[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int.Cl[7]
H03M 13/00
H03M 13/41 H04L 1/00

[12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 00117656.0

[43]公开日 2000年12月6日

[11]公开号 CN 1275836A

[22]申请日 2000.5.26 [21]申请号 00117656.0

[30]优先权

[32]1999.5.28 [33]US [31]09/321,794

[71]申请人 朗迅科技公司

地址 美国新泽西州

[72]发明人 斯蒂芬·A·阿尔普里斯

马克·D·哈姆

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所

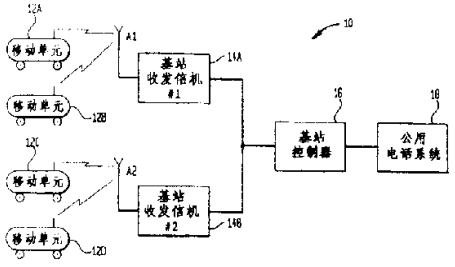
代理人 蒋世迅

权利要求书2页 说明书8页 附图页数15页

[54]发明名称 采用单错转向校正的维特比译码

[57]摘要

一种不需要附加电路或处理来连续记录L条最佳路径之列表的递归、单错转向(SWT)译码方法和维特比译码器。如果最大似然(ML)路径使帧的质量度量失败，则使用生存者(回溯)存储器中存储的现有生存者(回溯)信息搜索格子。递归算法中的迭代包括沿ML路径回溯到某个特殊阶段，然后偏离ML路径并遵循新的偏移路径上的生存者信息，最后检查完全译码的帧，以查看该帧的质量度量对该帧是否是可接受的。



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1.一种对收到的符号序列进行译码的方法，包括:

译码收到的符号序列以生成最大似然路径;

检查从最大似然路径生成的译码帧是否通过帧质量度量;

如果从最大似然路径生成的译码帧不满足帧质量度量，则通过从沿最大似然路径的不同阶段偏离，沿最大似然路径递归回溯，直至某个回溯产生通过帧质量度量的译码帧；以及

输出该通过帧质量度量的译码帧。

2.权利要求 1 的方法，其中对所有阶段穷尽执行递归回溯，并且输出的译码帧是具有最佳帧质量度量的译码帧。

3.权利要求 1 的方法，其中沿最大似然路径从不同阶段的偏离是单错转向偏离。

4.权利要求 3 的方法，其中不同阶段为格子的诸阶段。

5.权利要求 4 的方法，其中偏离从格子中的任意阶段开始。

6.权利要求 5 的方法，其中偏离从格子中的最后阶段开始。

7.权利要求 5 的方法，其中偏离从格子中的第一阶段开始。

8.权利要求 1 的方法，其中所述方法不维护 L (L>1) 条最佳路径的列表。

9.权利要求 1 的方法，其中帧质量度量为循环冗余代码。

10.权利要求 1 的方法，其中所述方法是由无线接收机执行的。

11.权利要求 10 的方法，其中无线接收机是基站和移动接收机之一。

12.权利要求 10 的方法，其中无线接收机在 IS-95、GSM、IS-54 和 IS-36 系统之一中运行。

13.一种装置，包括:

一种用于译码收到的符号序列以生成最大似然路径，以及用于检查从最大似然路径生成的译码帧是否通过帧质量度量的维特比译码器;

如果从最大似然路径生成的译码帧不满足帧质量度量，则所述维特比译码器通过从沿最大似然路径的不同阶段偏离，沿最大似然路径递归回溯，直至某个回溯产生通过帧质量度量的译码帧，并且输出该通过帧质量度量的译码帧。

14.权利要求 13 的装置，其中所述维特比译码器对所有阶段穷尽执行递归回溯，并且输出的译码帧是具有最佳帧质量度量的译码帧。

15.权利要求 13 的装置，其中所述维特比译码器通过使用单错转向偏离，沿最大似然路径从不同阶段偏离。

16.权利要求 15 的装置，其中不同阶段为格子的诸阶段。

17.权利要求 16 的装置，其中偏离从格子中的任意阶段开始。

18.权利要求 17 的装置，其中所述维特比译码器从格子中的最后阶段开始偏离。

19.权利要求 17 的装置，其中所述维特比译码器从格子中的第一阶段开始偏离。

20.权利要求 13 的装置，其中所述维特比译码器不维护 L (L>1) 条最佳路径的列表。

21.权利要求 13 的装置，其中帧质量度量为循环冗余代码。

22.权利要求 13 的装置，其中所述装置是无线接收机的一部分。

23.权利要求 22 的装置，其中无线接收机是基站和移动接收机之一。

24.权利要求 23 的装置，其中无线接收机在 IS-95、GSM、IS-54 和 IS-36 系统之一中运行。

说　　明　　书

采用单错转向校正的维特比译码

本发明涉及数字通信蜂窝系统，更确切地说，涉及数字通信系统中采用的纠错译码器。

众多通信系统接收机使用维特比算法，通过卷积编码的正向纠错技术，来译码在相应发射机中生成的符号。已证明维特比算法在接收机提供最初进入发射机卷积编码器的比特序列的最大似然估计。本质上，如果接收机能够（或愿意）对传输的比特序列仅做一个估计，那么就统计意义而言，维特比算法产生的估计比任何其他估计方法更准确。

许多采用卷积编码作为正向纠错技术的通信系统，通常以由几十比特或几千比特组成的固定长度的数据包传送数据。可以对以上比特数据包附加一个较小的块代码，如循环冗余代码 (CRC)，作为纠错设备。在传输前，使比特数据包和附加的块代码一起通过发射机的卷积编码器。

纠错码的目的是用来表示是否有理由相信，传输信道对数据包造成的讹误已经达到正向纠错技术不能恢复的程度。通常，纠错码的能力仅局限于得出是否在收到的数据包和译码数据包中检测到错误，纠错码并不能够确定数据包中出现错误的位置，也不能确定译码比特中的错误数。如果在通过维特比算法译码后，附加的错误检测块代码表示未在传输的数据包中发现错误，则接收该正确的数据包。如果在通过维特比算法译码后，附加的错误检测块代码表示在传输的数据包中发现错误，通常将拒绝整个有讹误的数据包，导致数据包（或帧）删除。

在接收机出现数据包删除，表示所传输比特的最大似然序列（即维特比算法输出的比特序列）并不是所传输比特的正确序列。换句话



说，在接收机生成发射机所发送比特之“最佳猜测”的维特比算法，作出了错误猜测。

如果能够通过纠错码提供的证据，确定通过标准维特比算法不能成功译码数据包，则通过根据不同于标准维特比算法的其他方法，如不生成最初进入发射机卷积编码器的比特序列的最大似然估计的译码方法，可以改进接收机的性能。人们提出了许多此类算法，包括各种列表维特比译码器。

例如，“List Viterbi Decoding Algorithms with Application（列表维特比译码算法及其应用）”，作者 Seshadri 等，IEEE 通信学报，Vol. 42，No. 2/3/4，1994 年 2/3/4 月，中说明的列表维特比译码器，不仅记录所传输比特的最佳（最大似然）序列，而且还记录第二最佳序列，第三最佳序列，第四最佳序列，直到第 L 个最佳序列，其中 L 为大于 1 的整数。在译码后，利用用于评估最大似然序列的同一纠错码评估以上序列，并且如果发现没有错误的序列，则从接收机中输出该序列作为最大似然序列。列表维特比译码器提供的接收机性能改进是以附加的处理电路和译码操作为代价的。

本发明的目的在于提供一种递归技术，该技术超过普通维特比算法和各种常规列表维特比译码器的性能，并且其计算量更少物理复杂度更低。

具体而言，本发明的目的在于提供一种递归技术，该技术不需要附加电路或处理来连续记录 L 条最佳路径的连续。如果最大似然 (ML) 路径使帧的质量度量失败，则使用生存者（survivor）（回溯）存储器中存储的现有生存者（回溯）信息搜索格子。递归算法中的迭代包括沿 ML 路径回溯到某个特殊阶段，然后偏离 ML 路径并遵循新的偏移路径上的生存者信息，最后检查完全译码的帧，以查看该帧的质量度量对该帧是否是可接受的。可以对格子中的各阶段执行相同的回溯步骤，以便每次从 ML 路径的不同阶段偏离。

本发明的递归维特比技术的累加—比较—选择操作与常规维特比

译码器的操作相同。以常规维特比译码器中存储回溯信息的相同方式存储回溯信息。然而，本发明的递归维特比技术的回溯操作与其完全不同。事实上，为了改进最初传输的数据序列的估计，使其超过常规维特比译码器，可以通过回溯信息的存储格子进行多次回溯。在本发明的递归回溯技术中:

—执行标准回溯，与常规维特比译码器中的所述算法相同。纠错码（通常为 CRC 码）用于确定译码帧中的某些比特是否错误。如果错误检测代码表示译码帧中没有错误，则无需执行更多的回溯操作，并且输出最大似然译码序列作为所传输数据序列的估计；以及

—如果使用错误检测代码检测到错误，则应用附加的回溯步骤以便试图从比特错误中恢复，否则会导致帧讹误。对于二进制编码而言，可以执行多达 B-1 次的完整回溯操作（从该格子的上一阶段回溯到该格子的第一阶段，共 B-1 次），其中 B 是帧中的比特数，并在每次递归回溯后，使用错误检测代码评估新译码的帧。除了在该格子的单个选定阶段中，故意忽略有关最大似然路径的状态的回溯信息，并且回溯沿合并到此状态的另一路径向下继续外，就像标准维特比译码器的回溯操作一样，执行附加的回溯操作。当回溯操作一直向前返回到格子的起点时，对照错误检测代码检查传输序列的新估计。如果未发现错误，则从译码器中输出新序列。如果仍然检测到错误，则重复递归回溯，只是最大似然路径的偏移出现在该格子中未用作偏移点的阶段。

如果知道此译码帧中某处的某些比特是错误的，诸如 CRC 之类的错误检测代码将给出此信息，则沿向下路径，即实际为最大似然路径的单错转向关闭路径，存储器（即“生存者”存储器）中存储的信息被再次遍历。重复该递归直至找到其错误检查代码表示没有错误的路径或检查了所有的单错转向路径。

本发明的递归维特比技术，可以穷尽搜索通过格子的所有可能单错转向关闭（single-wrong-turn off）最大似然路径。

当应用于系统中取代标准维特比译码器时，本发明能降低需要的信号能量 (E_b/N_o)，超过了维特比译码器所能达到的信号能量；亦即，

对于给定的信号能量，本发明比维特比译码器产生的帧和/或比特错误要少。

还可以将本发明的递归技术应用于实现维特比译码器或其次优变体的任意无线接收机中。这包括但不限于，服务 IS-95、GSM、IS-54 或 IS-36 用户的基站和移动接收机。

图 1 表示应用本发明之递归即单错转向 (SWT) 技术的蜂窝系统。

图 2 表示本发明某实施方式中的递归 (SWT) 维特比译码器。

图 3 表示典型格子以及常规维特比译码器遍历的路径。

图 4 表示典型格子以及本发明之递归 (SWT) 技术执行的第一次迭代。

图 5 和图 6 表示本发明之递归 (SWT) 技术的第二和第三次迭代。

图 7 至图 13 表示本发明之递归 (SWT) 技术的第四到第十次迭代。

图 14 表示被列表维特比算法 (LVA) 处理的图 3 的典型格子，其中 L = 2。

图 15 表示被列表维特比算法 (LVA) 处理的图 3 的典型格子，其中 L = 3。

图 16 表示常规维特比算法、列表维特比算法以及本发明之递归 (SWT) 技术之间的比较结果。

图 1 表示可体现本发明之最佳方式的数字蜂窝通信系统。在诸如整个大都市或大都市之一部分的已定义地理区域中实施系统 10。

蜂窝系统 10 包括众多移动电话单元，用 4 个单元 12A 到 12D 表示。可以在移动单元 12A 到 12D 和通信小区的基站之间建立通信链路，其中移动单元在通信小区内定位。在此图示中显示了两个基站，基站 14A 和 14B。在基站提供天线 A1 和 A2，以便从发射移动单元接收信号。

基站控制器 16，通过控制基站 14A 和 14B 的操作以及建立与公用

电话系统 18 的通信链路，提供系统管理功能。

如上所述，列表维特比算法需要连续记录 L 条最佳路径（L 为列表的长度）的电路和/或处理能力。列表维特比译码器对接收的符号序列进行译码，检查帧的质量度量（通常为 CRC），然后确定列表中搜集的信息是否是必要的。如果帧质量度量表示该 ML 路径是错误的，则使用列表中存储的信息回溯 L-1 条次最佳路径，期望这些路径中的某条路径具有可接受的帧质量度量。

本发明的递归技术不需要连续记录 L 条最佳路径的附加电路和处理能力。如果 ML 路径的帧质量度量测试失败，则使用生存者（回溯）存储器中存储的现有生存者（回溯）信息搜索格子，递归算法中的迭代包括沿 ML 路径回溯到某个特殊阶段，然后偏离 ML 路径并遵循新的偏移路径上的生存者信息，最后检查完全译码的帧，以查看该帧的质量度量对该帧是否是可接受的。可以对格子中的各阶段执行相同的回溯步骤，以便每次从 ML 路径的不同阶段偏离。

图 2 表示本发明某实施方式中的递归 (SWT)（单错转向）维特比译码器 20。可交替使用短语“递归维特比”和“SWT”，SWT 表示单错转向；本发明之递归维特比技术校正的格子遍历错误的种类。递归 (SWT) 维特比译码器 20 访问将在下面论述的生存者存储器 22 和 CRC（循环冗余校验）24。

可以利用以下伪代码概述递归 (SWT) 维特比译码器的操作:

1.遍历全部格子，以在一个 $2^{(k-1)}xB$ 的数组中存储所有回溯信息，其中“k”是代码的约束长度，“B”是帧中的比特数。

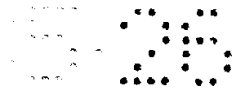
2.执行“标准”回溯操作以对该帧进行译码。

3.检查（通过 CRC 或其他帧质量度量）该帧中是否有比特错误。

如果没有比特错误，则无需其他处理；已通过常规方法对该帧进行了正确译码。

如果检测到比特错误，则进行递归译码，以试图通过校正格子上的单错转向来恢复整个数据帧。递归译码算法为:

N=B;



while 比特错误>0 and N>0

a)使用 $2^{(k-1)}$xB 数组中存储的信息再进行一次回溯，但是当到达回溯操作中的阶段“N”时，跳到失败状态（而不是回溯比特表示的成功状态）并且从该状态以标准方式继续进行回溯。

b)检查以查看以上述方式进行的译码是否导致比特错误。

如果没有比特错误，则无需其他处理；已通过校正格子上的单错转向对该帧进行了正确译码。

如果仍然有比特错误，则令 N=N-1（并重复递归译码算法）。

end while;

图 3-15 表示典型格子。图 3-15 中的粗黑线表示最大似然 (ML) 路径遍历的路径。图 3 表示常规维特比译码器遍历的路径。假设通过格子的上述特殊路径不是正确路径（CRC 校验失败），将本发明之递归技术应用于生存者存储器 22 中仍然存储的信息。由于本发明并不连续记录 L 条最佳路径，所以选择偏离 ML 路径的阶段（图 4-15 中的带有圆圈的状态）是任意的。为简洁起见，假设偏离从图 3-15 中格子的最后阶段（最右边的阶段）开始。偏移也可以从格子的第一阶段（最左边的阶段）或任意中间阶段开始。

图 4 表示要在格子的最后阶段偏离 ML 路径的本发明中的第一次迭代。生存者存储器 22 中存储的信息表示坚持到该格子的剩余路径(在图 4 中用黑虚线表示)。在阶段 3，由第一次迭代绘制的路径向后并入 ML 路径，并且剩余的回溯操作沿 ML 路径向后而行。假设从通过该格子的上述新路径偏离的译码数据序列，未通过帧质量度量测试，则应用本发明的第二次迭代。图 5 表示此迭代。此时，偏移路径在阶段 9 偏离 ML 路径。黑虚线表示新的回溯操作绘制的路径。假设从通过该格子的新路径偏离的译码数据序列，也没有通过帧质量度量测试，则应用本发明的第三次迭代。图 6 表示此迭代。此时，偏移路径在阶

段 8 偏离 ML 路径。黑虚线表示新的回溯操作绘制的路径。假设从通过该格子的新路径偏离的译码数据序列，通过帧质量度量测试，则本发明的递归技术停止，并输出通过帧质量测试的数据序列。

然后，本发明的递归技术或者存储新译码序列，或存储新译码序列偏离 ML 路径阶段号，并继续递归算法，以查看能够译码的其他序列是否也通过帧质量度量。如果选择该操作，并且如果发现许多通过帧（一种非常罕见的情况），则应比较通过帧质量度量测试的所有帧的帧质量度量，并输出具有最佳度量的译码帧作为译码序列的最佳猜测。通常，在认为帧质量度量可靠的系统中，为了节省时间和硬件资源，以下述模式运行本发明的递归技术，即在发现通过帧质量度量的第一译码序列后停止。在上述系统中，递归技术在遍历图 6 中黑虚线所示的格子后停止，并输出从递归维特比算法的第三次迭代导出的数据序列。

图 7-13 表示找不到通过帧质量度量的帧时，本发明之递归技术的进展方式，或者当希望穷尽搜索格子，然后在完成所有迭代后比较众多帧的帧质量度量时，算法的进展方式。请注意，在已知从特定状态（通常为全零状态）开始的系统中，迭代 10（图 13 所示）和迭代 11（未示出）是不必要的，这是由于从阶段 2 或阶段 1 偏离 ML 路径的任意路径均不能返回到格子起点（阶段 0）的已知起始状态。

图 14 表示应用于同一格子和数据的列表算法 (LVA) 的示例，其中 L=2。在此示例中，列表中存储的信息表示第二好的路径（黑虚线），在阶段 8 的状态 00 与 ML 路径（粗黑线）合并。执行单独的回溯操作以检查在该点偏离 ML 路径的路径，并比较由此产生的译码数据序列的帧质量度量与最初的 ML 路径（的帧质量度量）。

图 15 表示 L=3 的 LVA 示例。在此示例中，列表中包含的信息表示第二好的路径（黑虚线）在阶段 8 的状态 00 偏离第一好的路径（粗黑线），并且第三好的路径（黑色点划线）在阶段 6 的状态 00 偏离第二好的路径。再次比较帧质量度量，以查看是否找到可接受的译码序列。

图 16 表示用于 IS-95 系统的 RS2 反向链路的常规维特比算法、列表维特比算法以及本发明之递归 (SWT) 技术之间的比较结果。图 16 假设 k=9, r=1/2 和 64 的正交调制。图 16 清楚说明本发明的递归 (SWT) 技术降低了帧错误率。请注意，对于具有较少功率调制模式的系统而言，本发明之递归 (SWT) 技术比起常规维特比算法和列表维特比算法的相对性能增益，比图 16 所示的反向链路 IS-95 系统更大。具体而言，TDMA 系统增益的数量级为几个 dB。

如上所述，可以将本发明的递归技术 (SWT) 应用于实现维特比译码器或其次优变体的任意无线接收机中。此应用包括但不限于，服务 IS-95、GSM、IS-54 或 IS-36 的基站和移动接收机。

显然可以以众多方式变更上述发明。并不认为此种变更背离本发明的实质和范围，对熟练技术人员显而易见的各种更改均包括在以下权利要求书的范围内。

说 明 书 附 图

图1

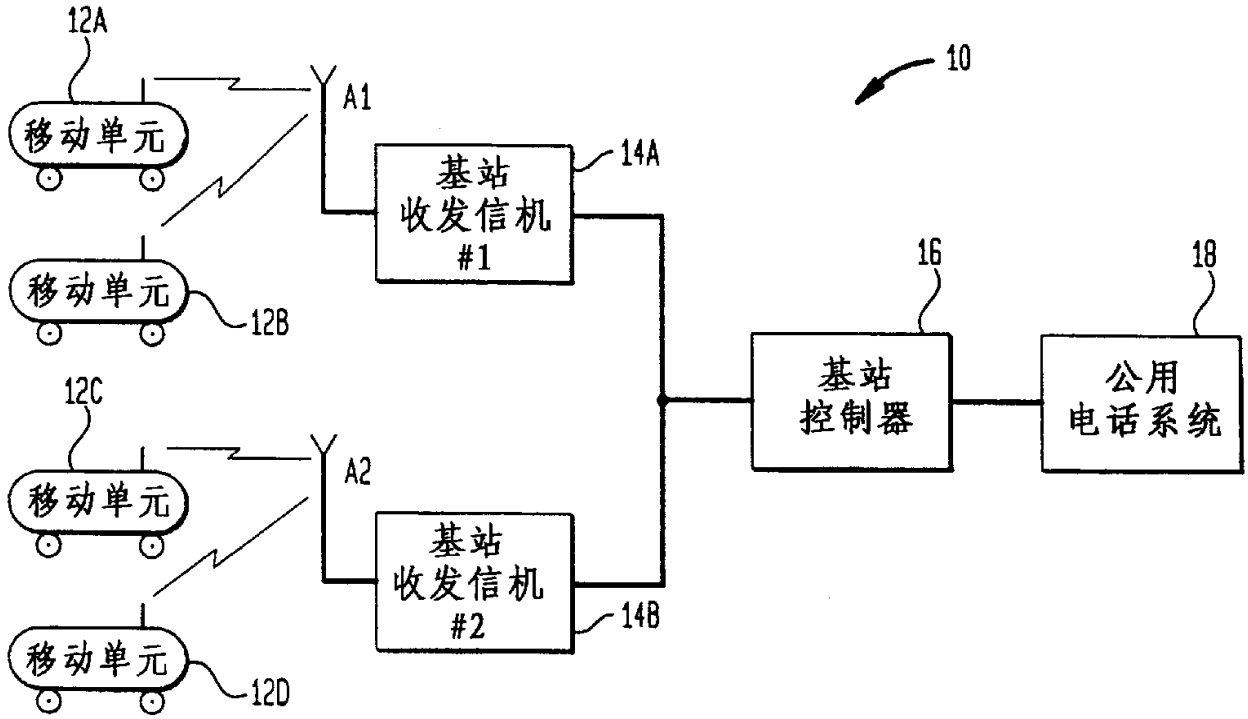

12A
移动单元
A1
10
基站
收发信机
#1
14A
移动单元
12B
16
18
基站
控制器
公用
电话系统
12C
移动单元
A2
基站
收发信机
#2
14B
移动单元
12D

图2

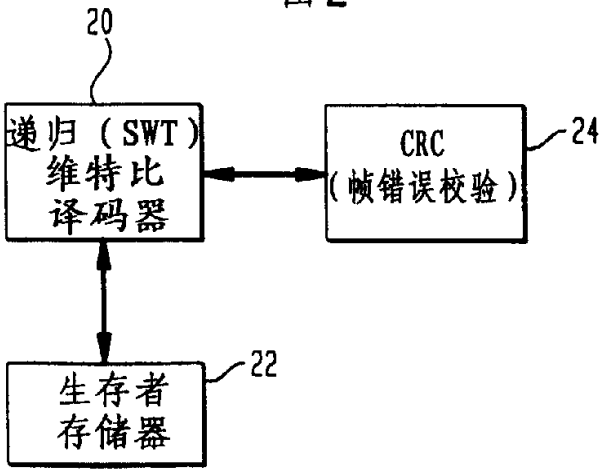

20
递归（SWT）
维特比
译码器
CRC
（帧错误校验）
24
生存者
存储器
22

图3

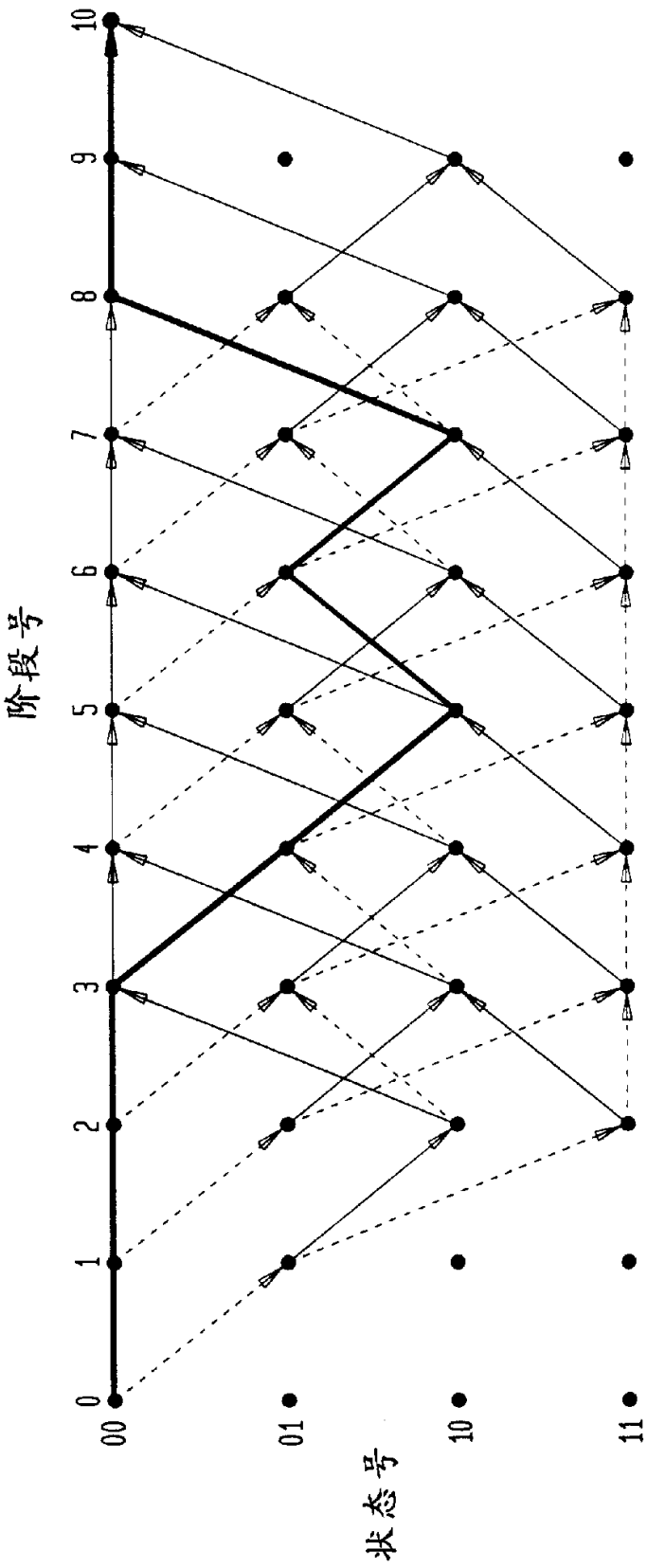


图 4

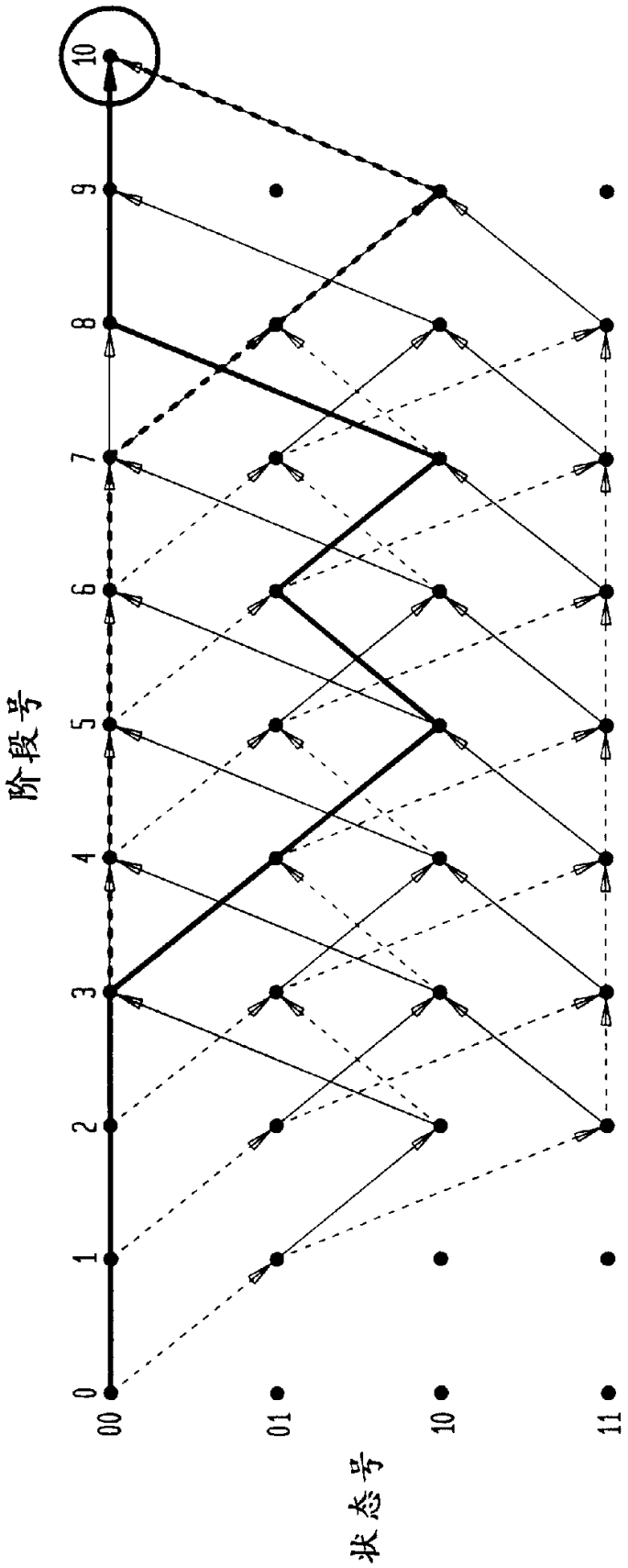


图 5

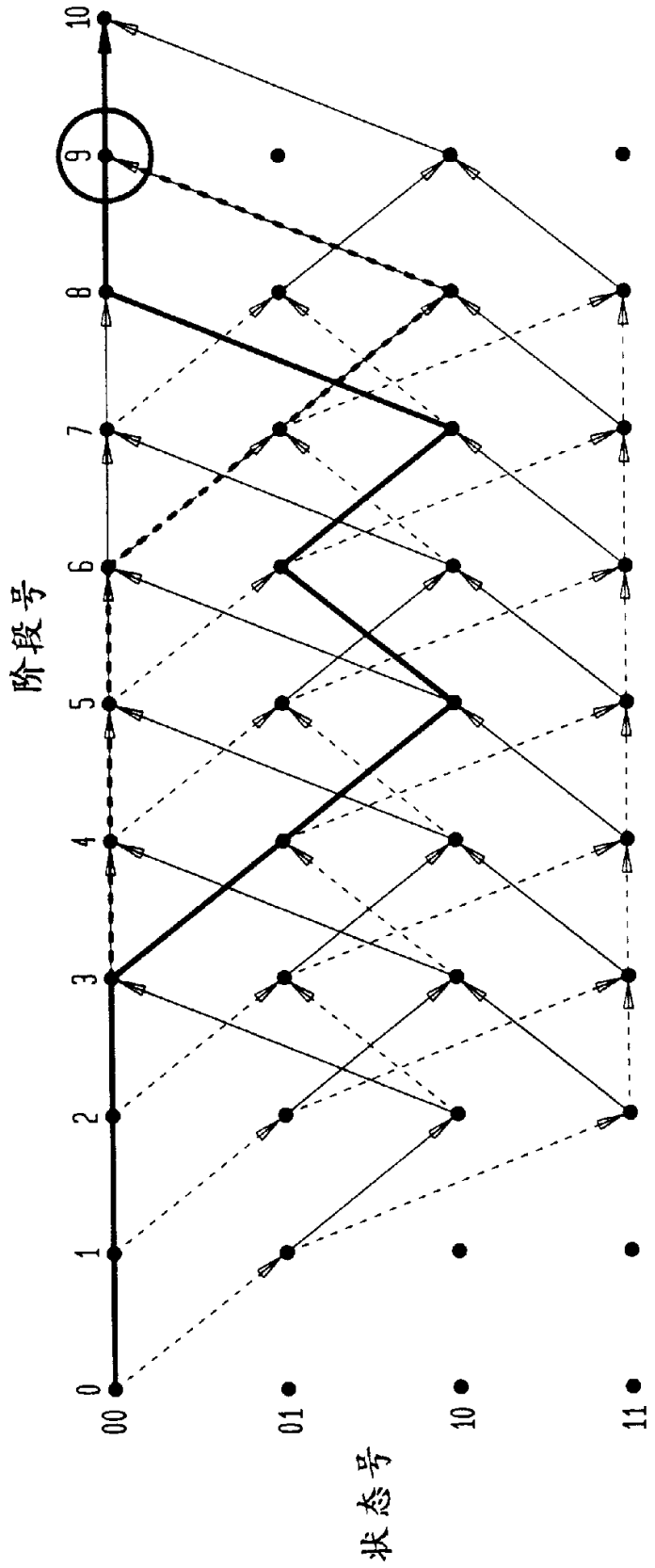


图6

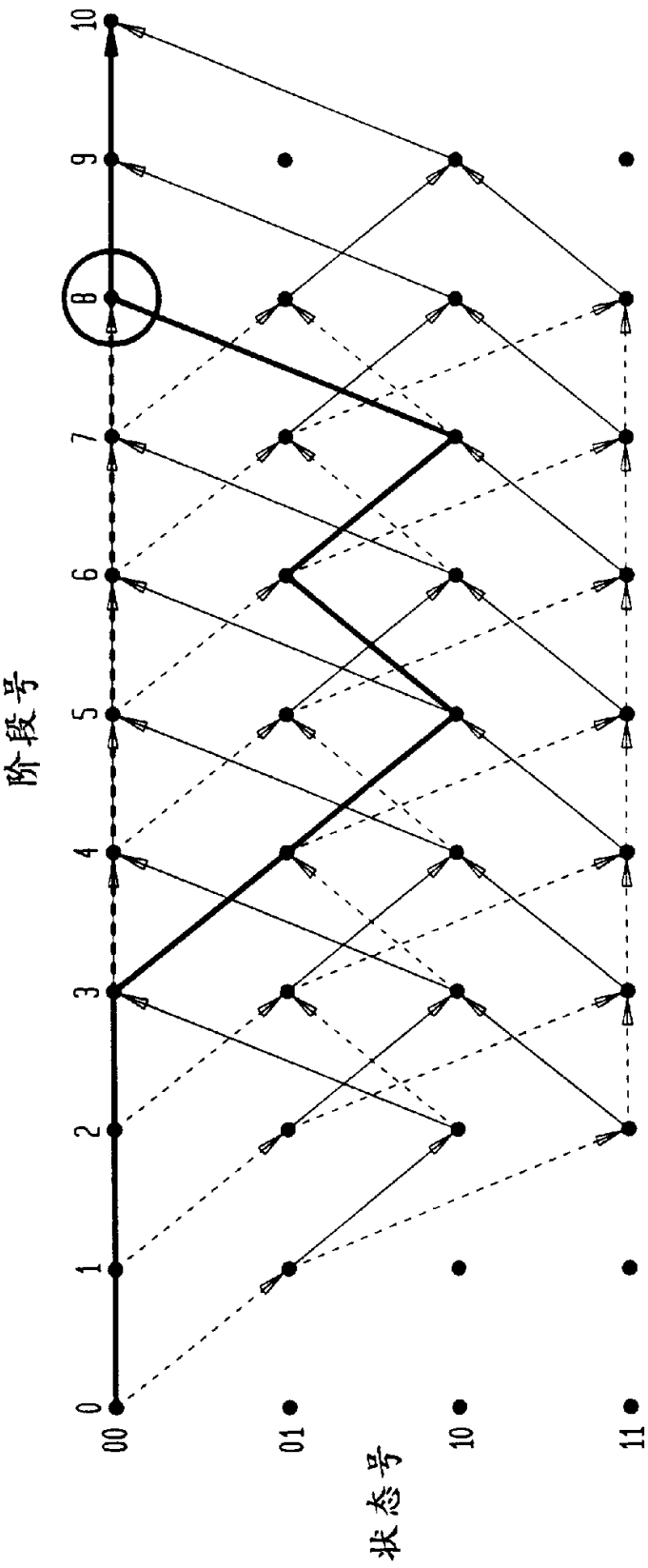


图 7

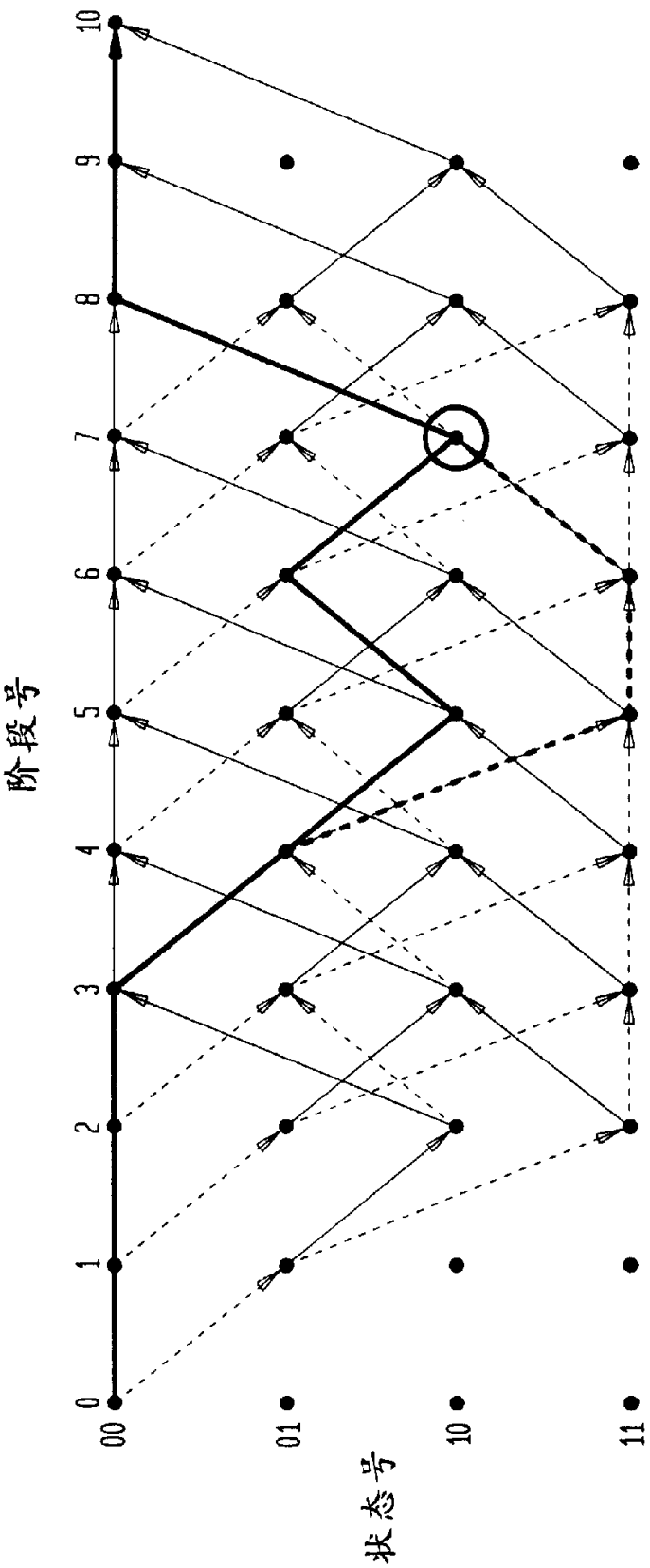


图 8

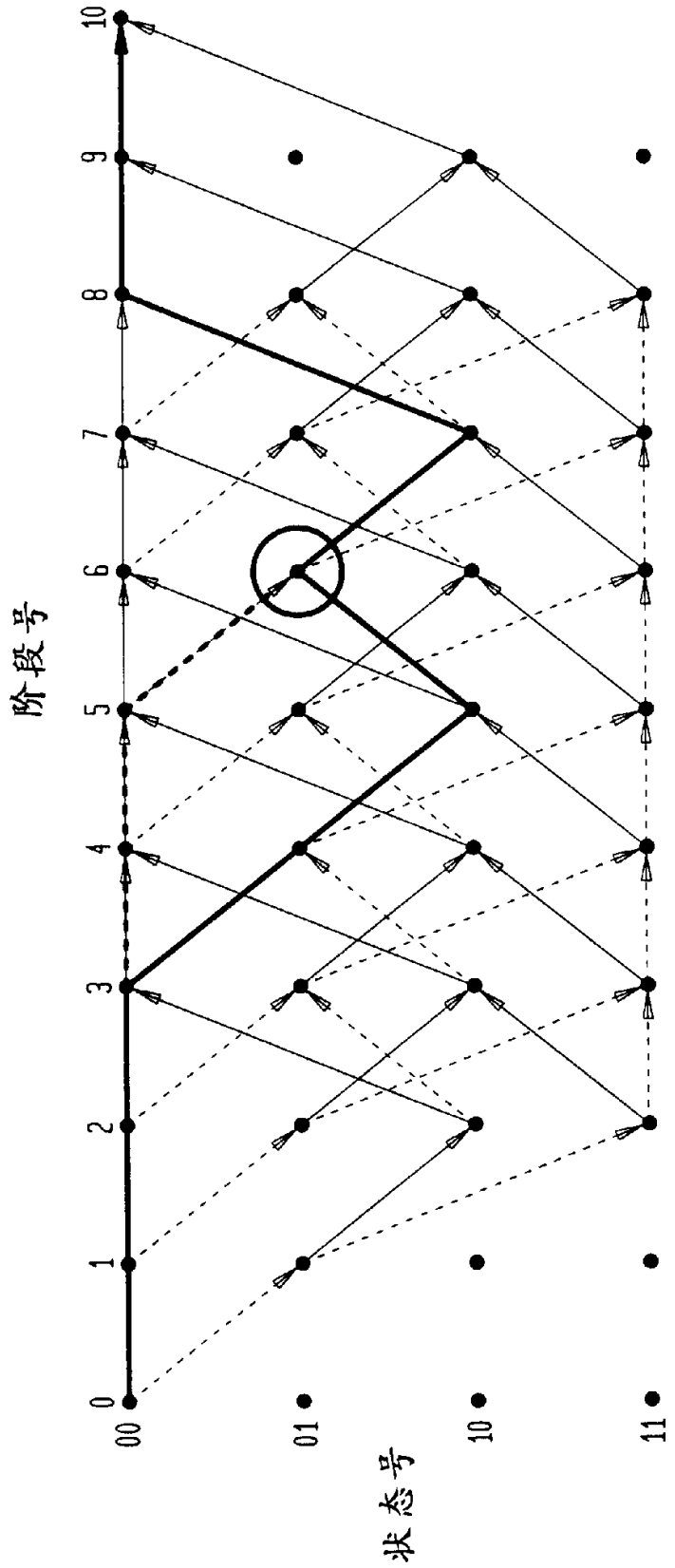


图 9

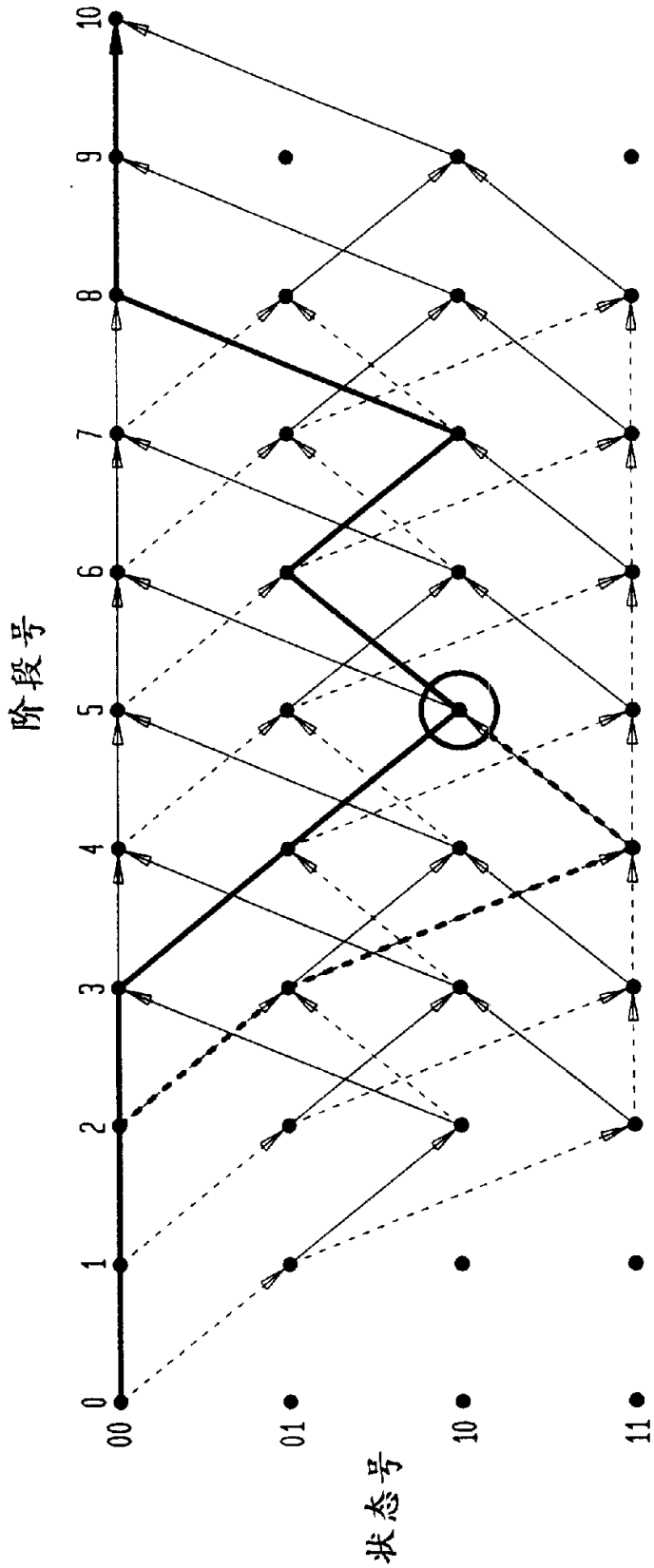


图 10

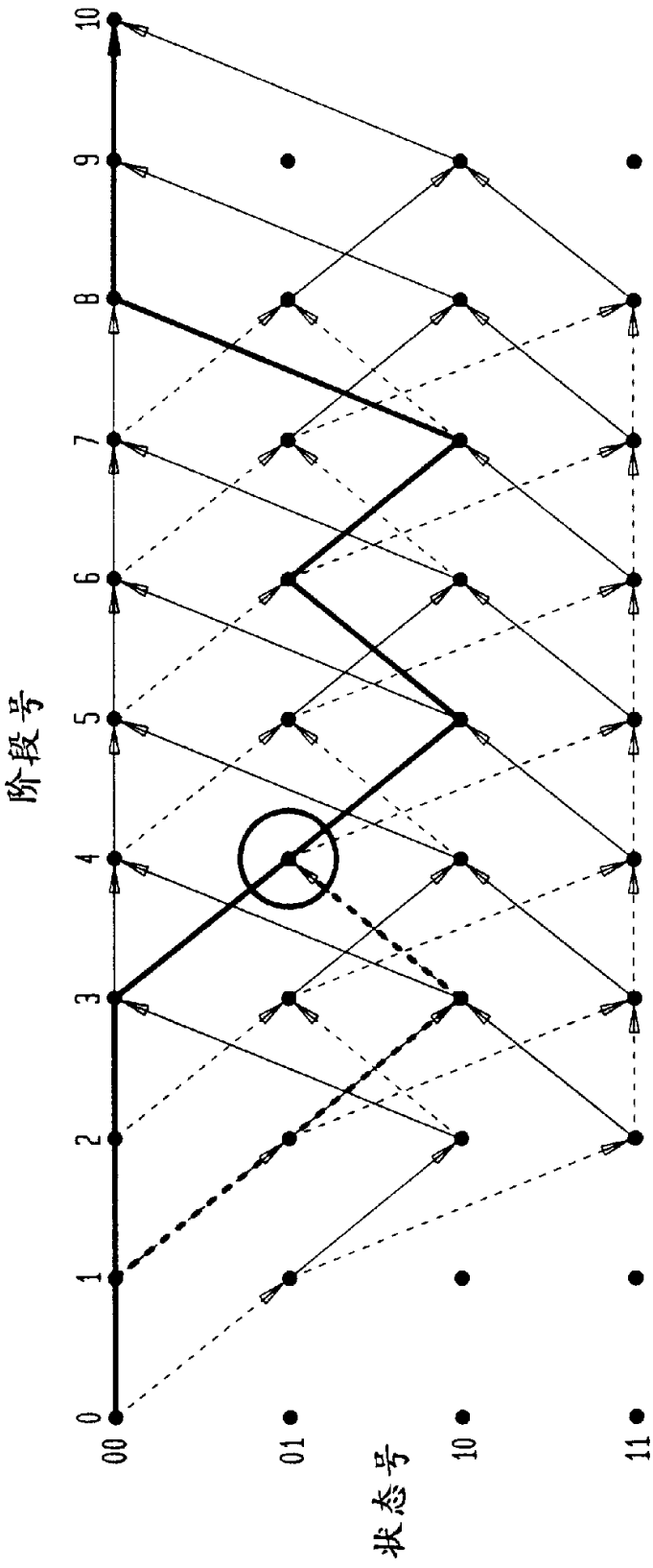


图 11

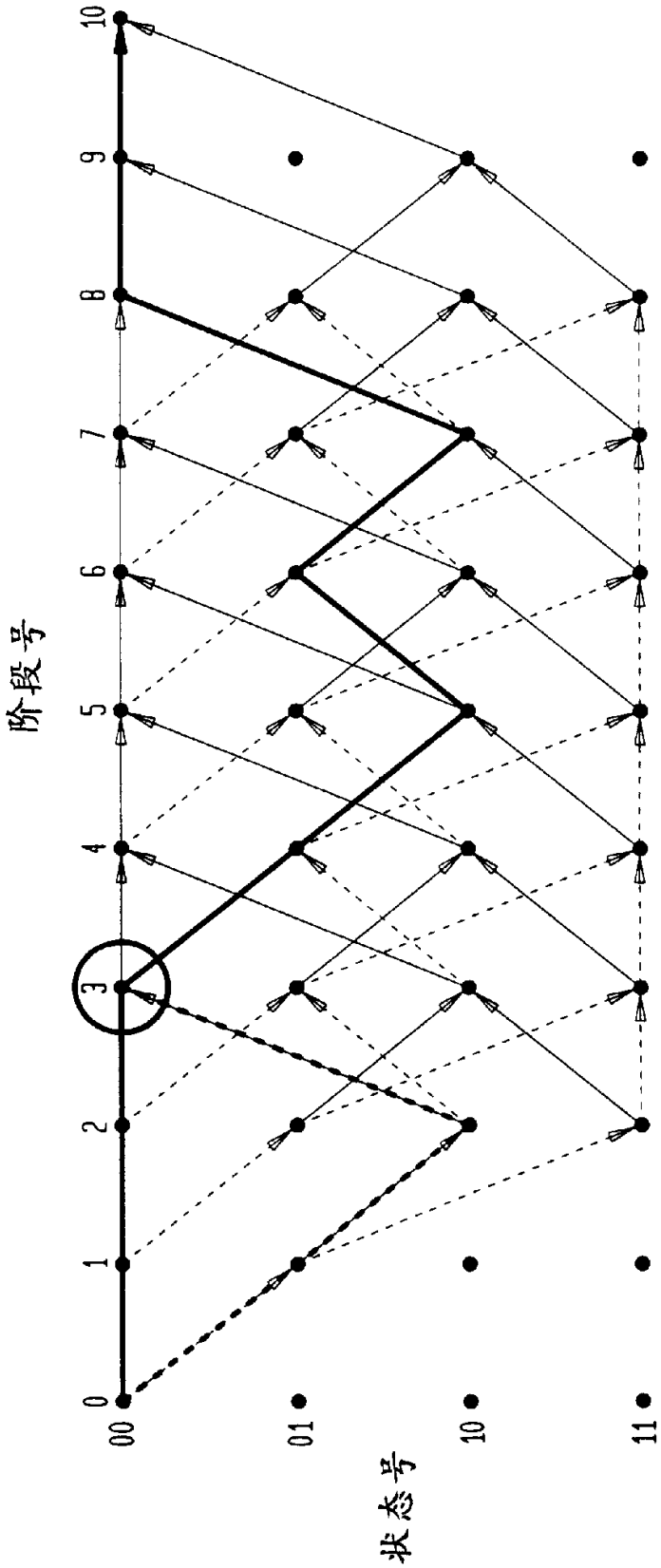


图12

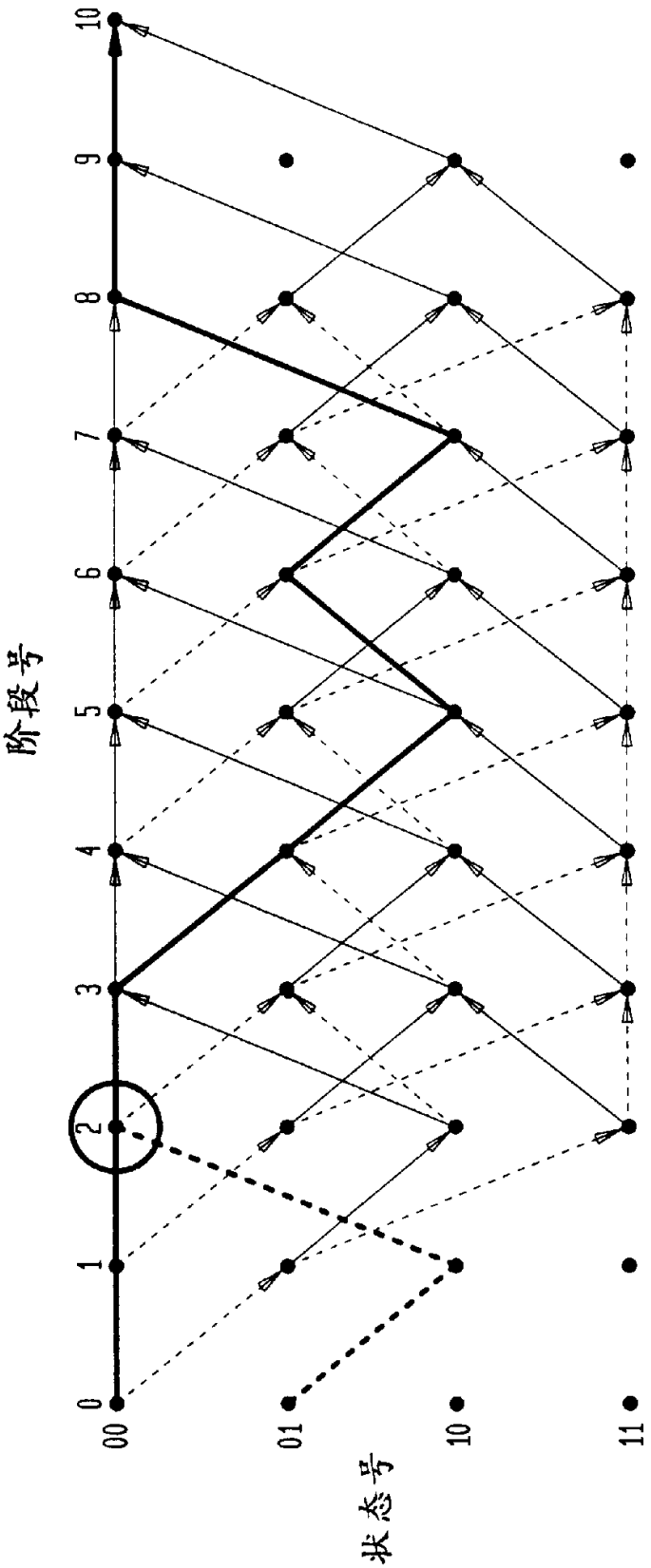


图 13

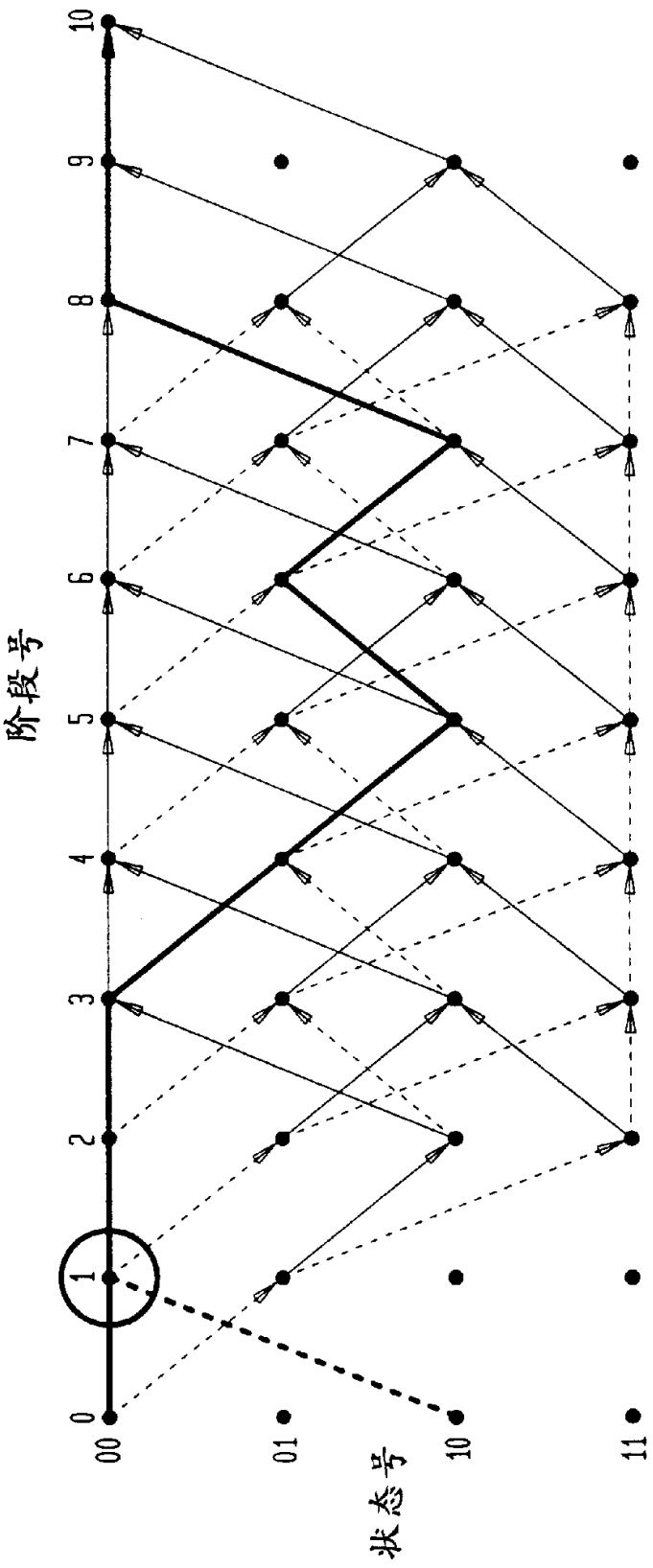


图 14

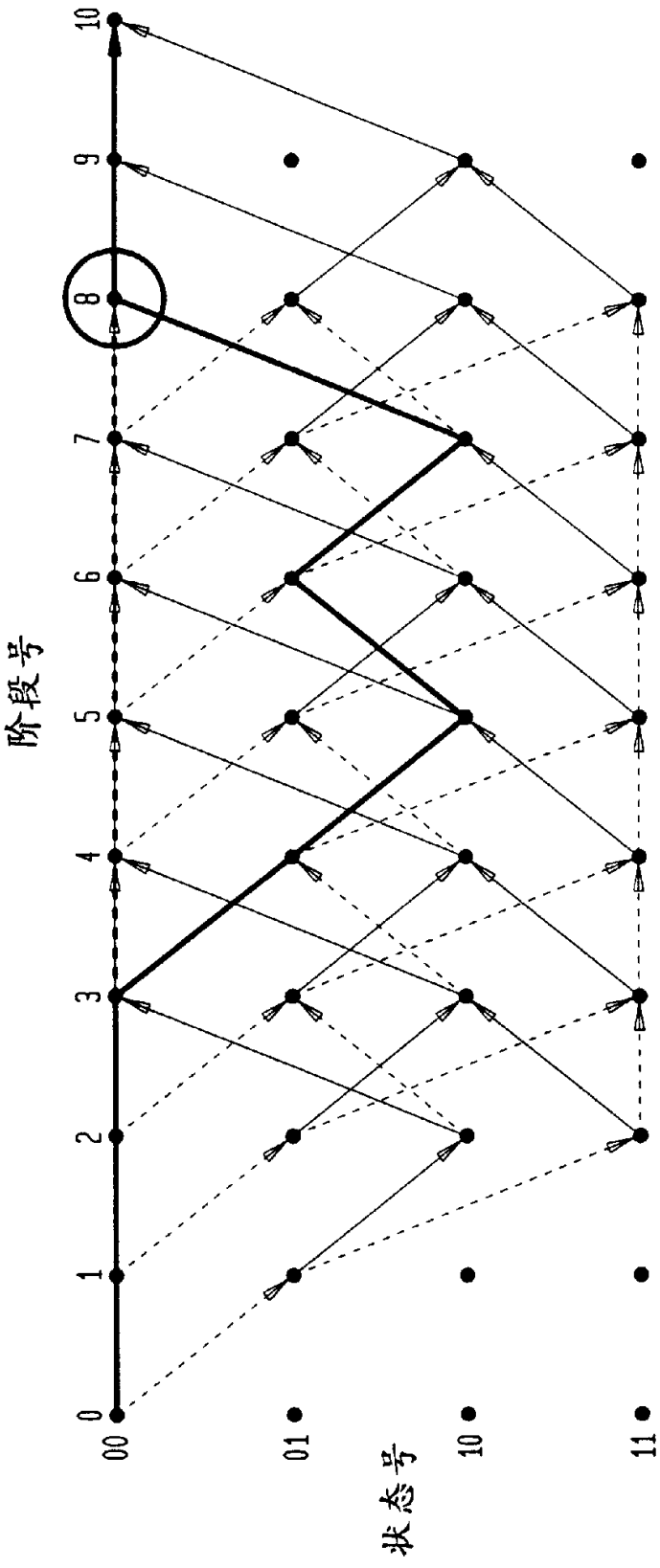


图 15

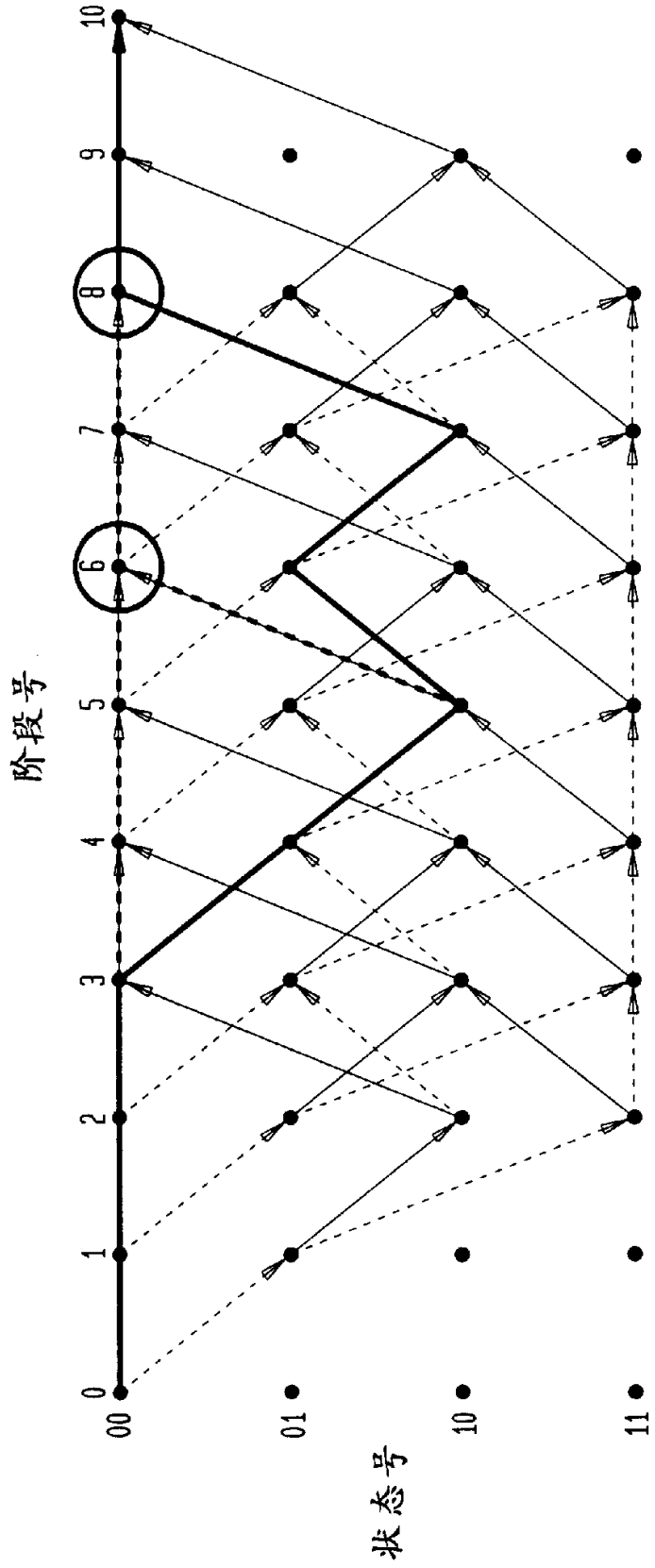
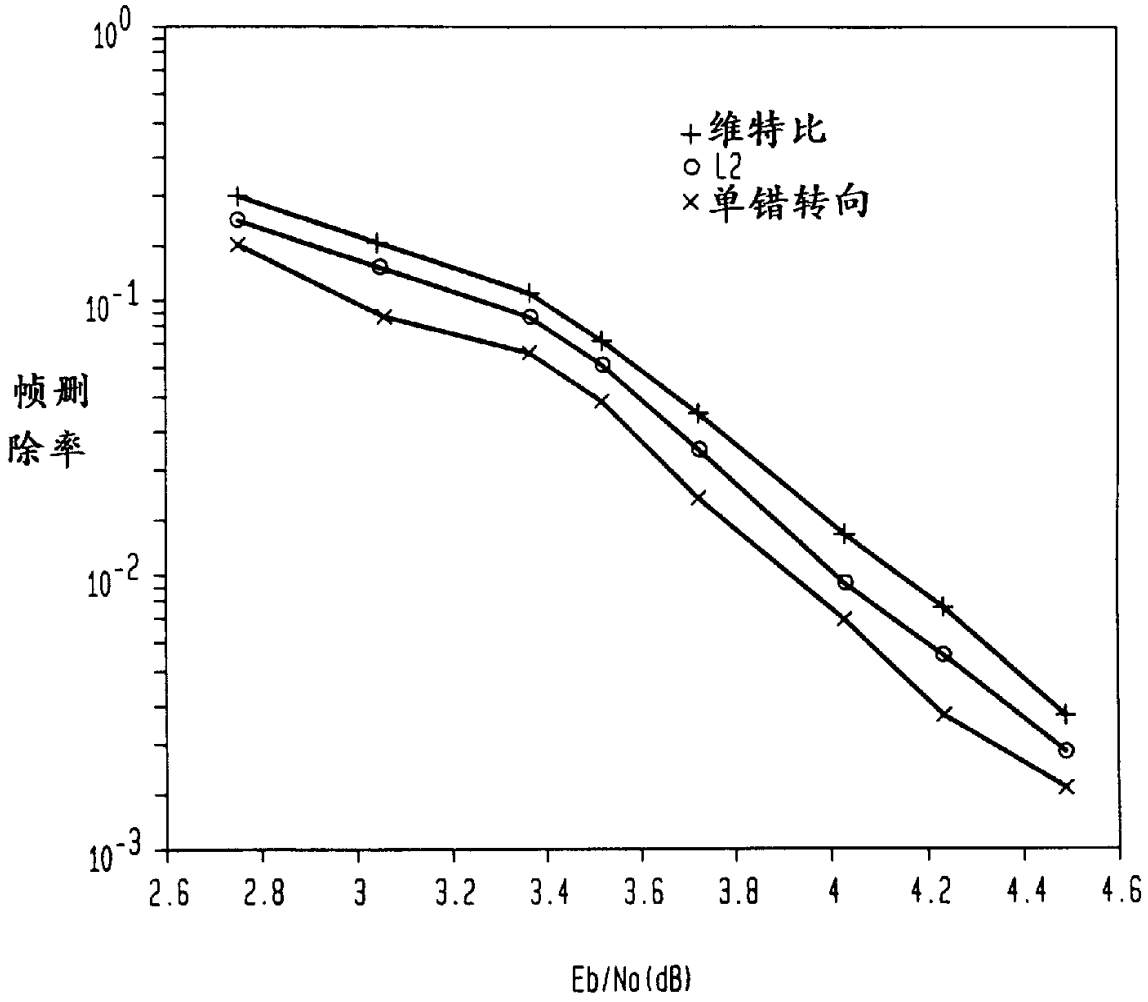


图 16


10^0
10^-1
10^-2
10^-3
帧删除率
+维特比
o L2
×单错转向
2.6
2.8
3
3.2
3.4
3.6
3.8
4
4.2
4.4
4.6
Eb/No(dB)