



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1656693 B

(45) 授权公告日 2011.06.15

(21) 申请号 03812155.7

(56) 对比文件

(22) 申请日 2003.03.27

CN 1240067 A, 1999.12.29, 全文.

(30) 优先权数据

审查员 王艳

10/113,190 2002.04.01 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2004.11.26

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2003/009621 2003.03.27

(87) PCT申请的公布数据

W02003/085842 EN 2003.10.16

(73) 专利权人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 M·考施克 C·波平加

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 杨凯 张志醒

(51) Int. Cl.

H03M 13/29(2006.01)

H03M 13/15(2006.01)

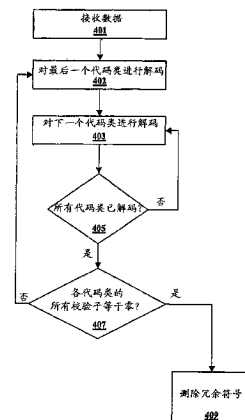
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 11 页

(54) 发明名称

迭代硬输入前向纠错的方法

(57) 摘要

描述了一种用于迭代硬输入前向纠错的方法。方法包括以迭代方式对已经通过光的方式发送的硬输入数据的集合进行解码,硬输入数据集合具有信息符号集合,信息符号集合中的每个通过第一前向纠错(FEC)编码方案以及通过第二FEC编码方案进行编码。



1. 一种对用前向纠错编码的硬输入数据集合进行解码的方法,包括:

以迭代方式对已经通过光的方式发送的所述硬输入数据集合进行解码,所述硬输入数据集合具有信息符号集合,所述信息符号集合中的每个通过第一前向纠错(FEC)编码方案以及通过第二前向纠错编码方案进行编码;

其中以迭代方式对所述硬输入数据集合进行解码包括:

按照所述第一前向纠错编码方案来计算第一校验子,通过所述第一校验子来计算第一误差模式,计算第一反向注解,并且将所述第一误差模式应用于所述硬输入数据集合;以及

按照所述第二前向纠错编码方案基于所述第一反向注解来计算第二校验子,通过所述第二校验子来计算第二误差模式,并且将所述第二误差模式应用于所述硬输入数据集合。

2. 如权利要求1所述的方法,其中,并行计算所述第一和第二校验子。

3. 如权利要求1所述的方法,还包括将所述第一反向注解提供给随后的解码器。

4. 一种对用前向纠错编码的硬输入数据集合进行解码的产品,包括:

以迭代方式对已经通过光的方式发送的所述硬输入数据集合进行解码的部件,所述硬输入数据集合具有信息符号集合,所述信息符号集合中的每个通过第一前向纠错(FEC)编码方案以及通过第二前向纠错编码方案进行编码,

其中所述以迭代方式对已经通过光的方式发送的所述硬输入数据集合进行解码的部件包括:

用于按照所述第一前向纠错编码方案来计算第一校验子,通过所述第一校验子来计算第一误差模式,计算第一反向注解,并且将所述第一误差模式应用于所述硬输入数据集合的部件;以及

用于按照所述第二前向纠错编码方案基于所述第一反向注解来计算第二校验子,通过所述第二校验子来计算第二误差模式,并且将所述第二误差模式应用于所述硬输入数据集合的部件。

5. 如权利要求4所述的产品,其中,用于计算第一校验子的部件和用于计算第二校验子的部件并行计算所述第一和第二校验子。

6. 如权利要求4所述的产品,还包括随后的解码器以及用于存储所述第一反向注解的部件,所述用于存储所述第一反向注解的部件与所述用于计算所述第一反向注解的部件耦合以接收所述第一反向注解,并且与所述随后的解码器耦合以将所述第一反向注解提供给所述随后的解码器。

## 迭代硬输入前向纠错的方法

### 发明背景

### 技术领域

[0001] 本发明涉及通信领域。更具体来讲,本发明涉及通信中的纠错。

### 发明背景

[0002] 在传统的通信网络中,前向纠错 (FEC) 用来保护信号处理中的发送信息。在代数分组代码 (例如里德 - 索罗蒙代码) 的情况下,冗余符号在传输符号块之前被添加到信息符号中。只要被破坏符号的数量没有超过代码的特殊构造给定的某个门限值,则接收该传输的网络单元可纠正传输误差。

[0003] 开发了迭代算法,用于其中包含表示接收符号的可靠性的模拟信息的软输入是可用的系统中的解码。

[0004] 但是,软输入解码技术一般不应用于其中硬解码器输入是由一位或一字节流给定的光网络。此外,软输入解码算法对于传输误差的较低概率具有较差的性能,如光网络中的情况那样。

[0005] 发明内容

[0006] 本发明涉及一种对用前向纠错编码的硬输入数据集合进行解码的方法,包括:以迭代方式对已经通过光的方式发送的所述硬输入数据集合进行解码,所述硬输入数据集合具有信息符号集合,所述信息符号集合中的每个通过第一前向纠错 (FEC) 编码方案以及通过第二 FEC 编码方案进行编码;其中以迭代方式对所述硬输入数据集合进行解码包括:按照所述第一前向纠错编码方案来计算第一校验子,通过所述第一校验子来计算第一误差模式,计算第一反向注解,并且将所述第一误差模式应用于所述硬输入数据集合;以及按照所述第二前向纠错编码方案基于所述第一反向注解来计算第二校验子,通过所述第二校验子来计算第二误差模式,并且将所述第二误差模式应用于所述硬输入数据集合。在所述方法中并行计算所述第一和第二校验子。所述方法还包括将所述第一反向注解提供给随后的解码器。本发明涉及一种对用前向纠错编码的硬输入数据集合进行解码的产品,包括:以迭代方式对已经通过光的方式发送的所述硬输入数据集合进行解码的部件,所述硬输入数据集合具有信息符号集合,所述信息符号集合中的每个通过第一前向纠错 (FEC) 编码方案以及通过第二 FEC 编码方案进行编码,其中所述以迭代方式对已经通过光的方式发送的所述硬输入数据集合进行解码的部件包括:用于按照所述第一前向纠错编码方案来计算第一校验子,通过所述第一校验子来计算第一误差模式,计算第一反向注解,并且将所述第一误差模式应用于所述硬输入数据集合的部件;以及用于按照所述第二前向纠错编码方案基于所述第一反向注解来计算第二校验子,通过所述第二校验子来计算第二误差模式,并且将所述第二误差模式应用于所述硬输入数据集合的部件。用于计算第一校验子的部件和用于计算第二校验子的部件并行计算所述第一和第二校验子。所述产品还包括随后的解码器以及用于存储所述第一反向注解的部件,所述用于存储所述第一反向注解的部件与所述用于计算

所述第一反向注解的部件耦合以接收所述第一反向注解,并且与所述随后的解码器耦合以将所述第一反向注解提供给所述随后的解码器。

#### 附图说明

[0007] 通过参照用来说明本发明的实施例的以下描述和附图,可以最透彻地了解本发明。附图中:

[0008] 图 1 是根据本发明的一个实施例的示范网络单元的示图。

[0009] 图 2 是根据本发明的一个实施例、用于对数据编码的示范流程图。

[0010] 图 3A 是示图,说明根据本发明的一个实施例的矩阵中的两个代码类的示范交织。

[0011] 图 3B 是示图,说明根据本发明的一个实施例、第三代码类到图 3A 的矩阵中的示范交织。

[0012] 图 3C 是示图,说明根据本发明的一个实施例的两个代码类的备选示范交织。

[0013] 图 4 是根据本发明的一个实施例的数据的解码的流程图。

[0014] 图 5 是根据本发明的一个实施例的网络单元的线路卡的组件的示图。

[0015] 图 6A 是示图,说明根据本发明的一个实施例的图 5 的迭代解码器 505A 的一个示范实施例。

[0016] 图 6B 是示图,说明根据本发明的一个实施例的迭代解码器/解包器和编码器/包装器 509 的一个示范实施例。

[0017] 图 7A 是示图,说明根据本发明的一个实施例、具有反向注解 (backward annotation) 的迭代解码器的一个示范实施例。

[0018] 图 7B 是示图,说明根据本发明的一个实施例、具有前向注解 (forward annotation) 的迭代解码器的一个示范实施例。

#### 附图详细说明

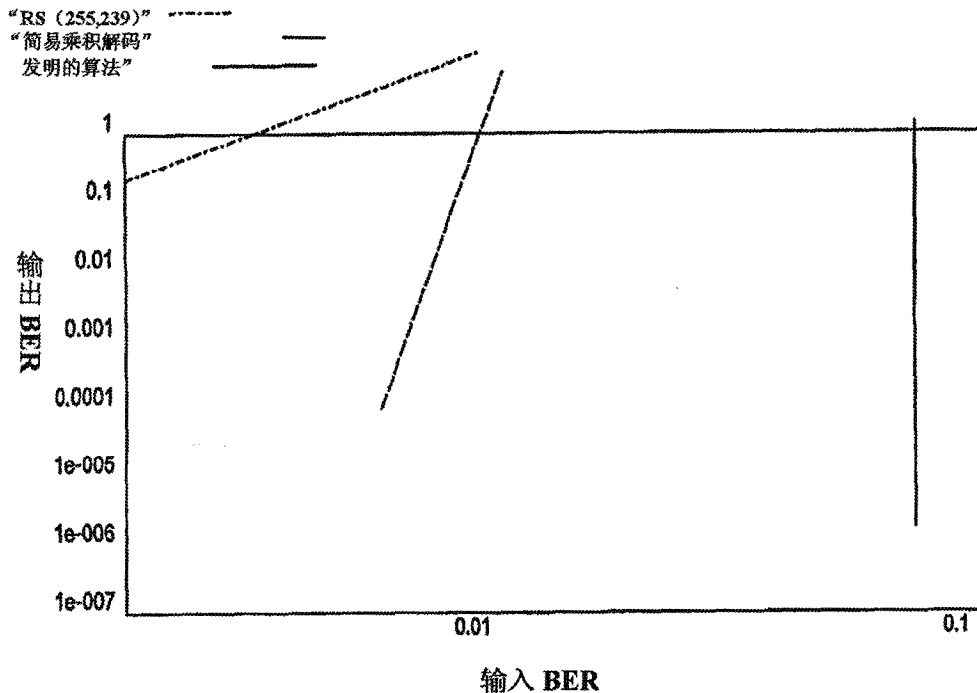
[0019] 在以下说明中,提出了大量具体的详细资料,以便提供对本发明的透彻了解。但是要理解,即使没有这些具体详细资料也可以实施本发明。在其它情况下,众所周知的电路、结构和技术没有进行详细说明,以免使本发明显得不明显。

[0020] 图 1 是根据本发明的一个实施例的示范网络单元的示图。在图 1 中,网络单元 101 与网络单元 103 耦合。在网络单元 101 中,本文中稍后将更详细描述包装/编码单元 107 接收数据 105。数据包含信息符号的集合。一个或多个位可表示各信息符号。包装/编码单元 107 把开销空间添加到数据 105 (称作包装)。包装/编码单元 107 首先采用管理信息填充开销空间的部分。管理信息可包括代码同步的模式。然后,包装/编码单元 107 采用交织代码类的冗余符号填充数据 105 中的开销空间,本文稍后将更详细地进行描述。包装/编码单元 107 将包装数据 106 传递到光发射机 109。在备选实施例中,单个物理单元或独立物理单元可执行包装和编码。光发射机 109 把包装数据 106 从电信号转换成光信号 108。光发射机 109 则把光信号 108 从网络单元 101 传送到网络单元 103。

[0021] 网络单元 103 中的光接收机 111 接收光信号 108。光接收机 111 把已接收光包装数据 106 转换成电信号。解码单元 113 以迭代方式对包装数据 106 进行解码。解码单元 113 把解码包装数据 108 传递到解码/解包单元 115。本文稍后将更详细地描述解码单元 113

和解码/解包单元 115。解码/解包单元 115 还对从解码单元 113 接收的包装数据 106 进行解码。解码/解包单元 115 还从包装数据 106 中删除管理信息和开销空间。然后,解码/解包单元 115 输出数据 105。单个物理单元或独立物理单元可执行解码和解包。

[0022] 采用交织代码类以迭代方式对光发送数据进行解码减少了在解码和解包之后输出的数据的误码率。以下所示的图表 1 说明对于三个示范编码方案的输入误码率 (BER) 对输出 BER。输入 BER 为单一位传输误差的概率,而输出 BER 则为在对数据解码之后被破坏的单一位的概率。标记为“RS(255,239)”的虚线说明里德-索罗蒙编码方案的性能。标记为“简易 RS”的虚线说明基于简易里德-索罗蒙的分组乘积编码方案的性能。实线表示通过两个迭代实现两个交织代码类的迭代硬输入解码的编码方案的性能。如图表 1 所示,实现交织代码类的迭代硬输入解码的编码方案在输入 BER 方面胜过其它示范编码方案,它通常出现在光传输中。



[0023] 图 2 是根据本发明的一个实施例、用于对数据编码的示范流程图。在框 201,包装/编码单元 107 确定作为当前编码方案的编码方案。一种编码方案,前向纠错 (FEC) 编码算法 (例如 BCH 编码、里德-索罗蒙编码等) 以及与编码算法配合使用的参数。在一个实施例中,参数和过程的集合可预定义。在另一个实施例中,包装/编码单元 107 可从存储器中检索参数和编码算法。在一个备选实施例中,用户可选择参数和编码算法。在另一个实施例中,包装/编码单元 107 可从包装/编码单元 107 和/或独立存储单元上存储的不同参数和/或编码过程中选择参数和/或编码过程。

[0024] 在框 203,包装/编码单元 107 接收数据。在框 205,包装/编码单元 107 通过当前编码过程和当前参数来处理数据,从而产生第一代码类的码字集合 (即数据以及冗余数据)。术语“代码类”表示通过某种编码过程以及参数的某个集合产生的所有码字。不同的代码类可通过相同的编码算法但不同的参数来生成。不同的代码类还可通过相同的参数但不同的编码算法来生成。不同的代码类还可通过不同的编码算法以及不同的参数集合来生成。

[0025] 在框 211, 包装 / 编码单元 107 确定作为当前编码方案的下一个编码方案。一个备选实施例可选择参数的另一个集合以及另一个编码算法。另一个实施例可使用当前选取的参数以及选择另一个编码算法。

[0026] 在框 213, 包装 / 编码单元 107 采用当前编码方案生成下一个代码类。在框 215, 包装 / 编码单元 107 确定编码过程是否完成。如果编码过程没有完成, 则控制流向框 211。如果编码过程已完成, 则包装 / 编码单元 107 在框 217 发送编码数据。数据的符号经过编码, 使得各符号为各代码类的至少一个码字的成员。

[0027] 虽然附图中的流程图表示了本发明的某些实施例执行的操作的特定顺序, 但应该理解, 这种顺序是示范性的 (例如其它实施例可能以不同顺序执行某些操作、结合某些操作、并行执行某些操作等等)。例如, 如果参数的集合被预定, 则可能不执行框 201 和 / 或框 211。另外, 框 203 可在框 201 之前执行。在另一个实施例中, 框 201 和框 211 顺序或并行执行。

[0028] 对符号编码、使得各符号为各代码类的至少一个码字的成员, 可通过矩阵来说明。图 3A-3C 是示图, 说明代码类的交织。

[0029] 图 3A 是示图, 说明根据本发明的一个实施例的矩阵中的两个代码类的示范交织。在图 3A 中, 包装数据 301 通过编码过程 305 来处理。编码过程 305 产生表示为在矩阵 309 中排列成行的  $n_2$  个码字的集合的第一代码类。第一代码类的码字具有  $n_1$  和  $k_1$  个符号的分组长度。第一代码类的冗余符号在矩阵 309 中表示为行冗余符号 311 (没行  $n_1 - k_1$  个冗余符号)。第一代码类对应矩阵 309 的第一维。

[0030] 矩阵 309 的第二维则通过编码过程 306 来处理。如上所述, 其它实施例可通过另一个编码过程、通过另一个编码过程和参数的另一个集合等来处理矩阵 309。编码过程 306 产生矩阵 315。矩阵 315 的列为第二代码类的码字。第二代码类的码字具有  $n_2$ 、 $k_2$  个信息符号的分组长度, 没码字  $n_2 - k_2$  个冗余符号, 它们表示为列冗余符号 313。第二代码类包括  $n_1$  个码字 (即矩阵 315 中的  $n_1$  列)。第二代码类包括由行冗余符号 311 和用于校正行冗余符号 311 的冗余符号组成的码字。

[0031] 图 3B 是示图, 说明根据本发明的一个实施例的、第三代码类到图 3A 的矩阵中的示范交织。在图 3B 中, 编码过程 316 产生矩阵 319。编码过程 319 对矩阵 306 的第三维进行编码, 从而生成具有第三代码类的矩阵 319。矩阵 319 包括第三维冗余符号 317。第三维冗余符号 317 对应第三代码类的码字的各对角线。

[0032] 图 3C 是示图, 说明根据本发明的一个实施例的两个代码类的备选示范交织。图 3C 说明产生作为二维域 (field) 321 的交织代码类流的编码过程 105。域 321 包括行码字和列码字。与图 3A 的矩阵 315 不同, 域 321 的各行中包括多个码字。在域 321 中, 第一代码类的码字没有相对第二代码类的单个码字对齐。

[0033] 交织多个代码类提供了改进的前向纠错。虽然 FEC 编码方案提供对有限及已知数量的传输误差的校正, 但交织多个代码类可使迭代解码能够克服 FEC 编码方案的这种限制。

[0034] 图 4 是根据本发明的一个实施例的数据的解码的流程图。在框 401, 网络单元接收数据。在框 402, 网络单元对最后一个代码类解码。在框 403, 网络单元对下一个代码类 (即最后一个代码类之前编码的代码类) 解码。在框 405, 网络单元确定是否已经对所有代

码类进行了解码。如果还没有对所有代码类进行解码,则控制流向框 403。如果已经对所有代码类进行了解码,则在框 407,网络单元确定各代码类的校验子是否等于零。如果各代码类的校验子不等于零,则控制从框 407 流向框 402。如果各代码类的校验子等于零,则在框 409,网络单元从接收数据中删除冗余符号。

[0035] 图 4 说明交织多个代码类怎样使迭代解码能够克服当前 FEC 编码方案的限制。例如,假定编码过程 305 和 306 分别单独提供  $t_1$  和  $t_2$  传输误差的校正。如果第一代代码类的码字中的误差数量超过  $t_1$ , 则那个代码类通常无法被校正。由于多个代码类被交织然后再以迭代方式解码,因此第二代代码类中的校正误差可能在后续迭代中实现第一代代码类的校正。换言之,在第一和第二代代码类的码字的交叉点上的不正确符号的校正可减少  $t_1$  以下的第一代代码类的码字的误差数量。

[0036] 如上所述,图 4 中所示的操作的顺序是示范性的。例如,由于代码类的数量是已知的,因此可以不执行框 405。其它实施例可按照不同方式执行框 407。当计算了不等于零的校验子时,即可设置标记。可保存所有校验子的总和。另外,另一个实施例可接受数据中的某种等级的误差。在另一个实施例中,框 402 和框 403 可并行执行。

[0037] 虽然图 4 所示的环境继续以迭代方式进行解码、直到已经校正数据中的所有误差为止,但迭代硬输入前向纠错的实施例可对代码类迭代预定次数。

[0038] 图 5 是根据本发明的一个实施例的网络单元的线路卡的组件的示图。在图 5 中,线路卡 500 包括光接收机 501,接收作为光信号的包装数据。光接收机 501 把光信号转换成电信号。光接收机 501 则把电信号形式的包装数据传递到解串器 503。解串器 503 安排包装数据用于迭代解码。然后,解串器 503 传递包装数据,由一系列迭代解码器 505A-505F 进行处理。各迭代解码器 505A-505F 执行至少一个对包装数据的所有代码类的解码的迭代。迭代解码器 505F 把包装数据传递到迭代解码器/解包器和编码器/包装器 509。迭代解码器/解包器和编码器/包装器 509 执行至少另外一个对数据的所有代码类的解码的迭代并对数据解包。然后,迭代解码器/解包器和编码器/包装器 509 输出数据。

[0039] 迭代解码器/解包器和编码器/包装器 509 还接收待发送的数据。迭代解码器/解包器和编码器/包装器 509 如图 1 所示包装接收数据,并如前面图 1-2 所示对接收数据编码。然后,迭代解码器/解包器和编码器/包装器 509 把包装及编码数据传递到串化器 511。串化器 511 安排包装数据用于传送。然后,串化器 511 把串化包装数据传递到光发射机 513。光发射机 513 把串化包装数据从电信号转换成光信号,并发送光信号。

[0040] 线路卡 500 和/或线路卡 500 的组件包括一个或多个机器可读媒体。机器可读媒体包括以机器(如计算机)可读形式提供(即存储和/或发送)信息的任何装置。例如,机器可读媒体包括:只读存储器(ROM);随机存取存储器(RAM);磁盘存储媒体;光存储媒体;闪存存储装置;电、光、声或其它形式的传播信号(例如载波、红外信号、数字信号等)等等。

[0041] 图 5 所示的实施例是通过共同耦合的迭代解码器的数量可缩放的。另外,所述实施例通过把编码器和解码器实现为单个组件来提供充分广泛的空间节省。各种实施例可按照不同方式实现迭代解码器。

[0042] 图 6A 是示图,说明根据本发明的一个实施例的图 5 的迭代解码器 505A 的一个示范实施例。在图 6A 中,迭代解码器 505A 用于对两个代码类解码。在图 6A 中,迭代解码器 505A 的列解码器 601 接收包装数据。列解码器 601 对接收数据的各列进行解码。在对接收

数据的各列进行解码之后,列解码器 601 把数据传递到数据重排器 603A。数据重排器 603A 把从列解码器 601 接收的数据从列方面重新排列成行方面。然后,数据重排器 603A 把重排数据传递到行解码器 605。行解码器 605 把接收数据解码为矩阵的行。然后,行解码器 605 把数据传递到数据重排器 603B。数据重排器 603B 把数据从行方面重排为列。然后,数据重排器 603B 把重排数据传递到下一个迭代解码器。

[0043] 图 6B 是示图,说明根据本发明的一个实施例的迭代解码器/解包器和编码器/包装器 509 的一个示范实施例。在图 6B 中,迭代解码器 505F 把数据传递到迭代解码器/解包器和编码器/包装器(“混合单元”)509。数据通过列解码器 601A、数据重排器 603A 以及行解码器 605A,与各迭代解码器 505A-505F 相似。行解码器 605A 把数据传递到解包器 611。解包器 611 对数据进行解包,与前面图 1 所示的解包过程相似。单元 509 还包括包装器 613。包装器 613 接收待发送的数据,并对数据进行包装,与前面结合图 1 所述的包装过程相似。包装器 613 把包装数据传递到行编码器 615。行编码器 615 采用行冗余符号填充包装器 613 添加的某些空间。然后,行编码器 615 把此数据传递到数据重排器 603B。数据重排器 603B 把数据从行方面重排为列方面。然后,数据重排器 603B 把重排数据传递到列编码器 607。列编码器 607 采用列冗余符号填充包装器 613 添加的其余空间。然后,列编码器 607 把数据从迭代解码器/解包器和编码器/包装器 509 中传出。

[0044] 图 7A 是示图,说明根据本发明的一个实施例、具有反向注解的迭代解码器的一个示范实施例。图 7A 所示的迭代解码器是示范的三代码类迭代解码器。图 7A 所示的迭代解码器包括校验子计算单元 703A-703C。其它实施例可包括或多或少的校验子计算单元。误差模式计算单元 709A-709C 与校验子计算单元 703A-703C 耦合。迭代解码器 505A 接收具有三个代码类的数据。接收数据存储在 FIFO 701A 中。接收数据还被发送到校验子计算单元 703A-703C。

[0045] 校验子计算单元 703A 计算三代码类的校验子。校验子计算单元 703A 把校验子传递到误差模式计算单元 709A。误差模式计算单元 709A 计算用于纠错的误差模式,并且还计算反向注解。误差模式计算单元 709A 确定的校正应用于 FIFO 701A 中所存储的数据。所得数据存储在 FIFO 701B 中。所计算的反向注解从误差模式计算单元 709A 传递到校验子计算单元 703B 和 703C。由于校验子计算是线性的,因此校验子计算单元 703A-703C 可并行计算其校验子,因而校验子计算单元 703B 已经计算了第二代码类的校验子。校验子计算单元 703B 把接收的反向注解加入它的已计算校验子。然后,校验子计算单元 703B 把具有反向注解的校验子传递到误差模式计算单元 709B。误差模式计算单元 709B 对于第二代码类执行与误差模式计算单元 709A 相同的任务。

[0046] 误差模式计算单元 709B 把所计算的纠错信息应用于 FIFO701B 中所存储的数据。所得数据存储在 FIFO 701C 中。误差模式计算 709B 把对于第二代码类计算的反向注解传递到校验子计算单元 703C。校验子计算单元 703C 应该已经计算了第一代码类的校验子,并且已经把反向注解加入第一代码类。然后,校验子计算单元 703C 把第二代码类的反向注解加入其校验子,并把已计算校验子传递到误差模式计算单元 709C。误差模式计算单元 709C 确定纠错信息,并把该信息应用于 FIFO 701C 中所存储的数据。然后,所得数据被传递到下一个迭代解码器。

[0047] 通过反向注解对交织代码类的迭代解码减少了对各代码类解码的等待时间。代码



类  $C_1$  的误差模式可在已经完成代码类  $C_2$  的误差模式计算之后立即进行计算。

[0048] 图 7B 是示图,说明根据本发明的一个实施例、具有前向注解的迭代解码器的一个示范实施例。图 7B 所示的迭代解码器 505A 与图 7A 所示的迭代解码器 505A 相似,但图 7B 示出了缓冲器 711。缓冲器 711 临时接纳已计算的、待发送到下一个迭代解码器的注解。其它实施例可把已计算的注解存储在多个缓冲器中、可传递定向到下一个迭代解码器的已计算注解等等。前向注解进一步减少等待时间。

[0049] 如上所述,交织代码类的迭代硬输入解码实现了对于光传输的前向纠错。

[0050] 虽然根据若干实施例对本发明进行了描述,但本领域的技术人员知道,本发明不限于所述实施例。在所附权利要求书的精神和范围之内,可通过修改和变更来实现本发明的方法和设备。因此,此说明将被视作对本发明的说明而不是限制。

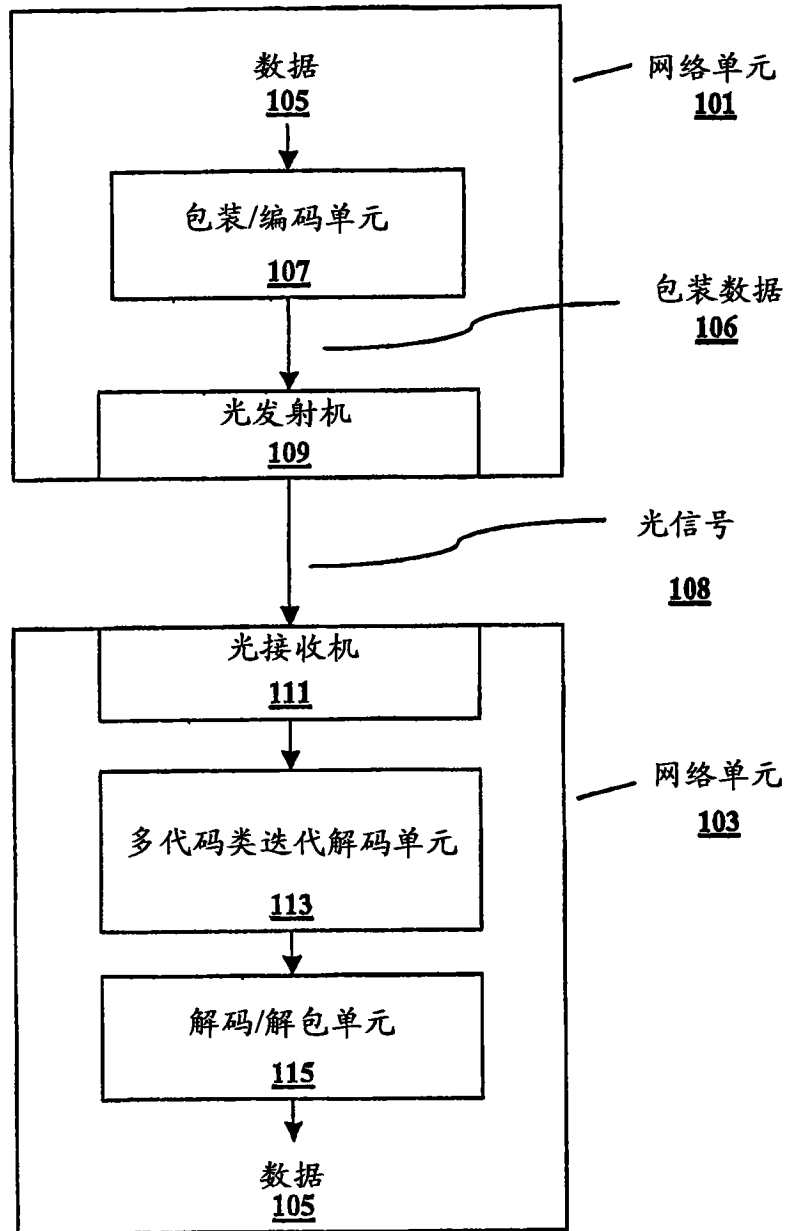


图 1

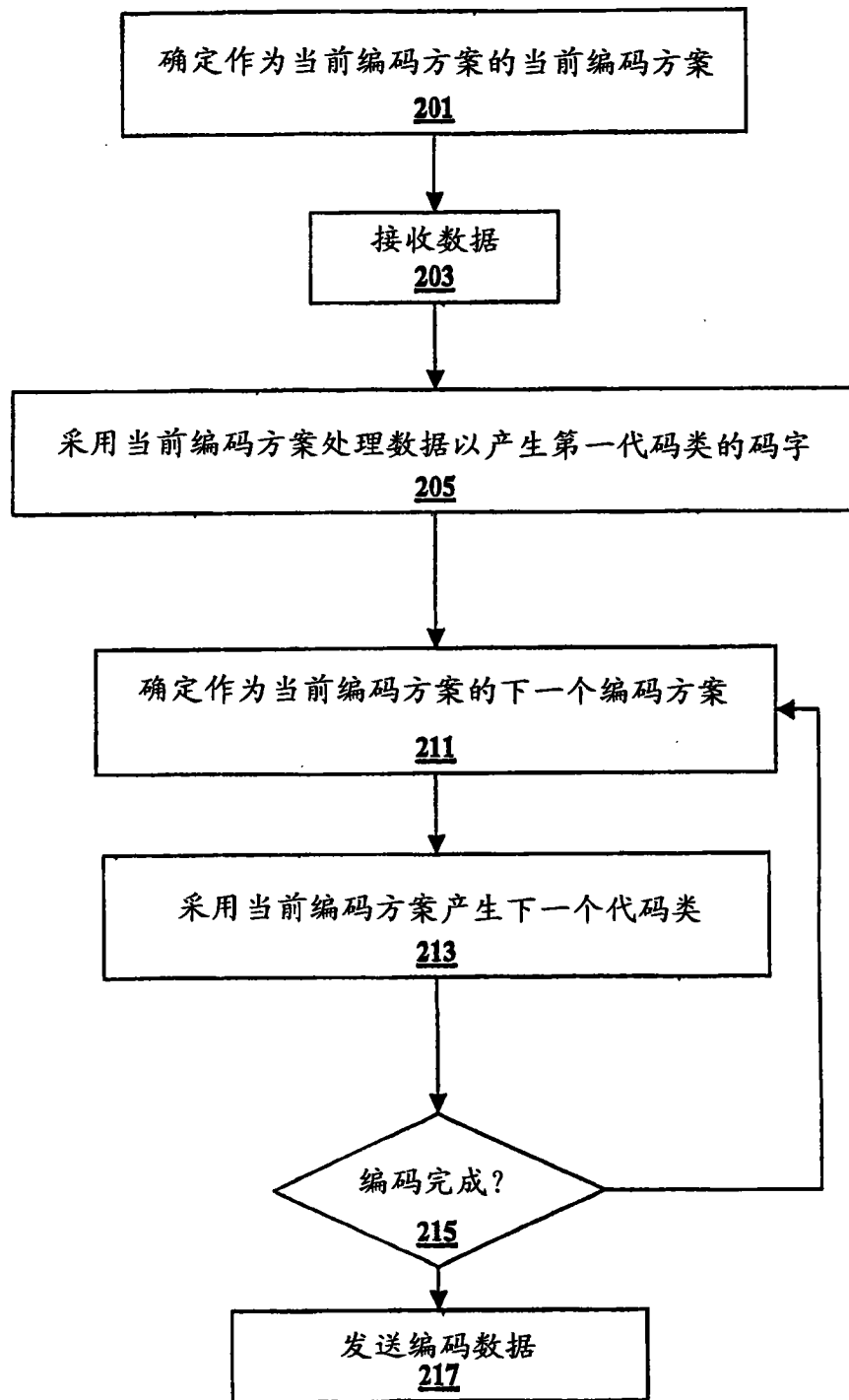


图 2

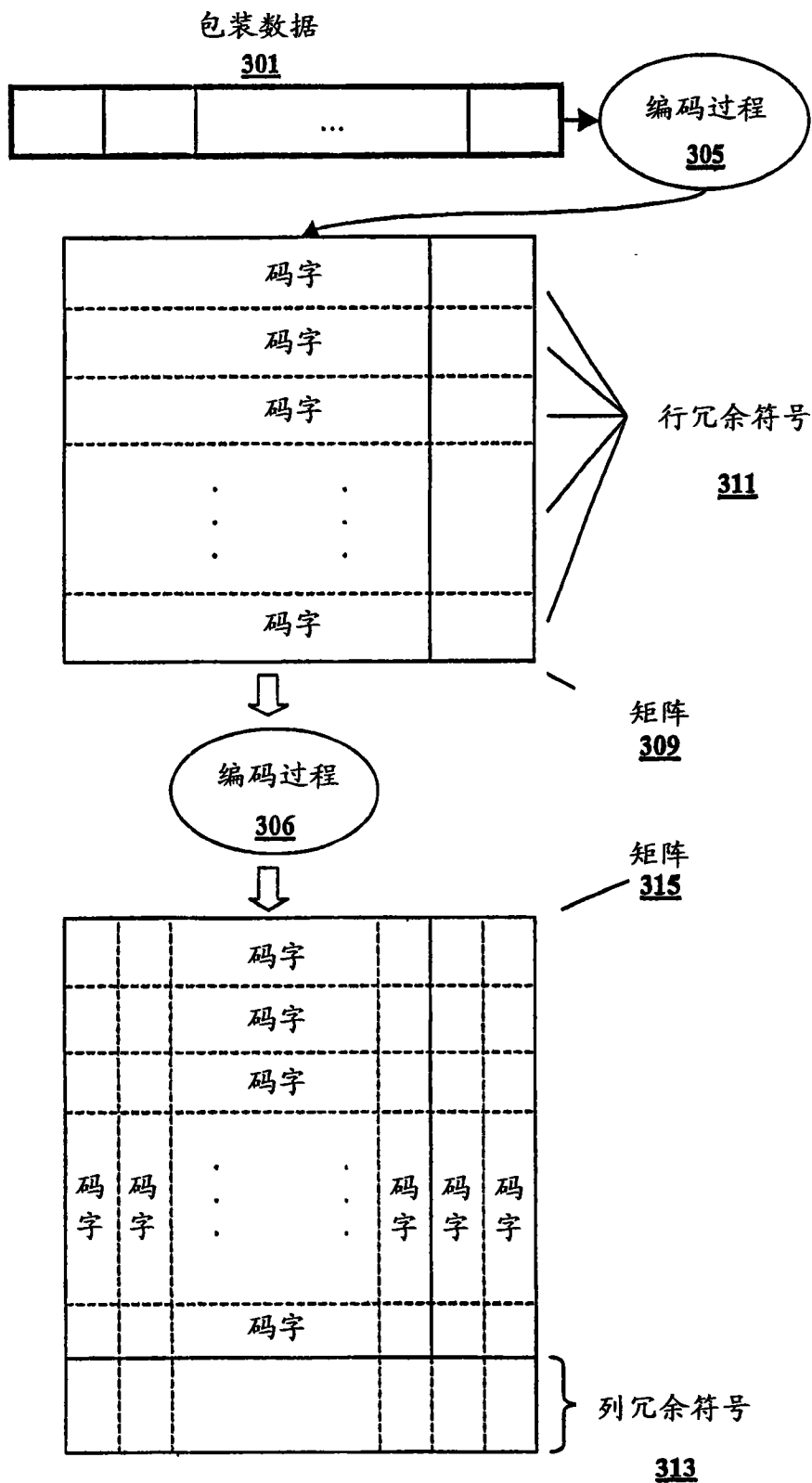


图 3A

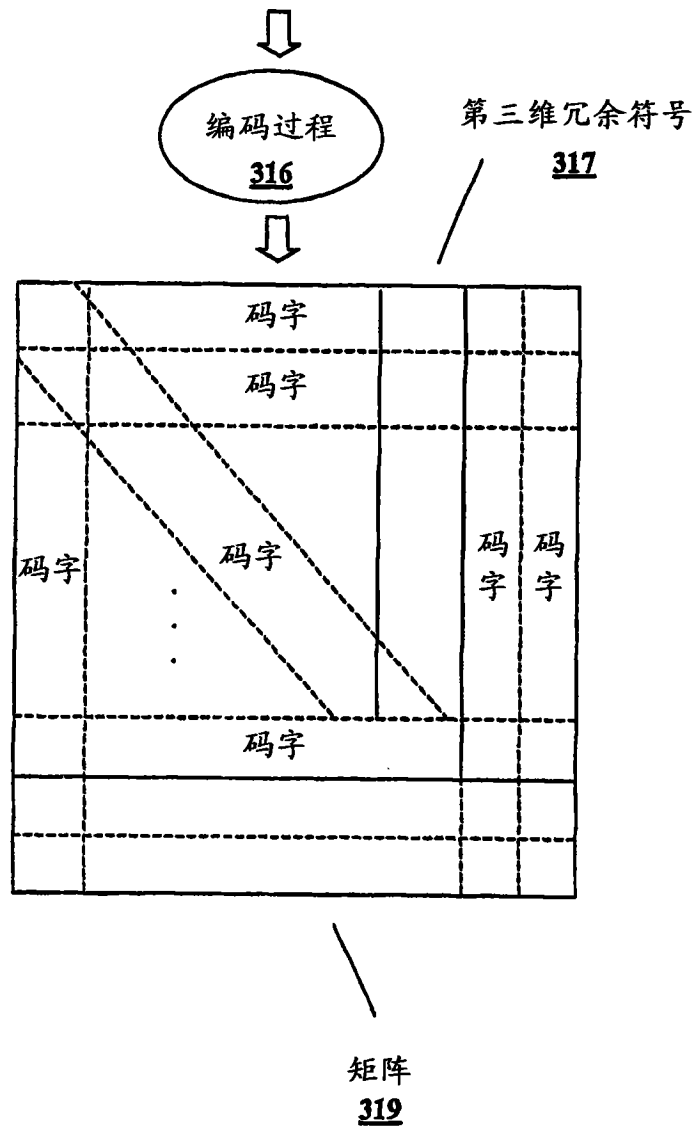


图 3B

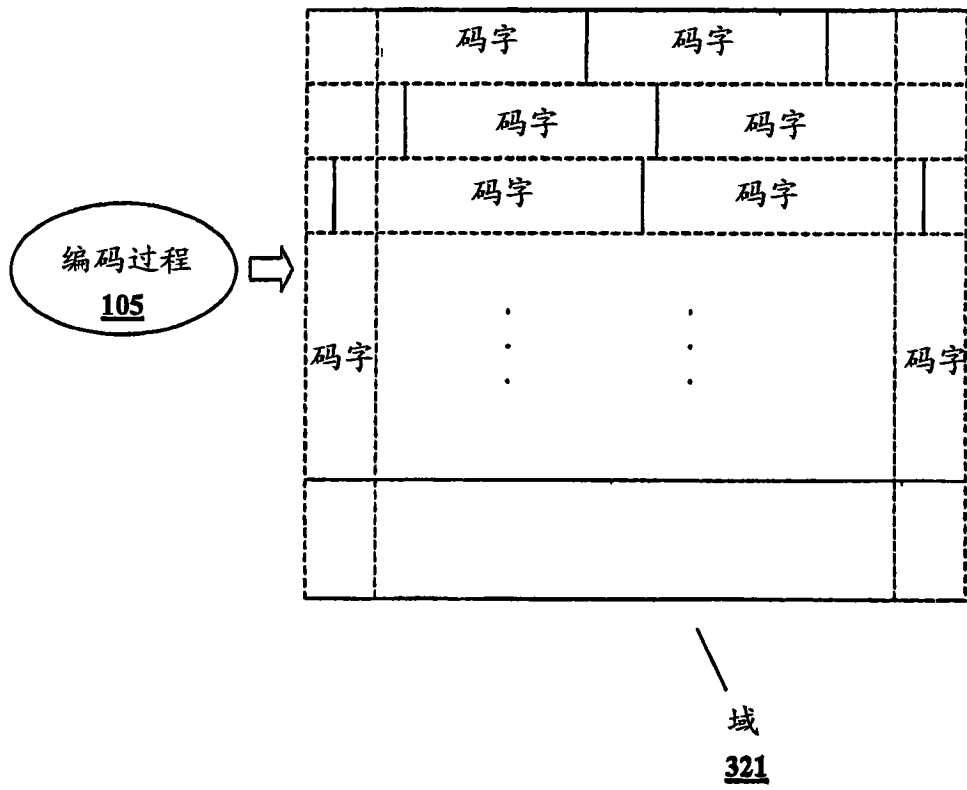


图 3C

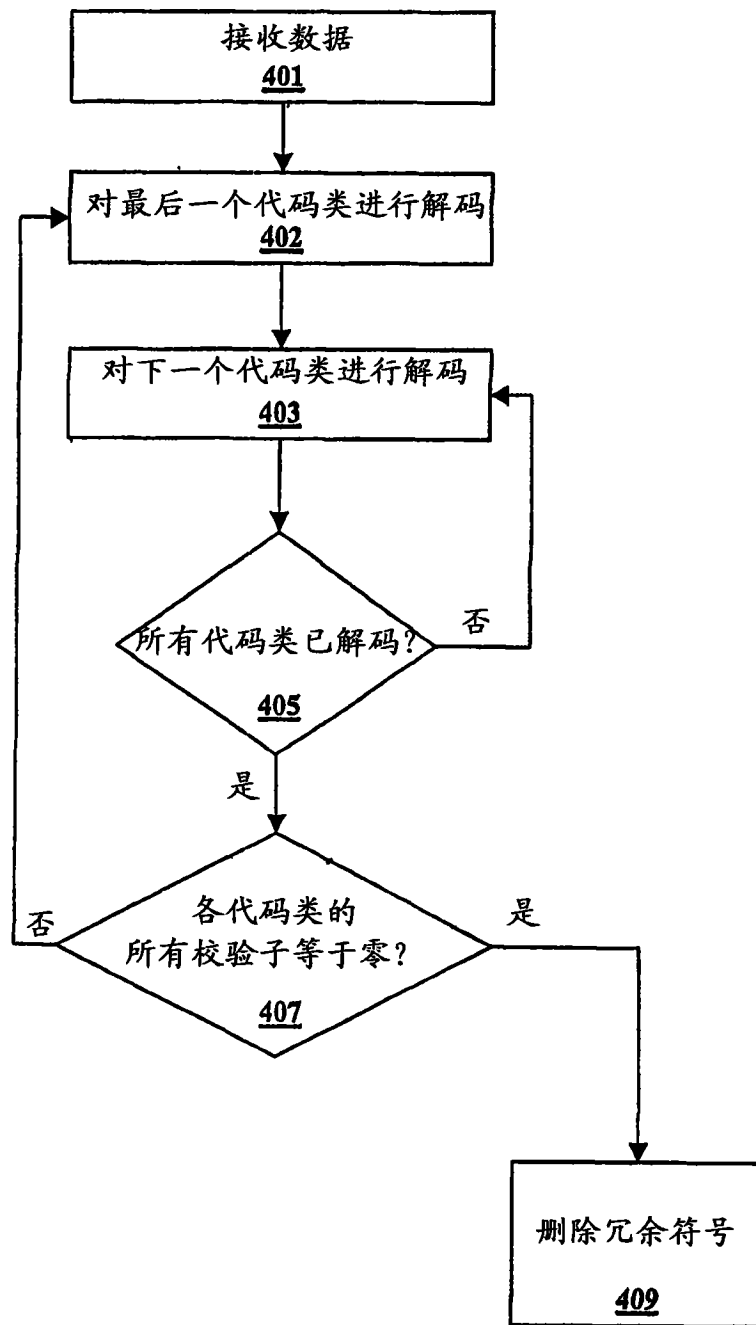


图 4

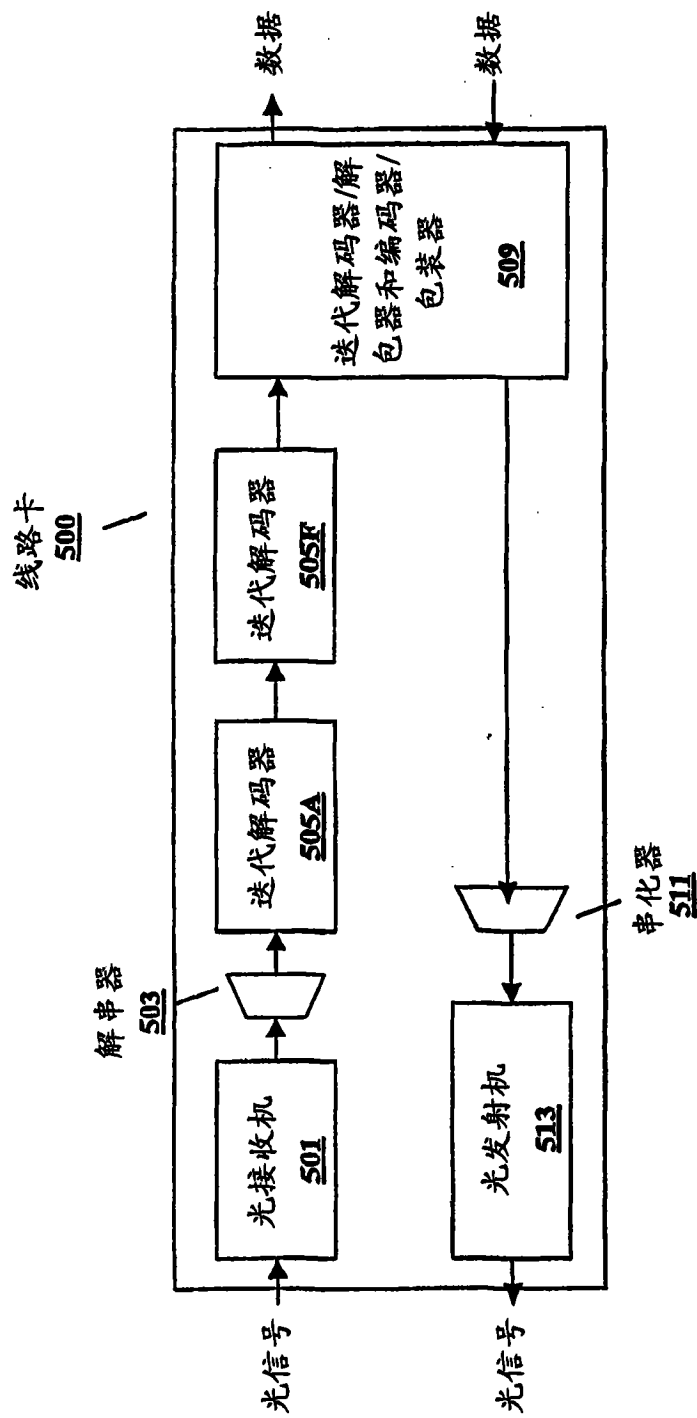


图 5



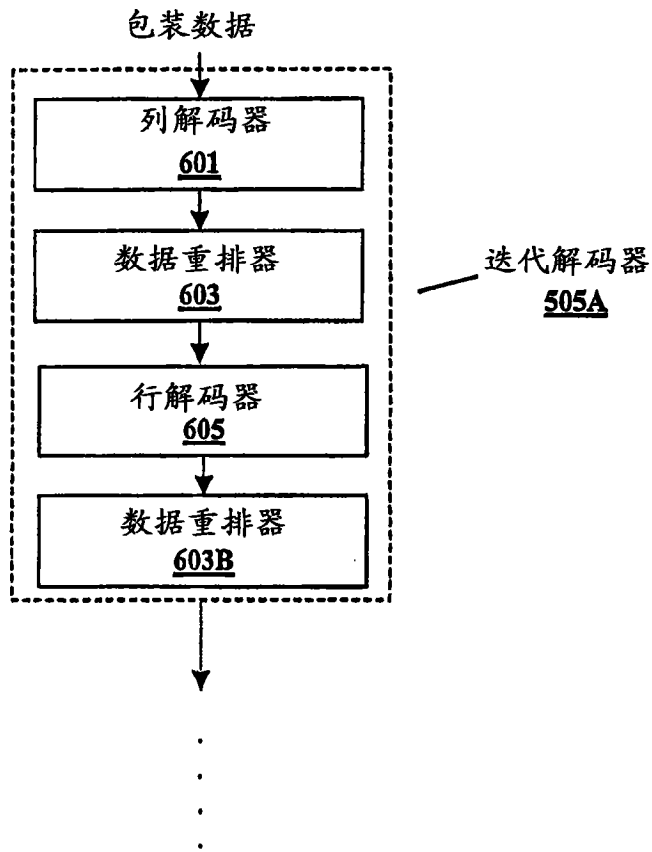


图 6A

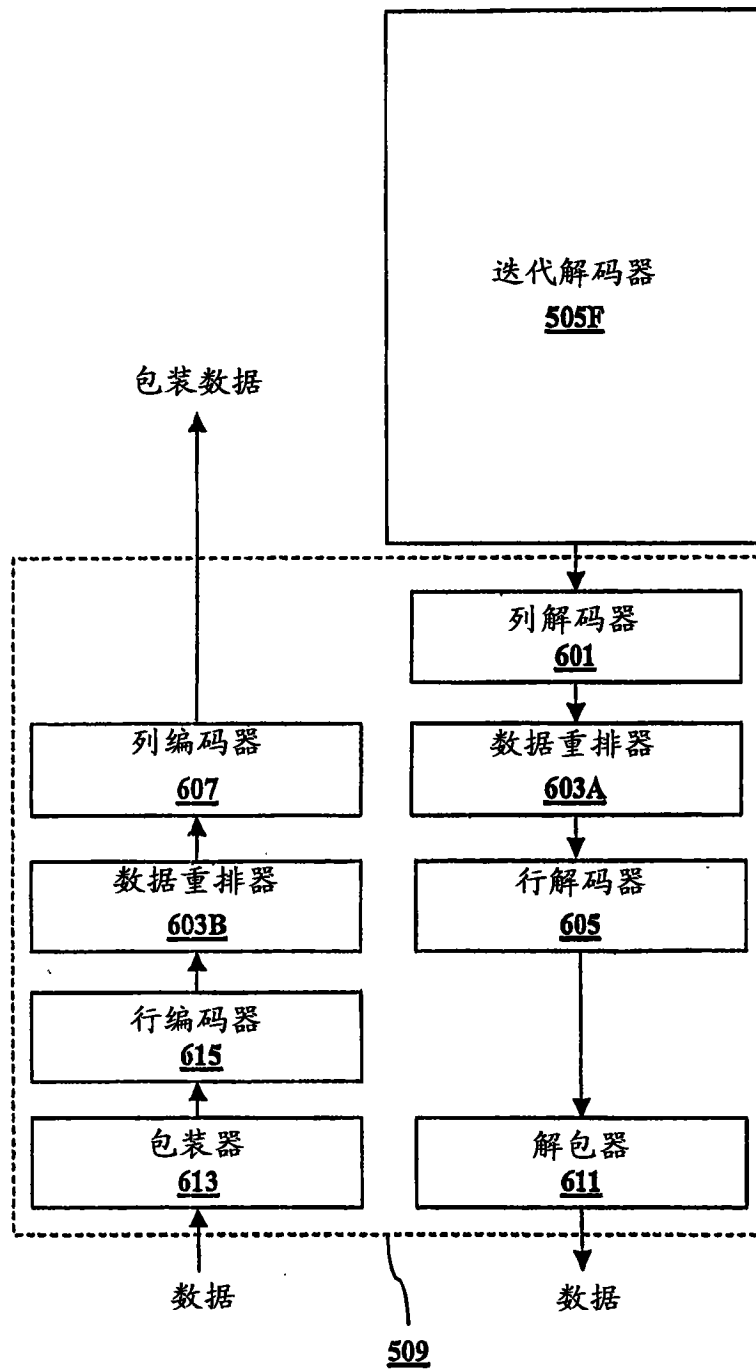


图 6B

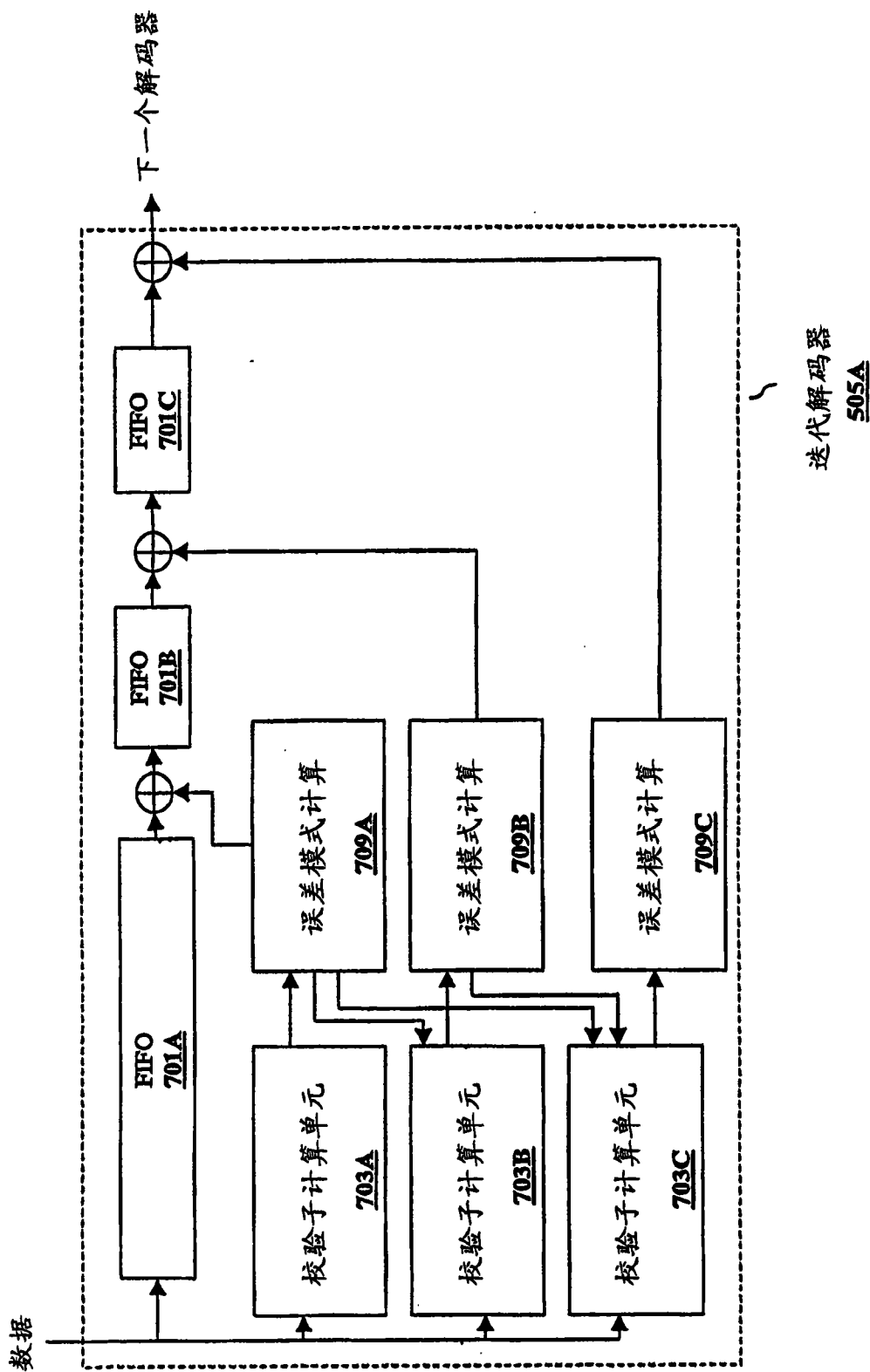


图 7A

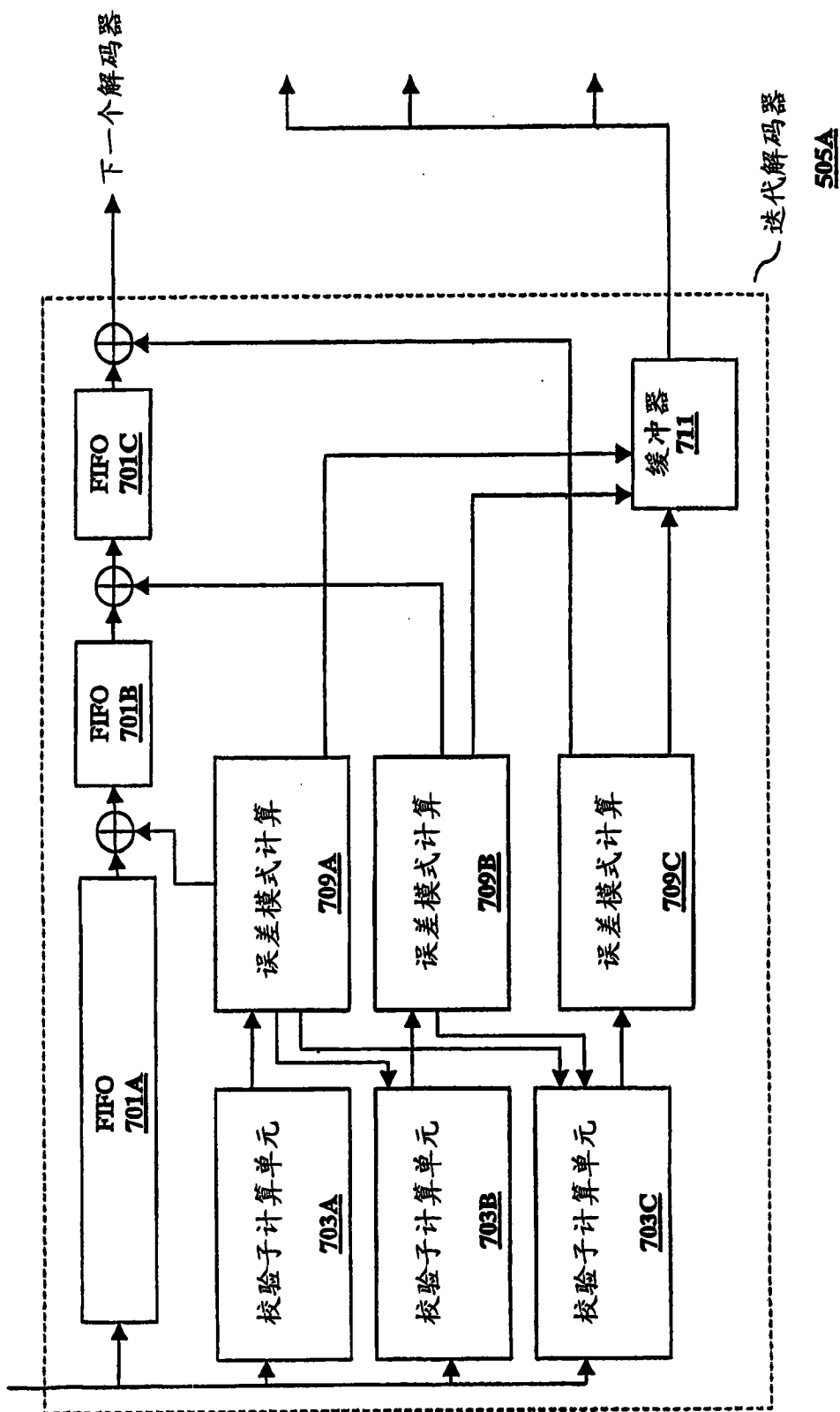


图 7B