(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101213809 B
(45)授权公告日 2011.03.30

(21)申请号 200580050939.8

(22)申请日 2005.05.04

(85)PCT申请进入国家阶段日
2007.12.29

(86)PCT申请的申请数据
PCT/EP2005/004891 2005.05.04

(87)PCT申请的公布数据
WO2006/117014 EN 2006.11.09

(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 亚历山大·戈利奇克埃德勒冯埃尔布沃特
克里斯琴·温格特 吉井勇

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
代理人 胡琪

(51)Int.Cl.
H04L 27/34(2006.01)

审查员 李妍

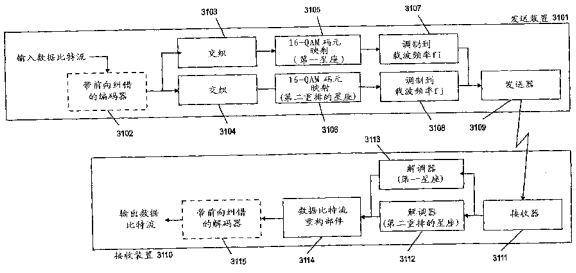
权利要求书 5 页 说明书 17 页 附图 13 页

(54)发明名称

采用16正交幅度调制方案的分集和星座重排的移动通信系统中的数据传输方法和系统

(57)摘要

本发明涉及一种使用16-QAM星座在通信系统中发送和接收数据比特流的方法。此外，提供一种执行该方法的装置。为了改善使用16-QAM星座的系统的比特误码率性能，本发明建议将具有专门选择的映射规则的16-QAM星座与用于创建该16-QAM星座的不同版本的特殊的星座重排一起使用。此外，根据采用遵循本发明定义的映射规则和重排规则获得的16-QAM星座的不同版本的分集方案发送数据流。



CN 101213809 B

1. 一种使用第一和第二 16-QAM 星座在通信系统中发送数据比特流的方法，第一和第二 16-QAM 星座每一个具有以复坐标平面中的四行和四列表示的 16 个调制码元，16-QAM 星座的每个调制码元由四个数据比特的组合表示，并且所述第一和第二 16-QAM 星座每一个遵循下列映射规则：

■表示调制码元的四个数据比特中的第一数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域中的一个，这两个相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两行构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第二数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域中的一个，这两个相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两列构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第三数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个不相连码元区域中的一个，这两个不相连码元区域中的每一个由彼此不相邻的两行构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第四个数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个不相连码元区域中的一个，这两个不相连码元区域中的每一个由彼此不相邻的两列构成，

该方法包括下列步骤：

从所述数据比特流形成数据字序列，

将每个数据字映射到第一 16-QAM 星座的调制码元，

将每个数据字映射到第二 16-QAM 星座的调制码元，

其中，通过使用下列重排规则重排所述第一 16-QAM 星座来获得所述第二 16-QAM 星座：

■重排第一 16-QAM 星座的具有两个最接近的相邻码元的调制码元，使其在第二 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元，

■重排第一 16-QAM 星座的具有三个最接近的相邻码元的调制码元，使其在第二 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元，

■重排第一 16-QAM 星座的具有四个最接近的相邻码元的调制码元，使其在第二 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元，

根据发送分集方案，发送第一 16-QAM 星座的调制码元和第二 16-QAM 星座的调制码元。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其中，通过下列步骤获得所述第二 16-QAM 星座：

■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 1 和平方欧几里得距离 4D 的调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 16D 的调制码元，反之亦然，

■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 2 和平方欧几里得距离 4D 的调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 36D 的调制码元，反之亦然，

■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 2 和平方欧几里得距离 8D 的调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 32D 的调制码元，反之亦然，

■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 2 和平方欧几里得距离 20D 的调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 20D 的调制码元，

■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 3 和平方欧几里得距离 8D 的调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 52D 的调制码元，反之亦然，

■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 3 和平方欧几里得距离 20D 的调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 40D 的调制码元，反之亦然，

■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 4 和平方欧几里得距离 8D 的调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 72D 的调制码元，反之亦然，以及

■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 4 和平方欧几里得距离 40D 的调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 40D 的调制码元。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的方法，其中，所述复平面包括四个象限，并且其中，所述第一和第二 16-QAM 星座遵循的映射规则满足下列准则：

一个象限内的、彼此之间具有最小平方欧几里得距离 D 的调制码元之间的汉明距离为 1，

相邻象限的、彼此之间具有最小平方欧几里得距离 D 的调制码元之间的汉明距离为 2，以及

其中，关于所述复坐标平面的原点彼此相对的调制码元具有汉明距离 4。

4. 如权利要求 3 所述的方法，其中，一个象限内的、在该象限内彼此之间的平方欧几里得距离大于最小平方欧几里得距离 D 或者等于最小平方欧几里得距离 D 的两倍的平方根的调制码元具有汉明距离 2。

5. 如权利要求 3 所述的方法，其中，位于相邻象限内且彼此之间的平方欧几里得距离大于最小平方欧几里得距离 D 或者等于最小平方欧几里得距离 D 的两倍的平方根的调制码元之间的汉明距离为 3。

6. 如权利要求 1 所述的方法，还包括在形成所述数据字之前对所述数据比特流进行编码的步骤。

7. 如权利要求 1 所述的方法，其中，映射到所述第一 16-QAM 星座的调制码元和映射到所述第二 16-QAM 星座的调制码元被彼此平行地发送。

8. 如权利要求 1 所述的方法，其中，以不同的时间间隔发送映射到所述第一 16-QAM 星座的调制码元和映射到所述第二 16-QAM 星座的调制码元。

9. 一种在通信系统中接收数据比特流的方法，该数据比特流已经由发送装置使用发送分集进行发送且已经由所述发送装置使用第一和第二 16-QAM 星座进行调制，所述第一和第二 16-QAM 星座中的每一个具有 16 个调制码元，所述第一和第二 16-QAM 星座以复坐标平面中的四行和四列来表示，所述第一和第二 16-QAM 星座的每个调制码元由四个数据比特的组合表示，并且每个所述 16-QAM 星座都遵循下列映射规则：

■表示调制码元的四个数据比特中的第一数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域中的一个，所述相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两行构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第二数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域中的一个，这两个相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两列构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第三数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个不相连码元区域中的一个，这两个不相连码元区域中的每一个由彼此不相邻的两行构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第四数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星

座的两个不相连码元区域中的一个，这两个不相连码元区域中的每一个由彼此不相邻的两列构成，

该方法包括下列步骤：

接收包括已经使用所述第一 16-QAM 星座发送的所述数据比特流的数据字的传输信号，

接收包括已经使用所述第二 16-QAM 星座发送的所述数据比特流的数据字的传输信号，

通过分别使用所述第一 16-QAM 星座和所述第二 16-QAM 星座检测由四个数据比特的数据字表示的调制码元来解调所述传输信号，由此，将所接收的调制码元的每个数据比特与指示所接收的调制码元的相应比特的逻辑值的概率或者指示所接收的调制码元的相应比特的逻辑值的度量相关联，

将已经被发送装置映射到所述第一 16-QAM 星座的所接收的调制码元的每个数据比特与已经被发送装置映射到所述第二 16-QAM 星座的所接收的调制码元的一个数据比特相关联，以及

基于相应数据比特的度量和相关联的数据比特的度量，将已经被映射到所述第一 16-QAM 星座的每个数据比特与已经被映射到所述第二 16-QAM 星座的其相关联的数据比特组合，以重构所述数据比特流，

其中，所接收的调制码元内的数据比特的关联是基于下列关联规则的：

■将在所述第一 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元的所述第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在第二 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元的所述第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联，

■将在所述第一 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元的所述第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在所述第二 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元的所述第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联，

■将在所述第一 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元的所述第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在所述第二 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元的所述第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联。

10. 一种使用第一和第二 16-QAM 星座在通信系统中发送数据比特流的发送装置(3101)，每个所述 16-QAM 星座具有以复坐标平面中的四行和四列来表示的 16 个调制码元，所述 16-QAM 星座的每个调制码元由四个数据比特的组合表示，并且该装置被适配为对于所述第一和第二 16-QAM 星座中的每一个遵循下列映射规则：

■表示调制码元的四个数据比特中的第一数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域中的一个，这两个相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两行构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第二数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域中的一个，这两个相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两列构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第三数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个不相连码元区域中的一个，这两个不相连码元区域中的每一个由彼此不相邻的两行构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第四数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个不相连码元区域中的一个不相连码元区域，这两个不相连码元区域中的每一个不相连码元区域由彼此不相邻的两列构成，

该发送装置包括：

处理部件，用于从所述数据比特流形成数据字序列，

第一码元映射器 (3105)，用于将每个数据字映射到第一 16-QAM 星座的调制码元，以及

第二码元映射器 (3106)，用于将每个数据字映射到第二 16-QAM 星座的调制码元，

星座重排部件，用于通过使用下列重排规则重排所述第一 16-QAM 星座来获得所述第二 16-QAM 星座：

■重排所述第一 16-QAM 星座的具有两个最接近的相邻码元的调制码元，使其在所述第二 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元，

■重排所述第一 16-QAM 星座的具有三个最接近的相邻码元的调制码元，使其在所述第二 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元，

■重排所述第一 16-QAM 星座的具有四个最接近的相邻码元的调制码元，使其在所述第二 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元，

发送器，用于根据发送分集方案发送所述第一 16-QAM 星座的调制码元和所述第二 16-QAM 星座的调制码元。

11. 一种在通信系统中接收数据比特流的接收装置 (3110)，所述数据比特流已经由发送装置使用发送分集进行发送并且已经由所述发送装置使用每个具有 16 个调制码元的第一和第二 16-QAM 星座进行调制，所述第一和第二 16-QAM 星座以复坐标平面中的四行和四列来表示，所述第一和第二 16-QAM 星座的每个调制码元由四个数据比特的组合表示，并且每个所述 16-QAM 星座遵循下列映射规则：

■表示调制码元的四个数据比特中的第一数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域中的一个，所述相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两行构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第二数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域中的一个，这两个相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两列构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第三数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个不相连码元区域中的一个，这两个不相连码元区域中的每一个不相连码元区域由彼此不相邻的两行构成，

■表示相应调制码元的四个数据比特中的第四数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个不相连码元区域中的一个，这两个不相连码元区域中的每一个不相连码元区域由彼此不相邻的两列构成，

该接收装置包括：

接收器 (3111)，用于接收包括已经使用所述第一 16-QAM 星座发送的所述数据比特流的数据字的传输信号，并且用于接收包括已经使用所述第二 16-QAM 星座发送的所述数据比特流的数据字的传输信号，

解调器 (3112、3113)，用于通过分别使用所述第一 16-QAM 星座和所述第二 16-QAM 星座检测由四个数据比特的数据字表示的调制码元来解调所述传输信号，由此，将所接收的调

制码元的每个数据比特与指示所接收的调制码元的相应比特的逻辑值的概率或者指示所接收的调制码元的相应比特的逻辑值的度量相关联，

数据比特流重构部件 (3114)，用于将已经被所述发送装置映射到所述第一 16-QAM 星座的、所接收的调制码元的每个数据比特与已经被所述发送装置映射到所述第二 16-QAM 星座的、所接收的调制码元的一个数据比特相关联，并且用于基于每个数据比特的度量和相关联的数据比特的度量将已经被映射到所述第一 16-QAM 星座的各个数据比特与已经被映射到所述第二 16-QAM 星座的其相关联的数据比特组合以便重构所述数据比特流，

其中，所述数据比特流重构部件 (3114) 被适配为使所接收的调制码元内的数据比特的关联基于下列关联规则：

■在所述第一 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元的所述第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在所述第二 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元的所述第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联，

■在所述第一 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元的所述第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在所述第二 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元的所述第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联，

■在所述第一 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元的所述第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在所述第二 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元的所述第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联。

采用 16 正交幅度调制方案的分集和星座重排的移动通信系统中的数据传输方法和系统

技术领域

[0001] 本申请涉及用于在使用 16-QAM 星座和 16-QAM 星座的分集重排的通信系统中发送和接收数据比特流的方法。此外，提供了一种用于执行该方法的装置。

[0002] 背景技术

[0003] 16-QAM

[0004] 16-QAM（正交幅度调制）是在例如诸如 UMTS 或 CDMA 2000 之类的基于 IMT 2000 的移动通信系统中惯用的数字调制方案。在通常在其中图示 16-QAM 星座的复信号空间 (complex signal space) 中，通过特殊点 (distinct point) 来限定 16 个调制码元。这些点中的每一个点表示一个 16-QAM 码元。

[0005] 对于二进制信息传输系统，可以使用四个不同的比特来确定现有的 16-QAM 码元中的一个码元。因此，一个 16-QAM 码元由 4 比特组成（或者可以由一个字表示），并且由复平面中的一个复数值表示。通常，调制码元的复数值可以由其相对于复平面中的相应 I 轴和 Q 轴的笛卡儿同相和正交分量（I 和 Q 分量）来表示。这些轴也将复平面划分为四个象限。调制码元在复平面中通过其实部和虚部的表示等效于其极坐标分量 (polar components)，即半径和角度的表示。

[0006] 为了更好地理解本发明，这里假设一特定的 16-QAM 码元星座，其中，排列复平面的一个象限内的信号点使得它们在信号空间的两个正交方向中形成四点的正方形。因此，这样的映射公知为方形 (square)16-QAM 或格形 (lattice)16-QAM。在图 1 和图 2 中给出了两个示例。

[0007] 本发明假设使用方形 16-QAM 映射来排列 16-QAM 码元。对于本领域技术人员而言，显然对于如例如图 2 中所示的每个经过旋转的 16-QAM 星座，可以选择复平面的轴使得经过旋转的 16-QAM 星座可以如图 1 所示。

[0008] 通常，所谓的格雷 (Gray) 映射被用来将 16-QAM 星座中的 16 个调制码元与被映射到相应码元的四个比特相关联。根据该 Gray 映射方案，水平或垂直方向中的相邻调制码元仅在一个比特中不同。

[0009] 16-QAM 子集划分 (subset partitioning)

[0010] 通常，星座内的码元集可以被划分为子集以定义与某个比特的逻辑值相对应的码元区域。由于对于 16-QAM 星座而言 4 个比特是相关的，所以存在四个子集，每比特一个子集。每个子集还可以进一步划分为与相应子集中的各个比特的两个逻辑值相对应的两个码元区域。

[0011] 明显地，存在不同的子集划分。然而，例如从误码率性能的观点来看，这些不同的子集划分中的一些是等效的。仍然存在比其他的划分方案更为广泛地使用的某些划分方案。例如，在 Chindapol,A ;Ritcey,J.A,“Design,analysis,and performance evaluation for BICM-ID with square QAM constellation inRayleigh fading channels”, IEEE Journal on Selected Area in Communications, Volume :19, Issue :5,2001 年 5 月，

944-957 页以及在所谓的 Gray 映射的图 11 中给出了子集划分方案的四个示例。

[0012] 16-QAM Gray 映射的星座重排

[0013] 对于 Gray 映射，已经示出：如果发送同一字的两个或多个版本，则星座重排方法改进性能。Gray 映射的星座重排方案基于比特的不同可靠度等级，取决于所选择的 16-QAM 码元在星座内的位置。因此，重排规则关注于改变 16-QAM 码元的重排版本的位置，以便实现可靠度等级的平均效应。关于 16-QAM Gray 映射的星座重排的细节，参见申请人的已授权专利 EP1293059B1 或公开 WO2004/036817A1。

[0014] 发送分集方案

[0015] 存在几种众所周知的发送分集技术。在本文档中使用的术语“发送分集”描述关于相同数据的一个或几个版本在几个（至少两个）分集分支上的传输。例如，下列方案被考虑为发送分集（参见例如，J.D.Gibson，“The MobileCommunications Handbook”，IEEE Press 1996，Chapter 12.2）：

[0016] ●站点分集（site diversity）：发送信号源自不同站点，例如，蜂窝环境下的不同基站。

[0017] ●天线分集（antenna diversity）：发送信号源自不同天线，例如，多天线基站的不同天线。

[0018] ●极化分集（polarization diversity）：发送信号被映射到不同极化。

[0019] ●频率分集（frequency diversity）：发送信号被映射到例如，不同的载波频率或不同的跳频序列。

[0020] ●时间分集（time diversity）：发送信号被例如映射到不同的交织序列上。这包括应请求而重发数据的 ARQ 方案。

[0021] ●编码分集（code diversity）：发送信号被映射到例如 CDMA（码分多址）系统中的不同码字。

[0022] 分别在上面引用的申请和本申请人的专利中，已经示出星座重排方案和发送分集一起使用可以显著地改善移动通信环境下发送信号的比特误码率。示出了考虑 16-QAM Gray 映射的四种不同星座是最适宜的。然而，仍然需要优化用于通信（具体地，移动通信环境下的）的调制和编码方案，以便减少所需要的星座数目或者改善所获得的误差性能。

发明内容

[0023] 因此，本发明的一个目的是提供一种与如在上面引用的申请和本申请人的专利中描述的系统相比具有改善的比特误码率的调制和编码方案。本发明的另一目的是提供一种与如在上面引用的申请和本申请人的专利中描述的系统相比要求较少的星座的调制和编码方案。

[0024] 该目的由独立权利要求的主题来解决。有利的实施例是从属权利要求的主题。

[0025] 本发明的一个关键方面是使用具有规定的映射规则的 16-QAM 星座以及分集方案和规定的星座重排。映射规则规定 16 个 4 比特（也被称为数据字）中的哪一个映射到 16-QAM 星座中的哪一个调制码元（也被称为数据码元）。16 个调制码元可以例如在复坐标平面中以四行和四列来表示。

[0026] 例如，映射规则可以被阐明如下：

[0027] a) 表示调制码元的四个数据比特中的第一数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域中的一个，这两个相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两行形成

[0028] b) 表示相应调制码元的四个数据比特中的第二数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域中的一个，这两个相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两列形成

[0029] c) 表示相应调制码元的四个数据比特中的第三数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个不相连码元区域中的一个，这两个不相连码元区域中的每一个由彼此不相邻的两行形成

[0030] d) 表示相应调制码元的四个数据比特中的第四个数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个不相连码元区域中的一个，这两个不相连码元区域中的每一个由彼此不相邻的两列形成

[0031] 注意到下面的说明是重要的：这些映射规则不要求例如表示调制码元的四比特的最高有效位根据其逻辑值选择在上面的规则中定义的区域中的一个特定区域。四比特中的哪一个比特选择在四个上述映射规则中规定的四个码元区域中的哪一个码元区域对本发明提出的调制和编码方案的性能不产生影响。

[0032] 等效于上面的规则 a)、b)、c) 和 d) 的映射规则的替换定义可以阐述如下。假设如图 1 所示地选择在其中可以表示方形 16-QAM 星座的复平面的轴。该轴将复信号空间划分为四个象限。假设 16-QAM 星座的该表示、QAM 星座的映射规则满足下列准则：

[0033] a，）一个象限内的、彼此之间具有最小欧几里得距离的调制码元之间的汉明距离 (Hamming distance) 为 1，

[0034] b，）相邻象限的、彼此之间具有最小欧几里得距离的调制码元之间的汉明距离为 2，以及

[0035] c，）关于复坐标平面的原点彼此相对的 (antipodal) 调制码元具有汉明距离 4。

[0036] 此外，可以考虑下列另外的规则：

[0037] d，）一个象限内的、在该象限内彼此之间具有大于最小欧几里得距离或者等于最小欧几里得距离的两倍的平方根的欧几里得距离的调制码元具有汉明距离 2，

[0038] e，）位于相邻象限中的、彼此之间具有大于最小欧几里得距离或者等于最小欧几里得距离的两倍的平方根的欧几里得距离的调制码元之间的汉明距离为 3。

[0039] 除了这些替换的且等效的映射规则之外，本发明的另一方面是采用发送分集方案与 16-QAM 星座重排。每个四比特发送两次或多次，其中根据所使用的发送分集方案，使用遵循上面的映射规则（版本）的 16-QAM 星座的不 同排列的版本来发送所述四比特。基于下列分集重排规则重排 16-QAM 星座的版本：

[0040] 1. 重排在第一版本中具有两个最接近的相邻码元 (neighbor) 的 16-QAM 星座的调制码元，使其在第二版本中具有四个最接近的相邻码元；

[0041] 2. 重排在第一版本中具有三个最接近的相邻码元的 16-QAM 星座的调制码元，使其在第二版本中具有三个最接近的相邻码元；

[0042] 3. 重排在第一版本中具有四个最接近的相邻码元的 16-QAM 星座的调制码元，使其在第二版本中具有两个最接近的相邻码元。

[0043] 更具体地，可以替换地定义这些重排规则如下：

[0044] 1. 在第一版本中具有汉明距离 1 和平方欧几里得距离 4D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 16D，反之亦然

[0045] 2. ■在第一版本中具有汉明距离 2 和平方欧几里得距离 4D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 36D，反之亦然

[0046] ■在第一版本中具有汉明距离 2 和平方欧几里得距离 8D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 32D，反之亦然

[0047] ■在第一版本中具有汉明距离 2 和平方欧几里得距离 20D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 20D，

[0048] 3. ■在第一版本中具有汉明距离 3 和平方欧几里得距离 8D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 52D，反之亦然

[0049] ■在第一版本中具有汉明距离 3 和平方欧几里得距离 20D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 40D，反之亦然

[0050] 4. ■在第一版本中具有汉明距离 4 和平方欧几里得距离 8D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 72D，反之亦然

[0051] ■在第一版本中具有汉明距离 4 和平方欧几里得距离 40D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 40D，

[0052] 根据本发明的第一示例实施例，提供了一种使用第一和第二 16-QAM 星座在通信系统中发送数据比特流的方法，第一和第二 16-QAM 星座每一个具有可以以复坐标平面中的四行和四列中表示的 16 个调制码元。根据该实施例，16-QAM 星座的每个调制码元可以由四个数据比特的组合来表示。此外，该两个星座遵循如上所规定的映射规则（参见 a) 到 d)）。

[0053] 根据该实施例的方法可以因此包括从数据比特流形成数据字序列的步 骤。然后，每个数据字被映射到第一 16-QAM 星座的调制码元以获得遵循映射规则的第一分集排列版本，并且每个数据字再被映射到第二 16-QAM 星座的调制码元以获得遵循映射规则的第二分集排列版本。

[0054] 另外遵循下列重排规则，获得根据本发明的该实施例的第一和第二 16-QAM 星座。重排第一 16-QAM 星座的具有两个最接近的相邻码元的调制码元使得其在第二 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元。此外，重排第一 16-QAM 星座的具有三个最接近的相邻码元的调制码元使得其在第二 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元。此外，重排第一 16-QAM 星座的具有四个最接近的相邻码元的调制码元使得其在第二 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元。

[0055] 根据发送分集方案发送第一 16-QAM 星座的调制码元和第二 16-QAM 星座的调制码元。

[0056] 根据本发明的另一实施例，如之前已经概述的通过下列步骤获得第二 16-QAM 星座：

[0057] ■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 1 和平方欧几里得距离 4D 的两个调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 16D 的调制码元，反之亦然，

[0058] ■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 2 和平方欧几里得距离 4D 的两个调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 36D 的调制码元，反之亦然，

[0059] ■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 2 和平方欧几里得距离 8D 的两个调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 32D 的调制码元，反之亦然，

[0060] ■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 2 和平方欧几里得距离 20D 的两个调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 20D 的调制码元，

[0061] ■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 3 和平方欧几里得距离 8D 的两个调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 52D 的调制码元，反之亦然，

[0062] ■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 3 和平方欧几里得距离 20D 的两个调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 40D 的调制码元，反之亦然，

[0063] ■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 4 和平方欧几里得距离 8D 的两个调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 72D 的调制码元，反之亦然，以及

[0064] ■将在第一 16-QAM 星座中具有汉明距离 4 和平方欧几里得距离 40D 的两个调制码元重排为在第二 16-QAM 星座中具有平方欧几里得距离 40D 的调制码元。

[0065] 可以在其中表示 16-QAM 码元的复平面包括四个象限，并且根据本发明的另一实施例，第一和第二 16-QAM 星座遵循的映射规则满足下列准则：

[0066] ■一个象限内的、彼此之间具有最小平方欧几里得距离的调制码元之间的汉明距离为 1，

[0067] ■相邻象限的、彼此之间具有最小平方欧几里得距离的调制码元之间的汉明距离为 2，以及

[0068] ■其中关于复坐标平面的原点彼此相对的调制码元具有汉明距离 4。

[0069] 在该实施例的变型中，一个象限内的、在该象限内彼此之间具有大于最小平方欧几里得距离或者等于最小平方欧几里得距离的两倍的平方根的平方欧几里得距离的调制码元具有汉明距离 2。

[0070] 此外，根据本发明的另一变型，位于相邻象限内且彼此之间具有大于最小平方欧几里得距离或者等于最小平方欧几里得距离的两倍的平方根的平方欧几里得距离的调制码元之间的汉明距离为 3。

[0071] 在本发明的另一实施例中，可以在形成数据字之前利用编码器对数据比特流进行编码。

[0072] 根据本发明的又一实施例，对于数据传输采用分集方案，根据该方案，映射到第一 16-QAM 星座的调制码元和映射到第二 16-QAM 星座的调制码元被彼此平行地发送。

[0073] 可以采用的另一替换的分集方案预期以不同的时间间隔发送映射到第一 16-QAM 星座的调制码元和映射到第二 16-QAM 星座的调制码元。

[0074] 此外，根据另一实施例的本发明提供一种在通信系统中接收数据比特流的方法。该数据比特流是已经由发送装置使用发送分集方案进行发送且已经由发送装置使用第一和第二 16-QAM 星座进行调制的传输数据。这两个星座中的每一个星座具有可以以复坐标平面中的四行和四列表示的 16 个调制码 元。此外，可以利用四个数据比特的组合选择第一和第二 16-QAM 星座的每个调制码元。这两个 16-QAM 星座中的每一个遵循如上面规定的映射规则（参见 a) 到 d)）。

[0075] 根据本发明的该实施例，在接收装置处接收传输信号，该传输信号包括已经由发送装置使用第一 16-QAM 星座发送的数据比特流的数据字。此外，也接收另一传输信号，该

另一传输信号包括所述数据比特流的数据字并且已经使用第二 16-QAM 星座进行发送。

[0076] 接下来，通过分别使用第一 16-QAM 星座和第二 16-QAM 星座检测由四个数据比特的数据字表示的调制码元，来解调传输信号。由此，将所接收的调制码元的每个数据比特与指示所接收的调制码元的相应比特的逻辑值的概率的或者指示所接收的调制码元的相应比特的逻辑值的度量 (metric) 相关联。

[0077] 接下来，将已经被发送装置映射到第一 16-QAM 星座的所接收的调制码元的每个数据比特与已经被发送装置映射到第二 16-QAM 星座的所接收的调制码元的一个数据比特相关联。

[0078] 此外，基于相应数据比特的度量和相关联的数据比特的度量，将已经被映射到第一 16-QAM 星座的每个数据比特与已经被映射到第二 16-QAM 星座的其相关联的数据比特组合，以重构数据比特流。

[0079] 在本发明的该实施例中，所接收的调制码元内的数据比特的关联是基于下列关联规则的 ：

[0080] ■将在第一 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元的第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在第二 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元的第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联，

[0081] ■将在第一 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元的第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在第二 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元的第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联，

[0082] ■将在第一 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元的第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在第二 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元的第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联。

[0083] 本发明的另一实施例涉及上述的传输方法的不同实施例在发送装置中的使用。提供了一种使用第一和第二 16-QAM 星座在通信系统中发送数据比特流的发送装置。这两个星座中的每一个星座具有可以以复坐标平面中的四行 和四列来表示的且遵循前面定义的映射规则 (参见 a) 到 d)) 的 16 个调制码元。

[0084] 发送装置包括用于从数据比特流形成数据字序列的处理部件，例如，处理器、DSP、或者专用硬件组件。该数据流可以例如是从语音编码器、软件应用程序、或者希望将数据比特流发送到接收装置的任何其他源提供的。

[0085] 此外，发送装置包括码元映射器，其用于将每个数据字映射到第一 16-QAM 星座的调制码元以获得遵循映射规则的第一分集排列版本、并且用于将每个数据字映射到第二 16-QAM 星座的调制码元以获得遵循映射规则的第二分集排列版本。由此，可能等效或可能不等效于上述处理部件的星座重排部件允许发送装置通过遵循下列重排规则获得第一和第二 16-QAM 星座 ：

[0086] ■重排第一 16-QAM 星座的具有两个最接近的相邻码元的调制码元使得其在第二 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元，

[0087] ■重排第一 16-QAM 星座的具有三个最接近的相邻码元的调制码元使得其在第二 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元，

[0088] ■重排第一 16-QAM 星座的具有四个最接近的相邻码元的调制码元使得其在第二

16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元。

[0089] 此外，发送装置可以包括发送器，其用于根据发送分集方案发送第一 16-QAM 星座的调制码元和第一 16-QAM 星座的调制码元。

[0090] 本发明的另一实施例提供一种发送装置，其包括被适配为执行根据上述的实施例之一及其变型的传输方法的步骤的部件。

[0091] 本发明的又一实施例涉及上面概述的接收方法的使用。提供了一种在通信系统中接收数据比特流的接收装置，其中数据比特流已经由发送装置使用发送分集进行发送。该数据比特流已经由发送装置使用第一和第二 16-QAM 星座进行调制。第一和第二 16-QAM 星座可以以复坐标平面中的四行和四列来表示，并且它们的调制码元中的每一个可以由四个数据比特的组合表示。这两个 16-QAM 星座中的每一个遵循前面规定的映射规则（参见 a) 到 d)）。

[0092] 根据该实施例的接收装置包括接收器，该接收器用于接收包括已经使用第一 16-QAM 星座发送的数据比特流的数据字的传输信号，并且用于接收包括已经使用第二 16-QAM 星座发送的数据比特流的数据字的传输信号。

[0093] 此外，接收装置可以包括解调器，该解调器通过分别使用第一 16-QAM 星座和第二 16-QAM 星座检测由四个数据比特的数据字表示的调制码元，来解调传输信号。在解调时，所接收的调制码元的每个数据比特与指示所接收 的调制码元的相应比特的逻辑值的概率或者指示所接收的调制码元的相应比特的逻辑值的度量相关联。

[0094] 此外，该装置可以包括数据比特流重构部件，例如处理器、DSP 或者任何类型的适当的硬件和 / 或软件，该数据比特流重构部件用于将已经被发送装置映射到第一 16-QAM 星座的、所接收的调制码元的每个数据比特与已经被发送装置映射到第二 16-QAM 星座的、所接收的调制码元的一个数据比特相关联，并且用于基于每个数据比特的度量和相关联的数据比特的度量将已经被映射到第一 16-QAM 星座的各个数据比特与已经被映射到第二 16-QAM 星座的其相关联的数据比特组合以便重构数据比特流。

[0095] 数据比特流重构部件还被适配为是所接收的调制码元内的数据比特的关联基于下列关联规则：

[0096] ■在第一 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元的第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在第二 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元的第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联，

[0097] ■在第一 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元的第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在第二 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元的第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联，

[0098] ■在第一 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元的第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在第二 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元的第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联。

[0099] 此外，在本发明的另一实施例中，接收装置可以包括另外的组件和部件，以便根据本发明提出的多个特定的编码和调制方案之一操作。

[0100] 还认识到根据各实施例及其变型，本发明可以软件和 / 或硬件实施。因此，本发明的另一实施例涉及存储指令的计算机可读介质，当该指令被发送装置的处理器执行时，其

使得发送装置使用第一和第二 16-QAM 星座在通信系统中发送数据比特流。每一个星座具有可以以复坐标平面中的四行和四列表示的 16 个调制码元。16-QAM 星座的每个调制码元可以由四个数据比特的组合表示。第一和第二 16-QAM 星座的每一个遵循由上面的 a) 到 d) 限定的映射规则。

[0101] 该指令使得该发送装置通过从数据比特流形成数据字序列、将每个数据字映射到第一 16-QAM 星座的调制码元以获得遵循映射规则的第一分集排列 版本、并且将每个数据字映射到第二 16-QAM 星座的调制码元以获得遵循映射规则的第二分集排列版本，来发送数据比特流。另外遵循下列重排规则获得第一和第二 16-QAM 星座 ：

[0102] ■重排第一 16-QAM 星座的具有两个最接近的相邻码元的调制码元使得其在第二 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元，

[0103] ■重排第一 16-QAM 星座的具有三个最接近的相邻码元的调制码元使得其在第二 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元，

[0104] ■重排第一 16-QAM 星座的具有四个最接近的相邻码元的调制码元使得其在第二 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元。

[0105] 此外，在指令被处理器执行时，其使得发送装置根据发送分集方案发送第一 16-QAM 星座的调制码元和第二 16-QAM 星座的调制码元。

[0106] 本发明的另一实施例涉及存储指令的计算机可读介质，当该指令被发送装置的处理器执行时，其使得发送装置执行根据上面的各实施例及其变型之一的传输方法的步骤。

[0107] 本发明的另一实施例涉及存储指令的计算机可读介质，当该指令被发送装置的处理器执行时，其使得发送装置在通信系统中接收数据比特流。该数据比特流已经由发送装置使用发送分集发送且已经由发送装置使用每个具有 16 个调制码元的第一和第二 16-QAM 星座调制过。如先前概述的，可以以复坐标平面中的四行和四列来表示第一和第二 16-QAM 星座，并且第一和第二 16-QAM 星座的每个调制码元可以由四个数据比特的组合表示。此外，这两个 16-QAM 星座中的每一个遵循上面在 a) 到 d) 中限定的映射规则。

[0108] 该指令使得接收装置通过下列步骤来接收数据比特流 ：接收包括已经使用第一 16-QAM 星座发送的数据比特流的数据字的传输信号 ；接收包括已经使用第二 16-QAM 星座发送的所述数据比特流的数据字的传输信号 ；通过分别使用第一 16-QAM 星座和第二 16-QAM 星座检测由四个数据比特的数据字表示的调制信号来解调传输信号 ；由此将所接收的调制码元的每个数据比特与指示所接收的调制码元的相应比特的逻辑值的概率的或者指示所接收的调制码元的相应比特的逻辑值的度量相关联 ；将已经被发送装置映射到第一 16-QAM 星座的、所接收的调制码元的每个数据比特与已经被发送装置映射到第二 16-QAM 星座的、所接收的调制码元的一个数据比特相关联 ；并且基于相应数据比特的度量和相关联的数据比特的度量，将已经被映射到第一 16-QAM 星座的每个数据比特与已经被映射到第二 16-QAM 星座的其相关联的数据比特组合，以重构数据比特流，其中，所接收的调制码元内的数据比特的关联是基于下列关联规则的 ：

[0109] ■将在第一 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元的第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在第二 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元的第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联，

[0110] ■将在第一 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元的第一 16-QAM 星座的调制

码元的每个数据比特与在第二 16-QAM 星座中具有三个最接近的相邻码元的第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联，

[0111] ■将在第一 16-QAM 星座中具有四个最接近的相邻码元的第一 16-QAM 星座的调制码元的每个数据比特与在第二 16-QAM 星座中具有两个最接近的相邻码元的第二 16-QAM 星座的调制码元的相应数据比特相关联。

附图说明

[0112] 下文中，参考附图更详细地描述本发明。图中的相似或对应的细节标有相同的附图标记。

[0113] 图 1 和图 2 示出具有方形映射的两个 16-QAM 码元星座，

[0114] 图 3 示出复信号空间中偶数和奇数汉明权重字 (weight words) 的星座点的划分的表示，

[0115] 图 4 示出方形 16-QAM 星座内的码元的最接近的相邻码元属性，

[0116] 图 5 和图 6 示出根据本发明的一个实施例的、在 16-QAM 星座的一维中星座码元之间的汉明和平方欧几里得距离的具体值 (occurrence)，

[0117] 图 7 和图 8 示出根据本发明的示例实施例的、采用 AICO 映射原理将字映射到星座点上的两个示例，

[0118] 图 9 至图 12 示出根据本发明的示例实施例的、使用 AICO 映射的四个组成比特（数据字）到它们在方形 16-QAM 星座中的相应码元的示例区域映射，

[0119] 图 13 至图 16 示出使用 Gray 映射的四个组成比特（数据字）到它们在方形 16-QAM 星座中的相应码元的区域映射，

[0120] 图 17 示出根据本发明的一个实施例的使用双向重排模式的第一和第二版本中的 16-QAM 星座码元之间的示例重排关系，

[0121] 图 18 示出根据本发明的另一实施例的使用单向重排模式的第一和第二 版本中的 16-QAM 星座码元之间的重排关系，

[0122] 图 19 示出已经根据图 17 中给出的本发明的实施例的重排模式重排的、并且作为图 7 中示出的利用 AICO 映射的 16-QAM 星座的重排版本的、利用 AICO 映射的 16-QAM 星座的示例，

[0123] 图 20 示出已经根据图 17 中给出的本发明的实施例的重排模式重排的、并且作为图 8 中示出的利用 AICO 映射的 16-QAM 星座的重排版本的、利用 AICO 映射的 16-QAM 星座的示例，

[0124] 图 21 示出使用一个原始映射版本和一个重排映射版本的、对于未编码的传输的 Gray 和 AICO 16-QAM 映射的 AWGN 中的蒙特卡罗 (Monte Carlo) 仿真结果，

[0125] 图 22 示出根据本发明实施例的用于采用两个分支的传输天线分集的传输装置结构的示例方框图，

[0126] 图 23 至图 30 示出满足根据本发明实施例的特定重排规则的八种重排关系，

[0127] 图 31 示出根据本发明的另一实施例的示例发送器和接收器方框图，以及

[0128] 图 32 示出根据本发明实施例的示例解调和数据流重构处理。

具体实施方式

[0129] 下列段落将描述本发明的各实施例。仅仅为了示例的目的，概述大多数实施例而不依赖于它们在移动环境下的实现。

[0130] 而且，在上面背景技术部分中给出的详细阐述仅仅意图更好地理解在下面描述的示例实施例，而不应该被理解为将本发明限制到所描述的移动通信网络中的处理和功能的特定实现。

[0131] 本发明的一方面是定义 16-QAM 星座的映射规则。为了更好地理解新映射（在本文件中将被称为 AICO 映射）的属性的进一步详细描述，首先提供在下文中频繁使用的几个术语的定义。

[0132] 由二进制元素 0 和 1（替换表示为 -1 和 1）组成的码元的汉明权重 (Hamming weight) 是由二进制元素组成的字内的非零（即 1）元素的数目。因此，对于映射到 16-QAM 码元的任何 4- 比特字而言，汉明权重可以为整数值 0（即，对于字“0000”）、整数值 1（即对于字“0010”）、整数值 2（即，对 于字“1010”）、整数值 3（即对于字“1110”）、或整数值 4（即，对于字“1111”）。偶数汉明权重值也被表示为“偶数汉明权重奇偶校验 (parity)”，奇数汉明权重值被表示为“奇数汉明权重奇偶校验”。

[0133] 由一个或多个二进制数字组成的两个码元之间的汉明距离是其中数字值的位置比较 (position-wise comparison) 不同的数字的数目。因此，字“0000”和“1111”具有汉明距离 4，因为所有的四个数字都具有不同值。字“1000”和“0010”具有汉明距离 2，因为从左边开始的第一和第三数字具有不同值。

[0134] 提出的 AICO 映射满足参考图 3 解释的下列属性：

[0135] a”) 具有第一汉明权重奇偶校验的所有字被明确地映射到图 3 中的虚线的或白色的调制码元。

[0136] b”) 具有第二汉明权重奇偶校验的所有字被明确地映射到图 3 中的虚线的或白色的调制码元。

[0137] c”) 上面两个属性是互补的，即，如果偶数汉明权重字被映射到虚线的调制码元，则奇数汉明权重字被映射到白色的调制码元。

[0138] d”) 第一星座码元旋转 180 度将产生传递第二字的第二星座码元，该第二字是第一星座码元传递的第一字的二进制补码。

[0139] 如可以在图 4 中看到的，16-QAM 星座中的每个码元具有两个、三个或四个最接近的相邻码元。因此，上面的前两个属性可以再形成如下的属性：

[0140] a〃）具有第一汉明权重奇偶校验的所有字被明确地映射到具有两个最接近的相邻码元或者具有四个最接近的相邻码元的调制码元。

[0141] b〃）具有第二汉明权重奇偶校验的所有字被明确地映射到具有三个最接近的相邻码元的调制码元。

[0142] 这些属性的值得注意的结果在于在一些情况下会违反最接近的相邻码元的 Gray 原则。因此，本发明提出的该映射也可以被称为非 Gray 映射。上面的 AICO 映射规则的最后一个属性意味着相对的 (antipodal) 星座码元携带二进制相反 (binary inverted) 的字。因此，该映射在本文件中被称为相对倒转的星座映射 (Antipodal Inverted Constellation Mapping) 或者 AICO 映射。非 Gray 特性的结果是特定比特选择的码元区域

的不同。

[0143] 图 9 到图 12 示出根据本发明实施例的、数据字的各个比特到复平面中的 16-QAM 星座的表示中的码元区域的示例对应；即，基于数据字中的相应比特的逻辑值选择相应码元区域之一。由此，图 9 到图 12 显现被映射到对应的 调制码元的四个数据比特的各个比特如何基于其逻辑值选择不同的码元区域之一。

[0144] 在图 9 到图 12 中，S_i^j 表示码元区域，其中 j 是表示要被映射的四个数据比特的数据比特编号 1、2、3 或 4 的上标，i 表示逻辑比特值 b 或其逆 (inverse)b，本领域技术人员将懂得在该通用表示中，数据字内的实际逻辑比特值 (0 或 1，或者替换地 -1 和 1) 或比特位置是无关的。

[0145] 在图 9 中，示出了四比特中的第一数据比特到两个垂直相连 (contiguous) 的码元区域 S_b^1 和 S_b^1 之一的示例对应。基于数据比特的逻辑值 b 或 b 选择两个码元区域之一。应当注意，对于两个比特的每一个存在两个相连码元区域 S_b^1 和 S_b^1。相应地，图 10 图示了四比特中的第二数据比特是如何被映射到两个横向相连码元区域 S_b^2 和 S_b^2 之一的。因此，四比特（数据字）中的两比特选择复平面中的 16-QAM 星座表示中的相连码元区域。

[0146] 此外，图 11 示出四比特中的第三数据比特对两个垂直不相连 (non-contiguous) 的码元区域 S_b^3 和 S_b^3 之一的示例选择，图 12 示出四比特中的第四个数据比特对两个横向不相连码元区域 S_b^4 和 S_b^4 之一的示例选择。因此，四比特（数据字）中的两个剩余比特选择复平面中的 16-QAM 星座表示中的不相连码元区域。

[0147] 应当注意，在图 9 到图 12 中，不要求选择图 9 中的两个相连码元区域 S_b^1 和 S_b^1 之一的“第一数据比特”等效于数据字的最高有效比特。同样，“数据字的第二、第三或第四比特”并非必须分别对应于数据字的第二、第三或第四比特。类似地，图 9 到图 12 中的码元区域的示例选择也不应该被解释为局限于数据字的两个最高有效比特选择图 9 和图 10 中所图示的相连码元区域中的相应一个码元区域，而数据字的两个最低有效比特选择图 11 和图 12 中示出的两个不相连码元区域中的相应一个码元区域，尽管这种实现是确定可能的。

[0148] 为了理解所提出的 AICO 映射方案相对于传统的 Gray 映射方案的区别，在图 13 到图 16 中给出了 Gray 方法的等效的对应码元区域。从图 13 到图 16 中可以认识到：对于数据字的四比特中的两比特而言，在 Gray 映射和 AICO 映射之间在码元区域方面没有区别。然而，对于剩余的两比特而言，码元区域是不同的。取决于逻辑比特值，在 Gray 映射中，使用来自相连区域的调制码元或来自不相连区域的调制码元；而在 AICO 映射中，总是使用来自两个不相连区域的调制码元。

[0149] 在之前讨论的 Chindapol 等的“Design, analysis, and performance evaluationfor BICM-ID with square QAM constellation in Rayleigh fading channels”中，介绍了包括它们各自的区域映射的 Gray 映射和其他映射。应当注意，在 Chindapol 等的文章中介绍的星座意图在该文章中介绍的迭代 (iterative) 解码方案中使用。应当注意，本发明在接收器处不要求迭代结构，并且因此允许在发送器和接收器使用简单硬件。

[0150] 如可从图 9 到图 12 中看到的，当考虑调制码元的垂直分离时，将调制码元排列成四列，每列四个调制码元，而当考虑调制码元的横向分离时，将调制码元排列成四行，每行四个调制码元。基于在图 9 到图 12 中示出的 16-QAM 星座的该示例说明，在上面的 a”）到

d”）中概述的映射可以替换地被再形成如下属性：

[0151] a）表示调制码元的四个数据比特中的第一数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域之一，这两个相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两行形成；

[0152] b）表示相应调制码元的四个数据比特中的第二数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个相连码元区域之一，这两个相连码元区域中的每一个由彼此相邻的两列形成；

[0153] c）表示相应调制码元的四个数据比特中的第三数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个不相连码元区域之一，这两个不相连码元区域中的每一个由彼此不相邻的两行形成；

[0154] d）表示相应调制码元的四个数据比特中的第四个数据比特基于其逻辑值选择 16-QAM 星座的两个不相连码元区域之一，这两个不相连码元区域中的每一个由彼此不相邻的两列形成。

[0155] 如上面已经简要解释的，如果在信号空间中相对于用于分集传输的第一版本来重排 16-QAM 星座的至少第二版本，Gray 映射的发送分集结构，例如在时域（ARQ、HARQ）中，具有优势。本发明的另一主要方面是在利用上面规定的 AICO 映射的发送分集情形中使用星座重排规则的定义。

[0156] 如前面已经提及的，16-QAM 星座中的每个点具有两个、三个、或四个最接近的相邻点（参见图 4，通过连接码元的线示例的东北象限中的码元）。

[0157] 下文中，d 表示 16-QAM 星座中的调制码元之间的最小欧几里得距离，并且一个轴表示调制码元的同相分量和正交分量，如图 3 中所图示的。相应 地，D 表示最小平方欧几里得距离，即 $d^2 = D$。因此，两个调制码元之间的最小平方欧几里得距离为 $(2d)^2$ 或者 4D。在假设第一星座版本遵循上面的 AICO 映射定义的情况下，可以观察到关于所涉及的汉明距离和（平方）欧几里得距离的下列属性。

[0158] 图 5 和图 6 示出了关于 AICO 映射的一维的汉明距离和平方欧几里得距离，即复信号空间的两维的每行或每列中的调制码元的汉明距离和平方欧几里得距离。本领域技术人员将懂得这样做是为了简便。通过分别增加每一维的汉明距离和平方欧几里得距离，这些距离属性可以容易地被扩展到两维 16-QAM 情况。在图 5 和图 6 中，变量 D 被用于标准化目的。通常，如果采用 16-QAM 星座，则将星座码元之间的距离标准化使得平均功率等于 1。因此，在该示例实施例中，D 将等于 1/10。

[0159] 下表示出单个版本 Gray 映射和 AICO 映射的距离简表（包括对于码元与其自身之间的距离的平凡情况（trivial case）的零距离）。

[0160]

汉明距离	Gray 映射：频率 × 平方欧几里得距离	AICO 映射：频率 × 平方欧几里得距离
0	16×0D	16×0D
1	48×4D,16×36D	32×4D,32×16D
2	36×8D,32×16D,24×40D, 4×72D	16×4D,16×8D,32×20D, 16×32D,16×36D
3	48×20D,16×52D	16×8D,16×20D,16×40D, 16×52D
4	16×32D	4×8D,8×40D,4×72D

[0161] 对具有特殊汉明距离的一对码元的平方欧几里得距离的出现频率进行计数，并且对于 16-QAM 星座的所有码元进行累加。因此，汉明距离零的情况出现 16 次，这是由于在

16-QAM 星座中存在 16 个特殊码元。

[0162] 当采用 Gray 映射的星座重排方案（如在本申请的开头介绍的）来发送两个版本时，对于每对码元将来自两个版本的距离进行组合。例如，在上表中，可以认识到：对于 Gray 映射，具有汉明距离 1 的两个码元可以具有 4D 或 36D 的平方欧几里得距离。由于两个版本都采用 Gray 映射，对于第一版本和第二版本都是这样，因此组合距离 8D（＝ 4D+4D）、40D（＝ 36D+4D ＝ 4D+36D）、或 72D（＝ 36D+36D）是可能的。然而，Gray 映射的星座重排概念的较接近 检验揭示使用两个版本只有组合距离 8D 或 40D 是可能的。总的来说，对于所有码元对组合来自两个版本的距离导致在下表中给出的距离属性。

[0163]

汉明距离	Gray 映射 频率 × 平方欧几里得距离
0	16×0D
1	32×8D,32×40D
2	16×16D,32×32D,32×48D,16×80D
3	32×40D,32×72D
4	16×64D

[0164] 从上表中可以认识到，在使用 Gray 映射的星座重排方案之后，不存在明确的距离分配，这是由于对于给定的汉明距离可能存在几个作为结果的平方欧几里得距离。然而，当使用 AICO 映射时，如下面将例示的，当将使用下列一组星座重排规则的 AICO 星座的两个版本进行组合时，明确的距离分配是可能的。

[0165] 1. 重排在第一版本中具有两个最接近的相邻码元的 16-QAM 星座的调制码元，使其在第二版本中具有四个最接近的相邻码元；

[0166] 2. 重排在第一版本中具有三个最接近的相邻码元的 16-QAM 星座的调制码元，使其在第二版本中具有三个最接近的相邻码元；

[0167] 3. 重排在第一版本中具有四个最接近的相邻码元的 16-QAM 星座的调制码元，使其在第二版本中具有两个最接近的相邻码元。

[0168] 可以替换地定义这些重排规则如下：

[0169] 1. 在第一版本中具有汉明距离 1

[0170] a) 和平方欧几里得距离 4D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 16D，

[0171] b) 和平方欧几里得距离 16D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 4D；

[0172] 2. 在第一版本中具有汉明距离 2

[0173] a) 和平方欧几里得距离 4D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 36D，

[0174] b) 和平方欧几里得距离 36D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 4D，

[0175] c) 和平方欧几里得距离 8D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 32D，

[0176] d) 和平方欧几里得距离 32D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 8D，

[0177] e) 和平方欧几里得距离 20D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 20D；

[0178] 3. 在第一版本中具有汉明距离 3

[0179] a) 和平方欧几里得距离 8D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 52D，

[0180] b) 和平方欧几里得距离 52D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 8D，

[0181] c) 和平方欧几里得距离 20D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 40D，

[0182] d) 和平方欧几里得距离 40D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 20D；

[0183] 4. 在第一版本中具有汉明距离 4

[0184] a) 和平方欧几里得距离 8D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 72D，

[0185] b) 和平方欧几里得距离 72D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 8D，

[0186] c) 和平方欧几里得距离 40D 的两个调制码元在第二版本中具有平方欧几里得距离 40D。

[0187] 在该文件中，根据上面的规则彼此相关的 AICO 映射（或 Gray 映射）的两个版本将被称为 AICO（或 Gray）分集排列映射或版本。在分集排列版本中如何根据上面规则重排码元的图形表示将被称为“重排模式”。

[0188] 根据本发明实施例提出的示例重排模式可以使得两个信号点在第一和第二版本之间交换它们的位置，如例如在图 17 中所图示的。应当注意，在图 17 中，四个调制码元在重排的星座中保持它们的位置，即与它们自己交换它们的位置。替换地，在本发明的另一实施例中，重排模式可以是如图 18 中所示的方向。

[0189] 当使用遵循上面定义的重排规则的、第一和第二传输的 AICO16-QAM 星座的两个分集排列版本时，应当注意：由于星座的相对属性 (antipodalproperty)，重排模式关于原点对称。

[0190] 在图 19 和图 20 中示出了根据上面定义的规则的 AICO 映射的重排星座版本的示例，其图示了分别在图 7 和图 8 中示出的 AICO 星座的重排版本。因此，图 7 和图 19 表示两个分集排列版本，同样，图 8 和图 20 也表示两个分集排列版本。

[0191] 根据上面的这组重排规则，通过计算机辅助搜索已经发现了八个不同的可能的重排模式。在图 23 至图 30 中给出了这些模式。应当注意，图 17 和图 18 分别等效于图 28 和图 27。在图 23 至图 30 中，箭头指示与 AICO 16-QAM 星座的第一版本的码元相对应的哪个数据字标识第二重排版本中的 16-QAM 星座的哪一个码元。这八个示例解决方案中的每一个都满足对上面定义的重排属性的要求。从性能观点上看，这八个解决方案是等效的。

[0192] 在下表中总结了将用于两个 Gray 版本和用于两个 AICO 版本的两个分集排列版本的距离进行组合的结果。

[0193]

汉明距离	Gray 映射：频率 × 平方欧几里得距离	AICO 映射：频率 × 平方欧几里得距离
0	16×0D	16×0D
1	32×8D,32×40D	64×20D
2	16×16D,32×32D,32×48D, 16×80D	96×40D
3	32×40D,32×72D	64×60D
4	16×64D	16×80D

[0194] 上表例示了具有特定汉明距离的一对码元的平方欧几里得距离在第一和第二星座版本中出现的频率、该频率被计数且对于 16-QAM 星座的所有点进行累加。

[0195] 所提出的结构的优点已经被数字 Monte Carlo 仿真证明。在图 21 中示出的仿真结果图示：当采用利用不同星座的数据字的两次传输时，在分别使用 Gray 映射和 AICO 映射的 AWGN 环境下，未编码信号的比特误码率性能的比较。已经通过用于调制码元的每个比特的非常简单的单级 LLR- 计算器、以及随后的分集传输 / 接收中的对应比特的 LLR 的组合、接着取决于该合成组合 LLR 的符号的硬件判定获得了在该图中示出的结果。

[0196] 图 22 示出了根据本发明实施例的、使用发送天线分集与上面提出的 AICO 星座重排方案的发送装置的简化方框图。每个 4- 比特字被用作对两个不同的分集分支的输入，这两个不同的分集分支可以（优选地）采用在几个 4- 比特字的块上进行交织的独立的字。随后，采用两个不同 AICO 映射，它们被映射到复码元上，其示出如在前面的部分中所概述的关系。这些信号中的每一个然后被传递到发送天线结构。

[0197] 应当注意，本发明可以采用任何类型的分集方案。将在下面更详细地描述根据本发明实施例的另一示例发送器结构和接收器结构。

[0198] 图 31 示出了根据本发明一个实施例的发送装置 3101 和接收装置 3110。在发送装置 3101 中，从较高层提供输入数据流。输入数据流可以是例如来自正在进行的语音通信或任何类型的数据通信的语音。优选地，输入数据流可以在采用前向纠错的编码器 3102 中被编码。例如，编码器 3102 可以是卷积编码器、turbo 编码器、或块编码器。

[0199] 优选地，输入数据流在被提供给交织器 3103 和 3104 之前可以被分离为两个分集分支，所述交织器 3103 和 3104 彼此不依赖地交织各个流、或采用同一交织方案交织各个流。交织器 3103 和 3104 分别输出到 16-QAM 映射部件 3105 和 3106，在 16-QAM 映射部件 3105 和 3106 中，流的数据比特以四比特（四元）为单元映射到 16 个调制码元中的一个调制码元。如上所解释的，16-QAM 映射部件 3105 和 3106 使用如上所述的第一和第二重排 AICO16-QAM 星座（分集排列映射），其中，第二星座版本是遵循之前描述的重排规则的第一星座版本的重排版本。

[0200] 为了示例目的，在图 31 中示出的本发明实施例中采用了频率分集方案。因此，部分 3107 和 3108 将 16-QAM 映射部件 3105 和 3106 输出的调制码元分别映射到不同的载波频率 f_i 和 f_j。调制信号被提供到发送器 3109，发送器 3109 将信号发送到接收装置 3110。

[0201] 在本发明的另一实施例中，对于发送分集，可以采用多于两个版本。例如，可以使用三个版本来发送数据，其中，第一版本和第二版本是 AICO 分集排列映射，第三版本相对于所使用的第一版本或第二版本没有特定的关系。然后，第四版本可以与第三版本一起形成两个新的 AICO 分集排列版本。然而，第三版本和第四版本之间的关系（即，重排模式）可以与第一版本和第二版本之间的关系不同。

[0202] 例如，第一版本和第二版本之间的重排模式可能是双向的，而第三版本和第四版

本之间的重排模式可能是单向的。即使两个模式示出相同的“方向性”，它们可能在其细节上有所不同。

[0203] 在下表中示出了采用如上所述的四个Gray星座映射和四个AICO星座版本的分集传输的示例距离统计。

[0204]

汉明距离	Gray映射：频率 × 平方欧几里得距离	AICO映射：频率 × 平方欧几里得距离
0	16×0D	16×0D
1	64×48D	64×40D
2	32×64D,64×96D	96×80D
3	64×112D	64×120D
4	16×128D	16×160D

[0205] 在该文件中例示的不同的距离属性的表中，已经列出了：对于两个调制码元之间的不同汉明距离，某个平方欧几里得距离每隔多久地出现的频率。为此，评估所有信号点与所有信号点的差异。结果，存在总共16×16 = 256个距离值，其也通过累加所有列出的频率加和而获得。由于一点与其自身之间的汉明距离和平方欧几里得距离都为0，并且在星座内具有总共16个特殊调制码元，所以16次确切地获得欧几里得距离和汉明距离值0。类似地，对于汉明距离1，频率之和总是为64；对于汉明距离2，频率之和总是为96；对于汉明距离3，频率之和总是为96；对于汉明距离4，频率之和总是为16。

[0206] 对本领域技术人员而言，显然到目前为止的描述参考如在图1中示出的、用于16-QAM星座的表示的AICO映射的实轴和虚轴。在考虑图例如在图2中示出的旋转的星座的情况下，正交轴将必须同样地旋转。具体地，术语“行”和“列”，如到目前为止它们被使用的，将必须分别被解释为旋转的“行”和“列”。

[0207] 现在返回图31，现在将更详细地描述接收装置结构。根据本发明的一个实施例，接收装置3110的接收器3111接收发送装置3101分别以频率 f_i 和 f_j 发送的信号。接收的信号分别被输出到解调器3112和3113，解调器3112和3113检测相应信号中的各个调制码元。换句话说，解调器将根据第一16-QAM星座的、以不同频率发送的不同的分集分支与发送装置3101使用的第二重排16-QAM星座相关联。明显地，接收装置3110需要被通知或知道发送装置使用的码元映射，从而能够将调制比特的映射倒退回数据字（四比特）。

[0208] 解调器3112和3113还将数据字的每个比特与允许重构所接收的数据字的各个数据比特的逻辑值的度量相关联。对于数据字中的每一数据比特的该度量的内容依赖于所使用的解码策略，如将在下面进一步详细描述的。解调器3112和3113还可以知道或可以被通知发送装置3101处的交织器3103和3104使用的交织方案（例如，通过预先定义交织模式或通过利用控制信令）。数据字，各个数据比特的度量被提供到数据比特流重构部件3114，该数据比特流重构部件3114基于与两个分集分支的各个比特相关联的度量将来自两个分集分支的数据比特对进行组合。

[0209] 如果输入数据比特流已经在传输侧编码，则接收装置3110还包括用于解码数据比特流重构部件3114提供的数据流的解码器3115。

[0210] 应当注意，接收装置3110的各组件的结构将依赖于在单独的接收装置3110中采用的解调/解码方案。对于发送装置发送的原始输入数据比特流的正确重构而言，重要的是：接收装置3110能够提供调制码元到数据字的逆映射，以便将不同分集分支的数据字中

的数据比特或每个数据字相关联。

[0211] 取决于接收器装置策略，与数据字中的各比特相关联的度量可能具有不同的度量内容。例如，如果使用软值 (soft-values) 执行解码，则度量可以指示一个或多个概率值，所述概率值指示单独的数据比特是具有逻辑值 -1 还是 1 的概率。为此目的，该度量可以是例如对数似然率 (LLR)，其如下定义：

[0212] $$LLR(x_i) = \log \frac{p(x_i = 1)}{p(x_i = 0)}$$

[0213] 其中，$p(x_i = 1)$ 是比特 x_i 等于逻辑值 1 的概率，而 $p(x_i = 0)$ 是比特 x_i 等于逻辑值 -1 的概率。因此，LLR 的符号直接指示比特 x_i 的逻辑值，而 LLR 的绝对值直接指示判定的确定性。当在接收装置处利用 LLR 工作时，所重构的数据比特可以从数据比特对（根据两个分集分支的数据比特及其重复）——例如——通过将数据比特对的数据比特的 LLR 简单地相加来重构，并且所重构的数据比特的逻辑值可以基于 LLR 的和的符号来确定。

[0214] 图 32 图示来自频率 f_i 和 f_j 的接收信号的数据比特流 r^i_1、r^i_2、r^i_3、r^i_4、... 和 r^j_1、r^j_2、r^j_3、r^j_4、... 的重构。这些流可以由分别为码元 (I_i, Q_i) 和 (I_j, Q_j) 测量的、它们的同相分量和正交分量 I_i 与 Q_i 以及 I_j 与 Q_j 表示。码元 (I_i, Q_i) 和 (I_j, Q_j) 中的每一个使用 AICO 16-QAM 星座的第一版本和其重排的第二版本分别映射到四比特 x_1^i、x_2^i、x_3^i、x_4^i 或 x_1^j、x_2^j、x_3^j、x_4^j，指示对于每个码元 (I_i, Q_i) 和 (I_j, Q_j) 的对应的四比特。基于码元分量 (I_i, Q_i) 和 (I_j, Q_j) 的实际值以及 16-QAM 星座中到调制码元的作为结果的（平方欧几里得）距离，可以将比特 x_1^i、x_2^i、x_3^i、x_4^i 和 x_1^j、x_2^j、x_3^j、x_4^j 中的每一个与 LLR--$LLR(x_1^i)$、$LLR(x_2^i)$、$LLR(x_3^i)$、$LLR(x_4^i)$ 和 $LLR(x_1^j)$、$LLR(x_2^j)$、$LLR(x_3^j)$、$LLR(x_4^j)$-- 相关联，所述 LLR 指示相应比特等于逻辑值 -1 或 1 的确定性。接下来，由连续的四比特 x_1^i、x_2^i、x_3^i、x_4^i 和 x_1^j、x_2^j、x_3^j、x_4^j 形成的比特流可以被去交织，并且检测属于同一流的数据比特。接下来，可以通过组合相关联的数据比特（比特对）的 LLR 来构建重构的数据比特流 r_1、r_2、r_3、r_4。

[0215] 当在接收装置 3110 处利用硬判定工作时，度量可以直接指示相应数据比特的逻辑值。而且，在该情况下，用于重构（所传输的）数据比特流的数据比特对的组合可以简单地将该比特对的数据比特的度量相加。使用软判定的组合也是可能的，即，在对该数据比特对的数据比特的逻辑值求和之前，可以使用指示检测各个逻辑值的确定性的概率值来加权。

[0216] 本发明的另一实施例涉及使用硬件和软件来实现上面描述的各实施例。认识到：可以使用例如通用处理器、数字信号处理器 (DSP)、专用集成电路 (ASIC)、现场可编程门阵列 (FPGA) 或其他可编程逻辑器件等的计算器件来实现或执行各种上述方法以及上述各种逻辑块、模块或电路。还可以由这些器件的组合来执行或实现本发明的各实施例。

[0217] 此外，还可以利用由处理器执行的软件模块或直接以硬件来实现本发明的各实施例。软件模块和硬件实现的组合也是可能的。软件模块可以存储在任何类型的计算机可读存储介质上，例如 RAM、EPROM、EEPROM、闪存、寄存器、硬盘、CD-ROM、DVD 等。

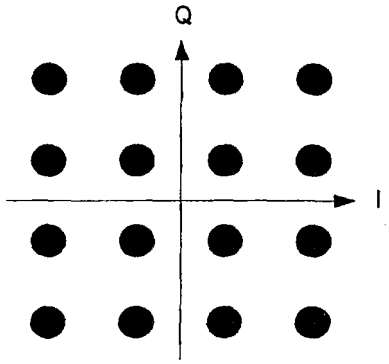


图 1

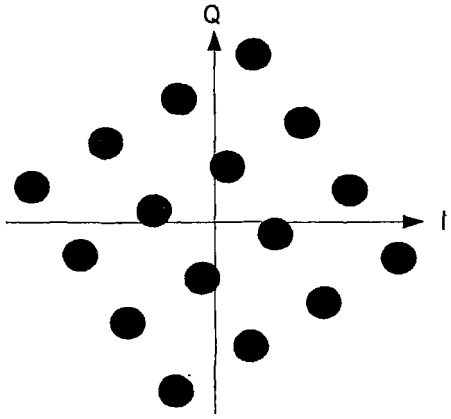


图 2

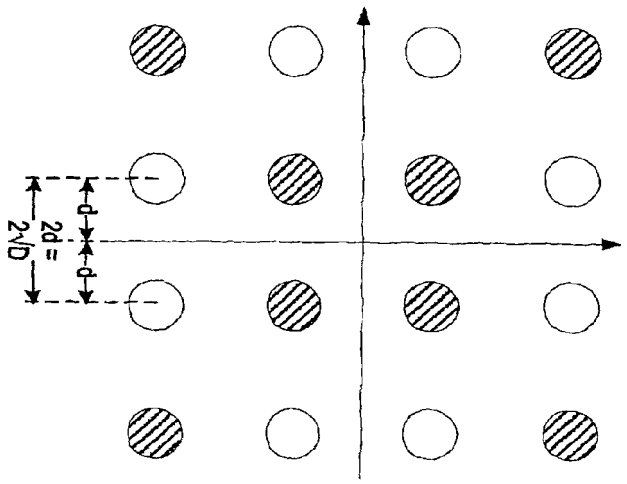


图 3

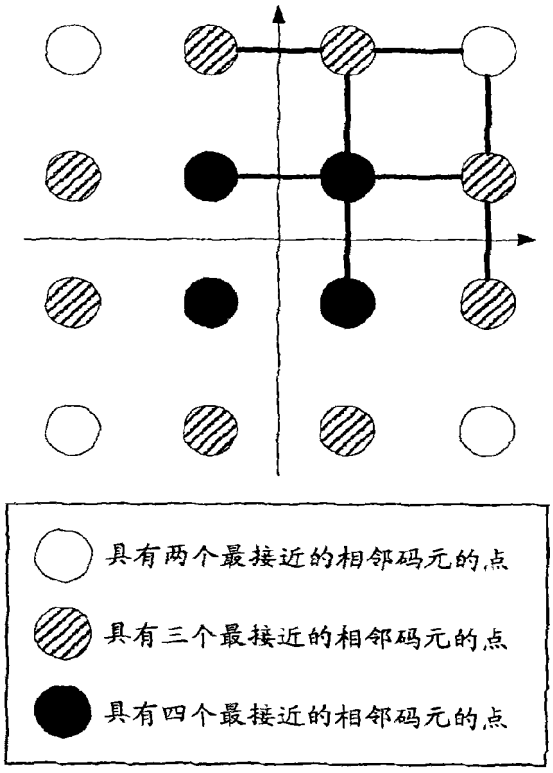
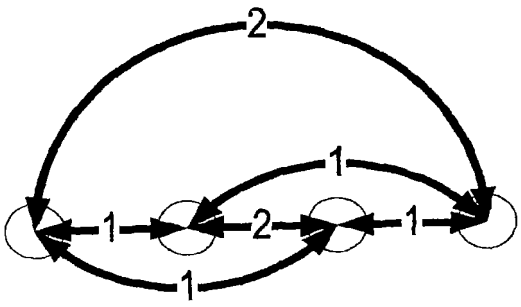
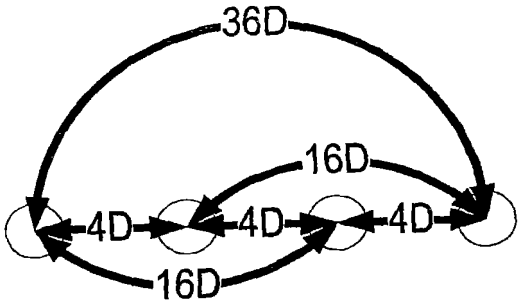


图 4



汉明距离

图 5



平方欧几里得距离

图 6

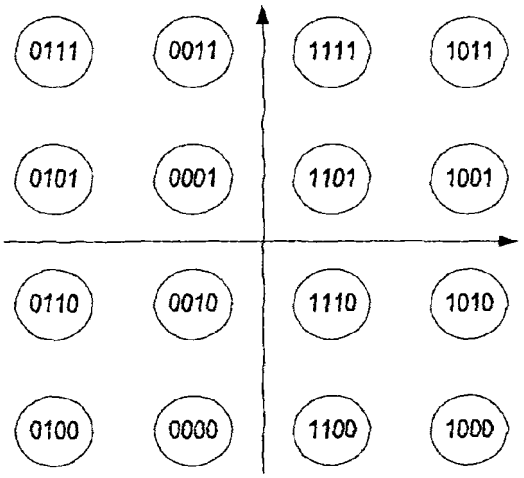

0111
0011
1111
1011
0101
0001
1101
1001
0110
0010
1110
1010
0100
0000
1100
1000

图 7

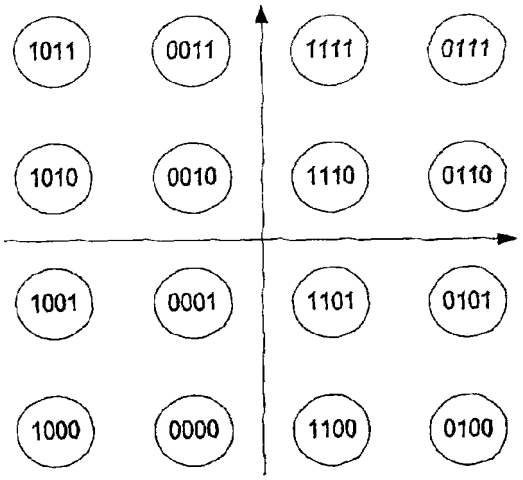

1011
0011
1111
0111
1010
0010
1110
0110
1001
0001
1101
0101
1000
0000
1100
0100

图 8

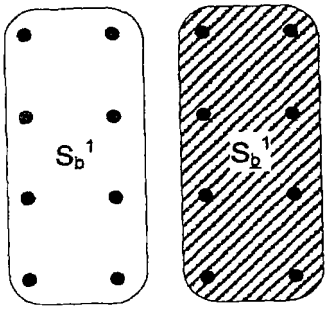


图 9

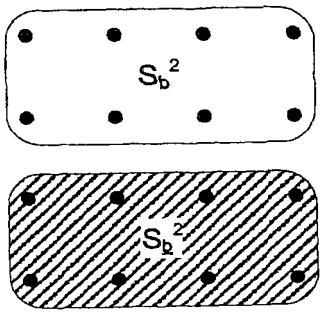


图 10

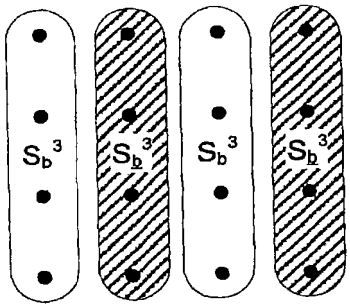


图 11

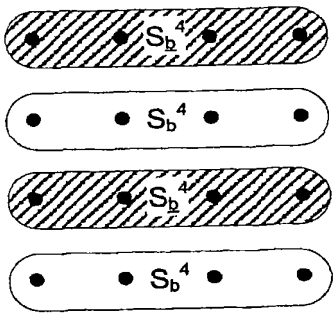


图 12

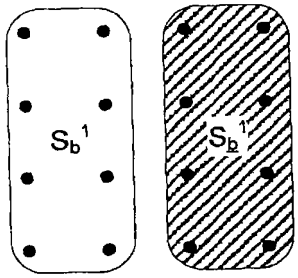


图 13

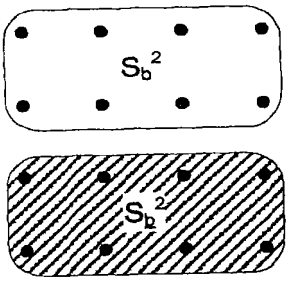


图 14

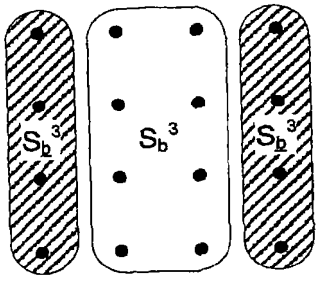


图 15

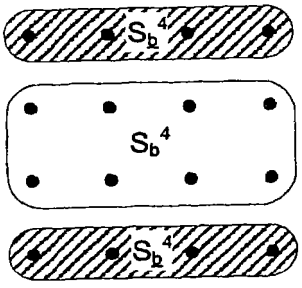


图 16

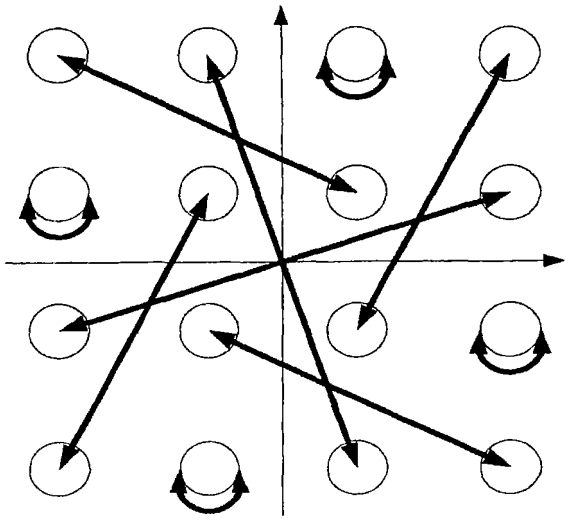


图 17

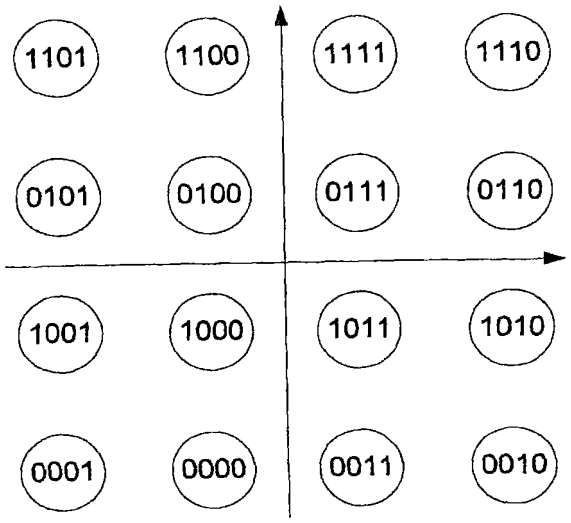


图 19

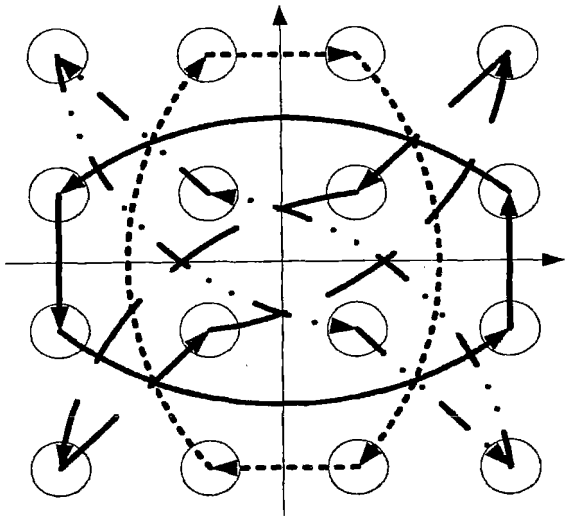


图 18

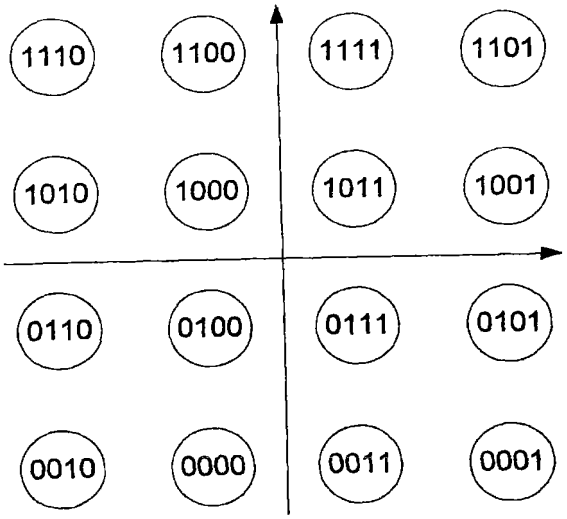


图 20

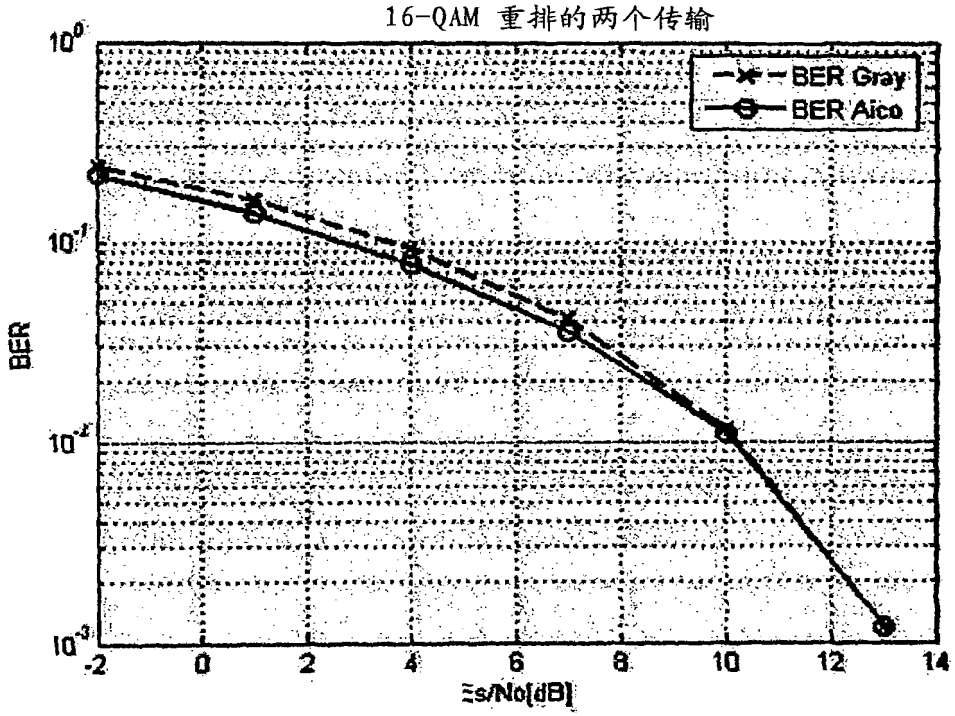

16-QAM 重排的两个传输
BER Gray
BER Aico
BER
Es/No[dB]

图 21

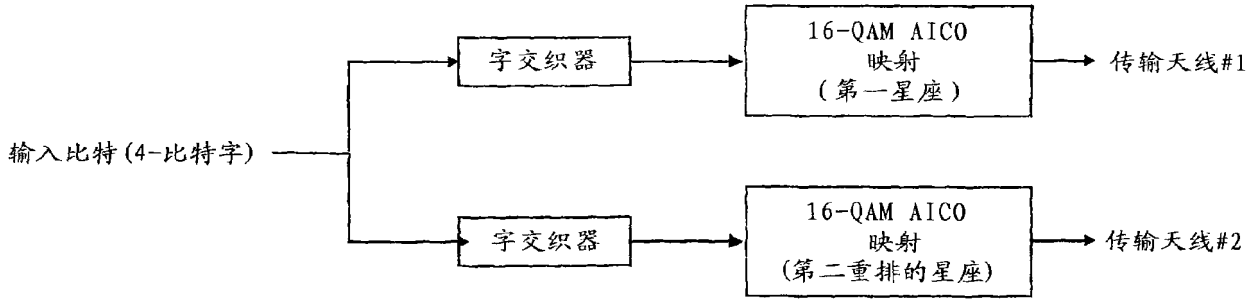

输入比特(4-比特字)
字交织器
字交织器
16-QAM AICO
映射
(第一星座)
16-QAM AICO
映射
(第二重排的星座)
传输天线#1
传输天线#2

图 22

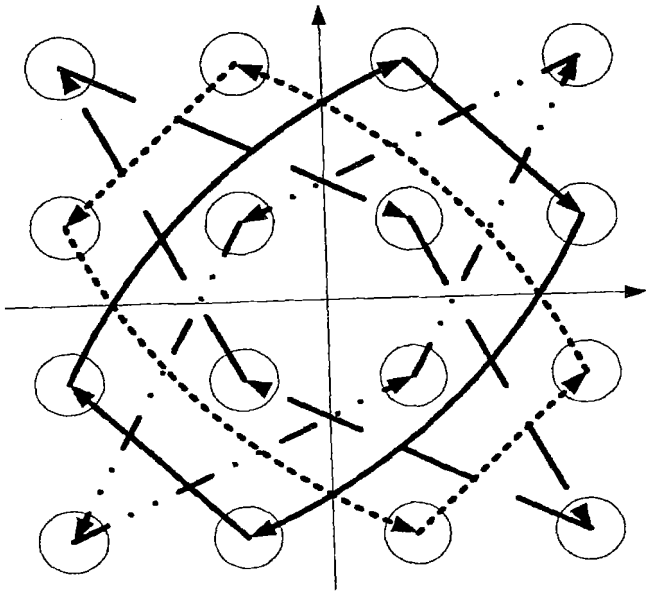


图 23

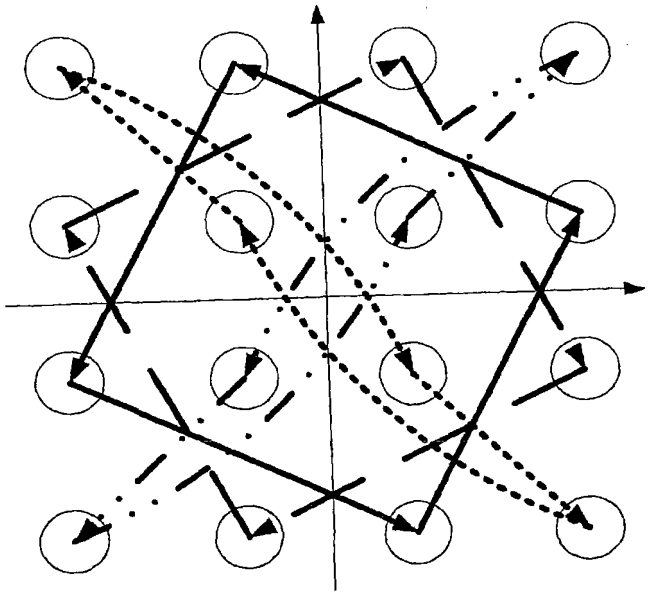


图 24

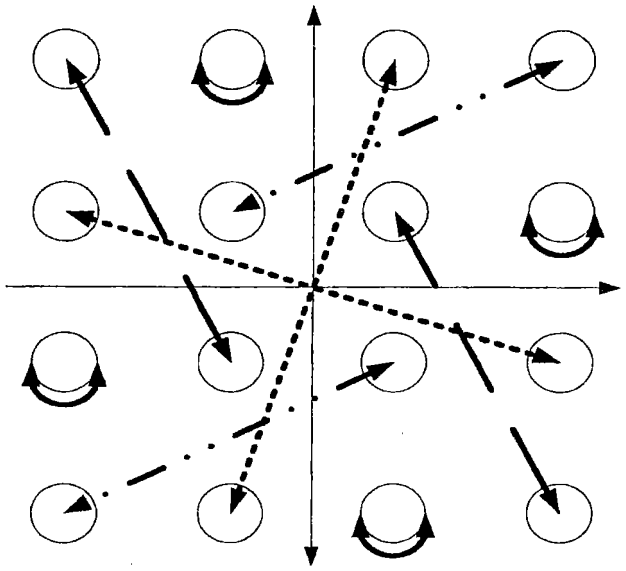


图 25

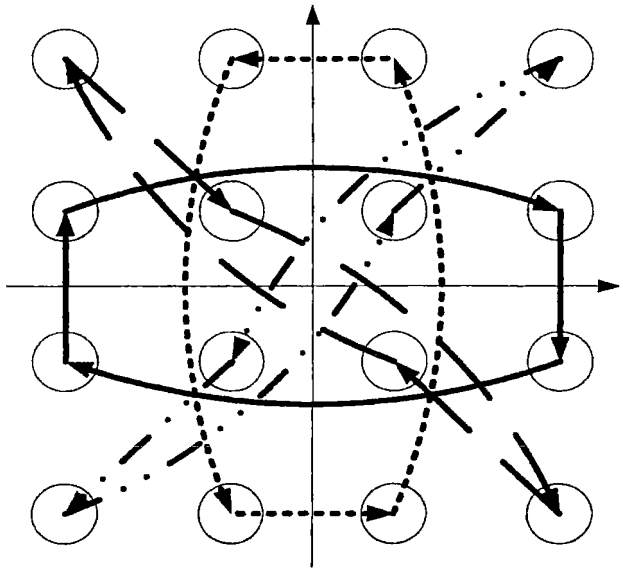


图 26

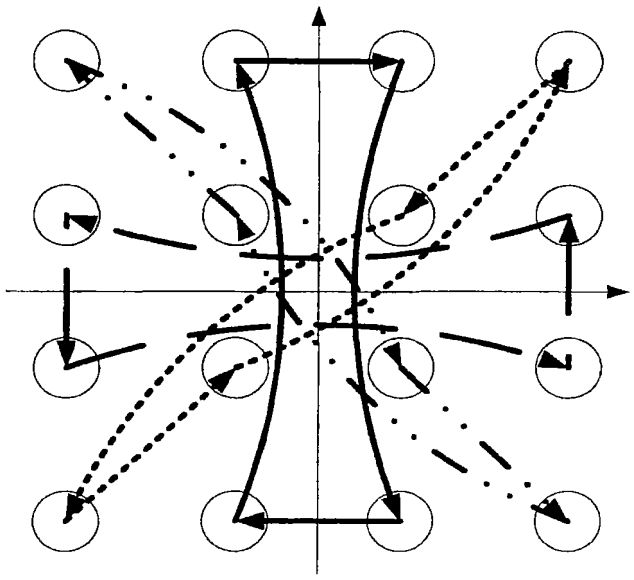


图 27

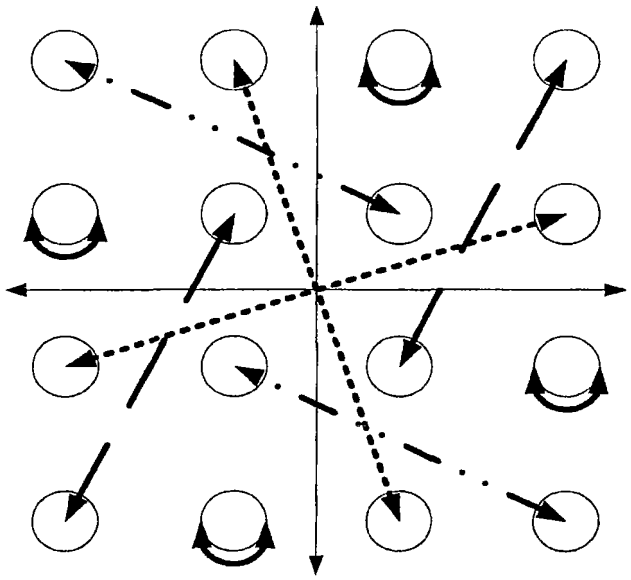


图 28

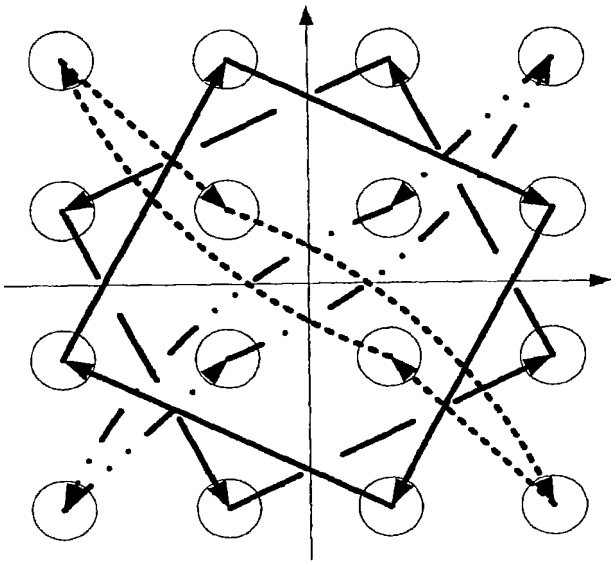


图 29

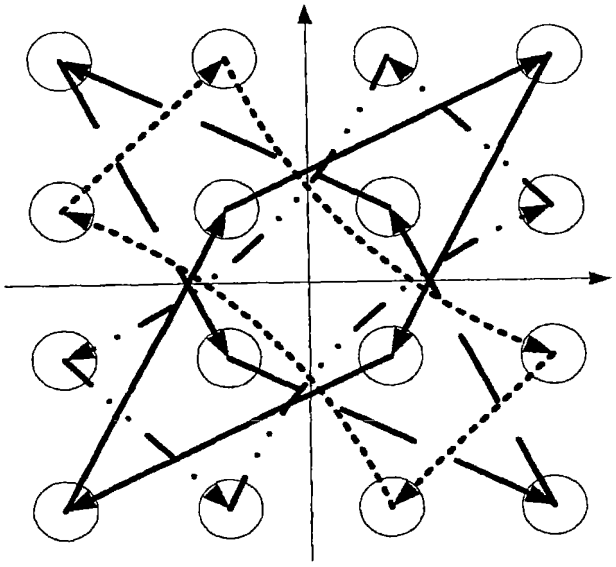


图 30

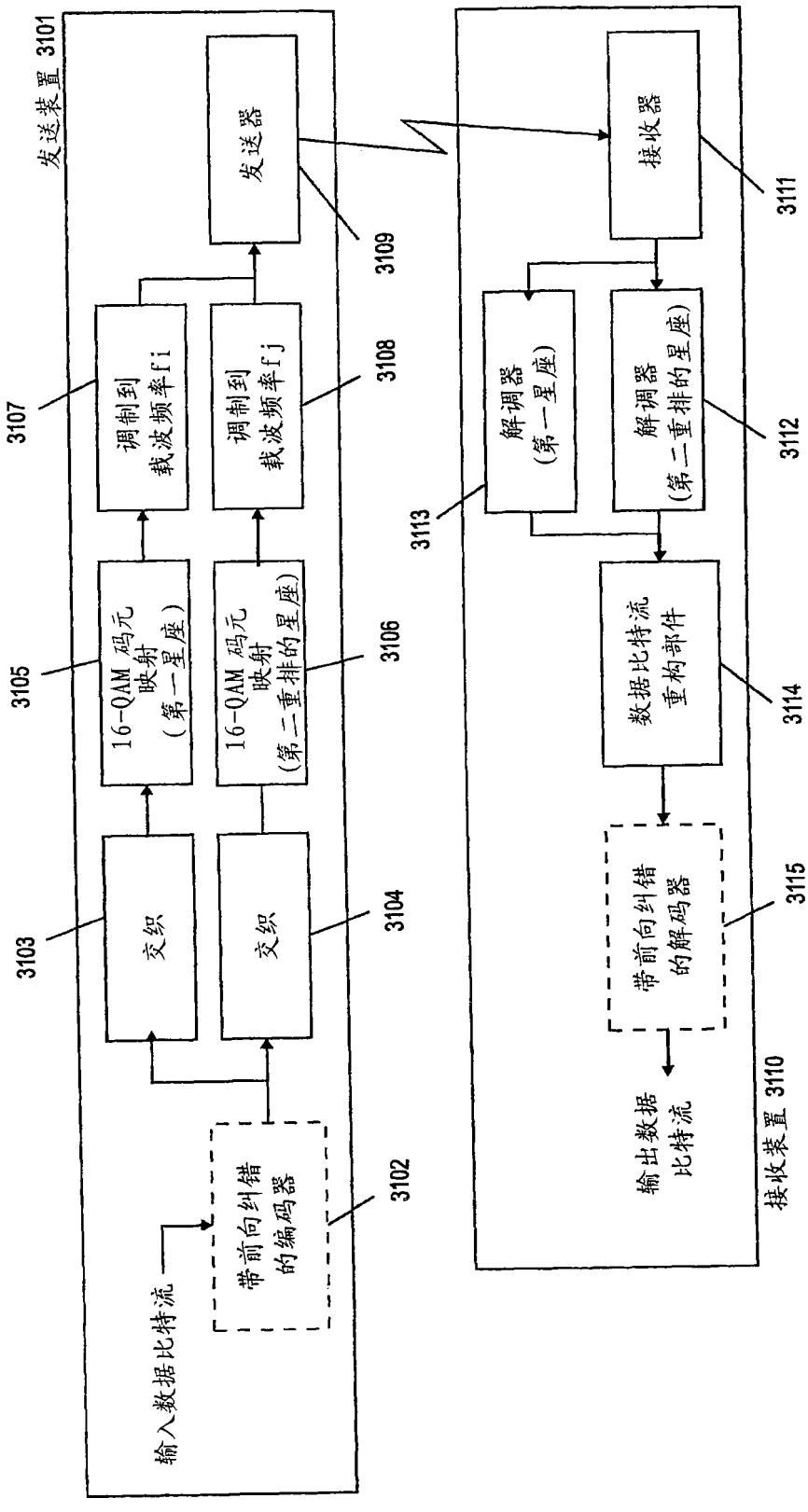

发送装置 3101
输入数据比特流
带前向纠错的编码器
3102
交织
3103
交织
3104
16-QAM 码元映射（第一星座）
3105
16-QAM 码元映射（第二重排的星座）
3106
调制到载波频率 fi
3107
调制到载波频率 fj
3108
发送器
3109
接收装置 3110
接收器
3111
解调器（第一星座）
3113
解调器（第二重排的星座）
3112
数据比特流重构部件
3114
带前向纠错的解码器
3115
输出数据比特流

图 31

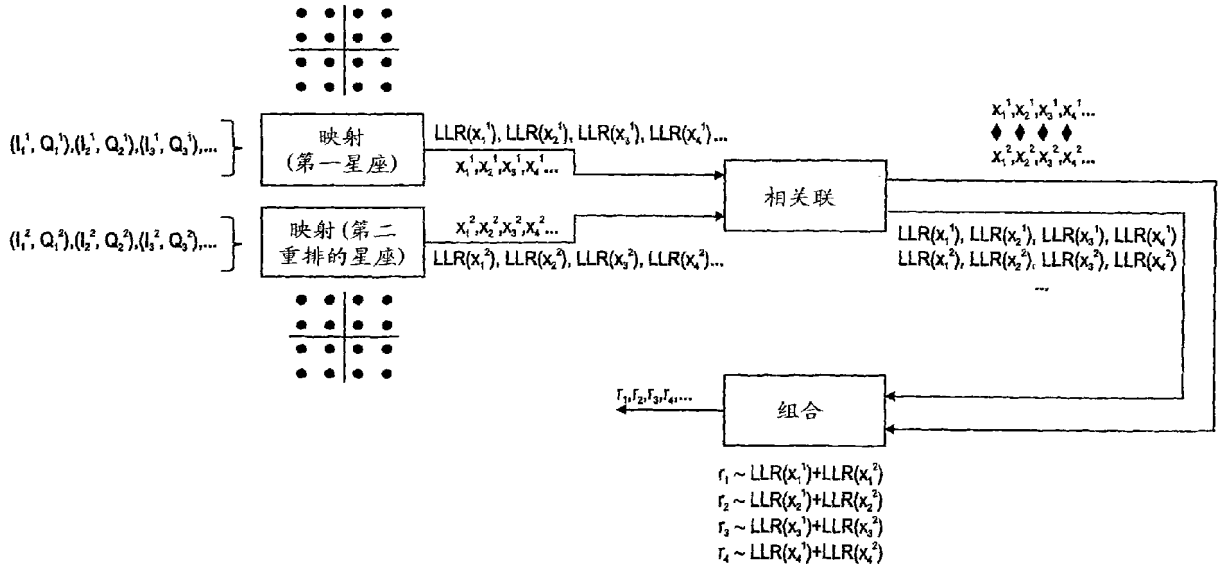

$(I_1^1, Q_1^1),(I_2^1, Q_2^1),(I_3^1, Q_3^1),...$
$(I_1^2, Q_1^2),(I_2^2, Q_2^2),(I_3^2, Q_3^2),...$
映射
(第一星座)
映射(第二
重排的星座)
$LLR(x_1^1), LLR(x_2^1), LLR(x_3^1), LLR(x_4^1)...$
$x_1^1,x_2^1,x_3^1,x_4^1...$
$x_1^2,x_2^2,x_3^2,x_4^2...$
$LLR(x_1^2), LLR(x_2^2), LLR(x_3^2), LLR(x_4^2)...$
相关联
$x_1^1,x_2^1,x_3^1,x_4^1...$
$x_1^2,x_2^2,x_3^2,x_4^2...$
$LLR(x_1^1), LLR(x_2^1), LLR(x_3^1), LLR(x_4^1)$
$LLR(x_1^2), LLR(x_2^2), LLR(x_3^2), LLR(x_4^2)$
...
组合
$r_1,r_2,r_3,r_4...$
$r_1 \sim LLR(x_1^1)+LLR(x_1^2)$
$r_2 \sim LLR(x_2^1)+LLR(x_2^2)$
$r_3 \sim LLR(x_3^1)+LLR(x_3^2)$
$r_4 \sim LLR(x_4^1)+LLR(x_4^2)$

图 32