(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
2021 年 9 月 23 日 (23.09.2021)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2021/184424 A1

(51) 国际专利分类号:
H04B 10/116 (2013.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/082658

(22) 国际申请日: 2020 年 4 月 1 日 (01.04.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010193075.1 2020年3月18日 (18.03.2020) CN

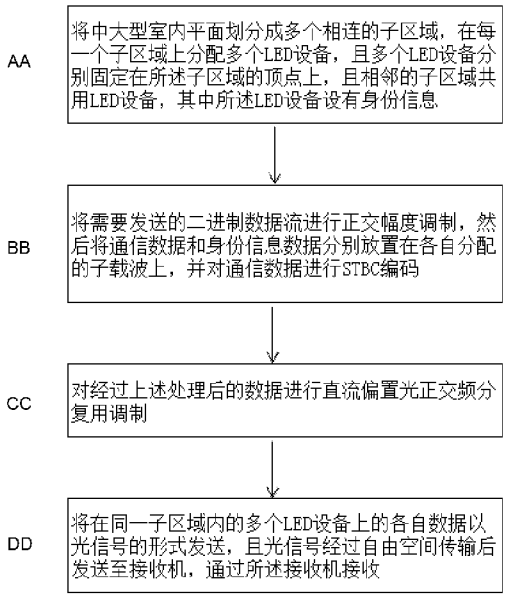
(71) 申请人: 苏州大学(SOOCHOW UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215000 (CN)。

(72) 发明人: 游善红(YOU, Shanhong); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215000 (CN)。 倪珅晟(NI, Shensheng); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215000 (CN)。 胡剑凌(HU, Jianling); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215000 (CN)。 刘武(LIU, Wu); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215000 (CN)。 王峰(WANG, Feng); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215000 (CN)。 韩淑莹(HAN, Shuying); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: 苏州市中南伟业知识产权代理事务所（普通合伙）(CENTRAL SOUTH WELL INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国江苏省苏州市吴中区石湖西路188号吴中万达广场A座苏州大学国家科技园2303, Jiangsu 215000 (CN)。

(54) **Title:** INDOOR VISIBLE LIGHT COMMUNICATION POSITIONING METHOD AND SYSTEM BASED ON MACHINE LEARNING AND OFDM

(54) **发明名称:** 基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法及系统



AA DIVIDE A MEDIUM-LARGE INDOOR PLANE INTO MULTIPLE CONNECTED SUBAREAS, AND DISTRIBUTE MULTIPLE LED DEVICES ON EACH SUBAREA, THE MULTIPLE LED DEVICES BEING RESPECTIVELY FIXED TO THE VERTEX OF THE SUBAREA, AND ADJACENT SUBAREAS SHARING THE LED DEVICES, WHEREIN IDENTITY INFORMATION IS SET IN THE LED DEVICES

BB PERFORM QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION ON BINARY DATA STREAMS REQUIRED TO BE SENT, THEN RESPECTIVELY PLACE COMMUNICATION DATA AND IDENTITY INFORMATION DATA ON THE RESPECTIVELY DISTRIBUTED SUBCARRIERS, AND PERFORM STBC CODING ON THE COMMUNICATION DATA

CC PERFORM DIRECT-CURRENT BIAS OPTICAL ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING MODULATION ON THE PROCESSED DATA

DD SEND RESPECTIVE DATA ON THE MULTIPLE LED DEVICES IN THE SAME SUBAREA IN THE FORM OF OPTICAL SIGNALS, SEND THE OPTICAL SIGNALS, AFTER BEING SUBJECTED TO FREE SPACE TRANSMISSION, TO A RECEIVER, AND RECEIVE THE OPTICAL SIGNALS BY MEANS OF THE RECEIVER

图 1

(57) **Abstract:** The present invention relates to an indoor visible light communication positioning method and system based on machine learning and OFDM. The method comprises: dividing a medium-large indoor plane into multiple connected subareas, and distributing multiple LED devices on each subarea, the multiple LED devices being respectively fixed to the vertex of the subarea, and the adjacent subareas sharing the LED devices, wherein identity information is set in the LED devices; performing quadrature amplitude modulation on binary data streams required to be sent, then respectively placing communication data and identity information data on the respectively distributed subcarriers, and performing STBC coding on the communication data; performing direct-current bias optical

WO 2021/184424 A1

[见续页]

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))。

orthogonal frequency division multiplexing modulation on the processed data; and sending respective data on the multiple LED devices in the same subarea in the form of optical signals, sending the optical signals, after being subjected to free space transmission, to a receiver, and receiving the optical signals by means of the receiver. The present invention is simple, and high in reliability.

(57) 摘要：本发明涉及一种基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法及系统,包括：将中大型室内平面划分成多个相连的子区域，在每一个子区域上分配多个LED设备，且多个LED设备分别固定在所述子区域的顶点上，且相邻的子区域共用LED设备，其中所述LED设备设有身份信息；将需要发送的二进制数据流进行正交幅度调制，然后将通信数据和身份信息数据分别放置在各自分配的子载波上，并对通信数据进行STBC编码；对经过上述处理后的数据进行直流偏置光正交频分复用调制；将在同一子区域内的多个LED设备上的各自数据以光信号的形式发送，且光信号经过自由空间传输后发送至接收机，通过所述接收机接收。本发明不但简单，而且可靠性高。

基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法及系统

技术领域

本发明涉及光通信的技术领域，尤其是指一种基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法及系统。

背景技术

随着经济和现代技术的不断发展，人们在室内的活动空间越来越庞大和复杂，对导航和定位服务的需求也日益增大，因此定位技术受到广泛关注。目前最常用的室外定位技术有全球定位系统和北斗导航定位系统，这些定位技术在室外的定位结果较好，但由于卫星定位信号难以穿透大型建筑，所以在室内的定位效果较差。为了实现精度较高的室内定位，一些室内定位技术陆续被提出，如红外线、超声波、射频识别（RFID）、无线局域网(WLAN)、蓝牙(Bluetooth)和超宽带(UWB)等。然而，采用上述的技术手段实现定位时，需要搭建复杂的定位设施环境，不仅成本高，定位精度有限，安全性也得不到有效保障。近年来，随着固态照明技术的迅速发展，新一代照明发光二极管（Light-Emitting Diode, LED）以其亮度高、寿命长、响应时间短、成本低等多方面优势正大规模取代传统的白炽灯和节能灯来提供照明。此外，经过科研人员的研究发现利用LED的高速闪烁特性，可以在室内实现短距离的高速无线通信。基于 LED 的室内可见光通信作为一种新兴的无线通信方式，在电磁辐射、使用环境、安全性等方面与射频无线通信方式相比有明显的优势，能够同时实现照明与通信的双重功能。由于可见光通信（Visible Light Communication, VLC）的诸多优点，VLC系统得到广泛关注和研究，为了进一步开发和提升VLC系统的功能，随后出现利用可见光通信实现室内定位的相关技术，与上述传统的定位技术相比，基于可见光通信的定位技术具有定位精度高、保密性好、成本低等优点。由于这些原因，利用可见光通

信实现室内定位被认为是一种高效的方案。

在VLC系统中，信号发生器产生的信号经过LED驱动电路并加载到LED照明设备上，通过控制LED的亮暗来实现信号的传输。在VLC中，常用的信号调制技术有通断键控（On-Off Keying, OOK）、脉冲幅度调制（Pulse Positioning Modulation, PPM）、无载波调制（Carrier-less Amplitude and Phase, CAP）和正交频分复用技术（Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM）。其中，CAP和OFDM调制技术都能够在有限的带宽条件下实现高频谱效率的高速传输，而OFDM由于其可有效对抗频率选择性衰落而被广泛应用。

目前基于白光LED实现室内可见光定位的方法主要分为四大类：几何测量法，场景分析法、近似感知法和图像传感器成像法。几何测量法和近似感知法实施相对简单，但是定位精度较低。场景分析法又称为指纹定位法，需要建立指纹库，指纹库中的样本越丰富则定位的精度越高。但该方法的查找匹配数据过程比较耗时，而且算法的适应性较差，一旦室内场景发生变换，其定位精度会受到很大影响。图像传感器成像法则利用光学照相机进行定位，精度相对较高，但其算法复杂度较高，运算时间久，且利用相机实现通信的速度和可靠性较低。当在大型室内环境情况下，需求的定位区域很大时，仅凭一组LED无法完成整个定位区域的定位任务。所以在大型定位场景下需要部署更多的LED发光设备，并利用LED的布局将整个定位区域划分成多个子定位区域，当接收机到达某个子区域内时，利用属于该子区域内的LED设备发送的数据进行通信和定位。

近些年来，随着计算机性能的飞速提升和智能设备广泛普及，机器学习（Machine Learning, ML）被广泛应用于各类学科，一些借助于机器学习的产品已成功进入我们的生活，如人脸识别，自动驾驶和智能医疗设备等。人工神经网络（Artificial Neural Network, ANN）是机器学习中一种有监督学习方法，因其具有很强的鲁棒性和容错性，获取复杂问题的优化解的速度十分快，所以应用十分广泛。支持向量机（Support Vector Machine, SVM）也是一种常用的有监督的机器学习算法。SVM可以实现分类和回归两类任务。

SVM可以通过引入核方法（Kernel Method）进行非线性分类和非线性回归。这两类机器学习方法都需要使用充足的数据样本训练后才能使用。在训练时，通常将数据分为训练集和测试集两部分，训练集用于训练机器学习模型，测试集则用于测试机器学习模型的性能。根据测试结果可以适当调整模型的结构和参数，经过重新训练后可以获得更好的性能。训练好的机器学习模型可以充分逼近复杂的非线性关系，而且机器学习模型具有自学习功能，这可以使得系统拥有更强的适应性。所以，如果能将机器学习算法应用到可见光定位中，则可以进一步提高定位精度。

在目前利用机器学习算法实现室内可见光通信定位的方案中大多采用单载波调制格式，也有部分方案使用OFDM调制技术。使用OFDM技术结合时分复进行室内定位，利用时分复用会增加系统的复杂度和降低通信速率，且系统定位区域面积受限。考虑单接收机情况下，VLC系统可以视为一个多输入单输出（Multiple Input Single Output，MISO）的通信系统，所以接收机捕获的是一个叠加信号。如果发送的信号经过OFDM调制，则接收机无法直接解调出信号。使用空时块码（Space Time Block Code，STBC）编码技术可以解决这个问题，但STBC要求应用该编码的所有发送端发送的原始数据是相同的，这时接收机可以很好的恢复出通信数据，但此时每个LED设备就无法发送各自的定位信息，使得系统只能在一块区域内实现定位，这使得系统无法支持定位区域划分，无法满足中大型室内定位场景下的定位需求。

发明内容

为此，本发明所要解决的技术问题在于克服现有技术中无法满足中大型室内定位场景下定位需求的问题，从而提供一种可以满足中大型室内定位场景下的定位需求的基于机器学习和 OFDM 的室内可见光通信定位方法及系统。

为解决上述技术问题，本发明的一种基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法，包括：将中大型室内平面划分成多个相连的子区域，在每一个子区域上分配多个LED设备，且多个LED设备分别固定在所述子区域的

顶点上，且相邻的子区域共用 LED 设备，其中所述 LED 设备设有身份信息；将需要发送的二进制数据流进行正交幅度调制，然后将通信数据和身份信息数据分别放置在各自分配的子载波上，并对通信数据进行 STBC 编码；对经过上述处理后的数据进行直流偏置光正交频分复用调制；将在同一子区域内的多个 LED 设备上的各自数据以光信号的形式发送，且光信号经过自由空间传输后发送至接收机，通过所述接收机接收。

在本发明的一个实施例中，所述子区域的大小根据所述 LED 设备的功率，所述接收机视角大小、照度要求以及室内空间大小等物理条件做出调整。

在本发明的一个实施例中，对所述复数信号进行 STBC 编码时，所述子区域内每个 LED 设备发送的原始数据内容必须相同。

在本发明的一个实施例中，对所述复数信号进行 STBC 编码之前，将通信数据和身份信息数据分配到不同频段上，其中用于通信的数据在数据包中的比例较大，将其放置在连续的一段载波上。

在本发明的一个实施例中，所述多个 LED 设备分配的身份信息子载波各自占用的频段各不相同。

本发明还提供了一种基于机器学习和 OFDM 的室内可见光通信定位方法，包括如下步骤：接收端对接收到的数据进行处理；分离出通信数据和身份信息数据，对于身份信息数据，根据恢复身份信息数据确定接收机所在的子区域；对于通信数据，提取导频数据并计算信道估计矩阵，提取特征值后，利用机器学习模型定位，得到接收机的相对坐标，同时利用信道估计矩阵进行 STBC 解码，得到通信数据；将得到的相对坐标和接收机获取的身份信息数据结合，计算出接收机的最终坐标。

在本发明的一个实施例中，所述接收端对接收到的数据进行处理的方法为：通过直流偏置光正交频分复用解调，将时域信号转换成频域信号，然后使用频域信道均衡技术进行信道估计，对身份信息的数据进行均衡，对通信数据进行解码，待所述身份信息数据和通信数据恢复后经过正交幅度解调后，输出二进制数据流。

在本发明的一个实施例中，所述利用机器学习模型定位的方法为：在离线训练过程中，收集训练样本；抽取导频数据，计算信道估计矩阵，提取特征值后，将所述特征值作为机器学习模型的输入参数，利用机器学习模型训练得到机器学习模型定位。

在本发明的一个实施例中，所述利用机器学习模型训练完成后，存储在接收机的本地存储器中或云端，定位时则将网络的输入参数上传至所述云端，使用云服务器计算出坐标，所述云服务器计算出坐标后再下传至下位机。

本发明还提供了一种基于机器学习和 OFDM 的室内可见光通信定位系统，包括划分模块，用于将中大型室内平面划分成多个相连的子区域，在每一个子区域上分配多个 LED 设备，且多个 LED 设备分别固定在所述子区域的顶点上，且相邻的子区域共用 LED 设备，其中所述 LED 设备设有身份信息；处理模块，用于将需要发送的二进制数据流进行正交幅度调制，然后将通信数据和身份信息数据分别放置在各自分配的子载波上，并对通信数据进行 STBC 编码；调制模块，对经过上述处理后的数据进行直流偏置光正交频分复用调制；发送模块，用于将同一子区域内的多个 LED 设备上各自数据以光信号的形式发送，且光信号经过自由空间传输后发送至接收机，通过所述接收机接收。

本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点：

本发明所述的基于机器学习和 OFDM 的室内可见光通信定位方法及系统，可以使得基于机器学习算法和 OFDM 调制技术的室内可见光通信定位方法支持定位区域划分，使得该类系统可以适用于中大型室内场景。提出的方法不需要增加额外硬件成本和算法复杂度且系统的可靠性较高。

附图说明

为了使本发明的内容更容易被清楚的理解，下面根据本发明的具体实施例并结合附图，对本发明作进一步详细的说明，其中

图 1 是本发明第一实施例的流程图；

图 2 是 LED 分布结构示意图;

图 3 是本发明单个子区域空间模型示意图;

图 4 是本发明方法中数据子载波分配示意图;

图 5 是本发明第二实施例的流程图。

具体实施方式

实施例一

如图 1 所示，本实施例提供一种基于机器学习和 OFDM 的室内可见光通信定位方法，包括：步骤 S1：将中大型室内平面划分成多个相连的子区域，在每一个子区域上分配多个 LED 设备，且多个 LED 设备分别固定在所述子区域的顶点上，且相邻的子区域共用 LED 设备，其中所述 LED 设备设有身份信息；步骤 S2：将需要发送的二进制数据流进行正交幅度调制，然后将通信数据和身份信息数据分别放置在各自分配的子载波上，并对通信数据进行 STBC 编码；步骤 S3：对经过上述处理后的数据进行直流偏置光正交频分复用调制；步骤 S4：将在同一子区域内的多个 LED 设备上的各自数据以光信号的形式发送，且光信号经过自由空间传输后发送至接收机，通过所述接收机接收。

本实施例所述基于机器学习和 OFDM 的室内可见光通信定位方法，针对发送端，所述步骤 S1 中，将中大型室内平面划分成多个相连的子区域，在每一个子区域上分配多个 LED 设备，且多个 LED 设备分别固定在所述子区域的顶点上，且相邻的子区域共用 LED 设备，其中所述 LED 设备设有身份信息，从而有利于接收机根据定位信息判断其具体位置，有利于完成定位；所述步骤 S2 中，由于定位功能是建立在数据通信基础之上的，因此在发送端，对需要发送的二进制数据流进行正交幅度调制，经过正交幅度调制后的信号是复数信号，然后将通信数据和身份信息数据分别放置在各自分配的子载波上，并对通信数据进行 STBC 编码，即对复数信号进行 STBC 编码，其中所述身份信息数据不进行 STBC 编码，而正交幅度调制后将所述身份信息数据放置在分配到的子载波上，从而有利于保证接收机能收到所述多个 LED 设备发

送的身份信息；所述步骤 S3 中，对经过上述处理后的数据进行直流偏置光正交频分复用调制，信号经过调制后才可通过硬件将电信号转换成光信号，有利于 LED 发送数据；所述步骤 S4 中，将在同一子区域内的多个 LED 设备上的各自数据以光信号的形式发送，且光信号经过自由空间传输后发送至接收机，通过所述接收机接收，从而有利于所述接收机根据其相对坐标和所处的子区域位置计算出最终坐标，本申请可以使得基于机器学习算法和 OFDM 调制技术的室内可见光通信定位方法支持定位区域划分，使得可以适用于中大型室内场景，而且不需要增加额外硬件成本和算法复杂度，因此可靠性较高。

如图 2 和图 3 所示，本实施例中，将中大型室内平面划分成多个相连的矩形子区域，每一个子区域分配四个 LED 设备，四个 LED 设备分别固定在矩形子区域的四个顶点上，相邻两个子区域共用两个 LED 设备。此外，每个 LED 设备都会被分配一个独一无二的身份（ID）信息，且每个 LED 设备发送的数据包中都包含其 ID 信息（其中 ID 信息包含 LED 设备的坐标、编号、状态等信息）。每个子区域的大小可以根据室内空间的大小、LED 设备的功率、接收机视角大小以及照度要求而适当调整。但必须保证所述接收机在任意一个子区域内都可以接收到来自该子区域内四个 LED 设备发送的信号，且收到来自其他子区域内 LED 设备发出的干扰信号较小。划分区域后，需要为每一个 LED 设备分配一个独一无二的编号，且每组 LED 编号对应一个子区域编号。所述接收机根据定位信息就可以知道其处于哪个子区域内，这对于所述接收机完成最终定位十分重要。

在同一个子区域内的四个 LED 设备发送的通信数据是相同的，且经过 STBC 编码和 OFDM 调制后同时发送。为了保证所示接收机能收到所在子区域内四个 LED 设备发送的 ID 信息，本申请提出将大部分的数据子载波（Sub-Carrier, SC）用于传输通信数据，小部分数据子载波用于传输 LED 设备的 ID 信息。传输 ID 信息的这些子载波上的数据不需要进行 STBC 编码，但需要保证每个 LED 设备分配的 ID 信息子载波各自占用的频段是不同的。

如图 4 所示，当对复数信号进行 STBC 编码时，所述子区域内每个 LED

设备发送的原始数据内容必须相同。为了便于 ID 信息的收发，需要将所述通信数据和 ID 信息数据分配到不同频段上。其中用于通信的数据在数据包中的比例较大，所以需要分配较多的子载波，因此将其放置在连续的一段载波上，并进行 STBC 编码。为了使所述接收机能够接收到每个 LED 设备发送的 ID 信息，同一个子区域内的每个 LED 设备都分配一个载波来发送各自的 ID 信息。用于传输 ID 信息的子载波只需少量即可，假设每个 LED 设备分配一个 ID 信息载波，则将四个 ID 信息按顺序分别放置在四个载波上。且该载波仅供子区域中的一个 LED 设备使用，其余三个 LED 设备在该载波上不发送任何数据。每个子区域中 LED 设备发送 ID 信息占用的总频段长都是一样的，但每个 LED 设备分配到的子载波需要合理分配，以防止出现同一子区域内不同 LED 设备分配到的子载波是相同的。用于传输 ID 信息的四个载波上的数据不需要进行 STBC 编码，将其放在通信数据载波后面即可。所有数据按这个原则加载到载波上之后，再进行 OFDM 调制。

本实施例中，所述的室内可见光通信定位功能是建立在数据通信基础之上的，因此在发送端，首先将需要发送的二进制数据流进行正交幅度调制（Quadrature Amplitude Modulation，QAM），本申请以 4-QAM 为例，也可以选择其他正交幅度调制格式；经过正交幅度调制后的信号是复数信号，然后对复数信号进行 STBC 编码。值得注意的是，ID 信息部分的数据不需要进行 STBC 编码，在正交幅度调制后将其放置在分配到的子载波上即可；然后将合并好的数据进行直流偏置光正交频分复用调制（Direct Current Biased Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing，DCO-OFDM）；最后，同一子区域内的四个 LED 设备都将各自的数据以光信号的形式发送，光信号经过自由空间传输后发送至所述接收机。

实施例二

如图 5 所示，本实施例提供一种基于机器学习和 OFDM 的室内可见光通信定位方法，包括如下步骤：步骤 S1：接收端对接收到的数据进行处理；步骤 S2：分离出通信数据和身份信息数据，对于身份信息数据，根据恢复身份信息数据确定接收机所在的子区域；对于通信数据，提取导频数据并计

算信道估计矩阵，提取特征值后，利用机器学习模型定位，得到接收机的相对坐标，同时利用信道估计矩阵进行 STBC 解码，得到通信数据；将得到的相对坐标和接收机获取的身份信息数据结合，计算出接收机的最终坐标。

本实施例所述的基于机器学习和 OFDM 的室内可见光通信定位方法，针对接收端，所述步骤 S1 中，接收端对接收到的数据进行处理，从而有利于获取最终坐标；所述步骤 S2 中，分离出通信数据和身份信息数据，对于身份信息数据，根据恢复身份信息数据确定接收机所在的子区域；对于通信数据，提取导频数据并计算信道估计矩阵，提取特征值后，利用机器学习模型定位，得到接收到的相对坐标，同时计算信道估计矩阵后，利用 STBC 解码，得到通信数据，最终得到接收机的最终坐标，从而有利于计算出最终坐标，本申请可以使得基于机器学习算法和 OFDM 调制技术的室内可见光通信定位方法支持定位区域划分，使得可以适用于中大型室内场景，而且不需要增加额外硬件成本和算法复杂度，因此可靠性较高。

所述接收端对接收到的数据进行处理的方法为：通过直流偏置光正交频分复用解调，将时域信号转换成频域信号，然后使用频域信道均衡技术进行信道估计，对身份信息的数据进行均衡，对通信数据进行解码，待所述身份信息数据和通信数据恢复后经过正交幅度解调后，输出二进制数据流。具体地，在接收端，所述接收机利用导频信息（这部分导频信息需要进行 STBC 编码）计算得到四个信道估计矩阵，然后利用信道估计矩阵和解码器获得通信数据，ID 信息也是通过导频信息经过信道均衡后恢复，但由于 ID 信息没有经过 STBC 编码，所以这部分导频信息也不需要进行编码。因此，所述接收机就可以在接收到通信数据的同时获取各 LED 设备发出的定位信息。所述接收机根据定位信息既可以知道其处于哪个子区域内，这对于所述接收机完成最终定位十分重要。

具体地，在线定位过程中，首先也是进行数据处理来获得信道估计矩阵，并进一步获取模型的输入参数。此时，将得到的特征参数输入到训练好的模型中，即可得到接收机的相对三维坐标，该相对坐标是接收机在以当前子区域为坐标系中的坐标，并非是以室内空间为坐标系的坐标，ID 信息首先从

数据包中提取，经过另一次信道估计后 ID 信息数据即可恢复，所述接收机根据四个 ID 信息可以判断出其目前处于哪一个子区域中；最后，所述接收机根据其相对坐标和所处的子区域位置进一步计算出最终坐标。

所述利用机器学习模型定位的方法为：在离线训练过程中，收集训练样本；抽取导频数据，计算信道估计矩阵，提取特征值后，将所述特征值作为机器学习模型的输入参数，利用机器学习模型训练得到机器学习模型定位。具体地，为了实现使用机器学习算法进行定位，首先需要选择合适的机器学习模型（如 ANN 和 SVM 等），然后根据物理模型进一步使机器学习模型具体化。在离线训练过程中，需要先收集充足的训练样本以保证良好的训练效果。在记录每一组样本时需要记录接收机的相对三维坐标和当前坐标下对应的信道估计矩阵（在接收端数据处理过程中可以得到信道估计矩阵），然后利用信道估计矩阵提取出特征值，将所述特征值将作为机器学习模型的输入参数；收集大量的样本后，即可开始训练，在训练过程中可适当调整模型的结构和各项参数以取得较好性能，将训练好的机器学习模型可以存储在接收机的本地存储器中；也可以存储在云端，定位时则将网络的输入参数上传至云端，使用云服务器计算出坐标，服务器计算出坐标后再下传至下位机。

实施例三

基于同一发明构思，本实施例提供一种基于机器学习和 OFDM 的室内可见光通信定位系统，其解决问题的原理与实施例一中所述基于机器学习和 OFDM 的室内可见光通信定位方法类似，重复之处不再赘述。

本实施例所述基于机器学习和 OFDM 的室内可见光通信定位系统，包括：

划分模块，用于将中大型室内平面划分成多个相连的子区域，在每一个子区域上分配多个 LED 设备，且多个 LED 设备分别固定在所述子区域的顶点上，且相邻的子区域共用 LED 设备，其中所述 LED 设备设有身份信息；

处理模块，用于将需要发送的二进制数据流进行正交幅度调制，然后将通信数据和身份信息数据分别放置在各自分配的子载波上，并对通信数据进行 STBC 编码；

调制模块，对经过上述处理后的数据进行直流偏置光正交频分复用调制；

发送模块，用于将同一子区域内的多个LED设备上各自数据以光信号的形式发送，且光信号经过自由空间传输后发送至接收机，通过所述接收机接收。

实施例四

基于同一发明构思，本实施例提供第二种基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位系统，其解决问题的原理与实施例二中所述基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法类似，重复之处不再赘述。

本实施例所述基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位系统，包括：

数据处理模块，用于接收端对接收到的数据进行处理；

坐标确认模块，用于分离出通信数据和身份信息数据，对于身份信息数据，根据恢复身份信息数据确定接收机所在的子区域；对于通信数据，提取导频数据并计算信道估计矩阵，提取特征值后，利用机器学习模型定位，得到接收机的相对坐标，同时利用信道估计矩阵进行STBC解码，得到通信数据；将得到的相对坐标和接收机获取的身份信息数据结合，计算出接收机的最终坐标。

本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和／或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和／或方框图中的每一流程和／或方框、以及流程图和／或方框图中的流程和／或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算

机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和／或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和／或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和／或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

显然，上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例，并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说，在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之中。

权 利 要 求 书

1. 一种基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法，其特征在于，包括如下步骤：

步骤 S1：将中大型室内平面划分成多个相连的子区域，在每一个子区域上分配多个LED设备，且多个LED设备分别固定在所述子区域的顶点上，且相邻的子区域共用LED设备，其中所述LED设备设有身份信息；

步骤 S2：将需要发送的二进制数据流进行正交幅度调制，然后将通信数据和身份信息数据分别放置在各自分配的子载波上，并对通信数据进行STBC编码；

步骤S3：对经过上述处理后的数据进行直流偏置光正交频分复用调制；

步骤 S4：将在同一子区域内的多个 LED 设备上的各自数据以光信号的形式发送，且光信号经过自由空间传输后发送至接收机，通过所述接收机接收。

2. 根据权利要求1所述的基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法，其特征在于：所述子区域的大小根据所述LED设备的功率，所述接收机视角大小、照度要求以及室内空间大小等物理条件做出调整。

3. 根据权利要求1所述的基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法，其特征在于：对所述复数信号进行STBC编码时，所述子区域内每个LED设备发送的原始数据内容必须相同。

4. 根据权利要求1或3所述的基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法，其特征在于：对所述复数信号进行STBC编码之前，将通信数据和身份信息数据分配到不同频段上，其中用于通信的数据在数据包中的比例较大，将其放置在连续的一段载波上。

5. 根据权利要求1所述的基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位

方法，其特征在于：所述多个LED设备分配的身份信息子载波各自占用的频段各不相同。

6. 一种基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法，其特征在于，包括如下步骤：

步骤S1：接收端对接收到的数据进行处理；

步骤S2：分离出通信数据和身份信息数据，对于身份信息数据，根据恢复身份信息数据确定接收机所在的子区域；对于通信数据，提取导频数据并计算信道估计矩阵，提取特征值后，利用机器学习模型定位，得到接收机的相对坐标，同时利用信道估计矩阵进行STBC解码，得到通信数据；将得到的相对坐标和接收机获取的身份信息数据结合，计算出接收机的最终坐标。

7. 根据权利要求6所述的基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法，其特征在于：所述接收端对接收到的数据进行处理的方法为：通过直流偏置光正交频分复用解调，将时域信号转换成频域信号，然后使用频域信道均衡技术进行信道估计，对身份信息的数据进行均衡，对通信数据进行解码，待所述身份信息数据和通信数据恢复后经过正交幅度解调后，输出二进制数据流。

8. 根据权利要求6所述的基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法，其特征在于：所述利用机器学习模型定位的方法为：在离线训练过程中，收集训练样本；抽取导频数据，计算信道估计矩阵，提取特征值后，将所述特征值作为机器学习模型的输入参数，利用机器学习模型训练得到机器学习模型定位。

9. 根据权利要求8所述的基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位方法，其特征在于：所述利用机器学习模型训练完成后，存储在接收机的本地存储器中或云端，定位时则将网络的输入参数上传至所述云端，使用云服务器计算出坐标，所述云服务器计算出坐标后再下传至下位机。

10. 一种基于机器学习和OFDM的室内可见光通信定位系统，其特征在于，包括：

划分模块，用于将中大型室内平面划分成多个相连的子区域，在每一个子区域上分配多个LED设备，且多个LED设备分别固定在所述子区域的顶点上，且相邻的子区域共用LED设备，其中所述LED设备设有身份信息；

处理模块，用于将需要发送的二进制数据流进行正交幅度调制，然后将通信数据和身份信息数据分别放置在各自分配的子载波上，并对通信数据进行STBC编码；

调制模块，对经过上述处理后的数据进行直流偏置光正交频分复用调制；

发送模块，用于将同一子区域内的多个LED设备上各自数据以光信号的形式发送，且光信号经过自由空间传输后发送至接收机，通过所述接收机接收。

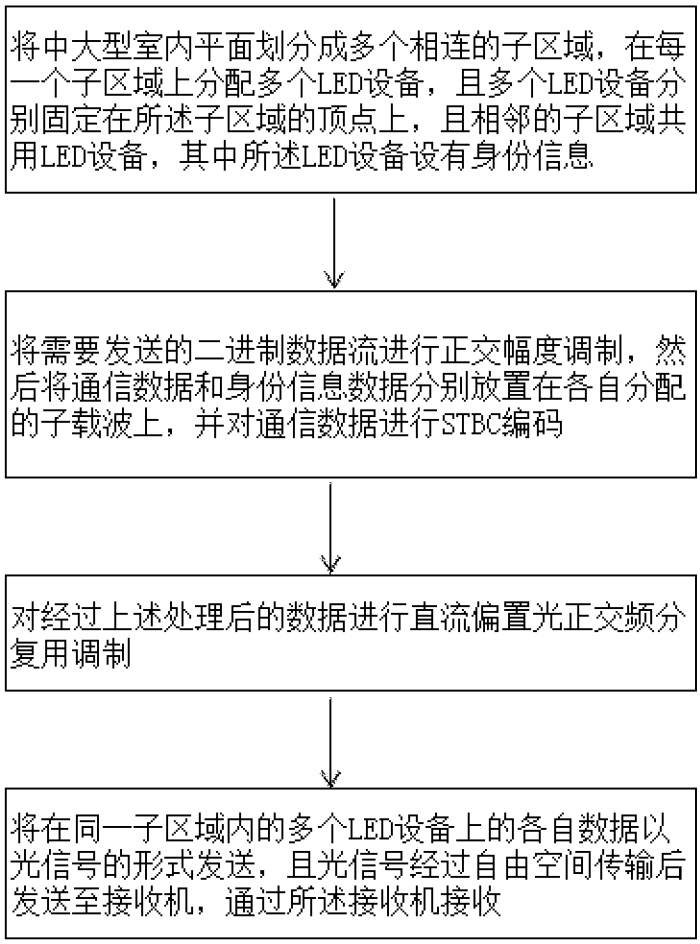
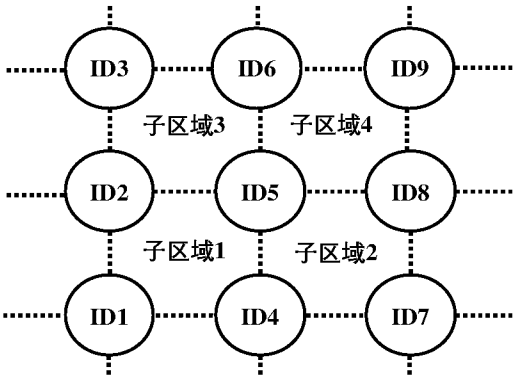

将中大型室内平面划分成多个相连的子区域，在每一个子区域上分配多个LED设备，且多个LED设备分别固定在所述子区域的顶点上，且相邻的子区域共用LED设备，其中所述LED设备设有身份信息
将需要发送的二进制数据流进行正交幅度调制，然后将通信数据和身份信息数据分别放置在各自分配的子载波上，并对通信数据进行STBC编码
对经过上述处理后的数据进行直流偏置光正交频分复用调制
将在同一子区域内的多个LED设备上的各自数据以光信号的形式发送，且光信号经过自由空间传输后发送至接收机，通过所述接收机接收

图 1



子区域编号	区域内LED编号
子区域1	LED (1,2,5,4)
子区域2	LED (4,5,8,7)
子区域3	LED (2,3,6,5)
子区域4	LED (5,6,9,8)
…	…

图 2

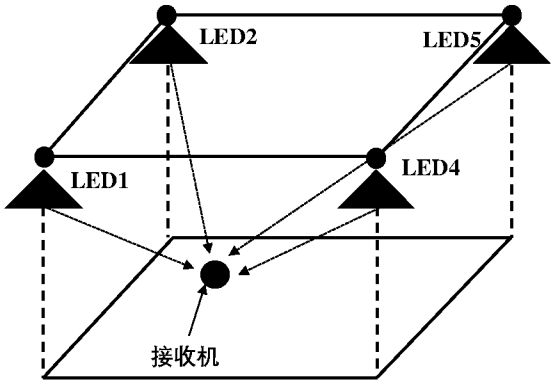
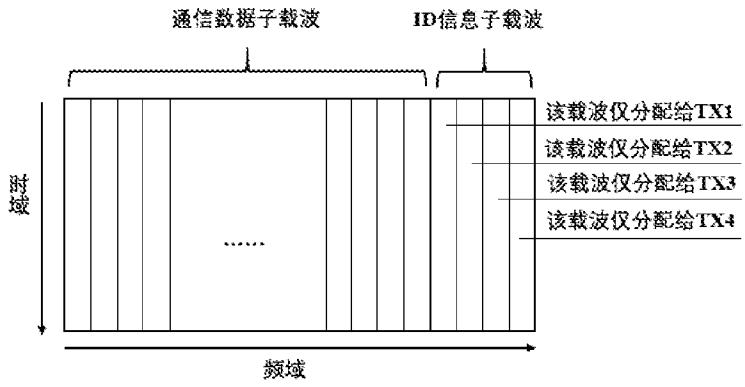


图 3



LED 编号	ID信息编号	ID信息载波频率
LED 1	ID 1	f_1
LED 2	ID 2	f_2
LED 3	ID 3	f_1
LED 4	ID 4	f_4
LED 5	ID 5	f_3
LED 6	ID 6	f_4
LED 7	ID 7	f_1
LED 8	ID 8	f_2
LED 9	ID 9	f_1

	Tx1	Tx2	Tx3	Tx4
SC1@f_1	ID 1	Null	Null	Null
SC1@f_2	Null	ID 2	Null	Null
SC1@f_3	Null	Null	ID 3	Null
SC1@f_4	Null	Null	Null	ID 4

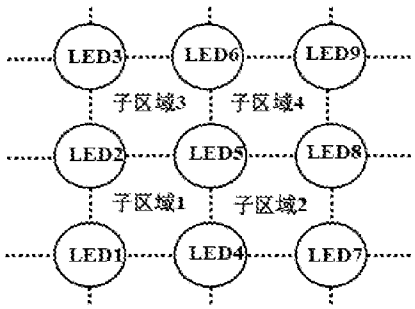


图 4

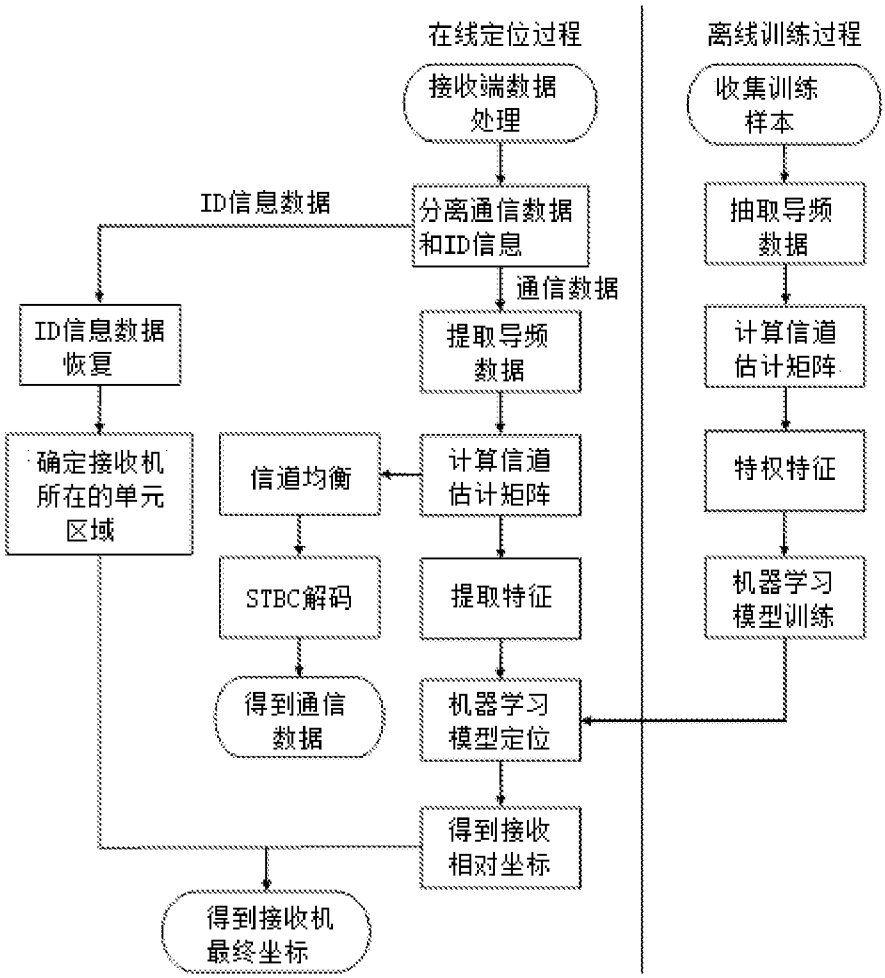

在线定位过程
离线训练过程
接收端数据处理
收集训练样本
ID信息数据
分离通信数据和ID信息
抽取导频数据
通信数据
ID信息数据恢复
提取导频数据
计算信道估计矩阵
确定接收机所在的单元区域
信道均衡
计算信道估计矩阵
特权特征
STBC解码
提取特征
机器学习模型训练
得到通信数据
机器学习模型定位
得到接收相对坐标
得到接收机最终坐标

图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2020/082658

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 10/116(2013.01)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)

H04B

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)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC, IEEE: 可见光通信, 定位, 机器学习, 神经网络, 向量机, 正交频分复用, 空间时间编码块, 空时编码, 标识, 身份, 区域, VLC, location, matchine learning, NN, ANN, SVM, OFDM, STBC, ID, area, block, zone

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	NI, Shencheng et al. "Two methods of accurate indoor positioning based on visible light communication system and artificial neural network" *2019 18th International Conference on Optical Communications and Networks,* 19 December 2019 (2019-12-19), abstract, sections 1-2, figure 1	1-5, 10
X	NI, Shencheng et al. "Two methods of accurate indoor positioning based on visible light communication system and artificial neural network" *2019 18th International Conference on Optical Communications and Networks,* 19 December 2019 (2019-12-19), abstract, sections 1-2, figure 1	6-9
Y	CN 108667524 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. et al.) 16 October 2018 (2018-10-16) description, paragraphs 0061-0067, 0075-0080, 0102-0106	1-5, 10
Y	陈泉润 (CHEN, Quanrun). "高速可见光通信关键技术及空间应用的研究 (Research on Key Technologies of High Speed Visible Light Communication and Space Application)" *中国博士学位论文全文数据库 信息科技辑 (Electronic Technology & Information Science, China Doctoral Dissertations Full-Text Database),* No. 3, 15 March 2020 (2020-03-15), section 2.4.1	1-5, 10

☑ 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
"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	Date of mailing of the international search report
27 November 2020	**17 December 2020**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	LIN, Chun et al. "An Indoor Visible Light Positioning System Using Artificial Neural Network" *2018 Asia Communications and Photonics Conference (ACP),* 31 December 2018 (2018-12-31), sections 2-3, figures 1, 3	1-5, 10
X	LIN, Chun et al. "An Indoor Visible Light Positioning System Using Artificial Neural Network" *2018 Asia Communications and Photonics Conference (ACP),* 31 December 2018 (2018-12-31), sections 2-3, figures 1, 3	6-9
A	CN 104270194 A (NANJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 07 January 2015 (2015-01-07) entire document	1-10
A	CN 108363040 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 03 August 2018 (2018-08-03) entire document	1-10
A	CN 110555456 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 10 December 2019 (2019-12-10) entire document	1-10
A	US 2017346559 A1 (EROGLU Yusuf S. et al.) 30 November 2017 (2017-11-30) entire document	1-10
A	陈浩哲 等 (CHEN, Haozhe et al.). "可见光通信定位集成系统仿真研究 (Simulation Research on the Integrated System of Visible Light Communication and Location)" *Study on Optical Communications,* No. 2, 30 April 2019 (2019-04-30), pp. 15-18	1-10
A	LI, Changping et al. "Outdoor environment LED-identification systems integrate STBC-OFDM" *ICTC 2011,* 18 November 2011 (2011-11-18), pp. 166-171	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2020/082658

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 108667524 A	16 October 2018	None	
CN 104270194 A	07 January 2015	None	
CN 108363040 A	03 August 2018	None	
CN 110555456 A	10 December 2019	None	
US 2017346559 A1	30 November 2017	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2020/082658

A. 主题的分类

H04B 10/116(2013.01)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)

H04B

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））

CNPAT,CNKI,WPI,EPODOC,IEEE：可见光通信，定位，机器学习，神经网络，向量机，正交频分复用，空间时间编码块，空时编码，标识，身份，区域，VLC, location, matchine learning, NN, ANN, SVM, OFDM, STBC, ID, area, block, zone

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
Y	NI, Shencheng等. "Two methods of accurate indoor positioning based on visible light communication system and artificial neural network" 2019 18th International Conference on Optical Communications and Networks, 2019年 12月 19日 (2019-12-19), 摘要，第1-2节，图1	1-5，10
X	NI, Shencheng等. "Two methods of accurate indoor positioning based on visible light communication system and artificial neural network" 2019 18th International Conference on Optical Communications and Networks, 2019年 12月 19日 (2019-12-19), 摘要，第1-2节，图1	6-9
Y	CN 108667524 A (华为技术有限公司 等) 2018年 10月 16日 (2018-10-16) 说明书第0061-0067，0075-0080，0102-0106段	1-5，10
Y	陈泉润. "高速可见光通信关键技术及空间应用的研究" 中国博士学位论文全文数据库 信息科技辑，第3期，2020年 3月 15日 (2020-03-15), 第2.4.1节	1-5，10

☑ 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

"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	国际检索报告邮寄日期
2020年 11月 27日	2020年 12月 17日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 王燕花 电话号码 86-（10）-53961656

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
Y	LIN, Chun等. "An Indoor Visible Light Positioning System Using Artificial Neural Network" 2018 Asia Communications and Photonics Conference (ACP), 2018年 12月 31日 (2018-12-31), 第2-3节，图1，3	1-5，10
X	LIN, Chun等. "An Indoor Visible Light Positioning System Using Artificial Neural Network" 2018 Asia Communications and Photonics Conference (ACP), 2018年 12月 31日 (2018-12-31), 第2-3节，图1，3	6-9
A	CN 104270194 A (南京邮电大学) 2015年 1月 7日 (2015-01-07) 全文	1-10
A	CN 108363040 A (华南理工大学) 2018年 8月 3日 (2018-08-03) 全文	1-10
A	CN 110555456 A (华南理工大学) 2019年 12月 10日 (2019-12-10) 全文	1-10
A	US 2017346559 A1 (EROGLU Yusuf S.等) 2017年 11月 30日 (2017-11-30) 全文	1-10
A	陈浩哲 等. "可见光通信定位集成系统仿真研究" 光通信研究, 第2期，2019年 4月 30日 (2019-04-30), 第15-18页	1-10
A	LI, Changping等. "Outdoor environment LED-identification systems integrate STBC-OFDM" ICTC 2011, 2011年 11月 18日 (2011-11-18), 第166-171页	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2020/082658

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 108667524 A	2018年 10月 16日	无	
CN 104270194 A	2015年 1月 7日	无	
CN 108363040 A	2018年 8月 3日	无	
CN 110555456 A	2019年 12月 10日	无	
US 2017346559 A1	2017年 11月 30日	无	