



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109845112 B

(45) 授权公告日 2024. 02. 13

(21) 申请号 201780062072.0

(22) 申请日 2017.09.29

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109845112 A

(43) 申请公布日 2019.06.04

(30) 优先权数据  
16192404.8 2016.10.05 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2019.04.04

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2017/074878 2017.09.29

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02018/065329 EN 2018.04.12

(73) 专利权人 慕尼黑工业大学  
地址 德国慕尼黑市

(72) 发明人 乔治·博齐莱 帕特里克·舒尔特  
富宾恩·斯坦纳

(74) 专利代理机构 北京汇思诚业知识产权代理  
有限公司 11444  
专利代理师 王刚 龚敏

(51) Int.Cl.  
H03M 7/30 (2006.01)  
H03M 7/40 (2006.01)

(56) 对比文件  
US 7778341 B2, 2010.08.17  
CN 105122756 A, 2015.12.02  
CN 101874393 A, 2010.10.27

审查员 张曼

权利要求书4页 说明书12页 附图11页

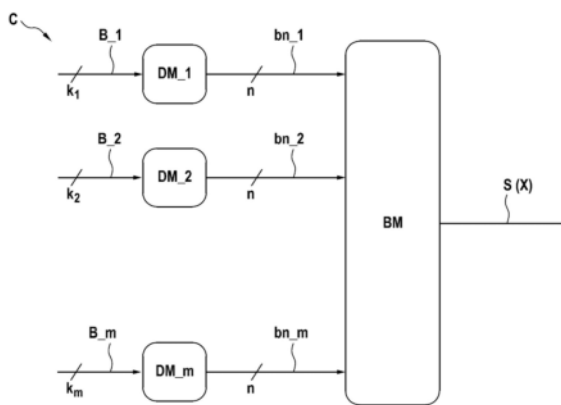
## (54) 发明名称

转换或重新转换数据信号的方法以及用于数据发送和/或数据接收的方法和系统

## (57) 摘要

本发明涉及用于转换数据信号(U)的方法(C)。所述方法包括如下处理:(i)提供代表待转换的数据信号(U)的输入符号流(B), (ii)解复用(DMX)所述输入符号流(B), 以将所述输入符号流(B)连续地分解为m个分解的部分符号流(B<sub>1</sub>, ..., B<sub>m</sub>), 其中m是自然数, (iii)在分解的部分符号流(B<sub>1</sub>, ..., B<sub>m</sub>)的每个上应用指定的分布匹配处理(DM<sub>1</sub>, ..., DM<sub>m</sub>), 从而为每个分解的部分符号流(B<sub>1</sub>, ..., B<sub>m</sub>)生成和输出n<sub>j</sub>个符号的相应前序列(bn<sub>1</sub>, ..., bn<sub>m</sub>)作为中间输出符号序列, 其中对于所有j=1至m, n<sub>j</sub>是自然数, 和(iv)将由所述分布匹配处理(DM<sub>1</sub>, ..., DM<sub>m</sub>)输出的所述前序列(bn<sub>1</sub>, ..., bn<sub>m</sub>)供应至至少一个符号映射处理(BM), 以生成和输出代表最终输出符号序列(S)的信号作为转换的数据信号, 其中:(v)分布匹配处理(DM<sub>1</sub>, ..., DM<sub>m</sub>)中的每一个和符号映射处理(BM)基于符号的相

应指定字母表(ADM<sub>1</sub>, ..., ADM<sub>m</sub>; ABM), 并且(vi)每个所述分布匹配处理(DM<sub>1</sub>, ..., DM<sub>m</sub>)的字母表(ADM<sub>1</sub>, ..., ADM<sub>m</sub>)的基数低于所述符号映射处理(BM)的字母表(ABM)的基数。



1. 一种转换数据信号 (U) 的方法, 包括如下处理:
  - 提供代表待转换的数据信号 (U) 的输入符号流 (B),
  - 解复用 (DMX) 所述输入符号流 (B), 以将所述输入符号流 (B) 连续地分解为  $m$  个分解的部分符号流 ( $B_1, \dots, B_m$ ), 其中  $m$  是自然数,
  - 在每个所述分解的部分符号流 ( $B_1, \dots, B_m$ ) 上应用指定的分布匹配处理 ( $DM_1, \dots, DM_m$ ), 从而为每个分解的部分符号流 ( $B_1, \dots, B_m$ ) 生成和输出  $n_j$  个符号的相应前序列 ( $bn_1, \dots, bn_m$ ) 作为中间输出符号序列, 其中对于所有  $j=1$  至  $m$ ,  $n_j$  是自然数, 和
  - 将由所述分布匹配处理 ( $DM_1, \dots, DM_m$ ) 输出的所述前序列 ( $bn_1, \dots, bn_m$ ) 供应至至少一个符号映射处理 (BM), 以生成和输出代表最终输出符号序列 (S) 的信号作为转换的数据信号 (X),
 其中:
  - 所述分解的部分符号流 ( $B_1, \dots, B_m$ ) 被供应至相应数量的  $m$  个分布匹配处理 ( $DM_1, \dots, DM_m$ ),
  - 每个所述分布匹配处理 ( $DM_1, \dots, DM_m$ ) 和所述符号映射处理 (BM) 基于符号的相应指定字母表 ( $ADM_1, \dots, ADM_m; ABM$ ), 并且
  - 所述分布匹配处理 ( $DM_1, \dots, DM_m$ ) 的每个所述字母表 ( $ADM_1, \dots, ADM_m$ ) 中的基数低于所述符号映射处理 (BM) 的字母表 (ABM) 的基数。
2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中,
  - 相应的每个所述分布匹配处理 ( $DM_j, j=1, \dots, m$ ) 和/或
  - 所述符号映射处理 (BM)
 配置为-可逆的和/或
  - 基于预定义分布并且特别是基于高斯分布的且据此选择的至少一种。
3. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中:
  - 相应的每个所述分布匹配处理 ( $DM_j, j=1, \dots, m$ ) 均配置为使用由所述解复用 (DMX) 提供的相应的  $k_j$  个连续符号, 其中, 对于每个  $j=1, \dots, m$ ,  $k_j$  是自然数, 并且
  - 对于相应的分布匹配处理 ( $DM_j, j=1, \dots, m$ ), 所述相应的  $k_j$  个连续符号是以下之一:
    - 固定的或
    - 可变的, 和/或
    - 其中, 每个所述分布匹配处理 ( $DM_j, j=1, \dots, m$ ) 都配置为使得对于每对分布匹配处理 ( $DM_{j1}, DM_{j2}$ ) 满足如下关系:
 
$$n_{j1} = n_{j2} \quad (1),$$
 每个  $j1, j2=1, \dots, m$  是自然数,  $n_{j1}, n_{j2}$  作为描述由提供有相应的前序列 ( $bn_{j1}, bn_{j2}$ ) 并由相应的基础分布匹配处理 ( $DM_{j1}, DM_{j2}$ ) 提供的连续符号的数量的自然数。
4. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 提供所述输入符号流 (B) 的处理包括以下中的至少一个:
  - 从存储介质或从符号生成处理调用所述输入符号流 (B),

-接收、解调和/或解码代表或传送所述输入符号流(B)的信号。

5. 根据权利要求2所述的方法,

-其中,每个所述分布匹配处理(DM<sub>j</sub>, j=1, ..., m)都配置为将由所述解复用(DMX)提供的连续符号排列在n<sub>j</sub>个符号的每个相应的所述前序列(bn<sub>1</sub>, ..., bn<sub>m</sub>)中,使得对于所述最终输出符号序列(S),经验分布与相应的基础分布一致或接近,和/或

-其中,

-每个所述分布匹配处理(DM<sub>j</sub>, j=1, ..., m)和/或

-所述符号映射处理(BM)

配置为通过从相应的整个候选集中索引相应的输出序列来实现所述最终输出符号序列(S)的经验分布到相应的基础分布的接近。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,

-其中,所述符号映射处理(BM)具有m个输入通道和/或其中,m个输入通道分布在多个符号映射子处理(BM<sub>1</sub>, ..., BM<sub>1</sub>)中和/或

-其中,所述符号映射处理(BM)基于调制处理并且特别是基于数字或模拟正交幅度调制处理和/或

-其中,所述输入符号流(B)、所述部分符号流(B<sub>1</sub>, ..., B<sub>m</sub>)中的至少一个、中间输出符号序列的相应前序列(bn<sub>1</sub>, ..., bn<sub>m</sub>)中的至少一个和/或所述最终输出符号序列(S)至少部分地由二进制位形成。

7. 用于重新转换-特别是转换过的-数据信号(Y)的方法,

包括如下处理:

-提供代表待重新转换的-特别是转换过的-数据信号(Y)的输入符号流(S'),

-将所述输入符号流(S')供应至具有m个输出通道并且m是自然数的至少一个逆符号映射处理(BM<sup>-1</sup>),以生成和输出n<sub>j</sub>个符号的m个中间输出符号序列(bn<sub>1</sub>' , ..., bn<sub>m</sub>' ),其中对于所有j=1至m,n<sub>j</sub>是自然数,

-对每个所述中间输出符号序列(bn<sub>1</sub>' , ..., bn<sub>m</sub>' )应用指定的逆分布匹配处理(DM<sub>1</sub><sup>-1</sup>, ..., DM<sub>m</sub><sup>-1</sup>),从而为每个所述中间输出符号序列(bn<sub>1</sub>' , ..., bn<sub>m</sub>' )生成和输出k<sub>j</sub>个符号的相应部分符号流(B<sub>1</sub>' , ..., B<sub>m</sub>' ),其中对于所有j=1至m,k<sub>j</sub>是自然数,和

-复用(MX)所述部分符号流(B<sub>1</sub>' , ..., B<sub>m</sub>' )以连续地组成和输出作为或代表重新转换过的数据信号(V)的最终输出符号流(B'),

其中:

-所述中间输出符号序列(bn<sub>1</sub>' , ..., bn<sub>m</sub>' )被供应至相应数量的m个逆分布匹配处理(DM<sub>1</sub><sup>-1</sup>, ..., DM<sub>m</sub><sup>-1</sup>),

-每个所述逆分布匹配处理(DM<sub>1</sub><sup>-1</sup>, ..., DM<sub>m</sub><sup>-1</sup>)和所述逆符号映射处理(BM<sup>-1</sup>)基于符号的相应指定字母表(ADM<sub>1</sub>, ..., ADM<sub>m</sub>; ABM),并且

-每个所述逆分布匹配处理(DM<sub>1</sub><sup>-1</sup>, ..., DM<sub>m</sub><sup>-1</sup>)的字母表(ADM<sub>1</sub>, ..., ADM<sub>m</sub>)的基数低于所述逆符号映射处理(BM<sup>-1</sup>)的字母表(ABM)的基数。

8. 根据权利要求7的方法,其中,

-相应的每个所述逆分布匹配处理(DM<sub>j</sub><sup>-1</sup>, j=1, ..., m)和/或

-所述逆符号映射处理(BM<sup>-1</sup>)

配置为-可逆的和/或

-基于预定义分布并且特别是基于高斯分布的且据此选择的至少一种。

9. 根据权利要求7所述的方法,其中:

-相应的每个所述逆分布匹配处理( $DM_{j^{-1}}$ ,  $j=1, \dots, m$ )配置为输出待提供给所述复用(MX)的相应的 $k_j$ 个连续符号,其中,对于每个 $j=1, \dots, m$ , $k_j$ 是自然数,和/或

-对于相应的逆分布匹配处理( $DM_{j^{-1}}$ ,  $j=1, \dots, m$ ),所述相应的 $k_j$ 个连续符号是以下之一:

-固定的或

-可变的,和/或

-其中,每个所述逆分布匹配处理( $DM_{j^{-1}}$ ,  $j=1, \dots, m$ )均配置为使得对于每对逆分布匹配处理( $DM_{j1^{-1}}$ ,  $DM_{j2^{-1}}$ ),满足如下关系:

$$n_{j1} = n_{j2}$$

(1),

每个 $j1, j2=1, \dots, m$ 是自然数, $n_{j1}, n_{j2}$ 描述提供有相应的序列( $bn_{j1}'$ ,  $bn_{j2}'$ )且提供给相应的基础逆分布匹配处理( $DM_{j1^{-1}}$ ,  $DM_{j2^{-1}}$ )的连续符号的数量。

10. 根据权利要求7所述的方法,

其中,提供所述输入符号流( $B'$ )的处理包括以下中的至少一个:

-从存储介质或从符号生成处理中调用所述输入符号流( $B'$ ),

-接收、解调和/或解码代表或传送所述输入符号流( $B'$ )的信号。

11. 根据权利要求8所述的方法,

-其中,每个所述逆分布匹配处理( $DM_{j^{-1}}$ ,  $j=1, \dots, m$ )均配置为使得基础分布匹配处理( $DM_j$ ,  $j=1, \dots, m$ )能够将由解复用(DMX)提供的连续符号排列在 $n_j$ 个符号的一个相应的前序列( $bn_1, \dots, bn_m$ )中,使得对于最终输出符号序列(S),经验分布与相应的基础分布一致或接近,和/或

-其中,

-每个所述逆分布匹配处理( $DM_{j^{-1}}$ ,  $j=1, \dots, m$ )和/或

-所述逆符号映射处理( $BM^{-1}$ )

配置为通过从相应的整个候选集中索引相应的输出序列,使得基础分布匹配处理( $DM_j$ ,  $j=1, \dots, m$ )和/或符号映射处理(BM)能够使所述最终输出符号序列(S)的经验分布接近相应的基础分布。

12. 用于数据发送和/或数据接收的方法,

-其中,数据发送部分包括根据权利要求1至6中任一项所述的方法和/或

-其中,数据接收部分包括根据权利要求7至11中任一项所述的方法。

13. 根据权利要求12所述的方法,

-其中,涉及的基础分布匹配处理( $DM_j$ ,  $j=1, \dots, m$ )和逆分布匹配处理( $DM_{j^{-1}}$ ,  $j=1, \dots, m$ )

-彼此相反和/或

-分别具有重合的字母表( $ADM_j$ ,  $j=1, \dots, m$ ),和/或

-其中,涉及的符号映射处理(BM)和逆符号映射处理( $BM^{-1}$ )

-彼此相反和/或

-分别具有重合的字母表 ( $ABM_j, j=1, \dots, m$ )。

14. 一种数据发送和/或数据接收系统,

包括处理单元,所述处理单元配置为执行根据权利要求1至13中任一项所述的方法。

## 转换或重新转换数据信号的方法以及用于数据发送和/或数据接收的方法和系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于转换或重新转换数据信号的方法,以及用于数据发送和/或数据接收的方法和系统。

### 背景技术

[0002] 在通过某些类型的信道转换、发送和/或接收数据信号以通信符号序列的领域中,一定程度的功耗伴随着基础处理(underlying process)。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是提供转换或重新转换数据信号的方法以及用于数据发送和/或数据接收的方法和系统,其在降低功耗或至少提高功率效率的情况下增加基础处理的可靠性。

[0004] 本发明的目的是通过本发明中的转换数据信号的方法或者通过根据本发明中的方法、数据发送和/或数据接收的方法以及数据发送和/或接收系统来实现。优选实施例在本文中限定。

[0005] 根据本发明的第一方面,提供了一种用于转换数据信号的方法,所述方法包括如下处理:

[0006] -提供代表待转换的数据信号的输入符号流,

[0007] -解复用所述输入符号流,以将所述输入符号流连续地分解为 $m$ 个分解的部分符号流,其中 $m$ 是自然数,

[0008] -在分解的部分符号流的每个上应用指定的分布匹配处理,从而为每个分解的部分符号流生成和输出 $n_j$ 个符号的相应前序列作为中间输出符号序列,其中对于所有 $j=1$ 至 $m$ , $n_j$ 是自然数,和

[0009] -将由所述分布匹配处理输出的所述前序列供应至至少一个符号映射处理,以生成和输出代表最终输出符号序列的信号作为转换的数据信号,

[0010] 根据本发明,分布匹配处理中的每一个和符号映射处理基于符号的相应指定字母表,并且所述分布匹配处理的字母表中的每一个的基数(cardinality)低于所述符号映射处理的字母表的基数。

[0011] 因此,本发明的主要方面是以如下方式选择基础分布匹配处理的字母表:使得具有比符号映射处理的基数低的基数,即描述相应字母表的成员集中的不同元素的数量。通过这样的选择,可以处理待转换的数据,特别是以更高效率管理其发送。

[0012] 本发明可以应用于更具体的符号形式的情况。

[0013] 因此,在一些实际应用中,本发明的方法可以着重于二进制数字形式的符号,即位的形式符号。因此并且根据本发明以及在其某些实施例中,术语输入符号流、部分符号流、分布匹配处理、符号的前序列、中间输出符号序列、符号映射处理、最终输出符号序列等

可以着重于位形式的符号,从而分别通过输入位流、部分位流、位分布匹配处理、位的前序列、中间输出位序列、位映射处理、最终输出位序列等相应的专用术语替换上述提到的常规术语。

[0014] 根据本发明的处理的每个阶段甚至中间阶段可以将位和位组合称为符号。

[0015] 以下附加说明进一步阐明了本发明的技术背景和主要方面:

[0016] 在本发明的意义上,分布匹配器-也由DM表示-可以指的是配置为将均匀分布的位变换为具有给定经验分布的符号序列的通用设备或装置。

[0017] 概率整形的概念更广泛,并且旨在解决系统视角以接近香农容量,其中对于所述系统视角,例如在通信系统中DM与前向纠错处理(也由FEC表示)的组合的意义上,DM仅是一个构件。

[0018] 这尤其意味着术语和概念不可替换。相反,可以通过各种方法并且特别是各种算法来实现分布匹配器。

[0019] 例如,一种方法是由CCDM表示并在下面列出的出版物[1]中解释的恒定组分布匹配器。附加地或替代地,可以涉及下面列出的出版物[2]中描述的方法。

[0020] 基于自然的二进制码-也由NBBC表示-及其构造在以下部分的“生成符号分布”部中针对任意星座大小进行描述。自然二进制码在本领域中是公知的,并且例如在出版物[3]中,例如,在其第3.5章中描述。

[0021] 查找表的概念-也由LUT表示-描述了如何在理论上实现分布匹配器的方式。但是,正如下面所指出的,这可能在某一点上变得不可行,因为其有太多的条目。例如在给定的硬件概念中,要求在实际系统中节省存储器例如由于硅片是稀缺资源。因此,代替保存所需的查找表,实际实现需要在运行中计算输入位到输出符号序列的映射。

[0022] 为了更好地理解本发明的背景,还有必要理解所谓的霍夫曼码提供固定到可变长度的编码方案并且因此不适合于本发明所要求的期望的块到块操作。

[0023] 在下面和之前列出的出版物[4]中对分布匹配器进行了进一步的研究,虽然其名称可能不同,或者可能在不同情况下使用过。下面列出的出版物[2]中提供了示例。此外,基于CCDM原理,算术编码用于各种多媒体编解码器。

[0024] 关于二进制DM的复杂性,必须注意到为什么二进制DM不那么复杂的简单示例可以以算术编码的工作方式构造恒定构成分布匹配的基础。该处理或算法需要跟踪过去每个符号的输出频度。显然,如果符号的数量较小,则这变得更容易。对于二进制DM,这种簿记(bookkeeping)特别容易,因为只涉及位的移位。

[0025] 为了进一步说明,“进一步的例子”部分中提到的最后一个例子进一步说明了这一点。

[0026] 为了进一步提高基础处理的效率,分布匹配处理中的相应的每一个可以配置为可逆的,从而确保符号序列的1对1映射。

[0027] 根据用于转换数据信号的方法的另一个优选实施例,分布匹配处理中的相应的每一个可以配置为使用由解复用提供的连续符号的相应数量 $k_j$ ,其中对于每个 $j=1, \dots, m$ ,  $k_j$ 是自然数。

[0028] 在这种情况下,对于相应的分布匹配处理,连续符号的相应数量 $k_j$ 是固定的或可变的。

[0029] 特别地,与每个相应的分布匹配处理连接的 $k_j$ 个连续符号的可变数量增加了灵活性,从而提高了用于转换数据信号的本发明方法的效率。

[0030] 根据本发明的另一个优选方面,附加地或替代地,符号映射处理也可以配置为可逆的。

[0031] 根据本发明的另一个有利实施例,由相应的前序列以及由相应的基础分布匹配处理提供的连续符号的数量可以不同或相同。

[0032] 换句话说,所述分布匹配处理中的每个可以配置为使得对于每对分布匹配处理可以满足:

[0033]  $n_{j1} = n_{j2}$

[0034] (1)的关系,每个 $j1, j2 = 1, \dots, m$ 是自然数, $n_{j1}, n_{j2}$ 作为描述由相应的前序列以及相应的基础分布匹配处理提供的连续符号的数量的自然数。

[0035] 附加地或替代地,提供所述输入符号流的基础处理可以包括以下中的至少一个:从存储介质或从符号生成处理调用输入符号流;以及接收、解调和/或解码代表或传送所述输入符号流的信号。

[0036] 如果所述分布匹配处理中的每个和/或所述符号映射处理至少是基于预定义分布并且特别是基于高斯分布的且据此选择的一个,则可以实现特别高的功率效率。

[0037] 但是,根据具体应用,其它分布可能更合适。

[0038] 相应基础分布的构建应通过相应的分布匹配处理来实现。换句话说,分布匹配处理中的每个可以配置为将由解复用提供的连续符号排列在 $n_j$ 个符号的前序列的相应的每一个中,使得对于最终输出符号序列,经验分布与相应的基础分布一致或接近。

[0039] 例如,如果分布匹配处理中的每个和/或所述符号映射处理配置为通过据此从相应的整个候选集中索引相应的输出序列来实现最终输出符号序列的经验分布到相应的基础分布的接近,则这可以实现。

[0040] 根据用于转换数据信号的本发明方法的另一个优选实施例,符号映射处理可具有 $m$ 个输入通道。

[0041] 附加地或替代地, $m$ 个输入通道可以分布在整体构成符号映射处理的多个符号映射子处理中。

[0042] 在具体实施例中,符号映射处理可以基于调制处理并且特别是基于数字或模拟正交幅度调制处理。

[0043] 此外,如果所述输入符号流、部分符号流中的至少一个、中间输出符号序列的相应前序列中的至少一个和/或最终输出符号序列至少部分地由二进制位形成,则可以简化用于转换数据信号的本发明方法。

[0044] 根据本发明的另一个方案,提供了一种用于重新转换数据信号的方法,特别是考虑到已经转换过的数据信号。

[0045] 该方法包括以下处理:

[0046] -提供代表待重新转换的-特别是转换过的-数据信号的输入符号流,

[0047] -将所述输入符号流供应至具有 $m$ 个输出通道并且 $m$ 是自然数的至少一个逆符号映射处理,以生成和输出 $n_j$ 个符号的 $m$ 个中间输出符号序列,其中对于所有 $j=1$ 至 $m, n_j$ 是自然数,



[0048] -对所述中间输出符号序列中的每个应用指定的逆分布匹配处理,从而为中间输出符号序列中的每个生成和输出 $k_j$ 个符号的相应部分符号流,其中对于所有 $j=1$ 至 $m$ , $k_j$ 是自然数,和

[0049] -复用部分符号流以连续组成和输出作为或代表重新转换过的数据信号的最终输出符号流。

[0050] 在这种情况下,所述逆分布匹配处理中的每个和逆符号映射处理都基于符号的相应指定字母表,并且所述逆分布匹配处理的字母表中的每个的基数低于所述逆符号映射处理的字母表的基数。

[0051] 逆分布匹配处理中的相应的每一个可以配置为可逆的。

[0052] 附加地或替代地,所述逆分布匹配处理中的相应的每一个可以配置为输出要提供给复用处理的连续符号的相应数量 $k_j$ ,其中,对于每个 $j=1, \dots, m$ , $k_j$ 是自然数,并且,对于相应的逆分布匹配处理,连续符号的相应数量 $k_j$ 是固定的或可变的。数字 $k_j$ 的可变性产生整个处理的固有可变性。

[0053] 逆符号映射处理也可以配置为可逆的。

[0054] 为简化用于重新转换数据信号的方法,根据其进一步优选的实施例,所述逆分布匹配处理中的每个可以配置为使得对于每对逆分布匹配处理可以满足关系:

[0055]  $n_{j1} = n_{j2}$

[0056] (1)

[0057] 每个 $j1, j2=1, \dots, m$ 是自然数, $n_{j1}, n_{j2}$ 描述由相应的序列提供给相应的基础逆分布匹配处理的连续符号的数量。

[0058] 附加地或替代地,提供输入符号流的处理可以包括以下中的至少一个:从存储介质或从符号生成处理中调用输入符号流;以及接收、解调和/或解码代表或传送输入符号流的信号。

[0059] 此外,所述逆分布匹配处理中的每个和/或所述逆符号映射处理可以至少是基于预定义分布并且特别是基于高斯分布的且据此选择的一个。同样,可以涉及除高斯分布之外的其它分布。

[0060] 所述逆分布匹配处理 $DM_j^{-1}$ 中的每个可以配置为使得基础分布匹配处理 $DM_j, j=1, \dots, m$ 能够将由解复用(DMX)处理提供的连续符号排列在 $n_j$ 个符号的前序列 $bn_1, \dots, bn_m$ 中的相应的一个内,使得对于最终输出符号序列 $S$ ,经验分布与相应的基础分布一致或接近。

[0061] 另外或可选地,

[0062] -所述逆分布匹配处理 $DM_{j-1}, j=1, \dots, m$ 中的每个和/或

[0063] -所述逆符号映射处理 $BM^{-1}$

[0064] 可以配置为通过据此从相应的整个候选集中索引相应的输出序列,使得该基础分布匹配处理 $DM_j, j=1, \dots, m$ 和/或符号映射处理 $BM$ 能够使最终输出符号序列 $S$ 的经验分布接近相应的基础分布。

[0065] 根据本发明的另一个方面,提供了一种用于数据发送和/或数据接收的方法。本发明的方法包括数据发送部和数据接收部中的至少一个。数据发送部和/或数据接收部可以包括如上所述的用于转换数据信号和重新转换数据信号的本发明的方法中的至少一个。

[0066] 在用于数据发送和/或数据接收的本发明方法的优选实施例中,所涉及的分布匹配处理和逆分布匹配处理可以彼此相反和/或可以分别具有重合的字母表。

[0067] 附加地或替代地,所涉及的符号映射处理和逆符号映射处理可以彼此相反和/或可以分别具有重合的字母表。

[0068] 本发明还提出了一种数据发送和/或数据接收系统。本发明的系统包括处理单元,该处理单元配置为执行根据本发明的任何方法,并且包括用于执行这些方法的相应设备。

[0069] 此外,如上所述的本发明方法可以通过能够由计算机或数字信号处理设备接受和执行的代码来实现。

[0070] 在本发明的范围内,也提供了一种计算机程序产品,其包括计算机代码,所述计算机代码适于当代码分别在计算机和/或数字信号处理设备上运行时让计算机和/或数字信号处理设备执行根据本发明的任何方法。

[0071] 将基于本发明的实施例并参考附图来描述本发明的这些和其它方案、细节、优点和特征。

### 附图说明

[0072] 图1至5示出了阐明根据本发明的用于转换数据信号的方法的总体方案的框图。

[0073] 图6至8示出了阐明根据本发明的用于重新转换数据信号的方法的总体方案的框图。

[0074] 图9至13举例说明了根据本发明的使用多个三个分布匹配的用于转换数据信号的方法的具体实施例。

[0075] 图14和15示出了根据本发明的使用多个三个分布匹配的用于转换数据信号的方法的其它具体实施例。

[0076] 图16是用于阐明根据本发明的数据发送和/或数据接收系统以及嵌入用于转换/重新转换嵌入其中的数据信号的方法的实施例的框图。

### 具体实施方式

[0077] 在下文中,通过参考附图1至16详细介绍了本发明的实施例和技术背景。起到相同或等同作用的相同或等同的元件用相同的附图标记表示。并非在其出现的每种情况下都重复对元件和构件详细描述。

[0078] 在不脱离本发明的主旨的情况下,可以任意地分离和重新组合本发明实施例的所描绘和描述的特征以及其它特性。

[0079] 在详细描述用于转换/重新转换数据信号的方法和用于数据发送/接收的方法的方面之前,参考图16及其关于用于数据转换/重新转换和/或数据发送/接收的系统和方法的总体视图。

[0080] 因此,图16是用于阐明根据本发明的数据发送和/或数据接收系统以及用于转换/重新转换嵌入其中的数据信号的方法的嵌入的实施例的框图。

[0081] 根据图16的方案通常遵循Massey在1974年提出的数字通信中的编码和调制的概念。图16的方案公开了一种系统T(其是硬件结构,方法的配置或处理单元的配置或其组合),包括(i)信息源单元T1,其配置为提供待转换和发送的信号U,(ii)编码单元T2,其配置

为接收和编码信号U并输出编码信号X, (iii) 调制器单元T3, 其配置为接收和调制编码信号X并输出调制信号 $s(t)$ 以便在 (iv) 发送/接收波形信道单元T4上发送, (v) 解调器单元T5, 其配置为接收处于可能由发送信道单元T4导致失真的形式 $r(t)$ 的调制信号 $s(t)$ 并解调所述信号以便输出解调信号Y, (vi) 解码器单元T6, 其配置为接收和解码解调信号Y并输出解码信号V, 以及 (vii) 信息汇单元T7, 其配置为接收解码信号V。

[0082] 根据本发明, 信息源T1和信息汇T7可以分别是任何种类的信息或信号汇或源。可以使用任何种类的存储介质。或者, 可以涉及任何其它任何发送/接收信道。

[0083] 如上所述, 根据本发明, 提供了一种用于转换数据信号U的方法C, 以及可选地或另外地用于重新转换数据信号Y的方法RC。根据本发明的这些方法C和RC可以分别包含或者是信息编码单元T2和解码单元T6的一部分。附加地或替代地, 也可以实现, 一方面, 信息源单元T1和/或调制器单元T3的一部分, 以及另一方面, 解调器单元T5和/或信息汇单元T7的一部分。

[0084] 图1至5借助于框图阐明了根据本发明的用于转换数据信号U的方法C的总体方面。

[0085] 在图1至5所示的情况下从信息源单元T1获得的数据信号U由输入符号流B表示或与其相同, 其中, 所述输入符号流B不一定是但可以是二进制数字或位的流。输入符号流B可以具有有限长度或者可以表示为连续的符号流。

[0086] 在该示例中, 有限数量 $k_1 + \dots + k_m$ 个符号或位被供应至解复用 (DMX) 处理或单元。通过解复用 (DMX) 处理或单元的作用, 从进来的输入符号流B选择出m组 $k_1, \dots, k_m$ 个符号作为部分符号流 $B_1, \dots, B_m$ 。该处理示意性地显示在图1中。

[0087] 根据图2所示的处理, 部分符号流 $B_1, \dots, B_m$ 被供应至相应数量的m个分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>m</sub>, 其中, 所述m个分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>m</sub>各自具有指定的符号字母表ADM<sub>1</sub>至ADM<sub>m</sub>。m个分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>m</sub>中的每一个均配置为从输入部分符号流 $B_1, \dots, B_m$ 并基于相应的指定的符号字母表ADM<sub>1</sub>至ADM<sub>m</sub>导出具有特定长度 $n_1$ 到 $n_m$ 的符号的相应前序列 $bn_1$ 至 $bn_m$ 。

[0088] 根据本发明, 基于指定的符号字母表ADM<sub>1</sub>至ADM<sub>m</sub>且由相应的分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>m</sub>输出的符号的前序列 $bn_1$ 至 $bn_m$ 的长度 $n_1$ 至 $n_m$ 可以不同。但是, 其相互比较时也可以相同。

[0089] 另外或替代地, 输入到相应的分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>m</sub>的部分符号流 $B_1, \dots, B_m$ 的长度 $k_1, \dots, k_m$ 在基础处理内可以是固定的、或者可以是可变的。

[0090] 由相应的分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>m</sub>生成的符号的前序列 $bn_1$ 至 $bn_m$ 被供应至如图3所示的具有指定的位映射器字母表ABM的符号映射处理或单元BM (在符号是二进制位的情况下, 也可以称为位映射器)。

[0091] 如下是本发明的主要方面: 基础分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>m</sub>的字母表ADM<sub>1</sub>至ADM<sub>m</sub>中的每个的基数 (即基础元素集的元素的数量) 均小于基础符号映射处理或单元BM的字母表ABM的基数。

[0092] 根据符号映射处理或单元BM的作用, 基于基础位映射器字母表ABM生成输出符号序列S并输出用于进一步发送、处理等, 如图3所示。

[0093] 图4展示了图3所示处理的另一种视图, 其中, 位映射处理或单元BM由多个位映射子处理或子单元BM<sub>1</sub>至BM<sub>1</sub>组成, 位映射子处理或子单元BM<sub>1</sub>至BM<sub>1</sub>以明确定义的方式访

问所述输入前序列bn<sub>1</sub>至bn<sub>m</sub>的相应子集。

[0094] 图5通过组合图1至3的处理给出了概述。

[0095] 图6至8借助于框图阐明了根据本发明的用于重新转换数据信号Y的方法RC的总体方面。

[0096] 根据本发明,如结合图1至5的处理方案所描述的,图6至8中所示的用于重新转换数据信号Y的方法RC包括或多或少的逆或相反处理步骤和结果。

[0097] 这里,输入符号序列由S'表示并且可以与通过图16中所示的发送/接收信道单元T4接收的解调信号Y相同或代表该解调信号Y。

[0098] 如图6所示,输入符号序列S' (再次称为有限符号序列或连续进来的符号序列) 被供应至逆符号映射处理或单元BM<sup>-1</sup>,其中,所述逆符号映射处理或单元BM<sup>-1</sup>基于符号的相应字母表ABM并且配置为输出m个指定的逆分布匹配处理或单元DM<sub>1</sub><sup>-1</sup>至DM<sub>m</sub><sup>-1</sup>的字母表ADM<sub>1</sub>至ADM<sub>m</sub>的m个符号序列bn<sub>1</sub>'至bn<sub>m</sub>',并且其中,如结合图7所示,符号序列bn<sub>1</sub>'至bn<sub>m</sub>'分别被供应至DM<sub>1</sub><sup>-1</sup>至DM<sub>m</sub><sup>-1</sup>。

[0099] 根据相应的逆分布匹配处理或单元DM<sub>1</sub><sup>-1</sup>至DM<sub>m</sub><sup>-1</sup>的作用,字母表ADM<sub>1</sub>至ADM<sub>m</sub>中的且具有长度n<sub>1</sub>至n<sub>m</sub>(根据应用而为相同的或不同的)的输入符号序列bn<sub>1</sub>'至bn<sub>m</sub>'被重新转换为例如由二进制位形成的原始符号集的符号序列B<sub>1</sub>'至B<sub>m</sub>'。

[0100] 根据图8,原始符号集的符号序列B<sub>1</sub>'至B<sub>m</sub>'被供应至复用(MX)处理或单元以生成和输出可以与要供应至信息汇单元T7的信号V相同或代表信号V的输出符号流B',如图16的实施例所示。

[0101] 图9至16举例说明了特别是通过使用多个三个分布匹配的根据本发明的用于转换数据信号U的方法C的具体实施例。其方案在下文中详细描述。

[0102] 在下文中,将进一步阐明本发明的这些和另外的方案、特征和/或特性:

[0103] 本发明总体涉及通信方法和系统,更具体地,涉及用于生成具有所需分布的符号序列(例如,构成信号从其发送)的技术。

[0104] 为了实现功率有效的通信(例如通过有噪信道)要在信号内发送的符号应遵循一定的分布。为了实现这一点,需要将数据位或更多通用数据符号映射到具有期望分布的符号序列。映射应该是可逆的,以便可以从符号序列中恢复原始数据符号或位,例如,在接收侧的发送和接收之后。

[0105] 配置为实现原始符号或位到期望的符号或位分布的映射的装置称为分布匹配器。

[0106] 对于具有不同信道质量的并行信道,例如,在DSL系统中,每个信道可能需要具有不同字母表作为基本符号集的序列,符号或位序列的成员从所述基本符号集中选择。

[0107] 本发明源于一种被配置为将k个均匀分布的数据符号或位映射到具有期望分布的n个符号或位的方法或算法。该方法或算法有两个问题。

[0108] (1) 对于大输出字母表,编码和解码变得复杂。

[0109] (2) 输出长度n必须足够大,以确保方法或算法的速率k/n接近最佳值。

[0110] 例如,在DSL(即,数字用户线通信)中,使用例如每实际尺寸256个或更多的信号点的可比较大字母表大小。由于不同的信道质量,可能出现几个具有不同字母表大小的短序列。大字母表大小使得符号序列的生成很复杂,而短序列长度导致次优的速率。

[0111] 本发明提供了一种技术以通过以较小的字母表组合成若干前序列,例如二进制序

列,来生成具有期望分布的符号或位序列。

[0112] 每个前序列具有一定的分布,并且可以通过适当的分布匹配器从所考虑的系统中共存在的二进制数据生成。特别地,可以使用由二进制分布匹配器生成的二进制前序列。

[0113] 所生成的符号序列可以用于信号整形,以便通过有噪通信信道实现功率有效的通信,例如,用于光通信系统的高阶调制。

[0114] 特别地,本发明配置为解决如上所述的问题(1)和(2):

[0115] 由于其使用几个具有较小输出字母表的分布匹配器DM来生成符号序列,因此,一方面分布匹配器DM的复杂性很低,另一方面,使用具有较小字母表的分布匹配器DM确保速率接近于短序列的最佳值。

[0116] 本发明可以用于通过组合符号或二进制分布匹配器DM的二进制输出来生成符号序列。

[0117] 可以组合不同长度的前序列,以由不同的字母表同时生成符号或位序列。这些符号或位序列可用于例如DSL通信系统的并行通信信道的信号整形。

[0118] 为了生成前序列,可以使用任何分布匹配器DM,特别是本领域已知的任何所建议的那些。

[0119] 根据附图和以下详细描述,本发明包含或实现的这些和其它特征和优点将变得显而易见。

[0120] 在本文中,图9的表的内容将在图10的情境中解释,其中所述表显示了用于图10中的示例的三个二进制分布匹配器的二进制输出序列的分布。

[0121] 图5中示出且由图1至4中所示的部分结构进一步阐明的配置阐明了位序列意义上的主要符号序列到次要符号序列的映射。

[0122] 如图2所示,由m个分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>m</sub>生成m个二进制前序列bn<sub>1</sub>至bn<sub>m</sub>,其中,所述m个二进制前序列bn<sub>1</sub>至bn<sub>m</sub>各自具有相应的但不一定相等的n<sub>j</sub>位长度,j=1,...,m。

[0123] 在该示例中,每个分布匹配器DM<sub>j</sub>使用所考虑的系统中共存在的k<sub>j</sub>个数据位,以生成其输出符号或位序列bn<sub>j</sub>。处理的数据符号或位的数量k<sub>j</sub>可以根据施加在符号或位序列bn<sub>j</sub>上的分布而变化。

[0124] 根据图10,示出了基础符号字母表{-7,-5,-3,-1,1,3,5,7}上的类高斯分布。图10中的横坐标表示实线。相应符号的概率在纵坐标的垂直方向上由相应点显示。通过组合(在该示例中)三个二进制分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>3</sub>的输出来生成分布。三个符号或位序列的二进制分布显示在图9的表中。

[0125] 在下文中,参考图11中所示的分布和图12和13中所示的表。

[0126] 使用来自图12的表的位映射器BM<sub>1</sub>实现的位映射,其在横坐标或水平轴上显示为3位标签。根据位映射器BM<sub>1</sub>的位映射是NBBC(基于自然的二进制码)方案的实例,如下所述。

[0127] 图11阐明了字母表大小为8和4的具有类高斯分布的序列的生成。位映射器BM<sub>1</sub>和BM<sub>2</sub>分别列在图12和13的表中。位序列具有来自图9的表的二进制分布。

[0128] 图12的表基于针对八个符号的字母表的NBBC方案阐明了位映射器BM<sub>1</sub>。

[0129] 图13的表基于针对四个符号的字母表的NBBC方案阐明了位映射器BM<sub>2</sub>。

[0130] 生成符号分布

[0131] 符号序列从例如二进制字母表的较小字母表上的序列生成。图5 (以及图1至4的说明) 描绘了m个并行位序列到一个符号序列的映射。m个二进制分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>m</sub>将均匀分布的输入符号或位变换成m个独立的位序列,在这种情况下,每个长度为n。

[0132] 映射器使用 $f: \{0,1\}^m \rightarrow \text{ABM}$ 形式的位映射器BM,以将输入 $B_1, \dots, B_m$ 映射到字母表ABM中的符号,其中ABM是位映射器BM的字母表。

[0133] 图11描绘了图5的扩展到从相同的位序列生成不同字母表大小的符号序列的情况。

[0134] 通过基于自然的二进制码(NBBC)生成类高斯分布

[0135] 可以使用所描述的方案从m个位序列生成具有类高斯分布的具有 $M=2^m$ 符号的字母表的符号序列。

[0136] 位映射器将m位映射到一个符号。建议使用基于自然的二进制码(NBBC)方案以生成类高斯分布。NBBC方案可以如下构建。

[0137] -通过自然数 $0, 1, 2, \dots, M-1$ 索引符号字母表。

[0138] -使用m位表示索引的 $B_1 \tilde{B}_2 \dots \tilde{B}_m$ 。

[0139] -如果 $B_1=0$ ,则使用 $B_2 \dots B_m = \tilde{B}_2 \tilde{B}_3 \dots \tilde{B}_m$ 。

[0140] -如果 $B_1=1$ ,则使用 $B_2 B_3 \dots B_m = \tilde{B}_m \tilde{B}_{m-1} \dots \tilde{B}_2$ ,即以相反的顺序使用 $\tilde{B}_j$ 。

[0141] 作为示例,图12和13的表分别显示了针对 $M=8$  ( $m=3$ ) 和针对 $M=4$  ( $m=2$ ) 的NBBC方案。

[0142] 图10示出了通过将三个二进制分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>3</sub>与NBBC位映射器BM组合而生成的针对 $M=8$  ( $m=3$ ) 的类高斯分布的示例。

[0143] 生成几个符号分布

[0144] 通过使用具有不同输出长度的m个位序列,可以同时生成不同字母表大小的几个较短符号序列。字母表大小由重叠的位序列的数量确定。如果两个位序列重叠,则符号字母表大小为 $2^2=4$ 。如果m个位序列重叠,则符号字母表大小为 $2^m$ 。对于每个输出段,根据重叠位序列的数量选择位映射器BM。

[0145] 一个例子如图11所示。在本文中,生成长度为 $n_1, n_2, n_3$ 的位序列,其中 $n_1=n_2$ 且 $n_3 < n_1$ 。因此,对于长度 $n_3$ ,三个位序列重叠,并且可以生成具有字母表大小 $2^3=8$ 的符号序列。

[0146] 对于剩余的 $n_1-n_3$ 位置,两个位序列重叠,并且生成字母表大小为 $2^2=4$ 的符号序列。

[0147] 生成几个类高斯分布

[0148] 通过使用对应于重叠的位序列的数量的NBBC方案位映射,每个输出段可以根据类高斯分布以适当的字母表大小生成。图11示出了使用在图12和13的表中显示的NBBC方案位映射器BM<sub>1</sub>和BM<sub>2</sub>来同时生成针对符号字母表大小 $M=8$  ( $m=3$ ) 和 $M=4$  ( $m=2$ ) 的类高斯分布的示例。

[0149] 系统视图

[0150] 本发明源于以下方案:

[0151] -考虑经历在信噪比(SNR)意义上的一定连接质量的发射器和接收器。其通常由环

境条件强加,例如通过到基站的距离、铜缆的长度等强加。

[0152] -在数据发送之前,发射器和接收器就发送设置达成一致,例如,它们在要使用的星座大小和纠错码上达成一致,以确保可靠的通信是可行的。

[0153] -根据这些商定的设置进行数据发送。所有星座点都以相同的概率使用。

[0154] 最后一个方面是最关键的问题,因为相等的概率不能保证从信号源到信号汇的最有效的数据转换和/或数据发送。

[0155] 这是获得本发明的最突出的方面。

[0156] 具有分布匹配器(DM)的系统

[0157] -本发明的总体方面与上述设置中的相同。

[0158] -但是,根据本发明,引入了额外的自由度,其导致本发明的数据转换和/或数据发送/接收方案是优于传统的:

[0159] -根据本发明,发射器侧和接收器侧配置为就不同于均匀分布的星座点的分布达成一致。

[0160] -施加类高斯分布或整形分布增加了频谱效率,即,可以允许更高的数据速率。

[0161] -必须注意的是(除了下面提到的步骤之外)与本发明的起源相比,处理方案的所有内容都可以相同,特别地,相同的物理连接和相同的波形可以用于发送。

[0162] -换句话说,本发明着重于根据信道条件和发送器侧与接收器侧之间的一致性来调整调制点的统计。

[0163] -基于观察到的SNR、发射器侧和接收器侧配置为选择实现改进的转换、发送和/或接收效率的星座和分布。

[0164] -在本发明源自的系统中,一个分布映射器DM从k个输入符号或位创建n个输出符号。在这种原始情况下,输出符号源自具有大基数的集合,例如,用于幅移键控的8-ASK表示的8个信号点。

[0165] -在本发明提出的方案中,多个分布匹配器DM<sub>1</sub>至DM<sub>m</sub>的集合替换单个原始分布匹配器。

[0166] -并且根据本发明,现在k<sub>j</sub>个输入符号或位由相应的分布匹配器DM<sub>j</sub>变换成n个或更多个通用的相应n<sub>j</sub>个符号或位。

[0167] -因此,输出符号集很小并且例如是二进制的,但是与输入处的那些相比,0和1具有不同的分布。

[0168] -本发明还针对具有较大基数的输出集的情况。但是,二进制设置是最简单的示例。

[0169] -DM<sub>1</sub>至DM<sub>m</sub>的第j个输出通过符号映射器BM映射到第j个输出符号。

[0170] 进一步的例子

[0171] 在下文中并且通过参考图14和15,给出了另一个例子,以进一步阐明本发明及其基础方案。

[0172] 首先,发射器侧和接收器侧就某种分布达成一致,例如图14的表中所示的分布。在这种情况下,n=30的期望输出长度也一致。

[0173] 并行化DM

[0174] -通过用三位表示符号,可以将八个星座点的期望分布分解为二进制集{0,1}的三

个二进制分布,参见图15中所示的对应表。为了说明的目的,符号“-3”的二进制标签由虚线框强调。

[0175] -符号分布成为关于  $\{0,1\} \times \{0,1\} \times \{0,1\}$  的分布  $[1/2, 1/2] \times [1/3, 2/3] \times [2/5, 3/5]$ 。

[0176] -可以使用具有给定位分布的三个二进制分布匹配器DM\_1至DM\_3代替一个8进制分布匹配器。

[0177] -实现期望映射的一个可能性是大型查找表。分布  $[1/2, 1/2]$  具有与输入数据相同的分布,因此输入可以简单地复制到输出。

[0178] -具有10个0和20个1的长度30的  $\binom{30}{10} = 30045015$  个序列。

[0179] -使用这些序列以创建  $[1/3, 2/3]$  的分布。可以计算出存储这样的表需要大约60MB。

[0180] -具有12个0和18个1的长度30的  $\binom{30}{12} = 86493225$  个序列。

[0181] -可以使用这些序列来创建  $[2/5, 3/5]$  的分布。可以确定存储这样的表需要大约240MB。

[0182] -因此,通过使用算法的、即时 (on-the-fly) 编码代替查找表,可以节省存储器并同时提高效率和灵活性。在这种情况下,可以使用算术编码。

[0183] -此示例的三个分布匹配器DM\_1至DM\_3的输入长度为:

[0184] - $k_1 = 30$  位 (只需将输入复制到输出)。

[0185] - $k_2 = \log_2(30045015) = 24$  位 (必要的是从具有10个0和20个1的30045015个可能输出序列中的选择)。

[0186] - $k_3 = \log_2(86493225) = 26$  位 (必要的是从具有12个0和18个1的86493225个可能输出序列中的选择)。

[0187] 常规DM:

[0188] -这个分布匹配器需要索引长度为30的序列,其中8个符号  $\{-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7\}$  分别出现2,3,4,6,6,4,3,2次。

[0189] -有  $6,1689 \times 10^{21}$  个这种序列。这对应于  $1,5728 \times 10^7$  TB内存,无法实现。

[0190] -或者,如所建议的通过算术编码的即时编码也可以用于符号序列,然而其比使用三个并行二进制分布匹配器具有更高的复杂度。

[0191] 除了本发明的前述描述之外,对于另外的公开内容,明确地参考图1至图16的图形表示。

[0192] 参考文献列表

[0193] [1]P.Schulte,G. Böcherer,“Constant Composition Distribution Matching”, IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 62, no. 1, pages 430-434, Jan. 2016.

[0194] [2]T.V.Ramabadran,“A coding scheme for m-out-of-n codes”, IEEE Transactions on Communications, vol. 38, no. 8, pages 1156-1163, Aug. 1990.

[0195] [3]L.Szczecinski and A.Alvarado, Bit-Interleaved Coded Modulation:



Fundamentals, Analysis and Design. John Wiley&Sons, 2015

[0196] [4]G. Böcherer, "Capacity-achieving probabilistic shaping for noisy and noiseless channels", Thesis 2012.

[0197] 参考符号列表

- [0198] ABM (逆)符号/位映射处理/单元BM的字母表
- [0199] ADM<sub>j</sub> (逆)分布匹配处理/单元的字母表,  $j=1, \dots, m$
- [0200] bn<sub>j</sub> 长度为n的符号/位的前序列, (在输入侧),  $j=1, \dots, m$
- [0201] bn<sub>j</sub>' 长度为n的符号/位的序列, (在输出侧),  $j=1, \dots, m$
- [0202] B 输入符号/位流
- [0203] B' (输出)符号/位流
- [0204] B<sub>j</sub> 部分符号/位流,  $j=1, \dots, m$
- [0205] B<sub>j</sub>' 部分符号/位流,  $j=1, \dots, m$
- [0206] BM 符号/位映射处理/单元
- [0207] BM<sub>j</sub> 符号/位映射子处理/子单元
- [0208] BM<sup>-1</sup> 逆/反向符号/位映射处理/单元
- [0209] DM<sub>j</sub> 分布匹配处理/单元,  $j=1, \dots, m$
- [0210] DM<sub>j</sub><sup>-1</sup> 逆/反向分布匹配处理/单元,  $j=1, \dots, m$
- [0211] DMX 解复用
- [0212] MX 复用
- [0213] r(t) 发送的信号, 在信道T4之后且在解调器T5之前
- [0214] s(t) 待发送信号, 在调制器T3之后且在信道T4之前
- [0215] S 输出符号序列
- [0216] S' 输入符号序列
- [0217] T 发送/接收系统
- [0218] T1 信息源单元
- [0219] T2 编码单元
- [0220] T3 调制器单元
- [0221] T4 发送/接收(波形)信道单元
- [0222] T5 解调器单元
- [0223] T6 解码器单元
- [0224] T7 信息汇单元
- [0225] U 来自源T1的信号, 在编码器T2之前
- [0226] V 至汇T7的信号, 在解码器T6之后
- [0227] X 信号, 在编码器T2之后和调制器T3之前
- [0228] Y 信号, 在解调器T5之后和解码器T6之前。

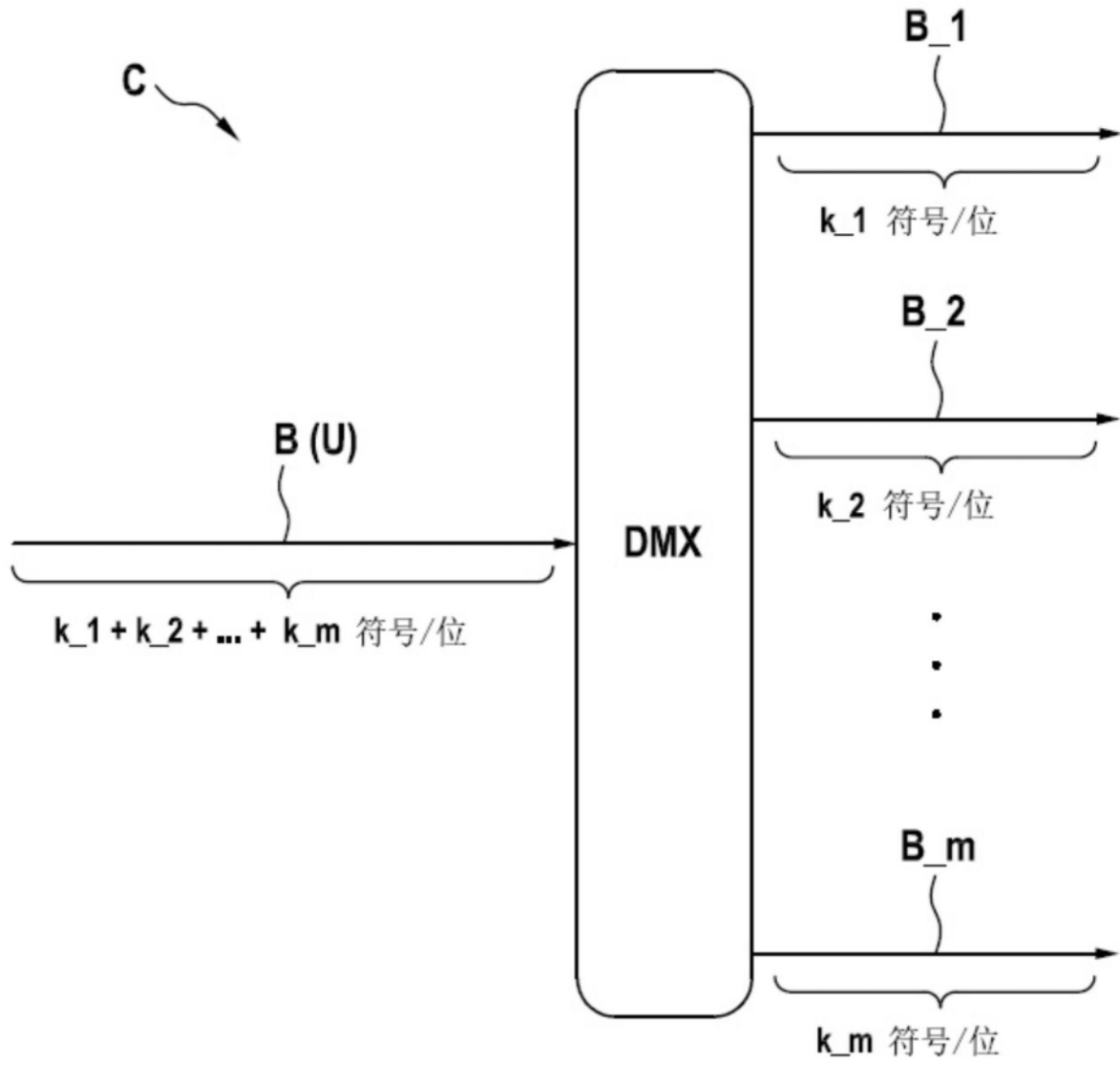


图1

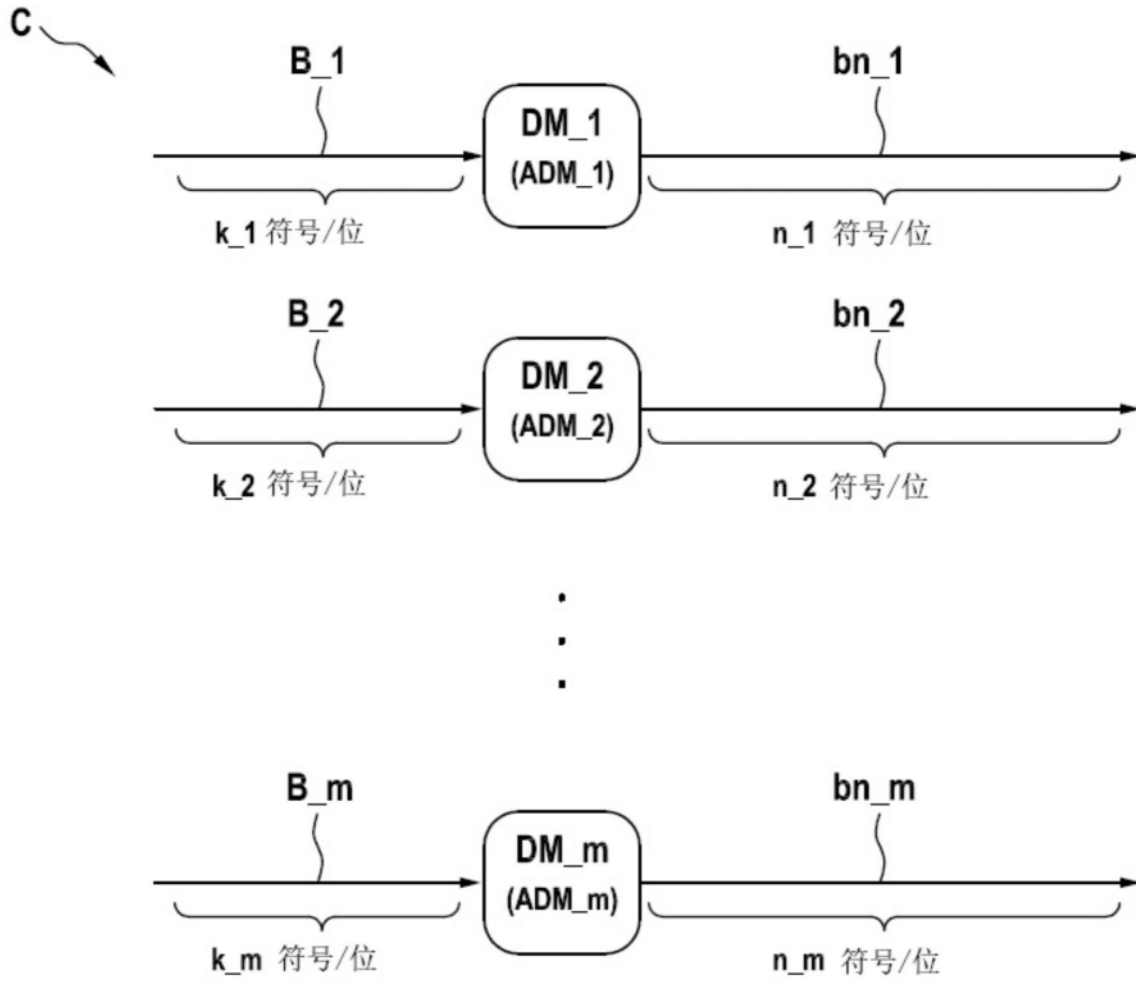


图2

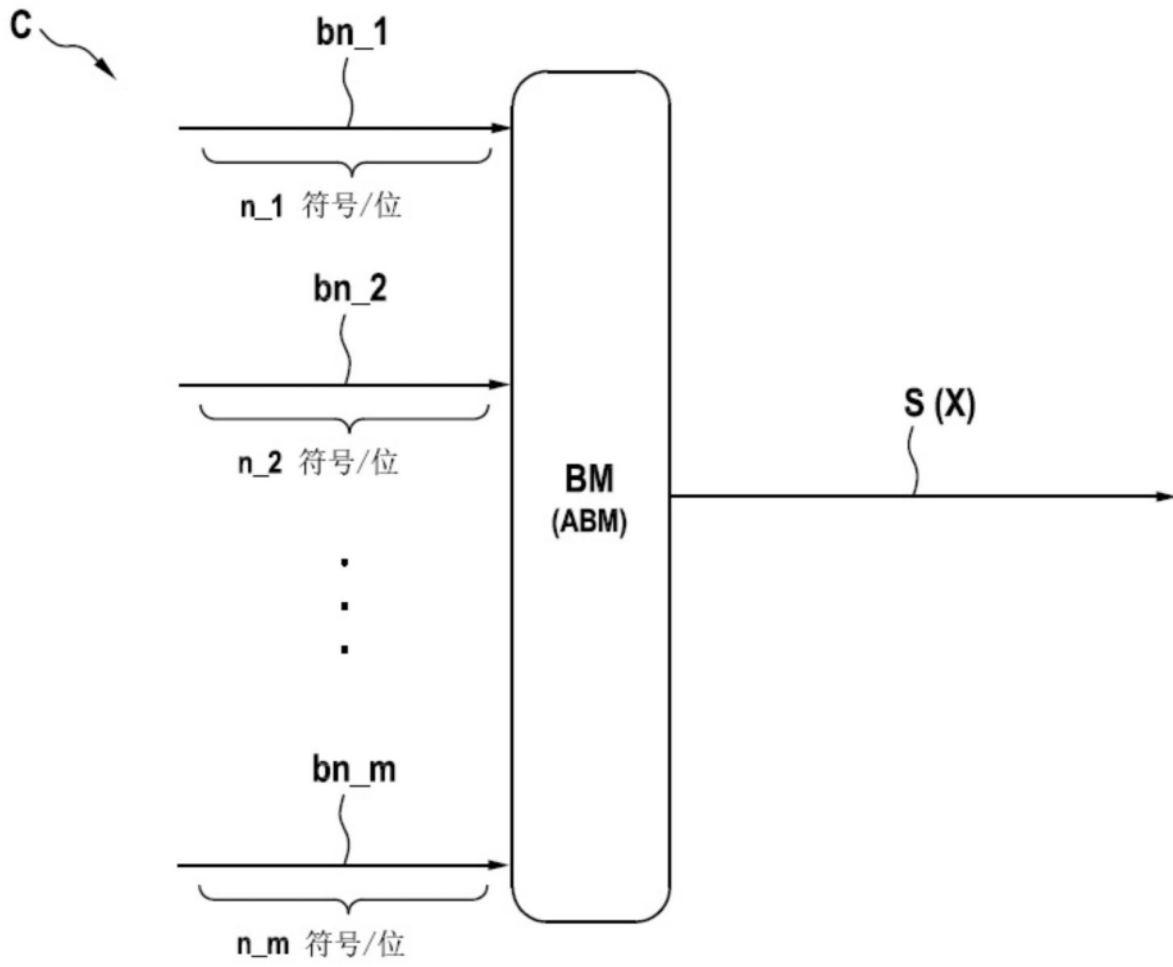


图3

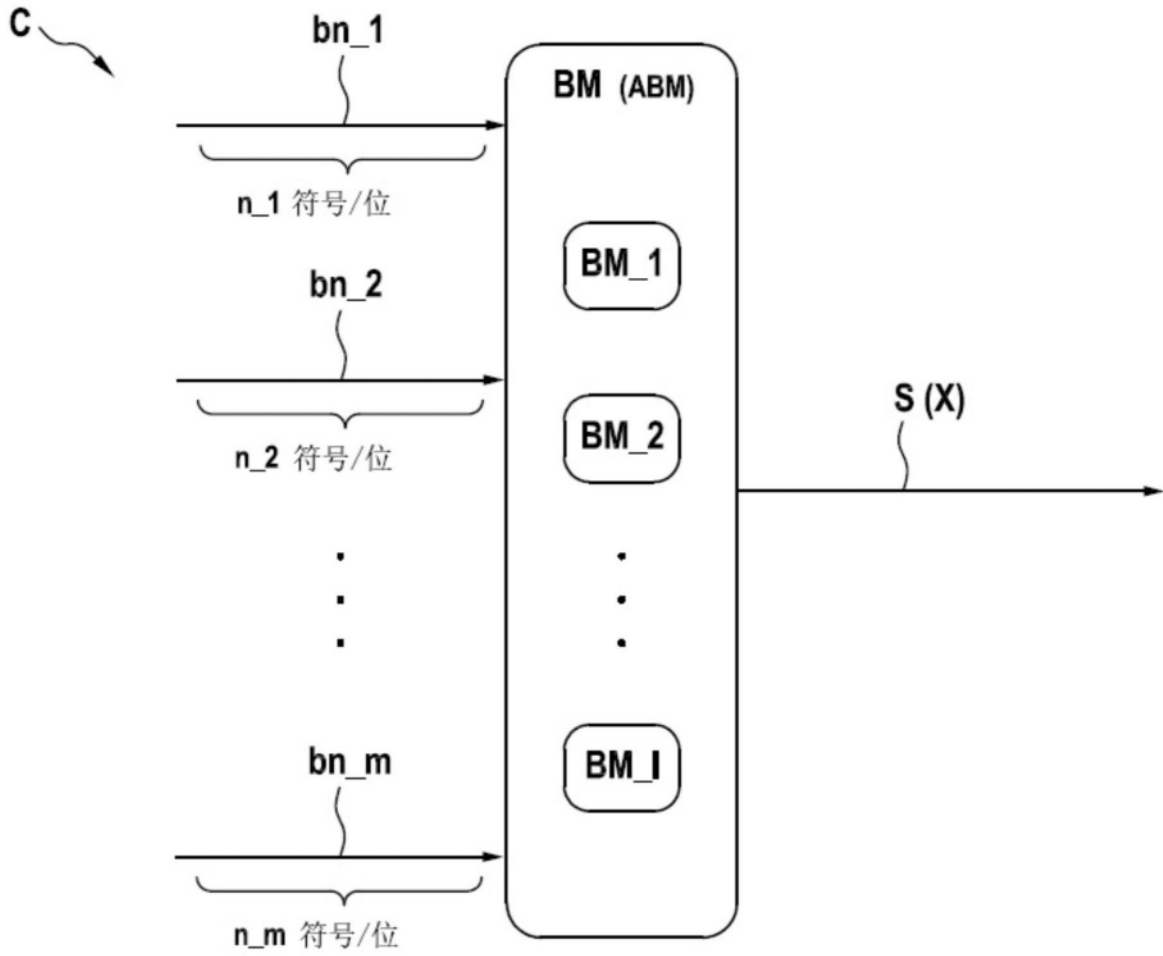


图4

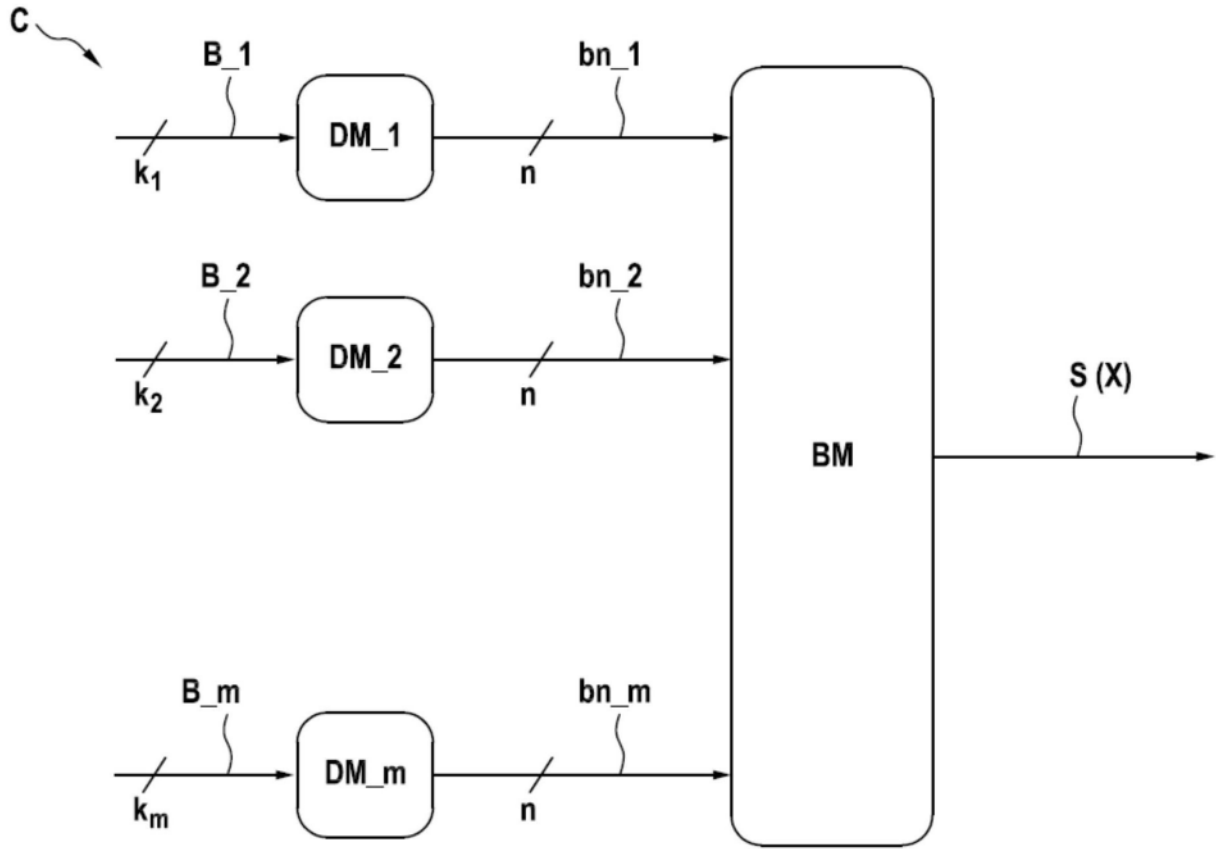


图5

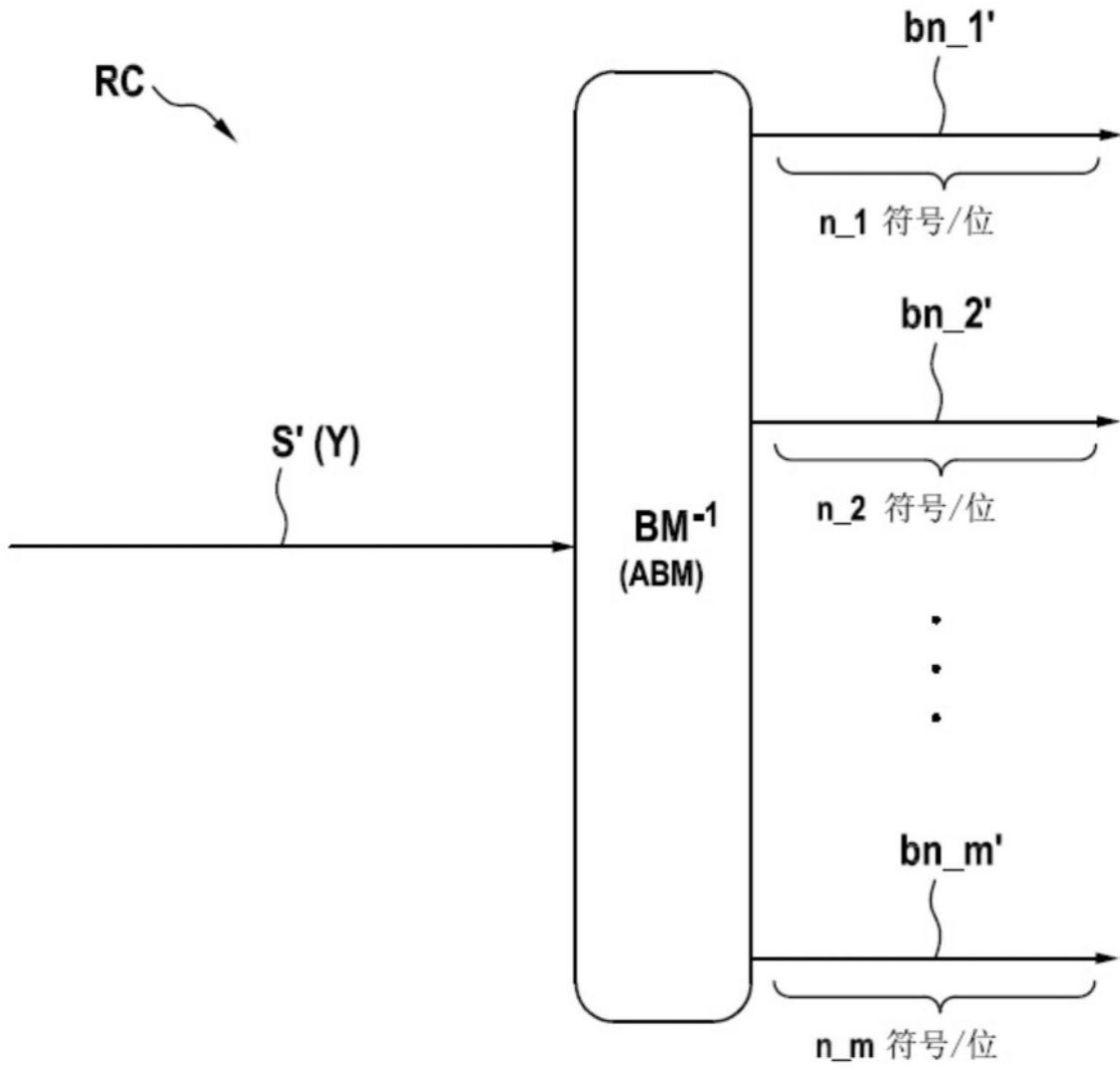


图6

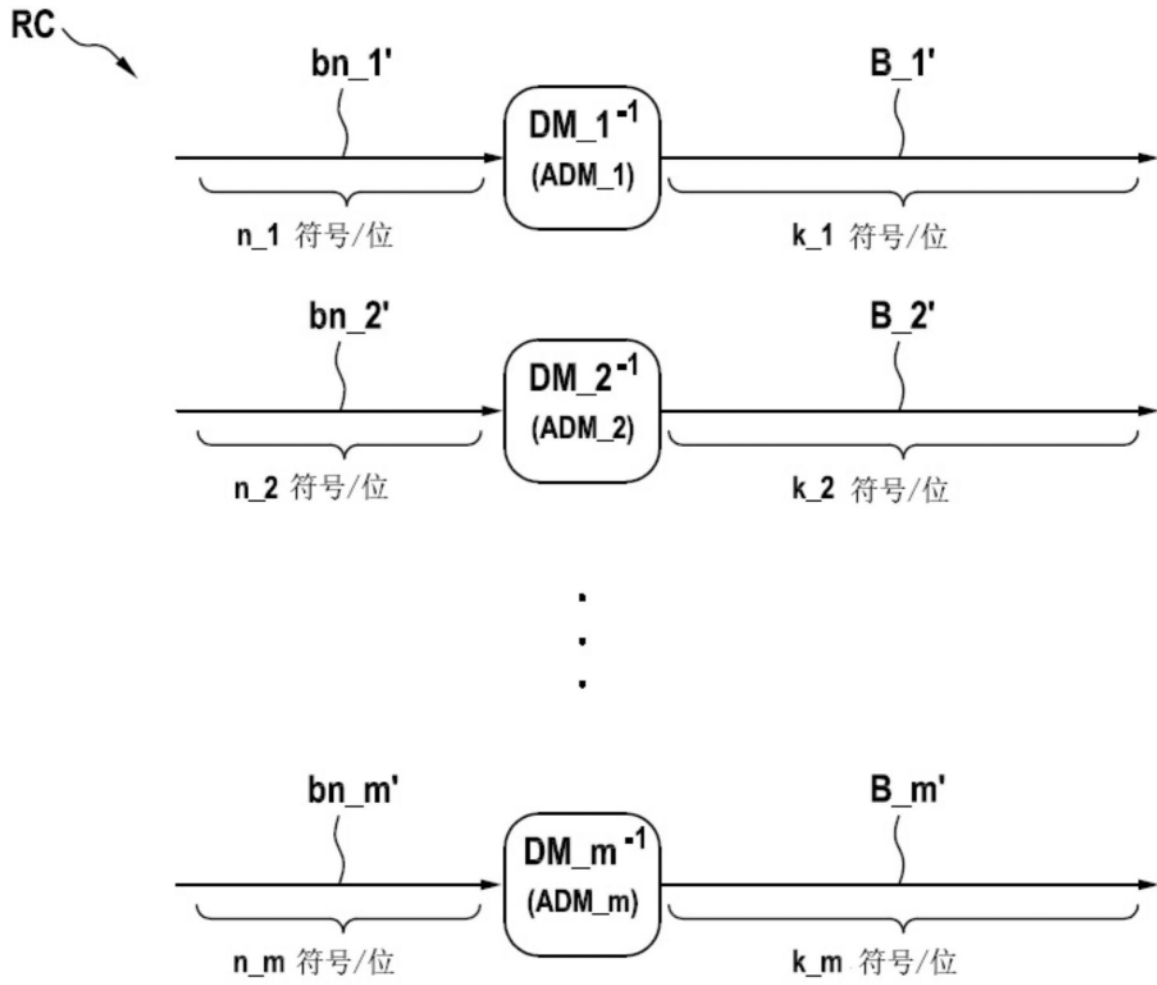


图7



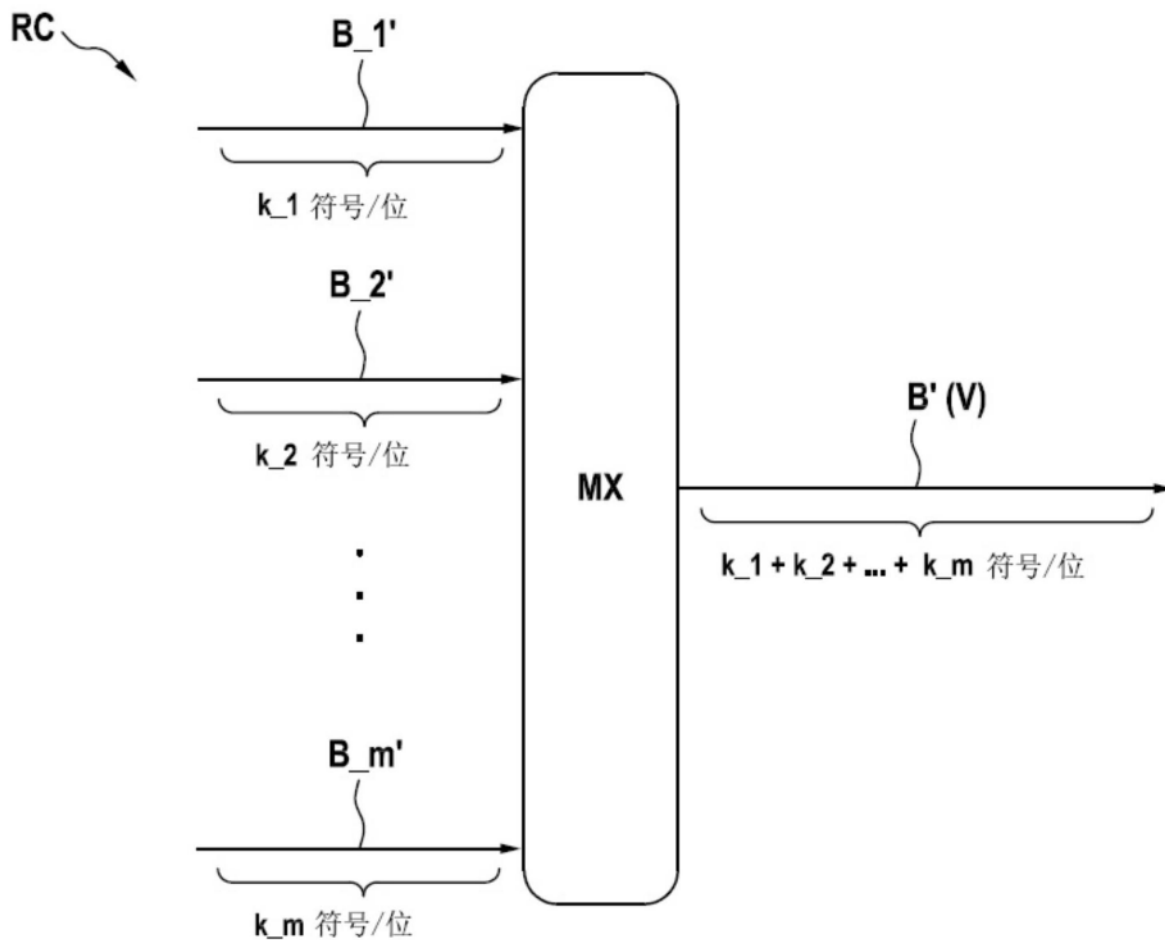


图8

			$P_{B_1}(0)$	$P_{B_1}(1)$
$DM_1$	输出	$B_1$	0.5	0.5
$DM_2$	输出	$B_2$	0.18	0.82
$DM_3$	输出	$B_3$	0.53	0.47

图9

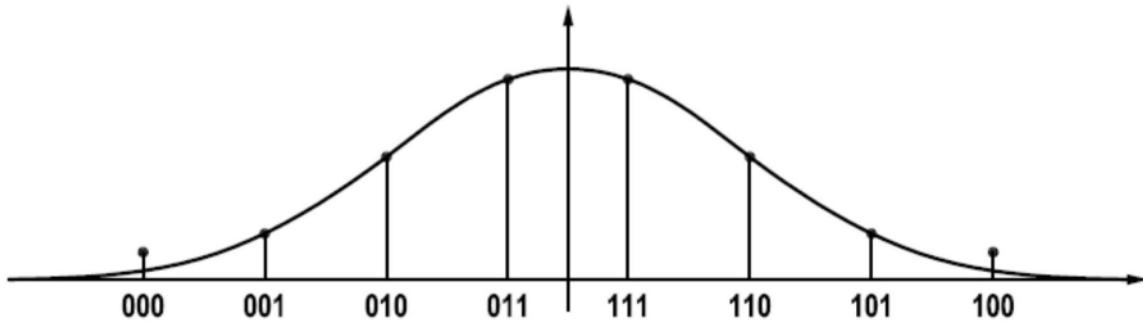


图10

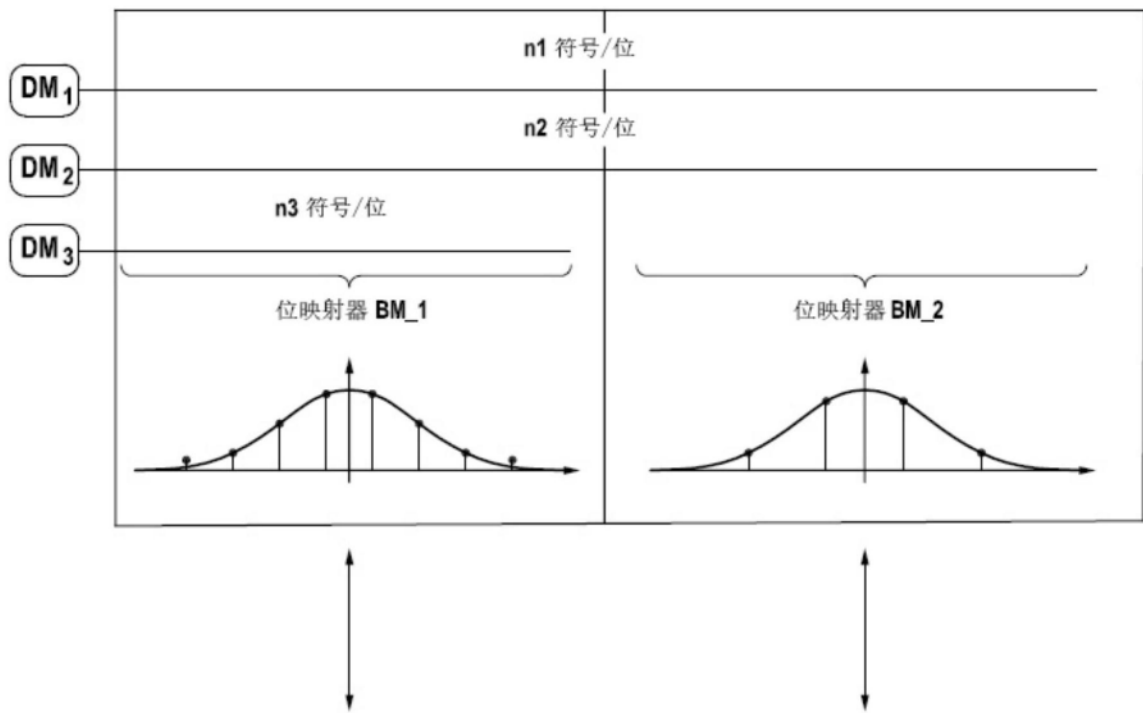


图11

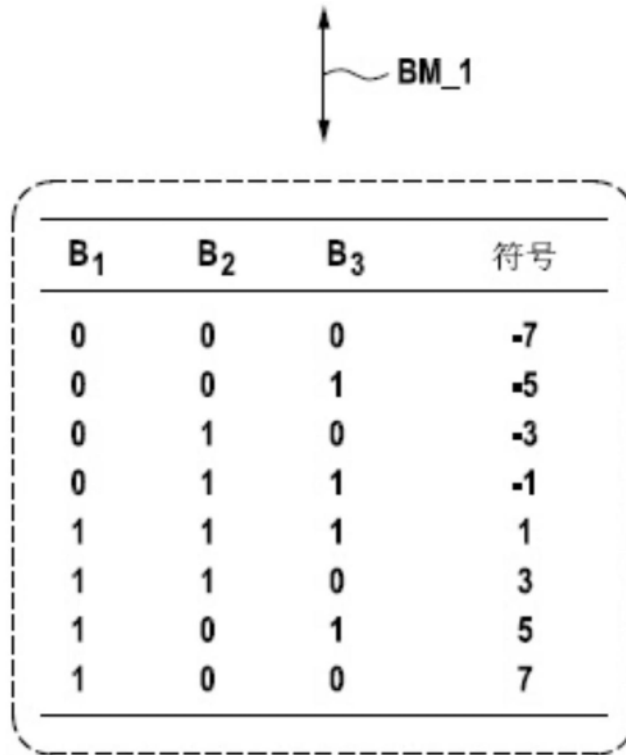


图12

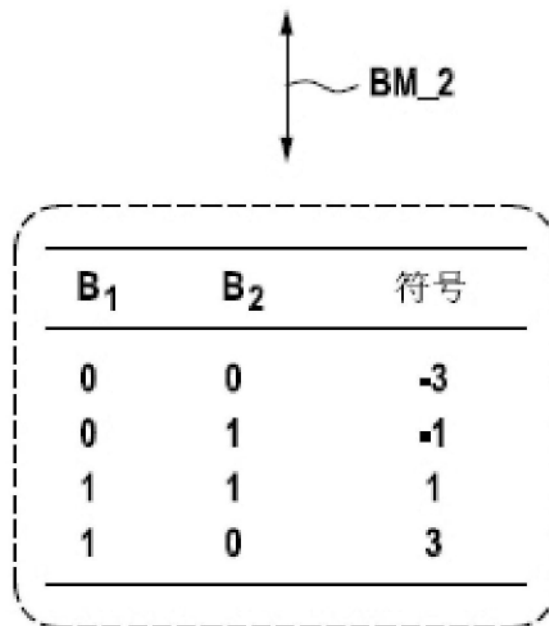


图13

符号	-7	-5	-3	-1	1	3	5	7
概率	2/30	3/30	4/30	6/30	6/30	4/30	3/30	2/30

图14

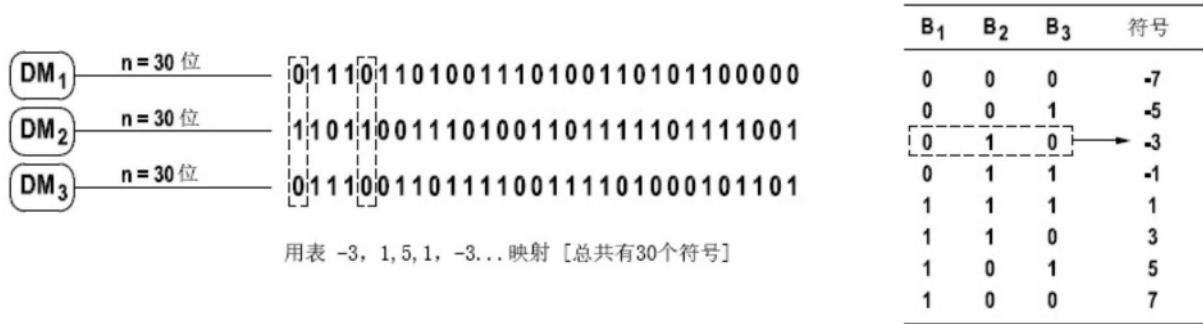


图15

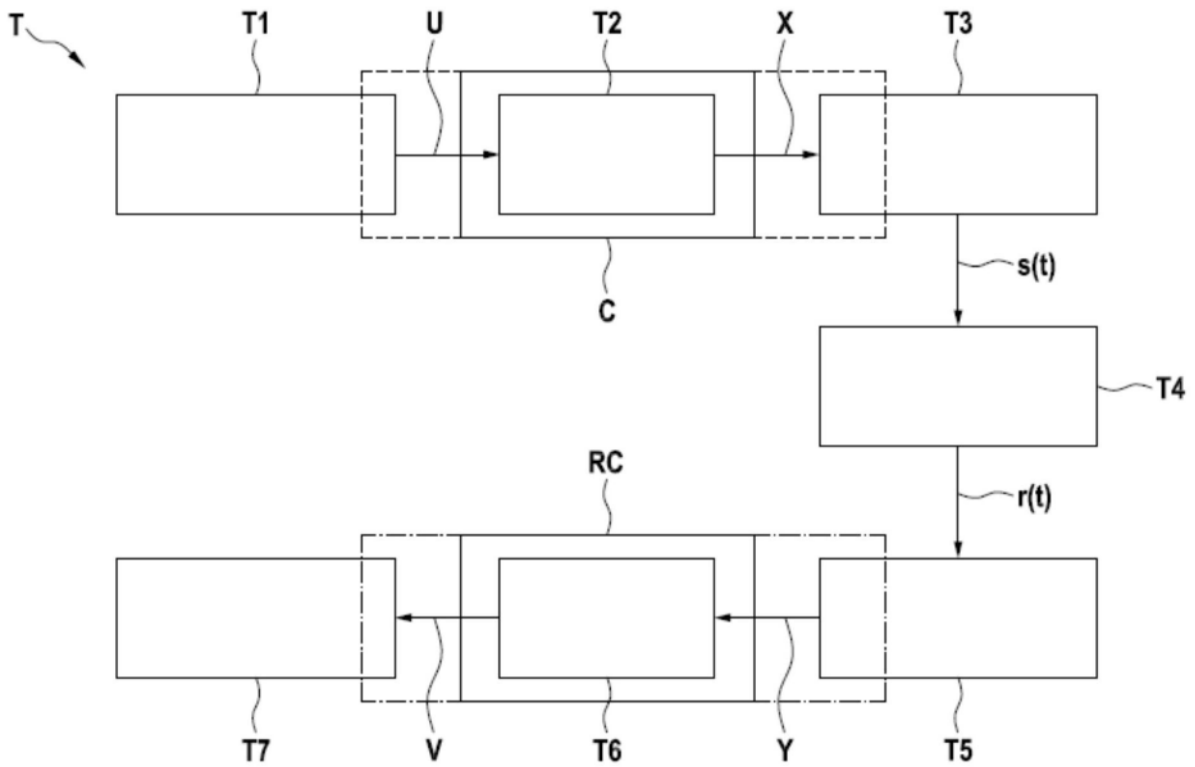


图16