

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2025 年 1 月 16 日 (16.01.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/010964 A1

- (51) 国际专利分类号:
H04L 27/26 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/142030
- (22) 国际申请日: 2023 年 12 月 26 日 (26.12.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202310829812.6 2023年7月7日 (07.07.2023) CN
- (71) 申请人: 中国电信股份有限公司技术创新中心 (**CHINA TELECOM CORPORATION LIMITED TECHNOLOGY INNOVATION CENTER**) [CN/CN]; 中国北京市昌平区北七家镇未来科

技城南区中国电信北京信息科技创新园 11 层 1118 室、1116 室, Beijing 102209 (CN)。中国电信股份有限公司(**CHINA TELECOM CORPORATION LIMITED**) [CN/CN]; 中国北京市西城区金融大街 31 号, Beijing 100033 (CN)。

- (72) 发明人: 袁超颖(**YUAN, Chaoying**); 中国北京市西城区金融大街 31 号, Beijing 100033 (CN)。白景鹏(**BAI, Jingpeng**); 中国北京市西城区金融大街 31 号, Beijing 100033 (CN)。沈军(**SHEN, Jun**); 中国北京市西城区金融大街 31 号, Beijing 100033 (CN)。
- (74) 代理人: 华进联合专利商标代理有限公司 (**ADVANCE CHINA IP LAW OFFICE**); 中国广东省广州市天河区珠江东路 6 号 4501 房 (部

(54) **Title:** OFDM SIGNAL DEMODULATION METHOD AND APPARATUS, AND COMPUTER DEVICE AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: OFDM 信号的解调方法、装置、计算机设备和存储介质

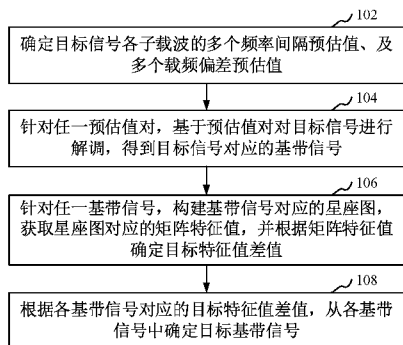


图 1

- 102 Determine a plurality of estimated frequency interval values of sub-carriers of a target signal, and a plurality of estimated carrier deviation values of same
- 104 For any pair of estimated values, demodulate the target signal on the basis of the pair of estimated values, so as to obtain baseband signals corresponding to the target signal
- 106 For any baseband signal, construct a constellation diagram corresponding to the baseband signal, acquire a matrix feature value corresponding to the constellation diagram, and determine a target feature value difference value according to the matrix feature value
- 108 Determine a target baseband signal from the baseband signals according to the target feature value difference values corresponding to the baseband signals

(57) **Abstract:** The present application relates to an OFDM signal demodulation method and apparatus, and a computer device and a storage medium. The method comprises: determining a plurality of estimated frequency interval values of sub-carriers of a target signal, and a plurality of estimated carrier deviation values of same (S102); for any pair of estimated values, demodulating the target signal on the basis of the pair of estimated values, so as to obtain baseband signals corresponding to the target signal (S104); for any baseband signal, constructing a constellation diagram corresponding to the baseband signal, acquiring a matrix feature value corresponding to the constellation diagram, and determining a target feature value difference value according to the matrix feature value (S106); and determining a target baseband signal from the baseband signals according to the target feature value difference values corresponding to the baseband signals (S108).

(57) **摘要:** 本申请涉及一种 OFDM 信号的解调方法、装置、计算机设备和存储介质。所述方法包括: 确定目标信号各子载波的多个频率间隔预估值、及多个载频偏差预估值 (S102); 针对任一预估值对, 基于预估值对对目标信号进行解调, 得到目标信号对应的基带信号 (S104); 针对任一基带信号, 构建基带信号对应的星座图, 获取星座图对应的矩阵特征值, 并根据矩阵特征值确定目标特征值差值 (S106); 根据各基带信号对应的目标特征值差值, 从各基带信号中确定目标基带信号 (S108)。

位：自编01-03和08-12单元）（仅限办公用途），Guangdong 510623 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

OFDM 信号的解调方法、装置、计算机设备和存储介质

相关申请

本申请要求 2023 年 07 月 07 日提交的，申请号为 2023108298126，名称为“OFDM 信号的解调方法、装置、计算机设备和存储介质”的中国专利申请的优先权，在此将其全文引入作为参考。

技术领域

本申请涉及通信领域，特别是涉及一种 OFDM 信号的解调方法、装置、计算机设备和存储介质。

背景技术

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 正交频分复用) 技术是一种通过多个正交的子载波传递信息的技术，接收端通过对接收到的信号进行逆傅里叶变换，再根据各个子载波之间的频率间隔对信号进行解调得到在各个子载波上传递的信息。而在非协作通信的场景下，由于载频偏差的干扰以及无法得知子载波之间的精确频率间隔，对 OFDM 信号进行解调较为困难。

发明内容

第一方面，本申请提供了一种 OFDM 信号的解调方法。所述方法包括：

确定目标信号各子载波的多个频率间隔预估值、及多个载频偏差预估值；

针对任一预估值对，基于所述预估值对对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，所述预估值对由任一所述频率间隔预估值及任一所述载频偏差预估值组成；

针对任一所述基带信号，构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的矩阵特征值，并根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值；

根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号。

在其中一个实施例中，所述基带信号由多个发送值组成，所述基于所述预估值对对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，包括：

获取所述目标信号在多个时刻对应的接收值、及获取所述目标信号对应的子载波数量；

针对任一所述接收值，根据所述子载波数量及所述预估值对，确定所述接收值对应的发送值。

在其中一个实施例中，所述构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的矩阵特征值，包括：

根据所述目标信号对应的各所述发送值构建星座图，所述星座图中的星座点与所述发送值一一对应；

针对所述星座图中的任意两个所述星座点，根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重；

根据各所述星座点之间的连接边权重，构建所述星座图对应的权重矩阵；

根据所述权重矩阵，构建所述星座图对应的拉普拉斯矩阵，并将所述拉普拉斯矩阵的特征值作为所述矩阵特征值。

在其中一个实施例中，所述根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重，包括：

基于两个所述星座点在所述星座图中的坐标及噪声功率参数，通过高斯核函数构建两个所述星座点之间的连接边权重。

在其中一个实施例中，所述根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值，包括：

对各所述矩阵特征值由大至小进行排序，获得特征值队列；

确定所述特征值队列中每两个相邻的所述矩阵特征值之间的差值，并将各所述差值中，最大的所述差值作为所述目标特征值差值。

在其中一个实施例中，所述根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号，包括：

将各所述目标特征值差值中，最大的所述目标特征值差值对应的所述基带信号，作为所述目标基带信号。

第二方面，本申请还提供了一种 OFDM 信号的解调装置。所述装置包括：

第一确定模块，用于确定目标信号各子载波的多个频率间隔预估值、及多个载频偏差预估值；

解调模块，用于针对任一预估值对，基于所述预估值对对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，所述预估值对由任一所述第一预估值及任一所述第二预估值组成；

构建模块，用于针对任一所述基带信号，构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的矩阵特征值，并根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值；

第二确定模块，用于根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号。

在其中一个实施例中，所述基带信号由多个发送值组成，所述解调模块，还用于：

获取所述目标信号在多个时刻对应的接收值、及获取所述目标信号对应的子载波数量；

针对任一所述接收值，根据所述子载波数量及所述预估值对，确定所述接收值对应的发送值。

在其中一个实施例中，所述构建模块，还用于：

根据所述目标信号对应的各所述发送值构建星座图，所述星座图中的星座点与所述发送值一一对应；

针对所述星座图中的任意两个所述星座点，根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重；

根据各所述星座点之间的连接边权重，构建所述星座图对应的权重矩阵；

根据所述权重矩阵，构建所述星座图对应的拉普拉斯矩阵，并将所述拉普拉斯矩阵的特征值作为所述矩阵特征值。

在其中一个实施例中，所述构建模块，还用于：

基于两个所述星座点在所述星座图中的坐标及噪声功率参数，通过高斯核函数构建两个所述星座点之间的连接边权重。

在其中一个实施例中，所述构建模块，还用于：

对各所述矩阵特征值由大至小进行排序，获得特征值队列；

确定所述特征值队列中每两个相邻的所述矩阵特征值之间的差值，并将各所述差值中，最大的所述差值作为所述目标特征值差值。

在其中一个实施例中，所述第二确定模块，还用于：

将各所述目标特征值差值中，最大的所述目标特征值差值对应的所述基带信号，作为所述目标基带信号。

第三方面，本申请还提供了一种计算机设备。所述计算机设备包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，所述计算机程序在由所述处理器执行时，致使所述处理器：

确定目标信号各子载波的多个频率间隔预估值、及多个载频偏差预估值；

针对任一预估值对，基于所述预估值对对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，所述预估值对由任一所述频率间隔预估值及任一所述载频偏差预估值组成；

针对任一所述基带信号，构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的矩阵特征值，并根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值；

根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号。

在其中一个实施例中，所述基带信号由多个发送值组成，所述基于所述预估值对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，包括：

获取所述目标信号在多个时刻对应的接收值、及获取所述目标信号对应的子载波数量；

针对任一所述接收值，根据所述子载波数量及所述预估值对，确定所述接收值对应的发送值。

在其中一个实施例中，所述构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的矩阵特征值，包括：

根据所述目标信号对应的各所述发送值构建星座图，所述星座图中的星座点与所述发送值一一对应；

针对所述星座图中的任意两个所述星座点，根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重；

根据各所述星座点之间的连接边权重，构建所述星座图对应的权重矩阵；

根据所述权重矩阵，构建所述星座图对应的拉普拉斯矩阵，并将所述拉普拉斯矩阵的特征值作为所述矩阵特征值。

在其中一个实施例中，所述根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重，包括：

基于两个所述星座点在所述星座图中的坐标及噪声功率参数，通过高斯核函数构建两个所述星座点之间的连接边权重。

在其中一个实施例中，所述根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值，包括：

对各所述矩阵特征值由大至小进行排序，获得特征值队列；

确定所述特征值队列中每两个相邻的所述矩阵特征值之间的差值，并将各所述差值中，最大的所述差值作为所述目标特征值差值。

在其中一个实施例中，所述根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号，包括：

将各所述目标特征值差值中，最大的所述目标特征值差值对应的所述基带信号，作为所述目标基带信号。

第四方面，本申请还提供了一种计算机可读存储介质。所述计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序在由处理器执行时，致使所述处理器：

确定目标信号各子载波的多个频率间隔预估值、及多个载频偏差预估值；

针对任一预估值对，基于所述预估值对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，所述预估值对由任一所述频率间隔预估值及任一所述载频偏差预估值组成；

针对任一所述基带信号，构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的矩阵特征值，并根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值；

根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号。

在其中一个实施例中，所述基带信号由多个发送值组成，所述基于所述预估值对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，包括：

获取所述目标信号在多个时刻对应的接收值、及获取所述目标信号对应的子载波数量；

针对任一所述接收值，根据所述子载波数量及所述预估值对，确定所述接收值对应的发送值。

在其中一个实施例中，所述构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的

矩阵特征值，包括：

根据所述目标信号对应的各所述发送值构建星座图，所述星座图中的星座点与所述发送值一一对应；

针对所述星座图中的任意两个所述星座点，根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重；

根据各所述星座点之间的连接边权重，构建所述星座图对应的权重矩阵；

根据所述权重矩阵，构建所述星座图对应的拉普拉斯矩阵，并将所述拉普拉斯矩阵的特征值作为所述矩阵特征值。

在其中一个实施例中，所述根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重，包括：

基于两个所述星座点在所述星座图中的坐标及噪声功率参数，通过高斯核函数构建两个所述星座点之间的连接边权重。

在其中一个实施例中，所述根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值，包括：

对各所述矩阵特征值由大至小进行排序，获得特征值队列；

确定所述特征值队列中每两个相邻的所述矩阵特征值之间的差值，并将各所述差值中，最大的所述差值作为所述目标特征值差值。

在其中一个实施例中，所述根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号，包括：

将各所述目标特征值差值中，最大的所述目标特征值差值对应的所述基带信号，作为所述目标基带信号。

第五方面，本申请还提供了一种计算机程序产品。所述计算机程序产品，包括计算机程序，该计算机程序在由处理器执行时，致使所述处理器：

确定目标信号各子载波的多个频率间隔预估值、及多个载频偏差预估值；

针对任一预估值对，基于所述预估值对对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，所述预估值对由任一所述频率间隔预估值及任一所述载频偏差预估值组成；

针对任一所述基带信号，构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的矩阵特征值，并根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值；

根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号。

在其中一个实施例中，所述基带信号由多个发送值组成，所述基于所述预估值对对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，包括：

获取所述目标信号在多个时刻对应的接收值、及获取所述目标信号对应的子载波数量；

针对任一所述接收值，根据所述子载波数量及所述预估值对，确定所述接收值对应的发送值。

在其中一个实施例中，所述构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的矩阵特征值，包括：

根据所述目标信号对应的各所述发送值构建星座图，所述星座图中的星座点与所述发送值一一对应；

针对所述星座图中的任意两个所述星座点，根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重；

根据各所述星座点之间的连接边权重，构建所述星座图对应的权重矩阵；

根据所述权重矩阵，构建所述星座图对应的拉普拉斯矩阵，并将所述拉普拉斯矩阵的特征值作为所述矩阵特征值。

在其中一个实施例中，所述根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重，包括：

基于两个所述星座点在所述星座图中的坐标及噪声功率参数，通过高斯核函数构建两个所述星座点之间的连接边权重。

在其中一个实施例中，所述根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值，包括：

对各所述矩阵特征值由大至小进行排序，获得特征值队列；

确定所述特征值队列中每两个相邻的所述矩阵特征值之间的差值，并将各所述差值中，最大的所述差值作为所述目标特征值差值。

在其中一个实施例中，所述根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号，包括：

将各所述目标特征值差值中，最大的所述目标特征值差值对应的所述基带信号，作为所述目标基带信号。

本申请的一个或多个实施例的细节在下面的附图和描述中提出。本申请的其它特征、目的和优点将从说明书、附图以及权利要求书变得明显。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，不构成对本申请披露内容和保护范围的限制。

图 1 为一个实施例中 OFDM 信号的解调方法的流程示意图；

图 2 为一个实施例中星座图的示意图；

图 3 为一个实施例中步骤 104 的流程示意图；

图 4 为一个实施例中步骤 106 的流程示意图；

图 5 为一个实施例中步骤 106 的流程示意图；

图 6 为一个实施例中相邻两个特征值的差值的示意图；

图 7 为一个实施例中 OFDM 信号的解调方法的流程示意图；

图 8 为一个实施例中仿真实验的示意图；

图 9 为一个实施例中 OFDM 信号的解调装置的结构框图；

图 10 为一个实施例中计算机设备的内部结构图。

具体实施方式

为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行进一步详细说明。应当理解，此处描述的具体实施例仅仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

传统技术中，可以通过盲分离的方法或者通过循环前缀来估计载频偏差和频率间隔，进而根据估计出的载频偏差和频率间隔对接收到的信号进行解调。但是基于盲分离的方法由于相位差不稳定，相位差的平均值难以收敛，只能对载频偏差进行粗估计；而基于循环前缀估计的方法均假设信号遵循 IEEE802.16e 协议，但非合作模式下信号不一定遵循 IEEE 相关协议或者接收到的循环前缀不完整，造成估计不准确，导致解调得到的信号精度较低。

在一个实施例中，如图 1 所示，提供了一种 OFDM 信号的解调方法，本实施例以该方法应用于终端进行举例说明，可以理解的是，该方法也可以应用于服务器，还可以应用于包括终端和服务器的系统，并通过终端和服务器的交互实现。本实施例中，该方法包括以下步骤：

步骤 102，确定目标信号各子载波的多个频率间隔预估值、及多个载频偏差预估值。

本申请实施例中，目标信号是终端（终端可以为 OFDM 信号的接收机）接收到的信号。OFDM 信号由多个子载波叠加形成，各个子载波之间的频率差即频率间隔，而 OFDM 信号在传输过程中，因干扰等因素而造成的目标信号的载波频率与发送机发送出的载波频率之间的差即载频偏差。

由于在对 OFDM 信号解调时需要通过确定精确的载频偏差来消除载频偏差对信号质量的影响，同时也必须知道子载波之间的频率间隔，故而可以通过估计出多个频率间隔对应的频率间隔估计值，以及多个载频偏差对应的载频偏差估计值，再确定哪一个频率间隔估计值及哪一个载频偏差估计值最接近真实值来得到最精确的频率间隔及载频偏差。本申请实施例对于估计得到频率间隔预估值和载频偏差预估值的方式不作具体限定，任一现有的估计得到频率间隔预估值和载频偏差预估值的方式均适用于本申请实施例中，例如盲分离法、基于循环前缀的估计方法等。

需要说明的是，在估计得出的频率间隔或载频偏差是一个区间时，可以从区间中取多个数值作为频率间隔预估值或载频偏差预估值（以下统称为预估值）。例如可以从区间中等间隔取多个数值作为预估值，或者从区间的中心开始、向外逐渐以递增的间隔取数值作为预估值等，本申请实施例对此不作具体限定。

步骤 104，针对任一预估值对，基于预估值对对目标信号进行解调，得到目标信号对应的基带信号，预估值对由任一频率间隔预估值及任一载频偏差预估值组成。

本申请实施例中，可以将任一频率间隔预估值及任一载频偏差预估值组成一个预估值对。需要说明的是，不同的预估值对中的频率间隔预估值或载频偏差预估值可以重复，只要各预估值对不同即可：例如频率间隔预估值 A 和载频偏差预估值 A 可以组成一个预估值对，频率间隔预估值 A 和载频偏差预估值 B 也可以组成一个预估值对。

针对每一个预估值对，都可以根据预估值对中的频率间隔预估值和载频偏差预估值对目标信号进行一次解调，获得本预估值对对应的基带信号。基于基带信号对应的星座图验证基带信号的精确度后，即可从各基带信号中获得精确度最高的目标基带信号。

步骤 106，针对任一基带信号，构建基带信号对应的星座图，获取星座图对应的矩阵特征值，并根据矩阵特征值确定目标特征值差值。

本申请实施例中，接收机在接收目标信号时会对目标信号使用较高的采样频率进行过采样，通过一次采样得到的接收值可以得到基带信号中的一个二进制信号，进而可以将该二进制信号映射至复平面中（I 路和 Q 路分别映射到横轴和纵轴）得到一个星座点，将全部接收值对应的二进制信号映射完毕后可以得到基带信号对应的星座图。

星座图可以以矩阵来表示。为了使得矩阵可以反映星座点之间的距离远近，可以使得矩阵中的每一个元素都代表该元素所在列对应的星座点、以及该元素所在行对应的星座点之间的距离权重，例如位于矩阵第 i 行第 j 列的元素即代表第 i 个星座点和第 j 个星座点之间的距离权重；同时为了使得距离更近的星座点的距离权重更大，便于后续计算，可以使得距离权重与星座点之间的实际距离成反比。距离权重可以根据两个星座点在星座图中的坐标来计算，例如可以直接取两个星座点之间的直线距离的倒数作为距离权重，或者也可以同时考虑噪声参数，通过噪声参数和星座点之间的直线距离的倒数构建得到距离权重等，本申请实施例对此不作具体限定。

矩阵特征值即星座图的矩阵对应的特征值。目标特征值差值（eigengap，也称为本征间隙）的定义是将矩阵的特征值从大到小排列后，相邻的两个特征值之间的差中最大的数值。在矩阵是图的表示的情况下，目标特征值差值可以反映图中各个节点形成的聚类的稳定程度。因此计算星座图的矩阵的目标特征值差值，就可以得到一个可以表征星座图中各星座点聚集程度的值，进而可以通过该值确定哪一个星座图中各星座点的聚集程度最优、也即哪一个星座图是最优的星座图。

步骤 108，根据各基带信号对应的目标特征值差值，从各基带信号中确定目标基带信号。

本申请实施例中，参见图 2 所示，在存在载频偏差的情况下，各星座点的相位会发生变化，也即相当于各点会围绕星座图的中心进行旋转；而消除载频偏差就相当于消除各点的旋转，将各点移动至其应当处于的位置上。

而由于在目标信号对应的调制方式一定的情况下，对目标信号进行采样得到的接收值

的类型是有限的，故而根据目标信号只能解调出有限类型的二进制信号组合，因此在消除载频偏差后，多个二进制信号在星座图中将呈现出图 2 右图中所示的聚集情况。由于目标特征值差值可以反映星座图中星座点的聚集程度，而星座点越聚集，则表明各二进制信号的真实值被恢复的越好、载频偏差和频率间隔越接近真实值，故而可以根据目标特征值差值从各基带信号中确定出最接近真实值的目标基带信号。

可以直接将最大的目标特征值差值（代表星座图中各星座点的聚集情况最佳）作为目标基带信号。或者，在频率间隔预估值和载频偏差预估值是一个区间的情况下，为了提升解调的精度，可以进一步获取最大的目标特征值差值对应的预估值对，从预估值对的频率间隔预估值及载频偏差预估值附近重新获取多个频率间隔预估值和多个载频偏差预估值构建新的预估值对（例如，以频率间隔预估值为例，可以预设一个较小的距离间隔，并以频率间隔预估值为中心，每隔距离间隔取一个新的频率间隔预估值，直至新的频率间隔预估值的数量满足要求为止。针对载频偏差预估值也可以进行类似操作），再针对新的各预估值对重复上述流程，获取各新的预估值对对应的基带信号和基带信号对应的目标特征值差值，再将新得到的各目标特征值差值与原先最大的目标特征值差值进行比较，重新选取其中最大的目标特征值差值；可以多次重复上述过程，每一次都缩小预设的距离间隔，直至循环次数达到阈值，或者上一轮中最大的目标特征值差值仍是本轮中最大的目标特征值差值为止。

本申请实施例提供的 OFDM 信号的解调方法，得到多个估计的载频偏差和频率间隔，并根据每个可能的载频偏差和频率间隔的组合反推基带信号，获得基带信号对应的星座图，计算星座图矩阵表达的目标特征值差值，进而根据目标特征值差值选取目标基带信号。由于目标特征值差值可以反映星座图中各星座点簇的聚集程度，星座点簇的聚集程度又与预估值的精确度相关，故而根据特征值差值选取目标基带信号，可以选出星座点簇最符合要求、也即最接近真实值的目标基带信号，因此可以提高在载频偏差和频率间隔未知的情况下，对 OFDM 信号进行解调的精度。

在一个实施例中，如图 3 所示，基带信号由多个发送值组成，步骤 104 中，基于预估值对对目标信号进行解调，得到目标信号对应的基带信号，包括以下步骤。

步骤 302，获取目标信号在多个时刻对应的接收值、及目标信号对应的子载波数量。

步骤 304，针对任一接收值，根据子载波数量及预估值对，确定接收值对应的发送值。

本申请实施例中，发送值也即前述实施例中的二进制信号，多个二进制信号组合形成发送机需要发送的信息，也即基带信号。接收机在接收目标信号时将对目标信号进行多次采样，一次采样可以得到一个接收值。接收值实质上是多个正交的子载波叠加得到的结果，通过预估值对中的载频偏差预估值消除接收值的载频偏差，并根据频率间隔预估值对各子载波进行分解，可以得到接收值对应的发送值。

示例性的，由于接收值可以通过发送值在每个子载波上的值叠加得到，而每个子载波上的值又可以根据接收机的采样周期、接收机接收目标信号使用的信道的信道冲激响应、噪声参数（可由本领域技术人员根据经验确定）及载频偏差预估值和频率间隔预估值计算得到（参见公式（一）），故而可以根据接收值反推发送值：

$$r_k = h_k \sum_{m=1}^M s_k e^{j2\pi(f_0+mf)kT_s} + n_k \quad \text{公式（一）}$$

其中， r_k 指在一个采样周期内采集到的第 k 个接收值， h_k 是信道的信道冲激响应， M 是子载波数量（根据目标信号的总带宽与频率间隔预估值的比值得到）， s_k 是 r_k 对应的发送值， $e^{j2\pi}$ 是虚数的一种表示方式， f_0 是载频偏差预估值， f 是频率间隔预估值， T_s 是采样周期， n_k 是噪声参数。

根据公式（一）可以反推出 s_k 的值也即发送值。针对所有采集到的接收值均反推出发送值，即可得到本采样周期内采集到的目标信号对应的基带信号。

本申请实施例提供的 OFDM 信号的解调方法,根据目标信号对应的子载波数量及预估值对,确定目标信号每一个接收值对应的发送值,以此得到目标信号对应的基带信号。进而可以根据各发送值构建基带信号对应的星座图并获得基带信号对应的目标特征值差值,并根据目标特征值差值选出目标基带信号,可以提高在载频偏差和频率间隔未知的情况下,对 OFDM 信号进行解调的精度。

在一个实施例中,如图 4 所示,步骤 106 中,构建基带信号对应的星座图,获取星座图对应的矩阵特征值,包括以下步骤。

步骤 402,根据目标信号对应的各发送值构建星座图,星座图中的星座点与发送值一一对应。

步骤 404,针对星座图中的任意两个星座点,根据两个星座点在星座图中的坐标,构建两个星座点之间的连接边权重。

步骤 406,根据各星座点之间的连接边权重,构建星座图对应的权重矩阵。

步骤 408,根据权重矩阵,构建星座图对应的拉普拉斯矩阵,并将拉普拉斯矩阵的特征值作为矩阵特征值。

本申请实施例中,将目标信号的发送值均投影到复平面中可以得到星座点,各星座点组成星座图。可以用拉普拉斯矩阵来表征星座图。拉普拉斯矩阵可以根据星座图的权重矩阵计算得到。

针对任意两个星座点,可以根据星座点在星座图中的坐标来构建星座点之间的连接边权重(在星座点相同时可以将连接边权重设置为 0,也即权重矩阵的对角线元素均为 0)。例如取坐标之间的直线距离的倒数获得连接边权重,或者通过其他基于两点之间距离构建距离权重的方式获得距离权重等。将权重矩阵第 i 行第 j 列的元素设置为第 i 个星座点和第 j 个星座点之间的连接边权重,可以得到权重矩阵,进而可以根据下述公式(二)计算星座图的拉普拉斯矩阵:

$$\mathbf{L} = \mathbf{D}^{-\frac{1}{2}} \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{D}^{-\frac{1}{2}} \quad \text{公式(二)}$$

其中, $\mathbf{L}$ 代表拉普拉斯矩阵, $\mathbf{D}$ 是一个对角矩阵,其第 i 行第 i 列的元素等于权重矩阵第 i 行所有元素之和, $\mathbf{W}$ 代表权重矩阵。

计算拉普拉斯矩阵的各特征值,可以得到星座图对应的各矩阵特征值。

本申请实施例提供的 OFDM 信号的解调方法,构建星座图对应的拉普拉斯矩阵,并基于拉普拉斯矩阵获得矩阵特征值。由于拉普拉斯矩阵可以准确表达星座图中各星座点之间的距离及连接情况,故而采用拉普拉斯矩阵作为星座图对应的矩阵可以提高目标特征值差值对于星座图中各星座点聚集程度的反映情况,进而提高确定目标基带信号的确定精度。

在一个实施例中,步骤 404 中,根据两个星座点在星座图中的坐标,构建两个星座点之间的连接边权重,包括以下步骤。

基于两个星座点在星座图中的坐标及噪声功率参数,通过高斯核函数构建两个星座点之间的连接边权重。

本申请实施例中,可以采用高斯核函数构建连接边权重。高斯核函数是关于两点之间的欧式距离的单调递减函数,也即两点之间距离越大、通过高斯核函数计算出的连接边权重就越小;同时还可以通过控制高斯核函数中的参数 σ 来控制两点之间欧式距离与连接边权重之间的关系,在 σ 较小时,两点之间欧式距离的变化对连接边权重的变化影响较小,也即可以达到使得距离较远的星座点也能被归为一类、使得星座点聚类并不紧密的星座图也可以拥有较大的目标特征值差值、降低对预估值对的精度要求,提升获取目标基带信号速度的效果;在 σ 较大时,两点之间欧式距离的变化对连接边权重的变化影响较大,也即可以达到使得距离较近的星座点才能被归为一类、提高对预估值对的精度要求,提升目标基带信号的精度的效果。

可以将 σ 设置为与噪声功率参数正相关, σ 与噪声功率参数的具体关系可以由本领域

技术人员根据经验设定。此处需要选取合适的 σ 取值，因为在 σ 取值过小时，会导致各点之间的连接边权重都较为近似、难以区分互相之间距离不同的点；而在 σ 取值过大时，会导致连接边权重对星座图中的噪声敏感，令噪声对连接边权重的取值造成明显的干扰。示例性的，可以采用 Scott 规则或 Silverman 规则计算 σ 。通过 Scott 规则计算 σ 的方式可参见下述公式（三）：

$$\sigma = 1.06 \cdot \hat{\sigma} K^{-\frac{1}{5}} \quad \text{公式（三）}$$

其中， $\hat{\sigma}$ 是对 σ 的估计量， K 为一个采样周期内采集到的接收值总数。

通过 Silverman 规则计算 σ 的方式可参见下述公式（四）：

$$\sigma = 0.9 \cdot \min\left(\hat{\sigma}, \frac{\text{IQR}}{1.35}\right) \cdot K^{-\frac{1}{5}} \quad \text{公式（四）}$$

其中， $\hat{\sigma}$ 是对 σ 的估计量， K 为一个采样周期内采集到的接收值总数，IQR 指信号的四分位距（interquartile range）。

示例性的，基于高斯核函数、噪声功率参数和星座点的坐标的欧式距离得到的连接边权重可以如公式（三）所示：

$$w(s_{k_1}, s_{k_2}) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{|s_{k_1} - s_{k_2}|^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{公式（三）}$$

其中， $w(s_{k_1}, s_{k_2})$ 为星座点 s_{k_1} 和 s_{k_2} 之间的连接边权重， $|s_{k_1} - s_{k_2}|$ 是星座点 s_{k_1} 和 s_{k_2} 之间的欧式距离，根据 s_{k_1} 和 s_{k_2} 的坐标计算。

本申请实施例提供的 OFDM 信号的解调方法，通过高斯核函数构建连接边权重，并根据噪声功率参数设置高斯核函数中的参数 σ ，可以在噪声功率参数取值不同时，相应自适应调整对目标基带信号的精确度要求，确保目标基带信号的确定速度不会过慢。

在一个实施例中，如图 5 所示，步骤 106 中，根据矩阵特征值确定目标特征值差值，包括以下步骤。

步骤 502，对各矩阵特征值由大至小进行排序，获得特征值队列。

步骤 504，确定特征值队列中每两个相邻的矩阵特征值之间的差值，并将各差值中，最大的差值作为目标特征值差值。

本申请实施例中，目标特征值差值可以通过对矩阵特征值进行排序得到特征值队列，再根据特征值队列相邻的两个矩阵特征值之间的差值中最大的差值得到。参照图 6 所示，为将拉普拉斯矩阵的各特征值从大到小进行排序后的结果。可见图中框选的区域中特征值之间的差值最大，因此该差值即为目标特征值差值。

本申请实施例提供的 OFDM 信号的解调方法，通过将特征值由大至小进行排列，并计算两个相邻特征值的差值的最大值得到目标特征值差值。由于目标特征值差值可以反映星座图中各星座点簇的聚集程度，星座点簇的聚集程度又与预估值的精确度相关，故而根据特征值差值选取目标基带信号，可以选出星座点簇最符合要求、也即最接近真实值的目标基带信号，因此可以提高在载频偏差和频率间隔未知的情况下，对 OFDM 信号进行解调的精度。

在一个实施例中，步骤 108 中，根据各基带信号对应的目标特征值差值，从各基带信号中确定目标基带信号，包括：

将各目标特征值差值中，最大的目标特征值差值对应的基带信号，作为目标基带信号。

本申请实施例中，由于在目标特征值差值最大时，代表星座图中各星座点的聚类最紧密，各星座点的旋转均被消除，星座点最贴近真实值；因此各基带信号中，对应的目标特征值差值最大的基带信号就是最贴近真实值的基带信号。故而可以将对应的目标特征值差

值最大的基带信号作为目标基带信号，以此得到对接收到的 OFDM 信号进行解调后的结果。

本申请实施例提供的 OFDM 信号的解调方法，将最大的目标特征值差值对应的基带信号作为目标基带信号。由于最大的目标特征值差值对应的基带信号最接近真实值，因此可以提高目标基带信号的确定精度。

为使本领域技术人员更好的理解本申请实施例，以下通过具体示例对本申请实施例加以说明。

参照图 7 所示，示出了一种 OFDM 信号的解调方法的流程图。

本申请实施例中，可以针对所有可能的频率间隔和载频偏差进行遍历。例如可以确定频率间隔及载频偏差可能位于的区间或可能对应的值，从中选取出需要遍历的频率间隔预估值和载频偏差预估值，并对选出的全部频率间隔预估值和载频偏差预估值进行遍历：例如可以首先选取出一个固定的频率间隔预估值，进而选取出载频偏差预估值与该固定的频率间隔预估值进行组合，计算出基于该组合解调出的基带信号的星座图、星座图的拉普拉斯矩阵及拉普拉斯矩阵对应的 eigengap。在将所有载频偏差预估值均与该固定的频率间隔预估值进行组合后，重新选取频率间隔预估值，重复上述过程，直至频率间隔预估值被遍历完毕为止。将所有组合对应的 eigengap 进行比较，将其中最大的 eigengap 对应的频率间隔预估值和载频偏差预估值作为实际的估计值，并将最大的 eigengap 对应的基带信号作为最终解调得到的基带信号，可以获得目标信号对应的子载波频率间隔、载频偏差及解调结果。其中，得到基带信号的方式、拉普拉斯矩阵的构建方式和 eigengap 的计算方式可参见前述实施例的描述，本申请实施例在此不再赘述。

以下以仿真实验说明本申请实施例的效果。参见图 8 所示，设置发送机发送的 OFDM 信号共有 4 个子载波，每个子载波均通过 4QAM(一种正交振幅调制方法)方式进行调制，相邻子载波的频率间隔为 1MHz。设置接收机的采样周期为 1 μ s，每个采样周期内采样 1024 次，载频偏差为 0.055MHz，信道为 AWGN 信道，信道冲激响应为 30dB，高斯核函数中的 σ^2 为噪声功率参数的 64 倍。遍历各频率间隔预估值和载频偏差预估值，计算各种组合的 eigengap，可得到如图 8 上方的结果。

从中选取 eigengap 最大的组合。可见 eigengap 最大时对应的载频偏差预估值为 0.055MHz，恰好等于仿真中针对接收机设置的载频偏差。载频偏差恢复前的星座图、载频偏差预估值为 0.055MHz 时相邻两个特征值之间的差值、以及载频偏差恢复后的星座图可参见图 8 下方所示。

上述方法可以应用于对非授权使用频谱进行感知的场景中。采用上述方法针对在非授权使用频谱中传输的无线信号进行分析，可以获得非授权使用频谱的频率间隔和载频偏差等信息，进而能够对运营商专网覆盖范围内非授权使用频谱的行为进行感知，可以帮助运营商给专网客户和行业用户的无线网络提供主动感知安全能力的服务，避免用户在无线网络内的通信受到窃听、篡改、干扰等安全威胁。

本申请实施例提供的 OFDM 信号的解调方法，可以对 OFDM 系统的频率间隔和载频偏差进行精确估计，理论上只要取足够多的频率间隔估计值和载频偏差估计值，便可以使频率间隔估计值和载频偏差估计值无限逼近频率间隔和载频偏差的真实值，提高频率间隔和载频偏差的估计精度，进而提高在非协作通信模式下对 OFDM 信号进行解调的精度。

应该理解的是，虽然如上所述的各实施例所涉及的流程图中的各个步骤按照箭头的指示依次显示，但是这些步骤并不是必然按照箭头指示的顺序依次执行。除非本文中有明确的说明，这些步骤的执行并没有严格的顺序限制，这些步骤可以以其它的顺序执行。而且，如上所述的各实施例所涉及的流程图中的至少一部分步骤可以包括多个步骤或者多个阶段，这些步骤或者阶段并不必然是在同一时刻执行完成，而是可以在不同的时刻执行，这些步骤或者阶段的执行顺序也不必然是依次进行，而是可以与其它步骤或者其它步骤中的步骤或者阶段的至少一部分轮流或者交替地执行。

基于同样的发明构思，本申请实施例还提供了一种用于实现上述所涉及的 OFDM 信号

的解调方法的 OFDM 信号的解调装置。该装置所提供的解决问题的实现方案与上述方法中所记载的实现方案相似,故下面所提供的一个或多个 OFDM 信号的解调装置实施例中的具体限定可以参见上文中对于 OFDM 信号的解调方法的限定,在此不再赘述。

在一个实施例中,如图 9 所示,提供了一种 OFDM 信号的解调装置 900,包括:第一确定模块 902、解调模块 904、构建模块 906、第二确定模块 908,其中:

第一确定模块 902,用于确定目标信号各子载波的多个频率间隔预估值、及多个载频偏差预估值;

解调模块 904,用于针对任一预估值对,基于所述预估值对对所述目标信号进行解调,得到所述目标信号对应的基带信号,所述预估值对由任一所述第一预估值及任一所述第二预估值组成;

构建模块 906,用于针对任一所述基带信号,构建所述基带信号对应的星座图,获取所述星座图对应的矩阵特征值,并根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值;

第二确定模块 908,用于根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值,从各所述基带信号中确定目标基带信号。

本申请实施例提供的 OFDM 信号的解调装置,得到多个估计的载频偏差和频率间隔,并根据每个可能的载频偏差和频率间隔的组合反推基带信号,获得基带信号对应的星座图,计算星座图矩阵表达的目标特征值差值,进而根据目标特征值差值选取目标基带信号。由于目标特征值差值可以反映星座图中各星座点簇的聚集程度,星座点簇的聚集程度又与预估值的精确度相关,故而根据特征值差值选取目标基带信号,可以选出星座点簇最符合要求、也即最接近真实值的目标基带信号,因此可以提高在载频偏差和频率间隔未知的情况下,对 OFDM 信号进行解调的精度。

在其中一个实施例中,所述基带信号由多个发送值组成,所述解调模块 904,还用于:获取所述目标信号在多个时刻对应的接收值、及获取所述目标信号对应的子载波数量;针对任一所述接收值,根据所述子载波数量及所述预估值对,确定所述接收值对应的发送值。

在其中一个实施例中,所述构建模块 906,还用于:

根据所述目标信号对应的各所述发送值构建星座图,所述星座图中的星座点与所述发送值一一对应;

针对所述星座图中的任意两个所述星座点,根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标,构建两个所述星座点之间的连接边权重;

根据各所述星座点之间的连接边权重,构建所述星座图对应的权重矩阵;

根据所述权重矩阵,构建所述星座图对应的拉普拉斯矩阵,并将所述拉普拉斯矩阵的特征值作为所述矩阵特征值。

在其中一个实施例中,所述构建模块 906,还用于:

基于两个所述星座点在所述星座图中的坐标及噪声功率参数,通过高斯核函数构建两个所述星座点之间的连接边权重。

在其中一个实施例中,所述构建模块 906,还用于:

对各所述矩阵特征值由大至小进行排序,获得特征值队列;

确定所述特征值队列中每两个相邻的所述矩阵特征值之间的差值,并将各所述差值中,最大的所述差值作为所述目标特征值差值。

在其中一个实施例中,所述第二确定模块 908,还用于:

将各所述目标特征值差值中,最大的所述目标特征值差值对应的所述基带信号,作为所述目标基带信号。

上述 OFDM 信号的解调装置中的各个模块可全部或部分通过软件、硬件及其组合来实现。上述各模块可以硬件形式内嵌于或独立于计算机设备中的处理器中,也可以以软件形式存储于计算机设备中的存储器中,以便于处理器调用执行以上各个模块对应的操作。

在一个实施例中，提供了一种计算机设备，该计算机设备可以是服务器，其内部结构图可以如图 10 所示。该计算机设备包括通过系统总线连接的处理器、存储器和网络接口。其中，该计算机设备的处理器用于提供计算和控制能力。该计算机设备的存储器包括非易失性存储介质和内存。该非易失性存储介质存储有操作系统和计算机程序。该内存为易失性存储介质中的操作系统和计算机程序的运行提供环境。该计算机设备的网络接口用于与外部的终端通过网络连接通信。该计算机程序被处理器执行时以实现一种 OFDM 信号的解调方法。

本领域技术人员可以理解，图 10 中示出的结构，仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图，并不构成对本申请方案所应用于其上的计算机设备的限定，具体的计算机设备可以包括比图中所示更多或更少的部件，或者组合某些部件，或者具有不同的部件布置。

在一个实施例中，提供了一种计算机设备，包括存储器和处理器，存储器中存储有计算机程序，该处理器执行计算机程序时实现上述各方法实施例中的步骤。

在一个实施例中，提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现上述各方法实施例中的步骤。

在一个实施例中，提供了一种计算机程序产品，包括计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现上述各方法实施例中的步骤。

需要说明的是，本申请所涉及的用户信息（包括但不限于用户设备信息、用户个人信息等）和数据（包括但不限于用于分析的数据、存储的数据、展示的数据等），均为经用户授权或者经过各方充分授权的信息和数据。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程，是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成，所述的计算机程序可存储于一非易失性计算机可读存储介质中，该计算机程序在执行时，可包括如上述各方法的实施例的流程。其中，本申请所提供的各实施例中所使用的对存储器、数据库或其它介质的任何引用，均可包括非易失性和易失性存储器中的至少一种。非易失性存储器可包括只读存储器（Read-Only Memory, ROM）、磁带、软盘、闪存、光存储器、高密度嵌入式非易失性存储器、阻变存储器（ReRAM）、磁变存储器（Magnetoresistive Random Access Memory, MRAM）、铁电存储器（Ferroelectric Random Access Memory, FRAM）、相变存储器（Phase Change Memory, PCM）、石墨烯存储器等。易失性存储器可包括随机存取存储器（Random Access Memory, RAM）或外部高速缓冲存储器等。作为说明而非局限，RAM 可以是多种形式，比如静态随机存取存储器（Static Random Access Memory, SRAM）或动态随机存取存储器（Dynamic Random Access Memory, DRAM）等。本申请所提供的各实施例中所涉及的数据库可包括关系型数据库和非关系型数据库中至少一种。非关系型数据库可包括基于区块链的分布式数据库等，不限于此。本申请所提供的各实施例中所涉及的处理器可为通用处理器、中央处理器、图形处理器、数字信号处理器、可编程逻辑器、基于量子计算的数据处理逻辑器等，不限于此。

以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对申请专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本申请构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本申请的保护范围。因此，本申请专利的保护范围应以所附权利要求为准。

权利要求

1、一种 OFDM 信号的解调方法，所述方法包括：

确定目标信号各子载波的多个频率间隔预估值、及多个载频偏差预估值；

针对任一预估值对，基于所述预估值对对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，所述预估值对由任一所述频率间隔预估值及任一所述载频偏差预估值组成；

针对任一所述基带信号，构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的矩阵特征值，并根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值；

根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述基带信号由多个发送值组成，所述基于所述预估值对对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，包括：

获取所述目标信号在多个时刻对应的接收值、及获取所述目标信号对应的子载波数量；

针对任一所述接收值，根据所述子载波数量及所述预估值对，确定所述接收值对应的发送值。

3、根据权利要求 2 所述的方法，其中，所述构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的矩阵特征值，包括：

根据所述目标信号对应的各所述发送值构建星座图，所述星座图中的星座点与所述发送值一一对应；

针对所述星座图中的任意两个所述星座点，根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重；

根据各所述星座点之间的连接边权重，构建所述星座图对应的权重矩阵；

根据所述权重矩阵，构建所述星座图对应的拉普拉斯矩阵，并将所述拉普拉斯矩阵的特征值作为所述矩阵特征值。

4、根据权利要求 3 所述的方法，其中，所述根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重，包括：

基于两个所述星座点在所述星座图中的坐标及噪声功率参数，通过高斯核函数构建两个所述星座点之间的连接边权重。

5、根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值，包括：

对各所述矩阵特征值由大至小进行排序，获得特征值队列；

确定所述特征值队列中每两个相邻的所述矩阵特征值之间的差值，并将各所述差值中，最大的所述差值作为所述目标特征值差值。

6、根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号，包括：

将各所述目标特征值差值中，最大的所述目标特征值差值对应的所述基带信号，作为所述目标基带信号。

7、一种 OFDM 信号的解调装置，所述装置包括：

第一确定模块，用于确定目标信号各子载波的多个频率间隔预估值、及多个载频偏差预估值；

解调模块，用于针对任一预估值对，基于所述预估值对对所述目标信号进行解调，得到所述目标信号对应的基带信号，所述预估值对由任一所述第一预估值及任一所述第二预估值组成；

构建模块，用于针对任一所述基带信号，构建所述基带信号对应的星座图，获取所述星座图对应的矩阵特征值，并根据所述矩阵特征值确定目标特征值差值；

第二确定模块，用于根据各所述基带信号对应的所述目标特征值差值，从各所述基带信号中确定目标基带信号。

8、根据权利要求 7 所述的装置，其中所述基带信号由多个发送值组成，所述解调模块还用于：

获取所述目标信号在多个时刻对应的接收值、及获取所述目标信号对应的子载波数量；
针对任一所述接收值，根据所述子载波数量及所述预估值对，确定所述接收值对应的发送值。

9、根据权利要求 8 所述的装置，其中所述构建模块还用于：

根据所述目标信号对应的各所述发送值构建星座图，所述星座图中的星座点与所述发送值一一对应；

针对所述星座图中的任意两个所述星座点，根据两个所述星座点在所述星座图中的坐标，构建两个所述星座点之间的连接边权重；

根据各所述星座点之间的连接边权重，构建所述星座图对应的权重矩阵；

根据所述权重矩阵，构建所述星座图对应的拉普拉斯矩阵，并将所述拉普拉斯矩阵的特征值作为所述矩阵特征值。

10、根据权利要求 9 所述的装置，其中所述构建模块还用于：

基于两个所述星座点在所述星座图中的坐标及噪声功率参数，通过高斯核函数构建两个所述星座点之间的连接边权重。

11、根据权利要求 7 所述的装置，其中所述构建模块还用于：

对各所述矩阵特征值由大至小进行排序，获得特征值队列；

确定所述特征值队列中每两个相邻的所述矩阵特征值之间的差值，并将各所述差值中，最大的所述差值作为所述目标特征值差值。

12、根据权利要求 7 所述的装置，其中所述第二确定模块还用于：

将各所述目标特征值差值中，最大的所述目标特征值差值对应的所述基带信号，作为所述目标基带信号。

13、一种计算机设备，包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求 1 至 6 中任一项所述的方法的步骤。

14、一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其中，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 至 6 中任一项所述的方法的步骤。

15、一种计算机程序产品，包括计算机程序，其中，该计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 至 6 中任一项所述的方法的步骤。

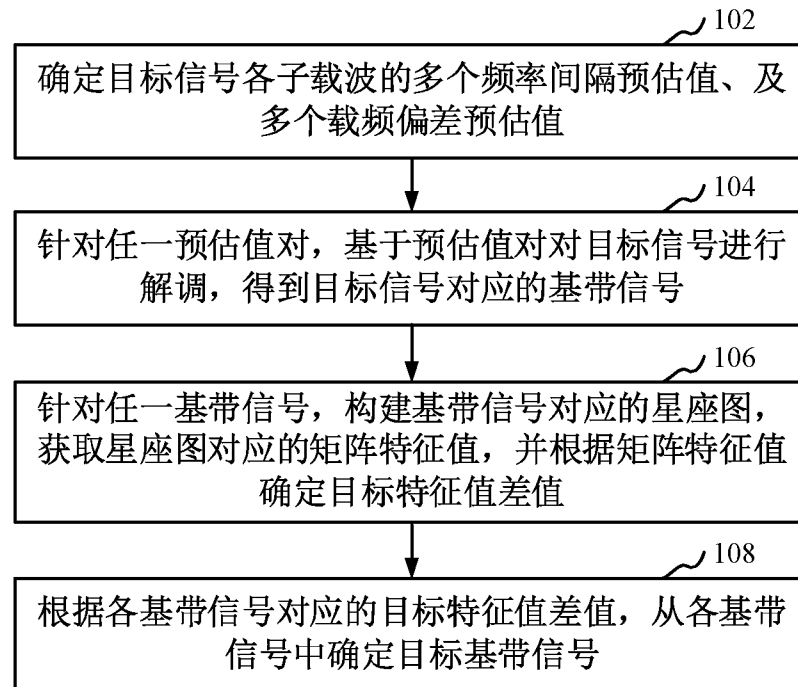


图 1

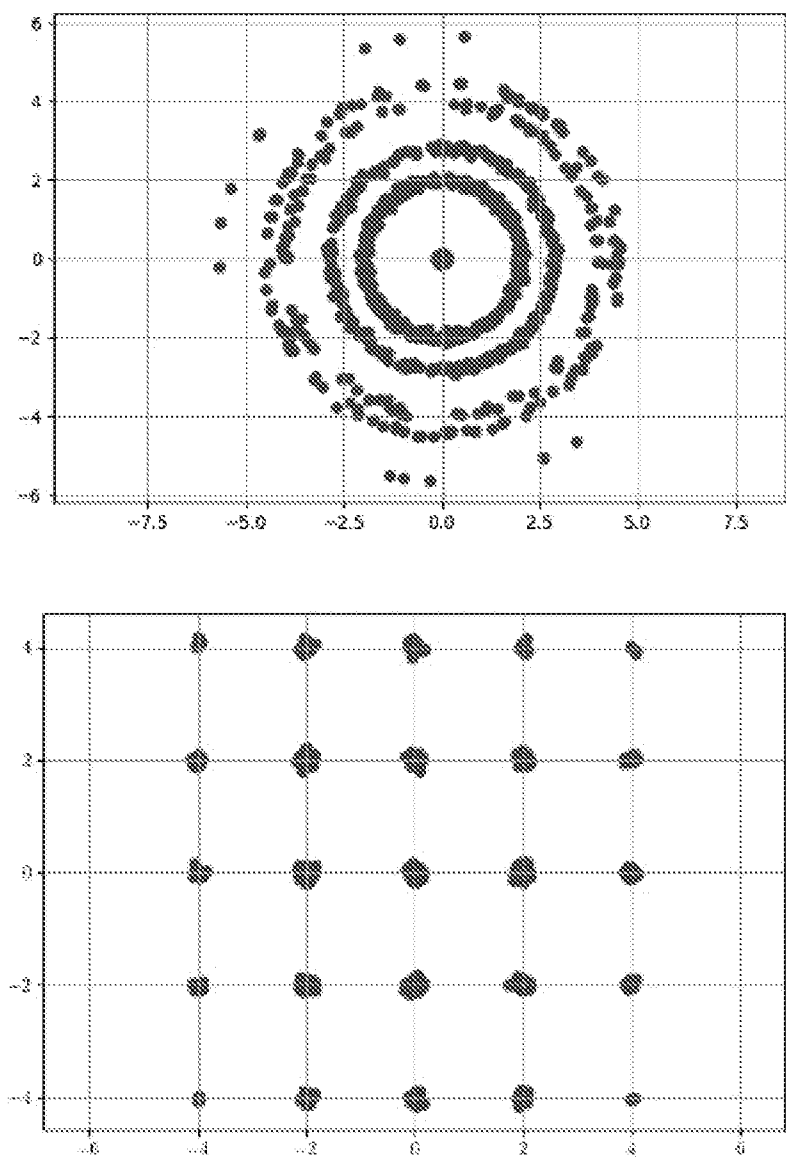


图 2

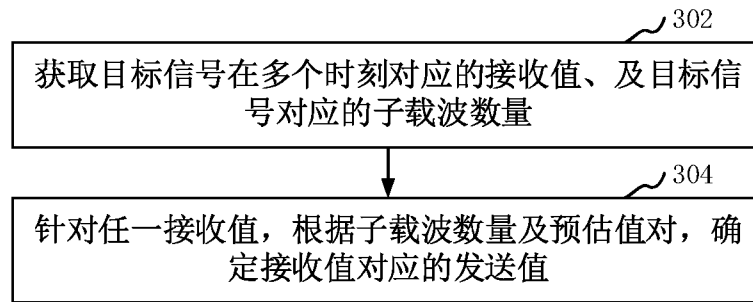


图 3

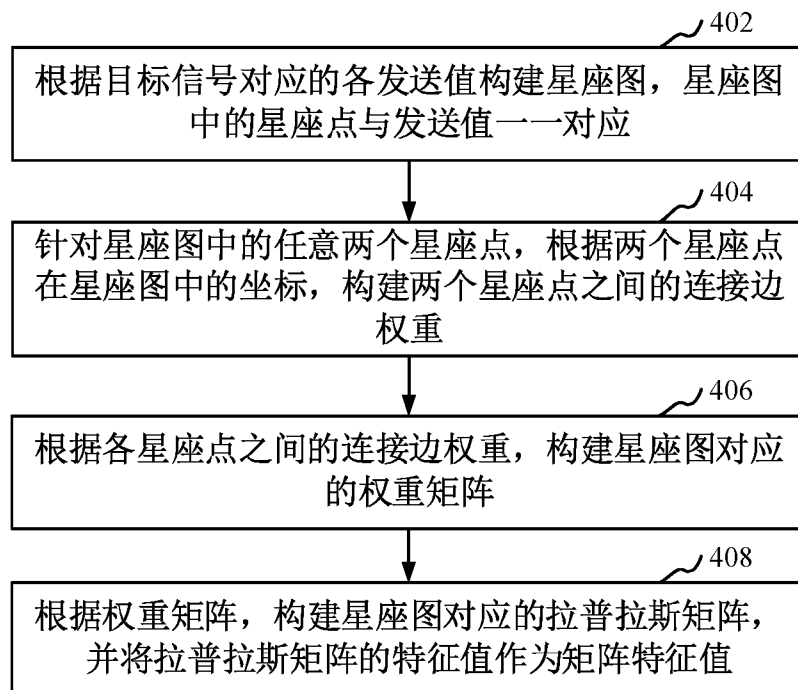


图 4

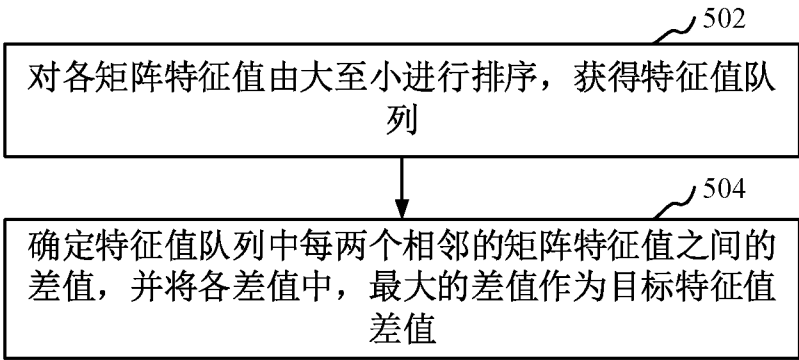


图 5

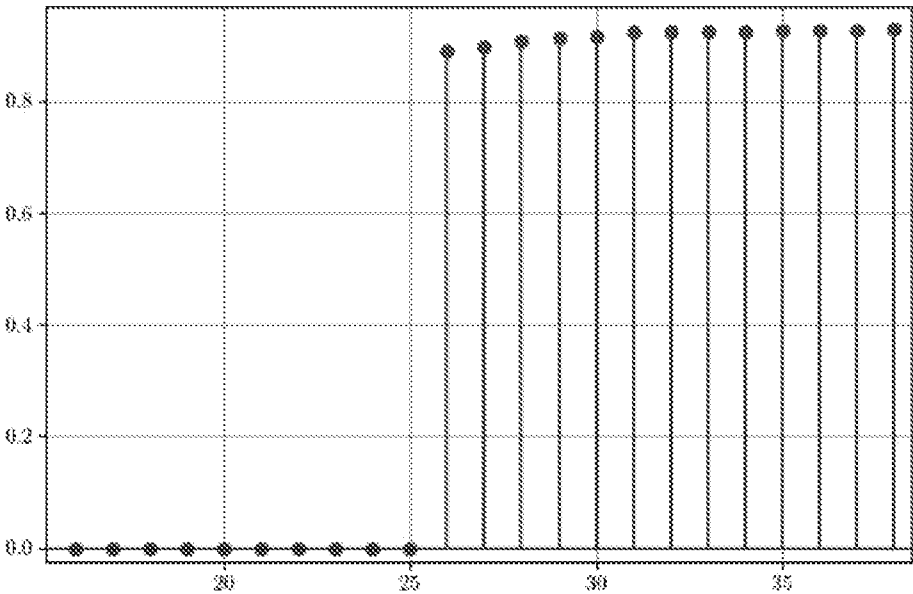


图 6

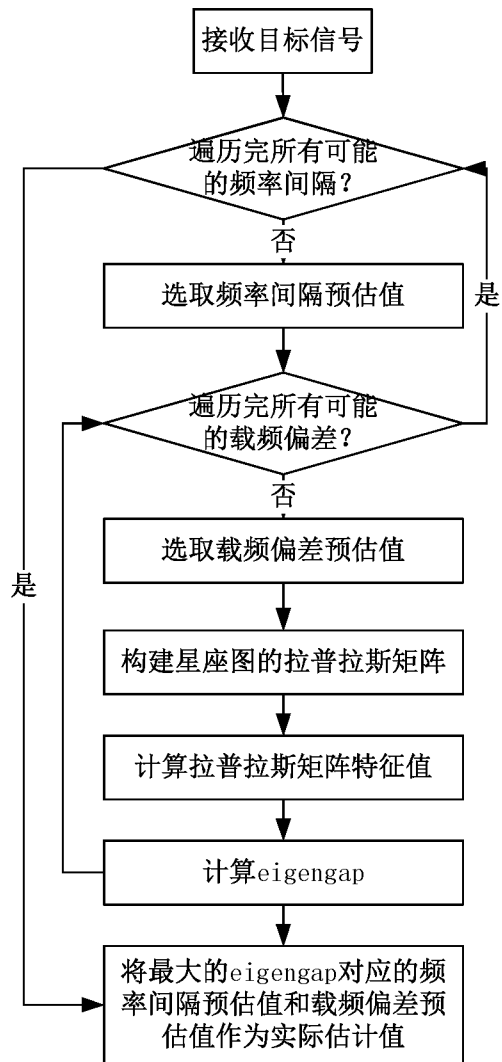


图 7

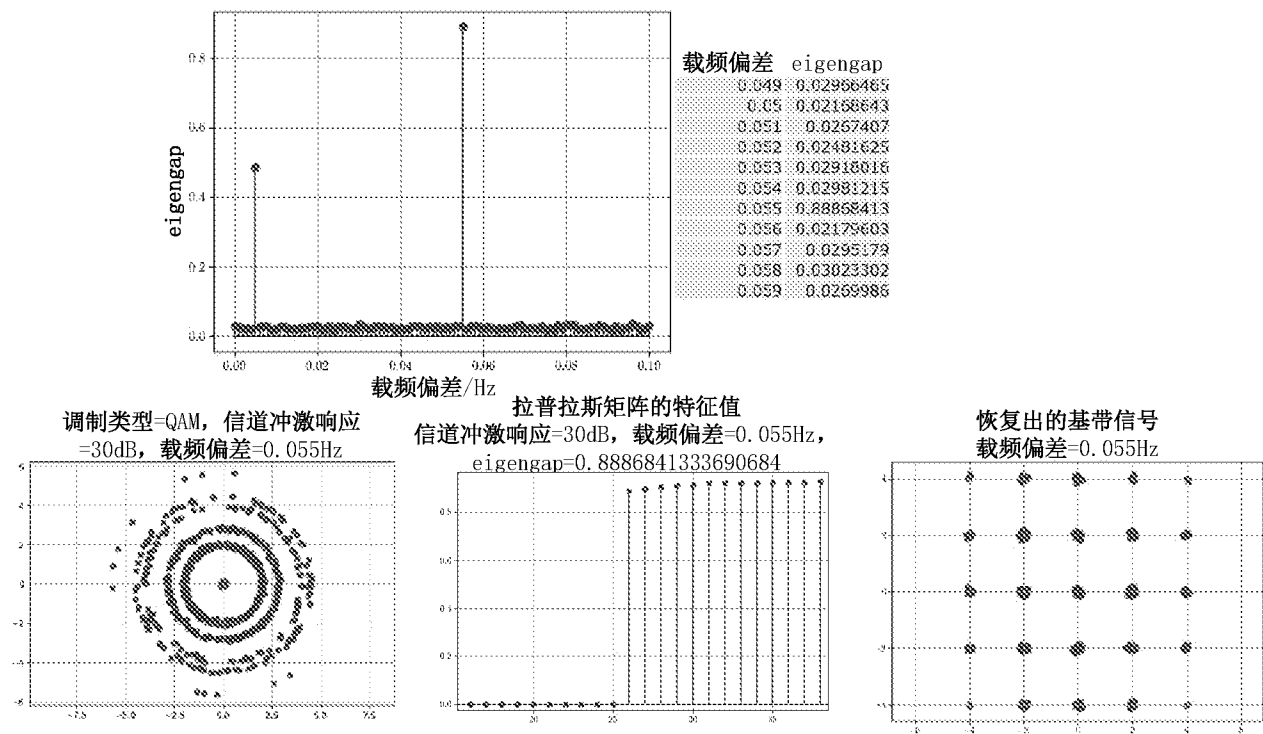


图 8

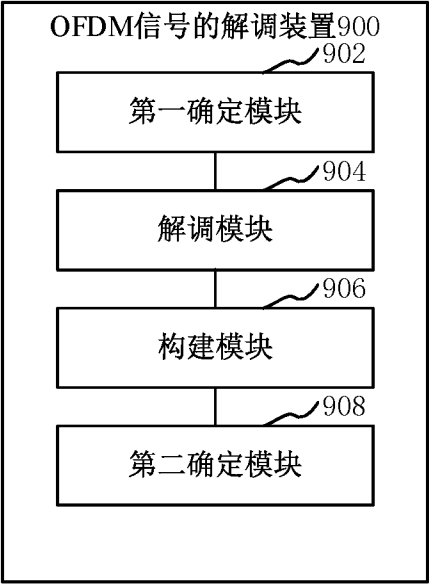


图 9

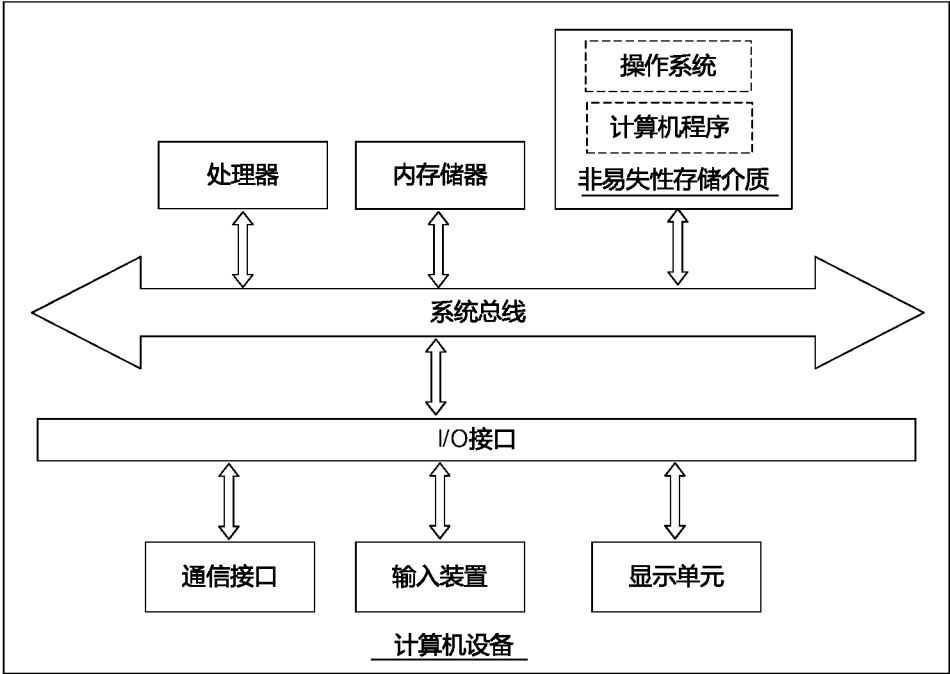


图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/142030

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L27/26(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

DWPI, CNTXT, ENTXTC, CNKI: 解调, 频率, 载波, 间隔, 频偏, 偏移, 偏差, 星座, 矩阵, 本征, 间隙, eigengap, 特征值, 差, 聚集, 旋转, Demodulation, frequency, carrier, spacing, frequency offset, offset, constellation, matrix, eigen, gap, eigenvalue, difference, discrepancy, aggregation, rotation

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116846721 A (TECHNOLOGY INNOVATION CENTER OF CHINA TELECOM CORPORATION LIMITED et al.) 03 October 2023 (2023-10-03) claims 1-10	1-15
A	CN 111431826 A (ANHUI ZHONGJI GUOAN INFORMATION TECHNOLOGY CO., LTD.) 17 July 2020 (2020-07-17) description, paragraphs 35-39 and 49	1-15
A	CN 111953434 A (CHINA ELECTRONIC TECHNOLOGY INSTRUMENTS CO., LTD.) 17 November 2020 (2020-11-17) entire document	1-15
A	FR 3084227 A1 (MOHAMED, Tlich) 24 January 2020 (2020-01-24) entire document	1-15
A	US 2020028725 A1 (LIMBERG, Allen Le Roy) 23 January 2020 (2020-01-23) entire document	1-15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “D” document cited by the applicant in the international application
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 March 2024

Date of mailing of the international search report

19 March 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/142030

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	116846721	A	03 October 2023	None			
CN	111431826	A	17 July 2020	None			
CN	111953434	A	17 November 2020	None			
FR	3084227	A1	24 January 2020	WO	2020020490	A2	30 January 2020
US	2020028725	A1	23 January 2020	None			

A. 主题的分类

H04L27/26(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: H04L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

DWPI,CNTEXT,ENTXTC,CNKI:解调, 频率, 载波, 间隔, 频偏, 偏移, 偏差, 星座, 矩阵, 本征, 间隙, eigengap, 特征值, 差, 聚集, 旋转, Demodulation, frequency, carrier, spacing, frequency offset, offset, constellation, matrix, eigen, gap, eigenvalue, difference, discrepancy, aggregation, rotation

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 116846721 A (中国电信股份有限公司技术创新中心等) 2023年10月3日 (2023 - 10 - 03) 权利要求1-10	1-15
A	CN 111431826 A (安徽中际国安信息技术有限公司) 2020年7月17日 (2020 - 07 - 17) 说明书第35-39, 49段	1-15
A	CN 111953434 A (中电科仪器仪表有限公司) 2020年11月17日 (2020 - 11 - 17) 全文	1-15
A	FR 3084227 A1 (MOHAMED, Tlich) 2020年1月24日 (2020 - 01 - 24) 全文	1-15
A	US 2020028725 A1 (LIMBERG, Allen Le Roy) 2020年1月23日 (2020 - 01 - 23) 全文	1-15

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年3月11日

国际检索报告邮寄日期

2024年3月19日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

贺秀莲

电话号码 (+86) 010-53961668

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/142030

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	116846721	A	2023年10月3日	无			
CN	111431826	A	2020年7月17日	无			
CN	111953434	A	2020年11月17日	无			
FR	3084227	A1	2020年1月24日	WO	2020020490	A2	2020年1月30日
US	2020028725	A1	2020年1月23日	无			