位模式，消除所有的三位误差事件的 MTR 码，缺点是大编码率处罚。在本发明的上述实施例中，通过避免在 ECC 符号的边界所有的三位误差事件而非剩余三位误差事件取得了有效的妥协。由于剩余三位误差事件被限制在单个的 ECC 符号，因此有很大可能这些误差事件可被 ECC 解码器纠正。通过在位水平上的 MTR 码避免这些误差不是必需的。由此 MTR 码约束被放松，产生可达到的更高的编码率。

举例来说，假设通道 160(图 2 所示)只有三位误差事件。假设 ECC 编码器 144 形成 10 位符号并且 ECC 解码器 168 有能力纠正每个 ECC 代码字中最多 12 个 ECC 符号。编码器 140 和 150(也为图 2 所示)没有编码的情况下，取每个 ECC 代码字中七个误差事件超出 ECC 能力。如果这七个误差事件都发生在 ECC 符号边界，那么 14 个 ECC 符号将有误差，这超出了 12 个 ECC 符号的误差能力。如果每个 ECC 代码字使用一个奇偶校验位，那么取 ECC 代码字八个误差事件超出 ECC 能力。通过边界 MTR 码(避免在 ECC 符号边界的三位误差事件)以及不奇偶校验，取 ECC 代码字十三个误差事件超出 ECC 能力。

图 4 绘制了用于具有链接 ECC 代码的编码和未编码通道，Y 轴上经纠正的位差错率与 X 轴上事件差错率的函数。Y 轴经纠正的位差错率是不可纠正的 ECC

代码字(部分)的数目除以读取位数目的比率。线条 402 代表未编码实例的经纠正的位差错率,而线条 403 代表边界 MTR 编码实例的经纠正的位差错率。边界 MTR 编码实例的未经纠正的 ECC 代码字明显比未编码实例的少。

图 5 为根据本发明的一个实施例的框图,它表示编码器 140 执行的一个编码程序。在步骤 500,编码器 140 接收用于编码的连续 m 位数据字。在步骤 501,编码器 140 根据一个代码将每个连续 m 位数据字映射到一个各自的连续 n 位代码字。该代码识别在每个代码字中由 ECC 编码器 144 随后限定的多位 ECC 符号之间的边界,并对每个代码字中靠近和远离 ECC 边界的位位置施加不同的代码约束。在步骤 502,编码器 140 将产生的代码字输出至编码器 144。

图 6 为根据本发明的一个例子描述编码器 140 和 150 执行的一个程序的流程图。在步骤 600, ECC 编码器 144 接收来自编码器 140 经编码的数据字的块。在步骤 601, ECC 编码器 141 将数据字的块应用于被划分为多个多位 ECC 符号的相应的 ECC 代码字的数据字段。在步骤 601 数据字段的 ECC 符号被应用于一个多项式,该多项式是用于产生与数据字段相连的附加 ECC 符号。在步骤 603,位电平编码器 150 根据施加如位电平编码器 140 应用的同样的约束的一个代码将附加 ECC 符号映射到经编码的 ECC 符号,从而避免 ECC 符号边界的三位。在步骤 604,经编码的 ECC 符号被应用于与数据字段相连的 ECC 代码字的数据字段。随后将产生的经编码的 ECC 代码字输出至写入通道的下一阶段。

图 7 为根据本发明的另一个例子描述编码器 139 的数据流的流程图。编码器 140(图 2 所示)将数据字的块 700 编码成一个各自的经编码的数据字的块 701。经编码的 ECC 代码字的块 701 被直接应用于 ECC 代码字 703 的数据字段 702。数据字段 702 被分割成多个多位 ECC 符号。在另一个实施例中, ECC 编码器 144 将一个多项式函数应用于经编码的 ECC 代码字的块,以产生数据字段 702 的 ECC 符号。经编码的数据字的块 701 还被应用于多项式 704,它产生附加 ECC 符号 705。可使用任何合适的多项式实施所需的纠错码。然后编码器 150 将附加 ECC 符号编码成经编码的 ECC 符号 706,将其应用于 ECC 代码字 703 的 ECC 字段 708。这是编码器的“系统性”类型的一个例子。

图 8 为根据本发明的另一个实施例的可用于代替在图 2 所示的编码器电路 139 的一个编码器电路 800 的框图。编码器电路 800 包括符号-水平 ECC 编码器 802、复用器 804 和位电平编码器 806。连续进入的数据字的块 810 被应用于复

用器 804 的第一数据输入,用于在复用器 804 的输出映射到相应的 ECC 代码字 812 的数据字段。而且,每个 ECC 代码字的数据字段被分割成如上所述的多个 ECC 符号。连续数据字的块 810 还被应用于根据数据字段中的 ECC 符号为 ECC 字段产生附加 ECC 符号 812 的 ECC 编码器 802。例如,可通过将数据字段中的 ECC 符号应用于一个多项式函数而产生附加 ECC 符号。然后附加 ECC 符号被应用于复用器 804 的第二数据输入。复用器 804 将连续一组组附加 ECC 符号 814 与连续 ECC 代码字 812 的 ECC 字段相连。

位电平编码器 806 接收每个 ECC 代码字 812 并如图 2 中的编码器 140 和 150 应用相似的代码约束。在一个实施例中,编码器 806 是一个将 ECC 代码字 812 中的每个 ECC 符号编码成一个相应的经编码的 ECC 符号的块编码器。而且,该代码根据 ECC 符号中的每个位的相对位置对不同的位位置施加不同的约束。由于每个 ECC 符号中的位数目比每个数据字 142 中的少(图 2 中),编码电路 800 的总编码率比编码电路 139 的总编码率低。在编码电路 139 中,每个 ECC 代码字的位的大多数为通过位电平编码器 140 以较高速率被编码的数据位。只有少量的位由编码器 150 以较低速率在一个 ECC 符号基础上被编码。根据本发明也可使用其他不同编码方法。

总结来说,本发明的一个方面涉及一种编码数据字 142 的方法,其中至少一个数据字 142 的块 700 被映射到一个纠错码(ECC)代码字 149, 701。被边界 303, 313, 323, 333 分开的多个多位 ECC 符号 301, 302, 311, 312, 321, 322, 331, 332 限定 ECC 代码字 149, 701。根据位模式与边界 303, 313, 323, 333, 的相对位置 304、306, 约束位模式(如图 3-1 和图 3-2 所示的那些)而不发生在 ECC 代码字 149, 701。

本发明的另一个方面是关于一种用于将连续数据字编码成各自的连续的数据字的编码器 139。该编码器包括一个数据字输入 142、一个代码字输出 143 以及一个第一编码器单元 140。第一编码器单元 140 根据第一代码将数据字输入 142 收到的每个连续数据字映射到代码字输出 143 上的一个各自的连续的代码字。第一代码识别在每个代码字内多位纠错码(ECC)符号 301, 302, 311, 312, 322, 331, 332 之间的边界 303, 313, 323, 333, 并对靠近边界的每个代码字的位位置 304 比对远离边界 303, 313, 323, 333 的每个代码字的位位置 306 施加不同的代码约束。

本发明的另一方面是有关一种包括传感器 110 和编码器 139 的盘存储通道 138。传感器 110 能与数据存储盘 106 通讯。编码器 139 与传感器 110 耦合，用于根据一个代码将数据 142 编码为由多位 ECC 符号 301, 302, 311, 312, 322, 331, 332 形成的连续纠错码 (ECC) 代码字 149, 701。依据位模式与多位 ECC 符号之间的边界 303, 313, 323, 333 的相对位置 304, 306, 该代码约束位模式不出现在 ECC 代码字 149, 701 中。然后，编码器 139 将 ECC 代码字 149, 701 作为代码字流 154 发送到传感器 110。

本发明的再一方面是有关系一种包括传感器 110 和解码器 168, 172 的盘驱动通道 138。传感器 110 能与数据存储盘 106 通讯。解码器 168, 172 与传感器 110 耦合，用于接收来自传感器 110 的读取信号 164 并根据一个代码将读取信号 164 表示的连续纠错码 (ECC) 代码字 166 解码为连续数据字 174。每个 ECC 代码字 166 包括多个多位 ECC 符号 301, 302, 311, 312, 322, 331, 332，依据位模式与多位 ECC 符号 301, 302, 311, 312, 322, 331, 332 之间的边界 303, 313, 323, 333 的相对位置 304, 306, 该代码约束 ECC 代码字 166 中的位模式。

可以理解，即使前面已述本发明的各种不同的实施例的众多特征和优点以及发明的各种不同的实施例的详细构造和功能，所公开的内容只是描述性的，可在所附权利要求书中的条款的广义指示的本发明的原则范围内最大限度地对细节作改变，特别是在构造和部件排列方面修改。例如，可依据通道的特定应用改变特定元件，与此同时基本保持同样的功能而不偏离本发明的精神和范围。此外，即使这里所述的实施例涉及用于一个盘驱动系统的读取和写入通道，也感激那些本领域中技术熟练的人将本发明的教学应用于其他系统，如通讯系统或其他存储系统，而不偏离本发明的精神和范围。并且，在详细说明和权利要求书中使用的术语“耦合”可包括一个直接连接或通过一个或几个中间部件的连接。

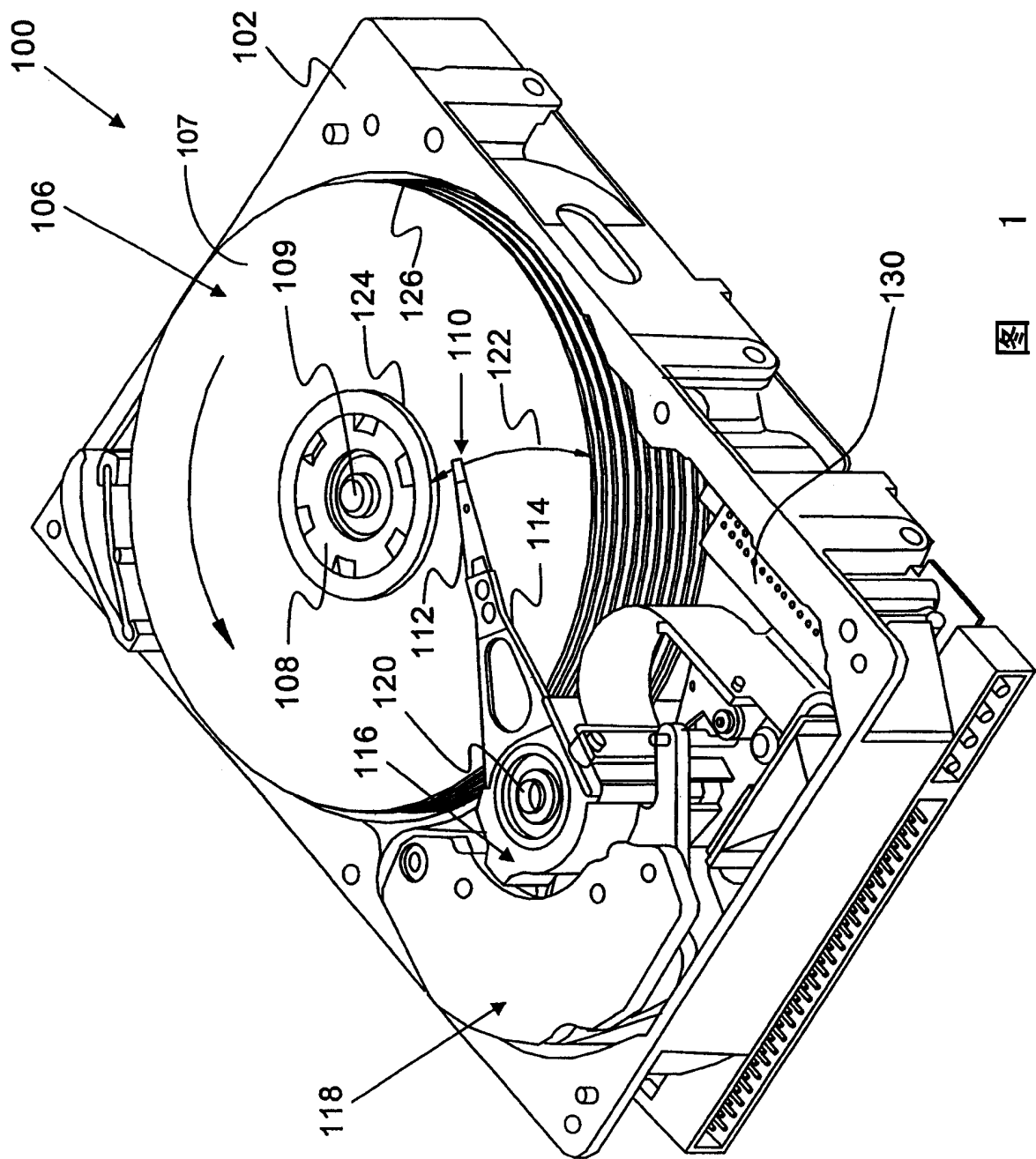


图 1

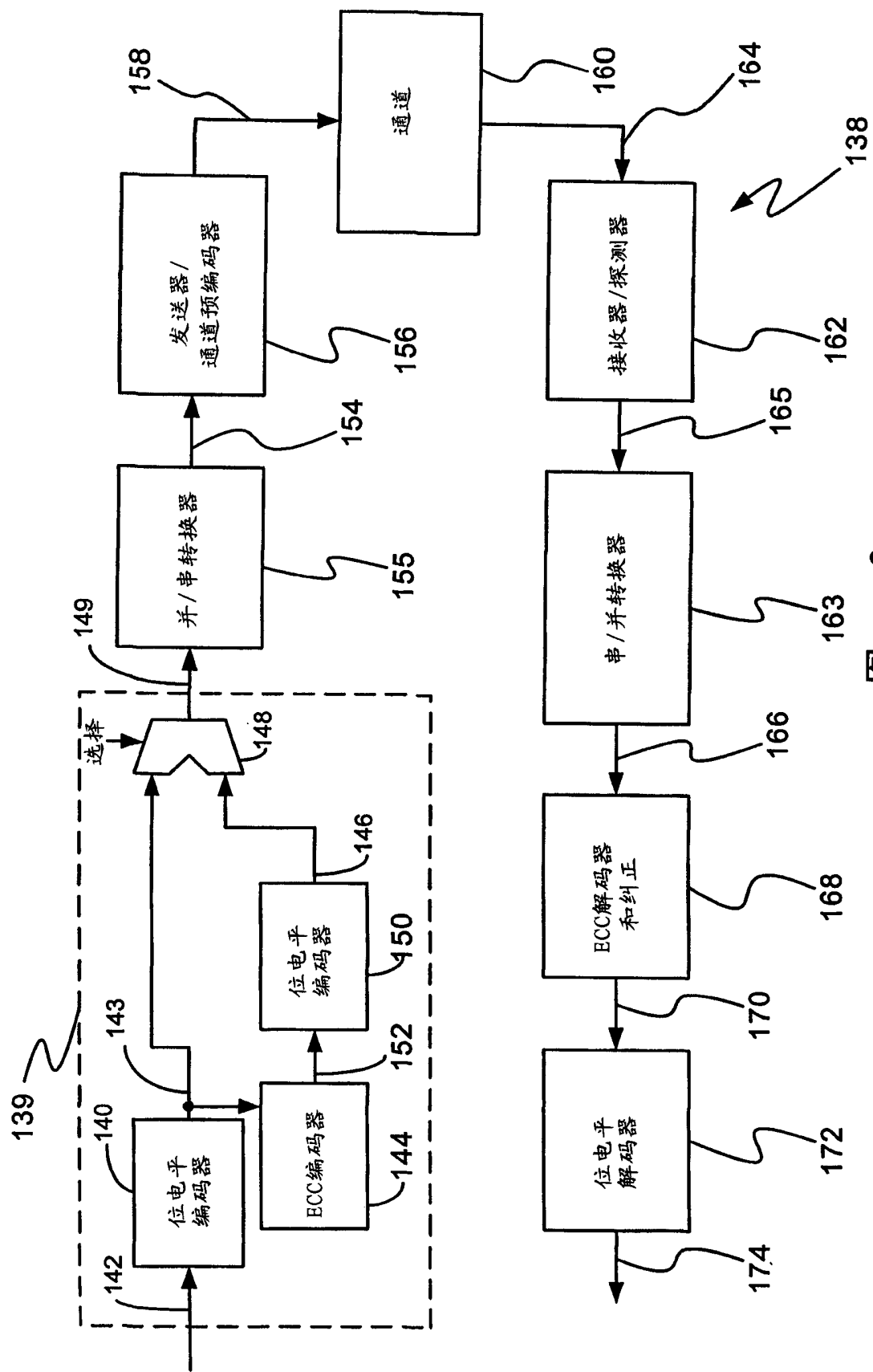
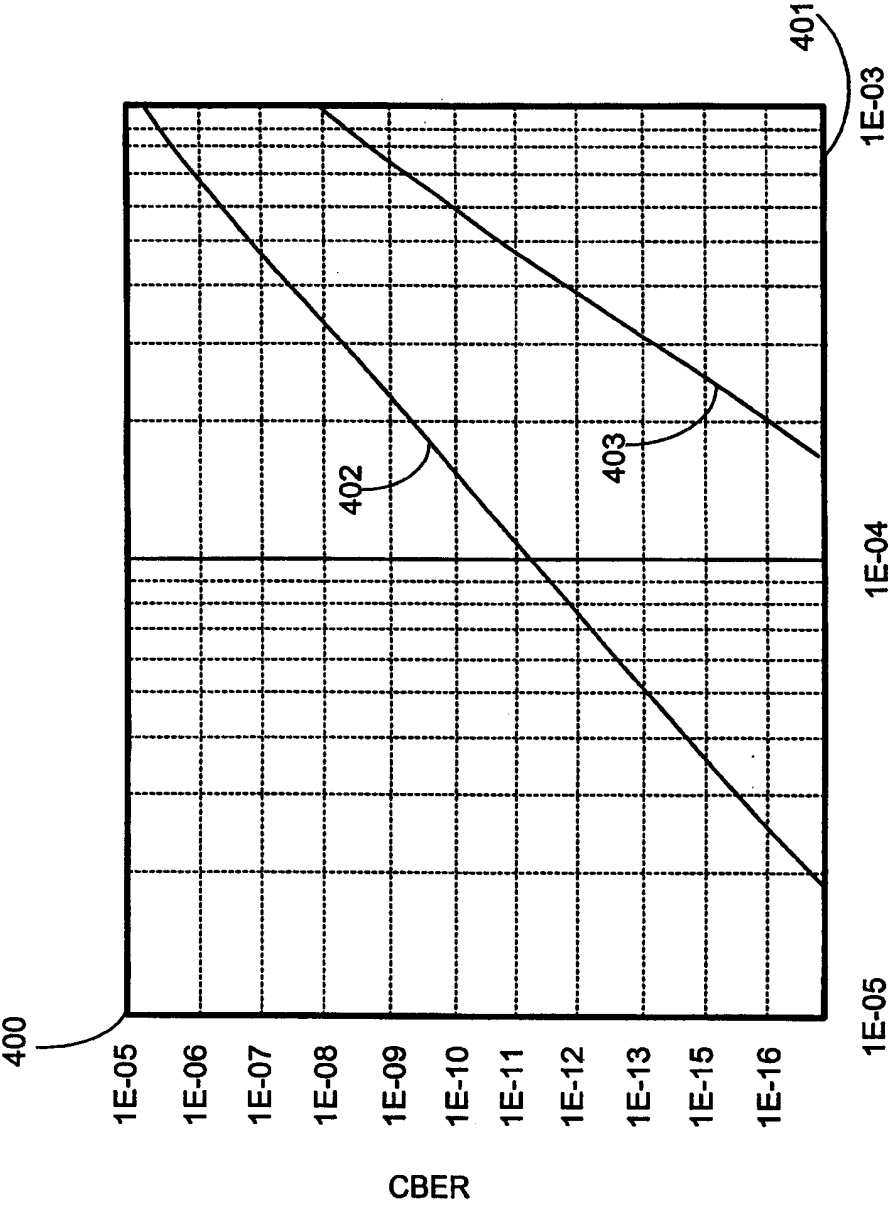


图 2



事件误差率

图 4

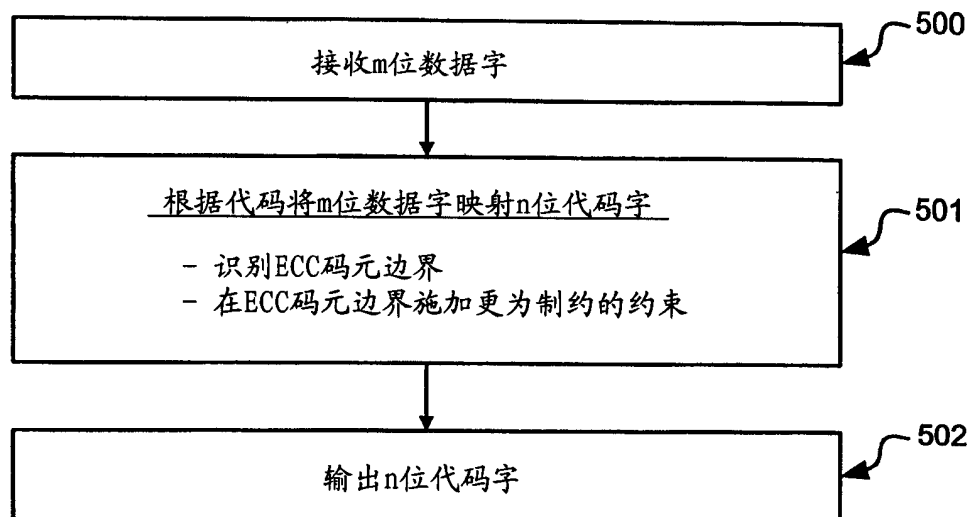


图 5

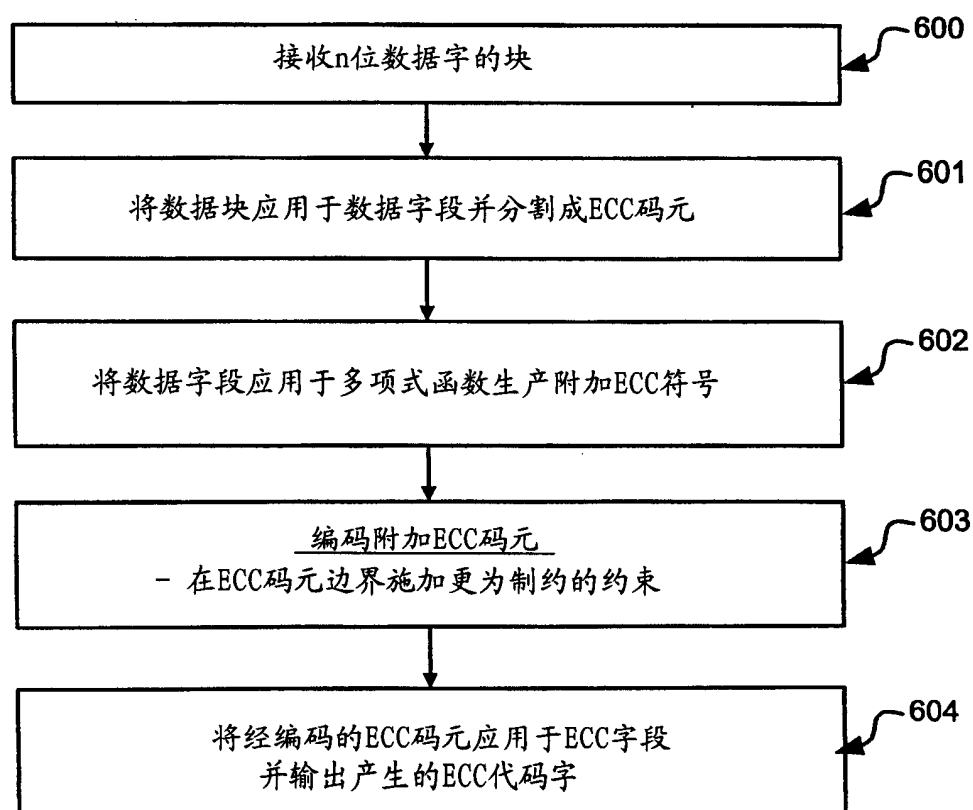
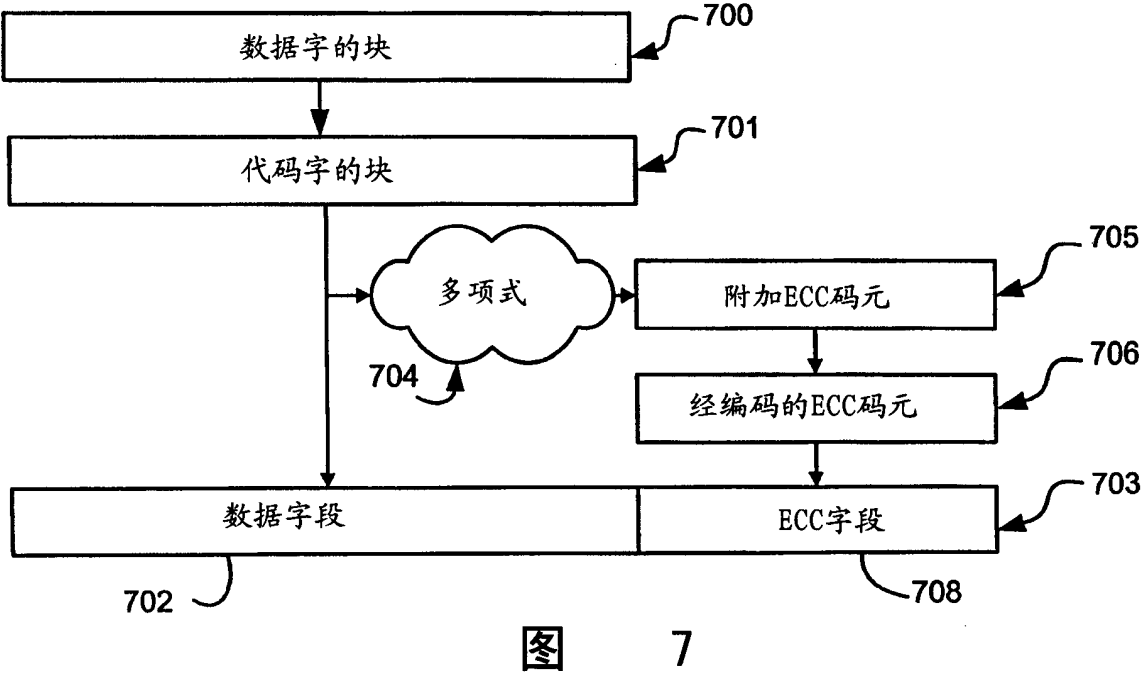
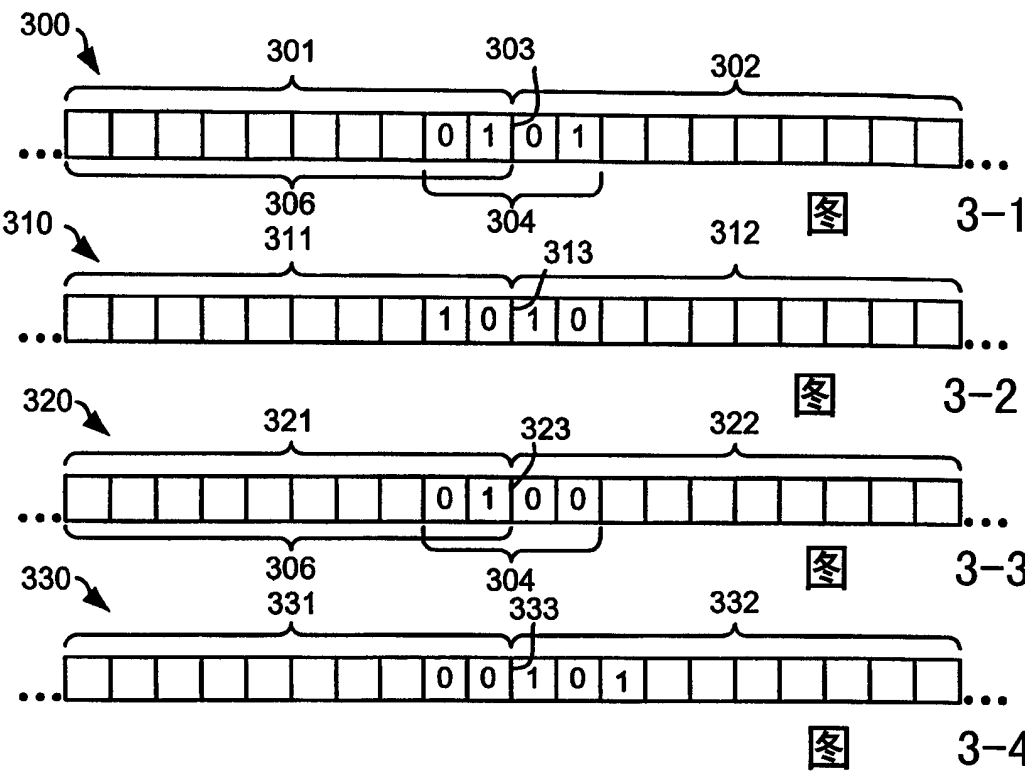


图 6



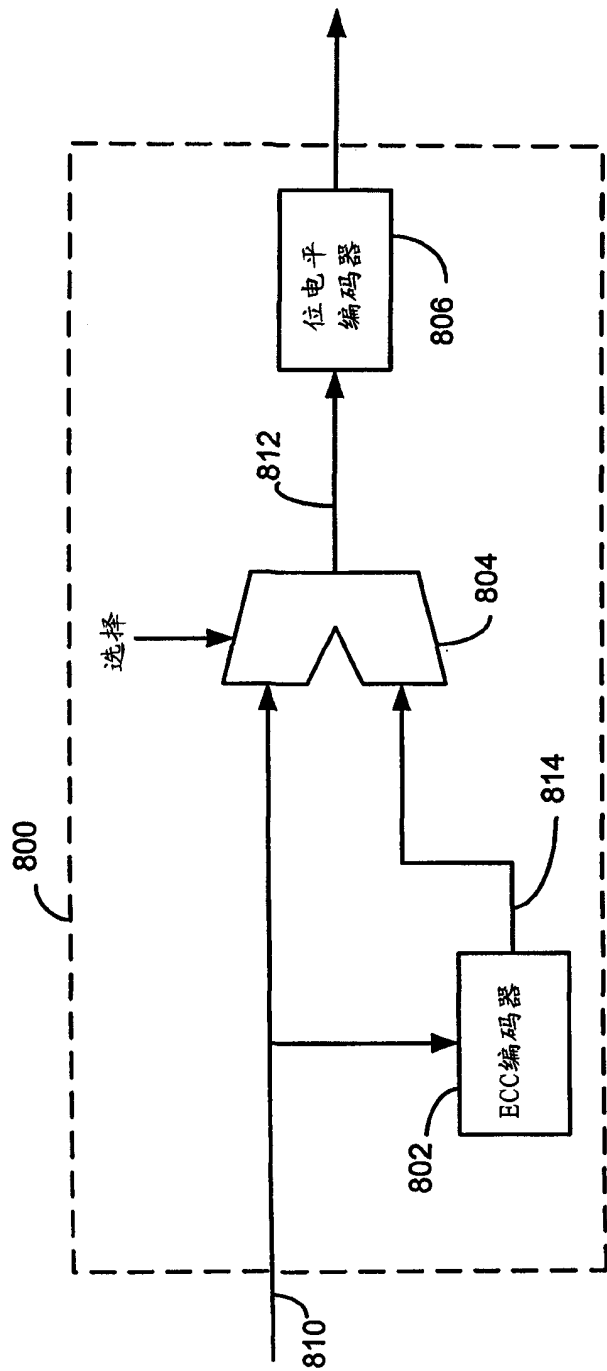


图 8