

(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3月4日 (04.03.2021)



(10) 国际公布号
WO 2021/035880 A1

(51) 国际专利分类号：

H04B 7/185 (2006.01) H04B 7/0413 (2017.01)
H04B 7/0456 (2017.01) H04B 7/0408 (2017.01)
H04B 7/0426 (2017.01)

(21) 国际申请号： PCT/CN2019/1 10248

(22) 国际申请日： 2019年10月10日 (10.10.2019)

(25) 申请语言： 中文

(26) 公布语言： 中文

(30) 优先权： 201910805571.5 M19年8月29日 (29.08.2019) CN

(71) 申请人：东南大学 (SOUTHEAST UNIVERSITY) [CN/CN]；中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号，Jiangsu 210096 (CN)。

(72) 发明人：高西奇 (GAO, Xiqi)；中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号，Jiangsu 210096 (CN)。尤力 (YOU, Li)；中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号，Jiangsu 210096 (CN)。李科新 (LI, Kexin)；中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号，Jiangsu 210096 (CN)。王家恒 (WANG, Jiaheng)；中国江苏省南

京市玄武区四牌楼二号，Jiangsu 210096 (CN)。王闻今 (WANG, Wenjin)；中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号，Jiangsu 210096 (CN)。

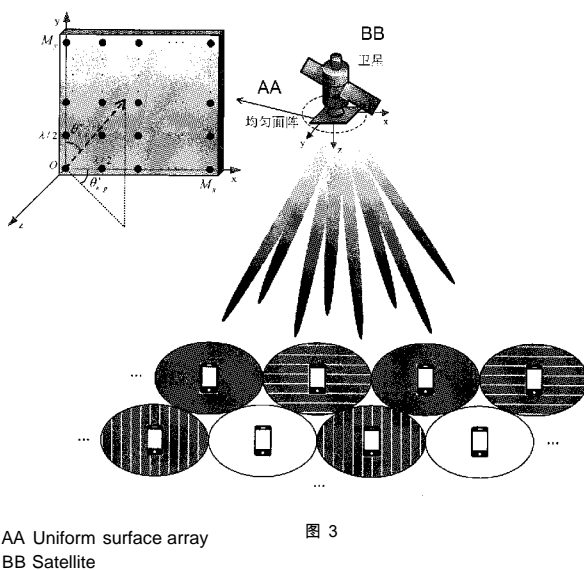
(74) 代理人：南京经纬专利商标代理有限公司 (NANJING JINGWEI PATENT & TRADEMARK AGENCY CO., LTD)；中国江苏省南京市鼓楼区中山路179号12楼B座，Jiangsu 210005 (CN)。

(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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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,

(54) Title LARGE-SCALE MIMO SATELLITE MOBILE COMMUNICATION METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称：大规模MIMO卫星移动通信方法及系统



(57) Abstract: Disclosed are a large-scale MIMO satellite mobile communication method and system. A satellite or an information gateway utilizes spatial angle information of users to group users to be served in a coverage area, thus forming spatially-separated user groups, user terminals of a same group use a same time-frequency resource to communicate with the satellite, and user terminals of different groups use different time-frequency resources to communicate with the satellite. With respect to the user terminals of a same spatially-separated user group, the satellite or the information gateway utilizes statistical channel information of the user terminals to calculate a downlink precoding vector and an uplink reception processing vector corresponding to each user terminal, and then utilizes the vectors obtained for downlink precoding transmission and uplink reception signal processing. The user terminals utilize a doppler shift caused by a satellite movement and the minimum propagation delay of long-distance propagation to perform frequency and time compensations with respect to a received signal and a transmitted signal. The present invention greatly increases the spectrum efficiency and power efficiency of a satellite mobile communication system and reduces implementation complexity.



WO 2021/035880 A1

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)) 。

(57) 摘要：本发明公开了大规模MIMO卫星移动通信方法及系统。卫星或信关站利用各用户的空间角度信息对覆盖区内待服务的用户进行分组，形成空分用户组，同一组内的用户终端使用同一时频资源与卫星进行通信，不同组的用户终端使用不同的时频资源与卫星进行通信。对于同一空分用户组的用户终端，卫星或信关站利用各用户终端的统计信道信息，计算与每一个用户终端相应的下行预编码矢量和上行接收处理矢量，然后利用所得到的矢量进行下行预编码传输和上行接收信号处理。用户终端利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延，对其接收信号和发送信号进行频率和时间补偿。本发明能够大幅提高卫星移动通信系统的频谱效率与功率效率，并降低实现复杂度。

大规模 MIMO 卫星移动通信方法及系统

技术领域

本发明涉及配置天线阵列或大规模天线阵列的卫星移动通信方法及系统，尤其涉及利用大规模 MIMO 技术的卫星移动通信方法及系统。

背景技术

移动互联网和物联网应用需求的持续增长，驱动着无线移动通信快速发展。能够支持高达数十 Gbps 数据速率和每平方公里百万终端连接的陆地 5G 技术即将进入商用。6G 移动通信研究已进入议事日程，将在全频谱范围内开发利用无线资源，支持高达 Tbps 传输速率和每平方公里千万终端连接，并向全球深度覆盖发展，支持全场景的移动信息服务，移动通信将转变成支撑全行业、全社会运行的信息基础设施。

卫星移动通信是实现全球深度覆盖及全场景移动信息服务的关键设施。随着人类对海洋、极地、空域的开发利用，在全球随时随地、不间断地获得信息通信服务的应用需求越来越强烈，而陆地移动网络仅覆盖全球陆地面积的 20%，急需发展卫星移动通信，实现全球深度覆盖，并支持增强的移动互联网宽带通信和物联网机器型通信。近年来，利用高轨卫星、中轨卫星和低轨卫星的卫星移动通信吸引了业界的广泛关注。

大规模多输入多输出 (Multiple-Input Multiple-Output, MIMO) 技术通过在基站侧配备大量的天线，可以在同一时频资源上服务数十个用户，已经成为 5G 的关键技术之一，其进一步拓展研究和应用也将是 5G 之后移动通信的重要发展方向。现有的卫星移动通信系统大多与早期的陆地多色复用蜂窝移动通信相一致，采用多色复用多波束通信体系架构，存在着功率受限及频谱资源复用能力低的瓶颈问题。将大规模 MIMO 技术拓展应用于卫星移动通信系统，形成大规模

MIMO 卫星移动通信技术，构建大规模 MIMO 卫星移动通信系统，对提高卫星移动通信的频谱和功率效率具有重要的实际意义。

发明内容

发明目的：本发明的目的是提供大规模 MIMO 卫星移动通信方法及系统，突破传统多色复用多波束通信方法所存在的功率受限及频谱资源复用能力低的瓶颈问题，大幅提高卫星移动通信系统的频谱效率与功率效率，并降低实现复杂度。

技术方案：大规模 MIMO 卫星移动通信方法，应用于卫星或与卫星相联系的信关站，所述卫星配置天线阵列，与其覆盖区内用户终端进行通信；所述方法包括：

卫星或信关站利用各用户终端的空间角度信息对覆盖区内待服务的用户进行分组，形成空分用户组，同一空分用户组内的用户终端使用同一时频资源与卫星进行通信，不同空分用户组的用户终端使用不同的时频资源与卫星进行通信；

对于同一空分用户组的用户终端，卫星或信关站利用包括空间角度信息与平均信道能量在内的各用户终端的统计信道信息，计算与每一个用户终端相应的下行预编码矢量或上行接收处理矢量，然后利用所得到的矢量进行下行预编码传输或上行接收信号处理；

在卫星或各用户终端的移动过程中，随着统计信道信息的变化，动态实施用户分组、上下行传输过程。

所述的统计信道信息由上行链路探测过程获得或通过各用户终端的反馈信息获得；所述的上行链路探测过程中，各个用户周期性地发送探测信号，卫星根据接收到的探测信号，估计各用户的空间角度或平均信道能量信息；所述的各用户终端的反馈信息是用户的空间角度信息、平均信道能量或地理位置信息。

所述的用户分组过程中，利用若干固定的参考空间角度，将卫星覆盖区的空间角度范围划分成对应数量的子区间，参考空间角度由设定数量组的参考空间角

度构成，每个参考空间角度组的不同参考空间角度对应的阵列方向矢量相互正交；利用各用户的空间角度信息，确定其所属的子区间；将待服务的用户终端划分出空分用户组，同一子区间的不同用户被分配到不同的用户组，同一用户组的各用户其所属的子区间为同一个参考空间角度组所对应的子区间；所述的空分用户组内的用户在通信过程中使用同一时频资源与卫星进行通信，不同空分用户组的用户在通信过程中使用不同的时频资源与卫星进行通信。

所述的下行预编码矢量依据平均信漏噪比 ASLNR 准则通过计算得到；用户终端的 ASLNR 为向用户发送信号被用户接收到的平均功率或功率期望值与泄漏到其他用户的平均功率或功率期望值及噪声功率之和的比值，所述的下行预编码矢量使得用户终端的 ASLNR 取最大值；利用所述的空间角度信息和平均信道能量，下行预编码矢量通过闭式计算得到。

所述的上行接收处理矢量依据平均信干噪比 ASINR 准则通过闭式计算得到；用户终端的 ASINR 为利用用户接收处理矢量所形成的信号中用户发送信号平均功率或功率期望值与其他用户发送信号平均功率或功率期望值及噪声功率之和的比值，所述的上行接收处理矢量使得用户终端的 ASINR 取最大值；利用所述的空间角度信息和平均信道能量，上行接收处理矢量通过闭式计算得到。

大规模 MIMO 卫星移动通信方法，应用于用户终端，包括：

用户终端周期性地向卫星发送探测信号，或者向卫星反馈用户的空间角度信息、平均信道能量或地理位置信息；所述空间角度信息由卫星根据探测信号估计或根据地理位置计算得到，用于卫星或信关站对覆盖区内待服务的用户进行分组，形成空分用户组，同一组内的用户终端使用同一时频资源与卫星进行通信，不同组的用户终端使用不同的时频资源与卫星进行通信；

用户终端接收卫星信号并利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对下行接收信号进行频率和时间补偿，用户终端所接收的卫星信号

为卫星利用包括空间角度信息与平均信道能量的统计信道信息计算相应的下行预编码矢量进行下行预编码生成的发送信号经过信道后的信号；

用户终端利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对上行发送信号进行频率和时间补偿后向卫星发送，所述发送的信号在卫星接收到之后利用上行接收处理矢量进行上行接收信号处理，所述上行接收处理矢量由卫星利用包括空间角度信息与平均信道能量的统计信道信息计算得到。

所述的卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延，由用户终端依据接收到的同步信号估计得到，或由用户终端和卫星的位置信息计算得到；随着卫星或用户终端的移动，动态地更新多普勒频移、最小传播时延信息，频率和时间补偿量随之自适应地变化。

大规模 MIMO 卫星移动通信卫星侧设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述计算机程序被加载至处理器时实现所述的应用于卫星或信关站的大规模 MIMO 卫星移动通信方法。

大规模 MIMO 卫星移动通信用户终端设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述计算机程序被加载至处理器时实现所述的应用于用户终端的大规模 MIMO 卫星移动通信方法。

大规模 MIMO 卫星移动通信系统，包括卫星和用户终端，所述卫星配置天线阵列，与其覆盖区内用户终端进行通信；所述卫星或与其相联系的信关站用于：

利用各用户终端的空间角度信息对覆盖区内待服务的用户进行分组，形成空分用户组，同一空分用户组内的用户终端使用同一时频资源与卫星进行通信，不同空分用户组的用户终端使用不同的时频资源与卫星进行通信；

对于同一空分用户组的用户终端，利用包括空间角度信息与平均信道能量在内的各用户终端的统计信道信息，计算与每一个用户终端相应的下行预编码矢量或上行接收处理矢量，然后利用所得到的矢量进行下行预编码传输或上行接收信号处理；

在卫星或各用户终端的移动过程中，随着统计信道信息的变化，动态实施用户分组、上下行传输过程；

所述用户终端用于：周期性地向卫星发送探测信号，或者向卫星反馈用户的空间角度信息、平均信道能量或地理位置信息；接收卫星信号并利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对下行接收信号进行频率和时间补偿；以及利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对上行发送信号进行频率和时间补偿后向卫星发送。

有益效果：与现有技术相比，本发明具有如下优点：

(1) 将大规模 MIMO 技术拓展应用到卫星移动通信系统，能够突破传统多色复用多波束通信方法所存在的功率受限及频谱资源复用能力低的瓶颈问题，大幅提高卫星移动通信系统的频谱效率与功率效率。

(2) 充分利用卫星移动通信信道的特点，利用其长时统计信道信息，实施空分用户成组，并在各组内实施下行预编码传输及上行接收处理，能够克服已有陆地移动通信大规模 MIMO 技术直接应用于卫星移动通信的不适应性，在大幅提高频谱和功率效率的同时，降低系统实现复杂度。

(3) 用户分组、下行预编码矢量计算及上行接收处理矢量计算仅依赖于少量的长时统计信道信息，所需信息易于获取，通信方法适用于时分双工 (Time Division Duplex, TDD) 和频分双工 (Frequency Division Duplex, FDD) 卫星移动系统。

(4) 用户终端利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延，对其接收信号和发送信号进行频率和时间补偿，能够简化系统设计，通信方法适用于利用高轨卫星、中轨卫星和低轨卫星的卫星移动通信。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅表

明本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他实施例的附图。

图 1 为大规模 MIMO 卫星移动通信中卫星侧处理方法流程示意图。

图 2 为大规模 MIMO 卫星移动通信中用户终端侧处理方法流程示意图。

图 3 为大规模 MIMO 卫星移动通信系统示意图。

图 4 为大规模 MIMO 卫星移动通信性能对比图 (与传统四色复用方法对比)。

图 5 为大规模 MIMO 卫星移动通信卫星侧设备的结构示意图。

图 6 为大规模 MIMO 卫星移动通信用户终端设备的结构示意图。

图 7 为大规模 MIMO 卫星移动通信系统的结构示意图。

具体实施方式

为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整的描述，显然，所描述的实施例仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都应当属于本发明保护的范围。

如图 1 所示，本发明实施例公开的大规模 MIMO 卫星移动通信方法，该方法应用于卫星或与卫星相联系的信关站，其中卫星配置天线阵列与其覆盖区内用户终端进行通信。该方法包括：

卫星或信关站利用各用户终端的空间角度信息对覆盖区内待服务的用户进行分组，形成空分用户组，同一空分用户组内的用户终端使用同一时频资源与卫星进行通信，不同空分用户组的用户终端使用不同的时频资源与卫星进行通信；用户分组过程中，利用若干固定的参考空间角度，将卫星覆盖区的空间角度范围划分成对应数量的子区间，参考空间角度由设定数量组的参考空间角度构成，每个参考空间角度组的不同参考空间角度对应的阵列方向矢量相互正交；利用各用户的空间角度信息，确定其所属的子区间；将待服务的用户终端划分出空分用户

组，同一子区间的不同用户被分配到不同的用户组，同一用户组的各用户其所属的子区间为同一个参考空间角度组所对应的子区间；所述的空分用户组内的用户在通信过程中使用同一时频资源与卫星进行通信，不同空分用户组的用户在通信过程中使用不同的时频资源与卫星进行通信。

对于同一空分用户组的用户终端，卫星或信关站利用包括空间角度信息与平均信道能量在内的各用户终端的统计信道信息，计算与每一个用户终端相应的下行预编码矢量或上行接收处理矢量，然后利用所得到的矢量进行下行预编码传输或上行接收信号处理；其中下行预编码矢量可依据平均信漏噪比 ASLNR 准则通过闭式计算得到，上行接收处理矢量可依据平均信干噪比 ASINR 准则通过闭式计算得到。

在卫星或各用户终端的移动过程中，随着统计信道信息的变化，动态实施用户分组、上下行传输过程。

上述方法中，统计信道信息可由上行链路探测过程获得或通过各用户终端的反馈信息获得；在上行链路探测过程中，各个用户周期性地发送探测信号，卫星根据接收到的探测信号，估计各用户的空间角度或平均信道能量信息；各用户终端的反馈信息是用户的空间角度信息、平均信道能量或地理位置信息。

如图 2 所示，本发明实施例公开的大规模 MIMO 卫星移动通信方法，该方法应用于用户终端，该方法包括：

用户终端周期性地向卫星发送探测信号，或者向卫星反馈用户的空间角度信息、平均信道能量或地理位置信息；卫星或信关站利用空间角度信息对覆盖区内待服务的用户进行分组，形成空分用户组，同一空分用户组内的用户终端使用同一时频资源与卫星进行通信，不同空分用户组的用户终端使用不同的时频资源与卫星进行通信；

用户终端接收卫星信号并利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对下行接收信号进行频率和时间补偿，用户终端所接收的卫星信号

为卫星利用包括空间角度信息与平均信道能量的统计信道信息计算相应的下行预编码矢量进行下行预编码生成的发送信号经过信道后的信号；

用户终端利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对上行发送信号进行频率和时间补偿后向卫星发送，所述发送的信号在卫星接收到之后利用上行接收处理矢量进行上行接收信号处理，所述上行接收处理矢量由卫星利用包括空间角度信息与平均信道能量的统计信道信息计算得到。

其中卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延，由用户终端依据接收到的同步信号估计得到，或由用户终端和卫星的位置信息计算得到；随着卫星或用户终端的移动，动态地更新多普勒频移、最小传播时延信息，频率和时间补偿量随之自适应地变化。

下面结合具体实施场景对本发明实施例的方法做进一步的介绍，本发明方法不对具体场景做限定，对于与本发明示例性场景外的其他实施，本领域技术人员可以依据本发明的技术思路利用现有知识根据具体场景做适应性调整。

(1) 卫星侧系统配置

考虑单颗卫星（可以是低轨卫星，或中轨卫星，或高轨卫星）的情况，卫星侧配备天线阵列（可以是一维或二维阵列，天线数为几十到几百）。天线阵列或大规模天线阵列可以根据数量和易于安装等要求排成不同的形状。最基本的是二维均匀面板天线阵列（Uniform Planar Array, UPA），即天线单元在横向和纵向均匀排列，相邻天线单元的间距可以为 $\lambda/2$ 或 $\lambda/4$ ，其中 λ 为载波波长。

(2) 信道模型

以单颗卫星与多个用户通信为例，如图 3 所示。假设卫星侧配备 UPA，x 轴与 y 轴方向的天线单元各位分别为 M_x 和 M_y ，用户侧配备单根天线。记 $M = M_x M_y$ 为卫星配备的总天线数。下行链路中，用户 A 与卫星之间随时间 t 和频率 f 变化的信道矢量可以表示为

$$\mathbf{g}_k^{\text{dl}}(t, f) = \sum_{p=0}^{P_k-1} \mathbf{g}_{k,p}^{\text{dl}} \cdot \exp\left\{j2\pi\left(tv_{k,p} - f\tau_{k,p}\right)\right\} \cdot \mathbf{v}_{k,p} \quad (1)$$

其中 $j = \sqrt{-1}$ 为纯虚数, P_k 表示用户 k 的多径数, $g_{k,p}^{\text{dl}}$ 、 $v_{k,p}$ 、 $\tau_{k,p}$ 和 $\mathbf{v}_{k,p} \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 分别为用户 k 的第 p 条径的复数增益、多普勒频移、传播时延和下行阵列方向矢量。

用户 k 的第 p 条径的多普勒频移 $v_{k,p}$ 主要由两个独立的部分构成, 由于卫星移动所引起的卫星多普勒频移 $v_{k,p}^{\text{sat}}$, 和由于用户移动所引起的用户多普勒频移 $v_{k,p}^{\text{ut}}$ 。因为卫星距离地面用户较远, 卫星多普勒频移 $v_{k,p}^{\text{sat}}$ 可以认为对用户 k 的不同传播路径 p 都是相同的, 所以记 $v_{k,p}^{\text{sat}} = v_k^{\text{sat}}$ 。另一方面, 用户多普勒频移 $v_{k,p}^{\text{ut}}$ 对不同传播路径 p 一般都是不同的。

由于卫星距离用户较远, 用户 k 的第 p 条径的传播时延 $\tau_{k,p}$ 会比地面移动网络中更大。定义 $\tau_k^{\min} = \min_p \{\tau_{k,p}\}$ 和 $\tau_k^{\max} = \max_p \{\tau_{k,p}\}$ 分别为用户 k 的最小传播时延和最大传播时延, 则 $\tau_k^{\max} - \tau_k^{\min}$ 为用户 k 的信道时延扩展。为了简化符号, 记 $\tau_{k,p}^{\text{ut}} \triangleq \tau_{k,p} - \tau_k^{\min}$ 。

用户 k 的第 p 条径的下行阵列方向矢量 $\mathbf{v}_{k,p}$ 可以表示为

$$\mathbf{v}_{k,p} \triangleq \mathbf{K}_{k,p} \otimes \mathbf{v}_{k,p} = \mathbf{v}_x \{\varphi_{k,p}\} \otimes \mathbf{v}_y \{\varphi_{k,p}\} \quad (2)$$

其中 $\mathbf{v}_d \in \mathbb{C}^{M_d \times 1}$ 为 x 轴或 y 轴方向的下行阵列方向矢量, $d \in \{x, y\} \triangleq \mathbb{V}$, \otimes 表示求两个矩阵或向量的克罗内克积, 且

$$\mathbf{v}_d(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{M_d}} \left[1 \quad \exp\left\{-j2\pi \frac{\delta^d}{\lambda_{\text{dl}}}\varphi\right\} \quad \dots \quad \exp\left\{-j2\pi(M_d-1)\frac{\delta^d}{\lambda_{\text{dl}}}\varphi\right\} \right]^T \quad (3)$$

其中 δ^d 为 x 轴或 y 轴方向的天线单元间距, $\lambda_{\text{dl}} = c/f_{\text{dl}}$ 为下行载波波长, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 为光速, f_{dl} 为下行载波频率, T 表示求矩阵或向量的转置。若卫星侧配备其他形式的天线阵列, 只需将 $\mathbf{v}_{k,p}$ 替换为其对应的阵列方向矢量即可。

信道模型中, 参数 $\varphi_{k,p}^x$ 和 $\varphi_{k,p}^y$ 与空间角度的关系可以表示为 $\varphi_{k,p}^x = \sin(\theta_{k,p}^y)\cos(\theta_{k,p}^x)$ 和 $\varphi_{k,p}^y = \cos(\theta_{k,p}^y)$, 其中 $\theta_{k,p}^x$ 和 $\theta_{k,p}^y$ 分别为发送信号与 x 轴和 y 轴的夹角, 即离开角 (Angle of Departure, AoD)。在本实施例中, 由于卫星侧配备了二维天线阵列, 用户 k 的第 p 条径对应的空间角度为一个二维矢量, 表示为 $(\mathbf{e}_{k,p}^x, \varphi_{k,p}^y)$, 对于一维天线阵列, 空间角度为一标量。在卫星通信中, 由

于用户距离卫星较远，相同用户的不同多径信号所对应的 AoD 可以认为是近似相同的。因此，用户 k 的下行阵列方向矢量 $\mathbf{v}_{k,p}$ 可以简记为

$$\mathbf{v}_{k,p} = \mathbf{v}_k = \mathbf{v}_k^x \otimes \mathbf{v}_k^y = \mathbf{v}_x(\varphi_k^x) \otimes \mathbf{v}_y(\varphi_k^y) \quad (4)$$

其中， $\varphi_k^x = \sin(\theta_k^y) \cos(\theta_k^x)$ 和 $\varphi_k^y = \cos(\theta_k^y)$ ，其取值范围都为 $[-1,1)$ 。记 (θ_k^y) 为用户 k 的空间角度，则用户 k 的下行阵列方向矢量 \mathbf{v}_k 中包含了对应的空间角度信息。

用户 k 与卫星之间随时间 t 和频率 f 变化的下行信道矢量可以重新表示为

$$\mathbf{g}_k^{\text{dl}}(t, f) = \mathbf{v}_k \cdot g_k^{\text{dl}}(t, f) \cdot \exp\left\{j2\pi\left[t\nu_k^{\text{sat}} - f\tau_k^{\text{min}}\right]\right\} \quad (5)$$

其中 $g_k^{\text{dl}}(t, f)$ 为用户 k 随时间 t 和频率 f 变化的下行信道增益

$$\begin{aligned} g_k^{\text{dl}}(t, f) &\triangleq \sum_{p=0}^{P_k-1} g_{k,p}^{\text{dl}} \cdot \exp\left\{j2\pi\left[t(\nu_{k,p} - \nu_k^{\text{sat}}) - f(\tau_{k,p} - \tau_k^{\text{min}})\right]\right\} \\ &= \sum_{p=0}^{P_k-1} g_{k,p}^{\text{dl}} \cdot \exp\left\{j2\pi\left[t\nu_{k,p}^{\text{ut}} - f\tau_{k,p}^{\text{ut}}\right]\right\} \end{aligned} \quad (6)$$

用户 k 的平均信道能量定义为

$$E\{|g_k^{\text{dl}}(t, f)|^2\} = r_k \quad (7)$$

若 $g_k^{\text{dl}}(t, f)$ 服从莱斯分布，且莱斯因子为 κ_k ，则

$$g_k^{\text{dl}}(t, f) \sim \text{CN}\left(\sqrt{\frac{\kappa_k \gamma_k}{\kappa_k + 1}}, \frac{\gamma_k}{\kappa_k + 1}\right) \quad (8)$$

在 TDD 系统中，上行链路的信道为下行链路信道的转置；而在 FDD 系统中，上行链路和下行链路使用不同的载波频率，当上行与下行的载波间隔较小，上行信道模型中的多径数、多普勒频移、传播延时，可以认为与下行信道模型中的 $\nu_{k,p}$ 、 $\tau_{k,p}$ 近似相同，因此用户 k 与卫星之间随时间 t 和频率 f 变化的上行信道矢量可以表示为

$$\mathbf{g}_k^{\text{ul}}(t, f) = \mathbf{u}_k \cdot g_k^{\text{ul}}(t, f) \cdot \exp\left\{j2\pi\left[t\nu_k^{\text{sat}} - f\tau_k^{\text{min}}\right]\right\} \quad (9)$$

其中 $g_k^{ul}(t, f) \triangleq \sum_{p=0}^{P_k-1} g_{k,p}^{ul} \cdot \exp\{j2\pi[tv_{k,p}^{ul} - f\tau_{k,p}^{ul}]\}$ 为用户 k 随时间 t 和频率 f 变化的

上行信道增益，上行平均信道能量可以表示为

$$E\{g_k^{ul}(t, f)\} = \bar{g}_k \quad (10)$$

\mathbf{u}_k 为用户 k 的上行阵列方向矢量

$$\mathbf{u}_t = \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} \otimes \mathbf{u}_y \quad (11)$$

其中 \mathbf{u}_x (的 $e^{j2\pi x d}$) 为 x 轴或 y 轴方向的上行阵列方向矢量, $d \in \{x, y\} \triangleq V \circ \mathbf{n}_d(q)$

的定义与 v_l 的类似，表示为

$$\mathbf{u}_d(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{M_d}} \left[1 \quad \exp\left\{-j2\pi \frac{\delta^d}{\lambda_{ul}} \varphi\right\} \quad \dots \quad \exp\left\{-j2\pi(M_d-1) \frac{\delta^d}{\lambda_{ul}} \varphi\right\} \right]^T \quad (12)$$

其中 $\lambda_{ul} = c/f_{ul}$ 为上行载波波长， f_{ul} 为上行载波频率。用户 k 的上行阵列方向矢量 \mathbf{u}_t 中包含了对应的空间角度信息。

(3) 统计信道信息获取

用户终端的空间角度或平均信道能量等统计信道信息，由上行链路探测过程获得，或通过各用户终端的反馈信息获得。在上行链路探测过程中，各个用户周期性地发送探测信号，卫星根据接收到的探测信号，估计各用户的空间角度和平均信道能量信息，例如卫星在每个接收探测信号段进行信道参数估计，然后利用多个段上的估计结果通过平均得到统计参数。具体地，参数 γ_k 和 ϕ_k^x 的估计值可以通过经典的到达角估计算法获得，例如 MUSIC 算法、ESPRIT 算法等；参数 γ_k 的估计值可以通过 LS 算法首先得到上行信道增益的幅值，再通过时间和频率平均获得。记 $\hat{\gamma}_{k,s}$ 、 $\hat{\phi}_{k,s}^x$ 和 $\hat{\phi}_{k,s}^y$ 分别为卫星对用户 k 的信道参数 γ_k 、 ϕ_k^x 和 ϕ_k^y 在第 s 个信号段的参数估计值，则将 $\hat{\gamma}_{k,s}$ 、 $\hat{\phi}_{k,s}^x$ 和 $\hat{\phi}_{k,s}^y$ 在 S 个信号段上的加权平均值作为最终估计值，即

$$\bar{r}_k = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S w_s \cdot \hat{r}_{k,s} \quad (13)$$

$$K = \prod_{s=1}^S w_s \cdot \hat{\phi}_{k,s}^x \quad (i4)$$

$$\bar{\phi}_k^y = \sum_{s=1}^S w_s \cdot \hat{\phi}_{k,s}^y \quad (15)$$

其中 $w_s \geq 0$ 为第 s 个信号段的权重，且满足 $\sum_{s=1}^S w_s = 1$ 。

各用户终端的反馈信息，是用户的空间角度信息，或平均信道能量，或地理位置信息。各用户终端的反馈信息可以利用下行同步信号或探测信号通过信道参数估计方法获得，其中地理位置信息也可以借助导航系统获得。在终端反馈地理位置信息的情况下，卫星侧利用终端的地理位置信息及卫星的位置信息得到各用户的空间角度信息。

(4) 用户分组方法

卫星或与其通过馈电链路相联系的信关站利用各用户终端的空间角度信息对覆盖区内待服务的用户进行分组，形成空分用户组，同一空分用户组内的用户终端使用同一时频资源与卫星进行通信，不同空分用户组的用户终端使用不同的时频资源与卫星进行通信。

所述的用户分组过程中，利用若干固定的参考空间角度（标量或二维矢量），将卫星覆盖区的空间角度范围划分成对应数量的子区间，参考空间角度由设定数量组的参考空间角度构成，每个参考空间角度组的不同参考空间角度对应的阵列方向矢量相互正交。在本实施例中，固定参考空间角度的数量为 $M_x M_y G_x G_y$ ，参考空间角度组的数量为 $G_x G_y$ ，其中 G_x 与 G_y 为正整数，则所述的参考空间角度为 $(\beta_{g,m}^x, \beta_{r,n}^y)$ ，其中 $\beta_{g,m}^x$ 和 $\beta_{r,n}^y$ 由下式确定

$$\sin(\beta_{r,n}^y) \cos(\beta_{g,m}^x) = -1 + \frac{\Delta_x}{2} + (g + mG_x) \Delta_x \triangleq \phi_{g,m}^x \quad (16)$$

$$\cos(\beta_{r,n}^y) = -1 + \frac{\Delta_y}{2} + (r + nG_y) \Delta_y \triangleq \phi_{r,n}^y \quad (17)$$

其中 $0 \leq g \leq G_x - 1$ 、 $0 \leq m \leq M_x - 1$ 、 $0 \leq r \leq G_y - 1$ 、 $0 \leq n \leq M_y - 1$ 、 $\Delta_x = 2/(M_x G_x)$ 、 $\Delta_y = 2/(M_y G_y)$ 。此外，由(16)和(17)式可得，第 (g, r) 个组对应 $M_x M_y$ 个参考空

间角度，其构成了一个参考空间角度组，且同一参考空间角度组内的不同参考空间角度对应的阵列方向矢量相互正交。所述的由参考空间角度所划分的空间角度区间定义为

$$\mathcal{A}_{(g,r)}^{(m,n)} = \left\{ (\theta^x, \theta^y) : \varphi^x \in \left[\phi_{g,m}^x - \frac{\Delta_x}{2}, \phi_{g,m}^x + \frac{\Delta_x}{2} \right), \varphi^y \in \left[\phi_{r,n}^y - \frac{\Delta_y}{2}, \phi_{r,n}^y + \frac{\Delta_y}{2} \right) \right\} \quad (18)$$

其中 $\varphi^x = \sin(\theta^y)\cos(\theta^x)$ 、 $\varphi^y = \cos(\theta^y)$ 、 $0 \leq g \leq G_x - 1$ 、 $0 \leq m \leq M_x - 1$ 、 $0 \leq r \leq G_y - 1$ 、 $0 \leq n \leq M_y - 1$ 。由(18)式可得，第 (g,r) 个参考空间角度组对应 $M_x M_y$ 个不连续的空间角度区间。

利用各用户的空间角度信息，确定其所属的子区间，具体方法为：用户 k 被分在第 (g,r) 个参考空间角度组的子区间 $\mathcal{A}_{(g,r)}^{(m,n)}$ 内，当且仅当用户 k 的空间角度 (θ_k^x, θ_k^y) 满足

$$(\theta_k^x, \theta_k^y) \in \mathcal{A}_{(g,r)}^{(m,n)} \quad (19)$$

将待服务的用户终端划分出空分用户组。若有不止一个用户都被分在同一子区间 $\mathcal{A}_{(g,r)}^{(m,n)}$ 内，则不同用户被分配到不同的空分用户组，同一空分用户组的各用户其所属的子区间为同一个参考空间角度组所对应的子区间；所述的空分用户组内的用户终端在通信过程中使用同一时频资源与卫星进行通信，不同空分用户组的用户终端在通信过程中使用不同的时频资源与卫星进行通信。

(5) 用户终端收发处理方法

用户终端接收信号为卫星利用空间角度与平均信道能量等统计信息进行下行预编码生成的发送信号经过信道后的信号，或用户终端发送信号在卫星接收到之后利用空间角度与平均信道能量等统计信息进行接收处理。用户终端需要利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延，对其接收信号或发送信号进行频率和时间补偿。卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延，由终端依据接收到的同步信号估计得到，或由终端和卫星的位置等信息计算得到。随着卫星或用户的移动，动态地更新多普勒频移、最小传播时延等信息，频率和时间补偿量等随之自适应地变化。

记正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM) 的子载波数量为 N_{us} , 循环前缀 (Cyclic Prefix, CP) 长度为 T_{cp} , 系统采样时间间隔为 T_s , 则 OFDM 符号时间长度为 $T_{us} = N_{us}T_s$, CP 时间长度为 $T_{cp} = N_{cp}T_s$ 。

记 OFDM 符号为 $\{x_{\ell,n}^{dl}\}_{n=0}^{N_{us}-1}$ 为下行第 ℓ 个 OFDM 符号, 则发送信号 $x_f(t) \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 可以表示为

$$\mathbf{x}_{\ell}^{dl}(t) = \sum_{n=0}^{N_{us}-1} \mathbf{x}_{\ell,n}^{dl} \cdot \exp\left\{j2\pi \frac{n}{T_{us}} t\right\}, -T_{cp} \leq t - \ell(T_{cp} + T_{us}) < T_{us} \quad (20)$$

则用户 A 对应的接收信号为

$$y_{k,\ell}^{dl}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [g_f(t, \tau)]^J x_f(t - \tau) d\tau \quad (21)$$

其中 $g_t^{dl}(t, \tau)$ 为 $g_t^{dl}(f)$ 的反傅里叶变换。

利用前述的卫星信道多普勒与时延特性, 我们对接收信号的多普勒频移和传播时延进行补偿。记 $r_f^{\min} = r_t^{\min}$ 和 $v_f^{\min} = v_f^t$, 则补偿后的接收信号可以表示为

$$y_{k,\ell}^{dl}(t) = y_{k,\ell}^{dl}(t + \tau_k^{\text{syn}}) \cdot \exp\{-j2\pi\{t + rT\}vT\} \quad (22)$$

这样, 接收信号的多普勒扩散和传播时延可以极大的减小。用户 k 在第 ℓ 个 OFDM 符号第 n 个子载波上的下行接收信号可以表示为

$$y_{k,\ell,n}^{dl} = (g_{tA}^{dl})_n^k X_{k,\ell,n} \quad (23)$$

其中 $(g_{tA}^{dl})_n^k$ 为用户 k 在第 ℓ 个 OFDM 符号第 n 个子载波上的下行信道矢量

$$(g_{tA}^{dl})_n^k = \mathbf{v}_k - g_{tA}^{dl} \mathbf{U}_n \in \mathbb{C}^{M \times 1} \quad (24)$$

其中 $(g_{tA}^{dl})_n^k = g_k^{dl}(\ell(T_{us} + T_{cp}), n/T_{us})$ 。

类似地, 在上行链路中, 用户 k 也需要对发送信号进行补偿。上行用户 k 在第 ℓ 个 OFDM 符号第 n 个子载波上的上行接收信号可以表示为

$$y_{k,\ell,n}^{ul} = \sum_k \mathbf{g}_{k,\ell,n}^{ul} x_{k,\ell,n}^{ul} \in \mathbb{C}^{M \times 1} \quad (25)$$

其中 $x_{k,\ell,n}^{ul}$ 为用户 k 的发送信号, $\mathbf{g}_{k,\ell,n}^{ul}$ 为用户 A 在第 ℓ 个 OFDM 符号第 n 个子载波上的上行信道矢量

$$\mathbf{g}_{k,\ell,n}^{\text{ul}} = \mathbf{u}_k \cdot \mathcal{G}_{k,\ell,n}^{\text{ul}} \in \mathbb{C}^{M \times 1} \quad (26)$$

其中 $\mathcal{G}_{k,\ell,n}^{\text{ul}} = \mathcal{G}_k^{\text{ul}}(\ell(T_{\text{us}} + T_{\text{cp}}), n/T_{\text{us}})$ 。

(6) 下行预编码矢量计算

下行预编码矢量，依据平均信漏噪比 ASLNR 准则通过闭式计算得到。考虑下行链路中，单颗卫星在相同的时频资源上服务 K 个单天线用户。记用户集合为 $\mathcal{K} = \{0, 1, \dots, K-1\}$ 。通过在卫星侧实施下行预编码，用户 k 的接收信号可以表示为

$$y_k^{\text{dl}} = (\mathbf{g}_k^{\text{dl}})^T \sum_{i \in \mathcal{K}} \sqrt{q_i^{\text{dl}}} \mathbf{b}_i s_i^{\text{dl}} + z_k^{\text{dl}} \quad (27)$$

其中 q_i^{dl} 为给用户 i 分配的功率， $\mathbf{b}_i \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 为用户 i 的预编码矢量且满足 $\|\mathbf{b}_i\|_2 = 1$ ($\|\cdot\|_2$ 表示求向量的欧几里得范数)， s_i^{dl} 为用户 i 的发送符号，其均值为 0 且方差为 1， $z_k^{\text{dl}} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_k^{\text{dl}})$ 为复高斯加性白噪声。

定义用户 k 的 ASLNR 为

$$\text{ASLNR}_k \triangleq \frac{\gamma_k \left| (\mathbf{v}_k)^T \mathbf{b}_k \right|^2}{\sum_{i \neq k} \gamma_i \left| (\mathbf{v}_i)^T \mathbf{b}_k \right|^2 + \frac{1}{\rho_k^{\text{dl}}}} \quad (28)$$

其中 $|\cdot|$ 表示求绝对值运算， $\rho_k^{\text{dl}} \triangleq q_k^{\text{dl}} / \sigma_k^{\text{dl}}$ 为用户 k 的下行信噪比。可以证明，最大化 ASLNR_k 的预编码矢量为

$$\mathbf{b}_k^{\text{aslnr}} = \frac{1}{\eta_k^{\text{aslnr}}} \left[\left(\sum_i \gamma_i \mathbf{v}_i \mathbf{v}_i^H + \frac{1}{\rho_k^{\text{dl}}} \mathbf{I}_M \right)^{-1} \mathbf{v}_k \right]^* \quad (29)$$

其中 η_k^{aslnr} 为使得 $\mathbf{b}_k^{\text{aslnr}}$ 满足范数为 1 的归一化系数， $\mathbf{I}_M \in \mathbb{C}^{M \times M}$ 为单位矩阵， \cdot^H 和 \cdot^* 分别表示求矩阵或向量的共轭转置和共轭，且 ASLNR_k 的最大值为

$$\text{ASLNR}_k^{\text{max}} = \frac{1}{1 - \gamma_k \mathbf{v}_k^H \left(\sum_i \gamma_i \mathbf{v}_i \mathbf{v}_i^H + \frac{1}{\rho_k^{\text{dl}}} \mathbf{I}_M \right)^{-1} \mathbf{v}_k} - 1 \quad (30)$$

(7) 上行接收处理矢量计算

上行接收处理矢量，依据平均信干噪比 ASINR 准则通过闭式计算得到。在上行链路中，卫星侧的接收信号为

$$\mathbf{y}^{\text{ul}} = \sum_k \mathbf{g}_k^{\text{ul}} \sqrt{q^{\text{ul}}} s_k^{\text{ul}} + \mathbf{z}^{\text{ul}} \quad (31)$$

其中， q^{ul} 为给每个用户分配的功率， s_k^{ul} 为用户 k 的发送符号，其均值为 0 且方差为 1， $\mathbf{z}^{\text{ul}} \sim \mathcal{CN}(0, \mathbf{I}_M)$ 为复高斯加性白噪声。通过在卫星侧使用线性接收矢量，用户 k 的恢复符号可以表示为

$$\hat{s}_k^{\text{ul}} = \mathbf{w}_k^T \mathbf{y}^{\text{ul}} = \mathbf{w}_k^T \sum_i \mathbf{g}_i^{\text{ul}} \sqrt{q^{\text{ul}}} s_i^{\text{ul}} + \mathbf{w}_k^T \mathbf{z}^{\text{ul}} \quad (32)$$

其中 \mathbf{w}_k 为用户 k 的接收矢量。定义用户 k 的 ASINR 为

$$\text{ASINR}_k \triangleq \frac{\gamma_k \left| (\mathbf{u}_k)^T \mathbf{w}_k \right|^2}{\sum_{i \neq k} \gamma_i \left| (\mathbf{u}_i)^T \mathbf{w}_k \right|^2 + \frac{1}{\rho^{\text{ul}}} \|\mathbf{w}_k\|_2^2} \quad (33)$$

ρ^{ul} 为用户 k 的上行信噪比。

可以证明，最大化 ASINR_k 的接收矢量为

$$\mathbf{w}_k^{\text{asinr}} = \left[\left(\sum_i \gamma_i \mathbf{u}_i \mathbf{u}_i^H + \frac{1}{\rho^{\text{ul}}} \mathbf{I}_M \right)^{-1} \mathbf{u}_k \right]^* \quad (34)$$

且 ASINR_k 的最大值为

$$\text{ASINR}_k^{\text{max}} = \frac{1}{1 - \gamma_k \mathbf{u}_k^H \left(\sum_i \gamma_i \mathbf{u}_i \mathbf{u}_i^H + \frac{1}{\rho^{\text{ul}}} \mathbf{I}_M \right)^{-1} \mathbf{u}_k} - 1 \quad (35)$$

(8) 动态更新

随着卫星或用户的移动，动态地更新各用户的空间角度、平均信道能量等信道信息，各用户的分组编号、下行预编码矢量、上行接收处理矢量等随之自适应地变化，多普勒频移、最小传播时延等信息，用户终端的频率和时间补偿量等也随之自适应地变化。

图 4 给出了本实施例所提方法与传统四色复用方法的性能对比曲线。从图 4 可以看出,在上行与下行链路中,所提方法相比传统四色复用方法有大约 8 倍的和速率性能提升。

基于相同的发明构思,如图 5 所示,本发明实施例公开的一种大规模 MIMO 卫星移动通信卫星侧设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,该计算机程序被加载至处理器时实现上述的应用于卫星或信关站的大规模 MIMO 卫星移动通信方法。

在具体实现中,该设备包括处理器,通信总线,存储器以及通信接口。处理器可以是一个通用中央处理器(CPU),微处理器,特定应用集成电路(ASIC),或一个或多个用于控制本发明方案程序执行的集成电路。通信总线可包括一通路,在上述组件之间传送信息。通信接口,使用任何收发器一类的装置,用于与其他设备或通信网络通信。存储器可以是只读存储器(ROM)或可存储静态信息和指令的其他类型的静态存储设备,随机存取存储器(RAM)或者可存储信息和指令的其他类型的动态存储设备,也可以是电可擦可编程只读存储器(EEPROM)、只读光盘(CD-ROM)或其他光盘存储、盘存储介质或者其他磁存储设备、或者能够用于携带或存储具有指令或数据结构形式的期望的程序代码并能够由计算机存取的任何其他介质,但不限于此。存储器可以是独立存在,通过总线与处理器相连接。存储器也可以和处理器集成在一起。

其中,存储器用于存储执行本发明方案的应用程序代码,并由处理器来控制执行。处理器用于执行存储器中存储的应用程序代码,从而实现上述实施例提供的通信方法。处理器可以包括一个或多个 CPU,也可以包括多个处理器,这些处理器中的每一个可以是一个单核处理器,也可以是一个多核处理器。这里的处理器可以指一个或多个设备、电路、和/或用于处理数据(例如计算机程序指令)的处理核。

基于相同的发明构思，如图 6 所示，本发明实施例公开的一种大规模 MIMO 卫星移动通信用户终端设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，该计算机程序被加载至处理器时实现上述应用于用户终端的大规模 MIMO 卫星移动通信方法。具体实现中，该用户终端设备包括处理器，通信总线，存储器以及通信接口，其形式可以包括各种具有无线通信功能的手持设备、车载设备、可穿戴设备、计算设备或连接到无线调制解调器的其它处理设备。

如图 7 所示，本发明实施例公开的一种大规模 MIMO 卫星移动通信系统，包括卫星和用户终端，其中卫星配置天线阵列，与其覆盖区内用户终端进行通信；卫星或与其相联系的信关站用于：

利用各用户终端的空间角度信息对覆盖区内待服务的用户进行分组，形成空分用户组，同一组内的用户终端使用同一时频资源与卫星进行通信，不同组的用户终端使用不同的时频资源与卫星进行通信；

对于同一空分用户组的用户终端，利用包括空间角度信息与平均信道能量在内的各用户终端的统计信道信息，计算与每一个用户终端相应的下行预编码矢量或上行接收处理矢量，然后利用所得到的矢量进行下行预编码传输或上行接收信号处理；

在卫星或各用户终端的移动过程中，随着统计信道信息的变化，动态实施用户分组、上下行传输过程；

用户终端用于：周期性地向卫星发送探测信号，或者向卫星反馈用户的空间角度信息、平均信道能量或地理位置信息；接收卫星信号并利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对下行接收信号进行频率和时间补偿；以及利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对上行发送信号进行频率和时间补偿后向卫星发送。

上述大规模 MIMO 卫星移动通信系统实施例与大规模 MIMO 卫星移动通信方法实施例属于相同的发明构思，具体技术手段实施细节可参考方法实施例，此处不再赘述。本发明所未涉及的内容均为现有技术。

以上所述，仅为本发明的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此，本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

权 利 要 求 书

1. 大规模 MIMO 卫星移动通信方法，所述方法应用于卫星或与卫星相联系的信关站，其特征在于：所述卫星配置天线阵列，与其覆盖区内用户终端进行通信；所述方法包括：

卫星或信关站利用各用户终端的空间角度信息对覆盖区内待服务的用户进行分组，形成空分用户组，同一空分用户组内的用户终端使用同一时频资源与卫星进行通信，不同空分用户组的用户终端使用不同的时频资源与卫星进行通信；

对于同一空分用户组的用户终端，卫星或信关站利用包括空间角度信息与平均信道能量在内的各用户终端的统计信道信息，计算与每一个用户终端相应的下行预编码矢量或上行接收处理矢量，然后利用所得到的矢量进行下行预编码传输或上行接收信号处理；

在卫星或各用户终端的移动过程中，随着统计信道信息的变化，动态实施用户分组、上下行传输过程。

2. 根据权利要求 1 所述的大规模 MIMO 卫星移动通信方法，其特征在于：所述的统计信道信息由上行链路探测过程获得或通过各用户终端的反馈信息获得；所述的上行链路探测过程中，各个用户周期性地发送探测信号，卫星根据接收到的探测信号，估计各用户的空间角度或平均信道能量信息；所述的各用户终端的反馈信息是用户的空间角度信息、平均信道能量或地理位置信息。

3. 根据权利要求 1 所述的大规模 MIMO 卫星移动通信方法，其特征在于：所述的用户分组过程中，利用若干固定的参考空间角度，将卫星覆盖区的空间角度范围划分成对应数量的子区间，参考空间角度由设定数量组的参考空间角度构成，每个参考空间角度组的不同参考空间角度对应的阵列方向矢量相互正交；利用各用户的空间角度信息，确定其所属的子区间；将待服务的用户终端划分出空分用户组，同一子区间的不同用户被分配到不同的用户组，同一用户组的各用户其所属的子区间为同一个参考空间角度组所对应的子区间；所述的空分用户组内

的用户在通信过程中使用同一时频资源与卫星进行通信,不同空分用户组的用户在通信过程中使用不同的时频资源与卫星进行通信。

4. 根据权利要求 1 所述的大规模 MIMO 卫星移动通信方法,其特征在于:所述的下行预编码矢量依据平均信漏噪比 ASLNR 准则通过计算得到;用户终端的 ASLNR 为向用户发送信号被用户接收到的平均功率或功率期望值与泄漏到其他用户的平均功率或功率期望值及噪声功率之和的比值,所述的下行预编码矢量使得用户终端的 ASLNR 取最大值;利用所述的空间角度信息和平均信道能量,下行预编码矢量通过闭式计算得到。

5. 根据权利要求 1 所述的大规模 MIMO 卫星移动通信方法,其特征在于:所述的上行接收处理矢量依据平均信干噪比 ASINR 准则通过闭式计算得到;用户终端的 ASINR 为利用用户接收处理矢量所形成的信号中用户发送信号平均功率或功率期望值与其他用户发送信号平均功率或功率期望值及噪声功率之和的比值,所述的上行接收处理矢量使得用户终端的 ASINR 取最大值;利用所述的空间角度信息和平均信道能量,上行接收处理矢量通过闭式计算得到。

6. 大规模 MIMO 卫星移动通信方法,所述方法应用于用户终端,其特征在于:所述方法包括:

用户终端周期性地向卫星发送探测信号,或者向卫星反馈用户的空间角度信息、平均信道能量或地理位置信息;所述空间角度信息由卫星根据探测信号估计或根据地理位置计算得到,用于卫星或信关站对覆盖区内待服务的用户进行分组,形成空分用户组,同一组内的用户终端使用同一时频资源与卫星进行通信,不同组的用户终端使用不同的时频资源与卫星进行通信;

用户终端接收卫星信号并利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对下行接收信号进行频率和时间补偿,用户终端所接收的卫星信号为卫星利用包括空间角度信息与平均信道能量的统计信道信息计算相应的下行预编码矢量进行下行预编码生成的发送信号经过信道后的信号;

用户终端利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对上行发送信号进行频率和时间补偿后向卫星发送,所述发送的信号在卫星接收到之后利用上行接收处理矢量进行上行接收信号处理,所述上行接收处理矢量由卫星利用包括空间角度信息与平均信道能量的统计信道信息计算得到。

7. 根据权利要求6所述的大规模MIMO卫星移动通信方法,其特征在于:所述的卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延,由用户终端依据接收到的同步信号估计得到,或由用户终端和卫星的位置信息计算得到;随着卫星或用户终端的移动,动态地更新多普勒频移、最小传播时延信息,频率和时间补偿量随之自适应地变化。

8. 大规模MIMO卫星移动通信卫星侧设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,其特征在于:所述计算机程序被加载至处理器时实现根据权利要求1-5任一项所述的大规模MIMO卫星移动通信方法。

9. 大规模MIMO卫星移动通信用户终端设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,其特征在于:所述计算机程序被加载至处理器时实现根据权利要求6-7任一项所述的大规模MIMO卫星移动通信方法。

10. 大规模MIMO卫星移动通信系统,包括卫星和用户终端,其特征在于:所述卫星配置天线阵列,与其覆盖区内用户终端进行通信;所述卫星或与其相联系的信关站用于:

利用各用户终端的空间角度信息对覆盖区内待服务的用户进行分组,形成空分用户组,同一空分用户组内的用户终端使用同一时频资源与卫星进行通信,不同空分用户组的用户终端使用不同的时频资源与卫星进行通信;

对于同一空分用户组的用户终端,利用包括空间角度信息与平均信道能量在内的各用户终端的统计信道信息,计算与每一个用户终端相应的下行预编码矢量

或上行接收处理矢量,然后利用所得到的矢量进行下行预编码传输或上行接收信号处理;

在卫星或各用户终端的移动过程中,随着统计信道信息的变化,动态实施用户分组、上下行传输过程;

所述用户终端用于:周期性地向卫星发送探测信号,或者向卫星反馈用户的空间角度信息、平均信道能量或地理位置信息;接收卫星信号并利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对下行接收信号进行频率和时间补偿;以及利用卫星移动引起的多普勒频移和长距离传播的最小传播时延对上行发送信号进行频率和时间补偿后向卫星发送。

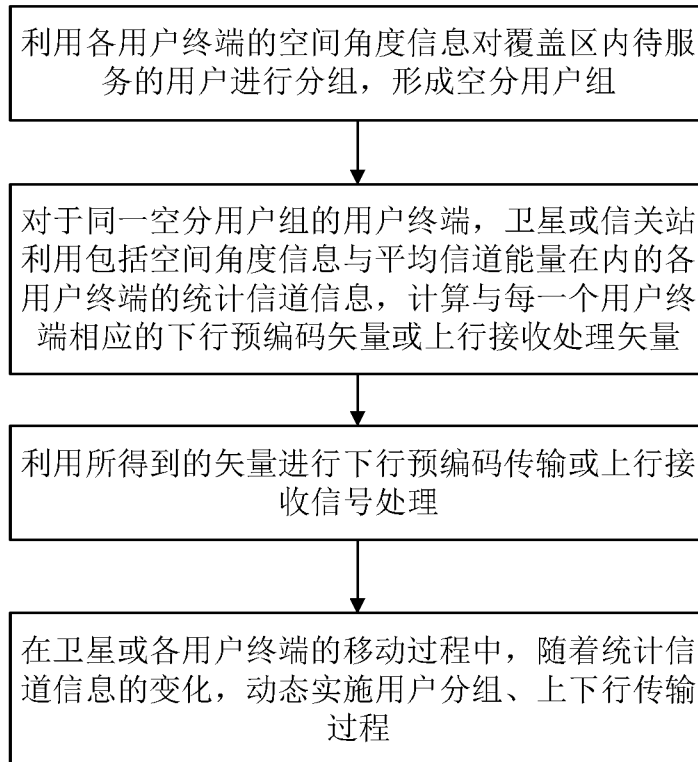


图 1

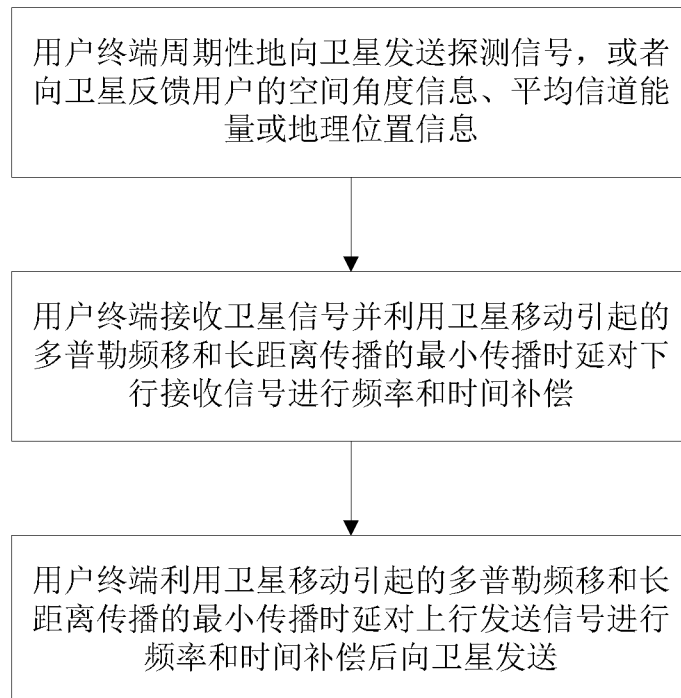


图 2

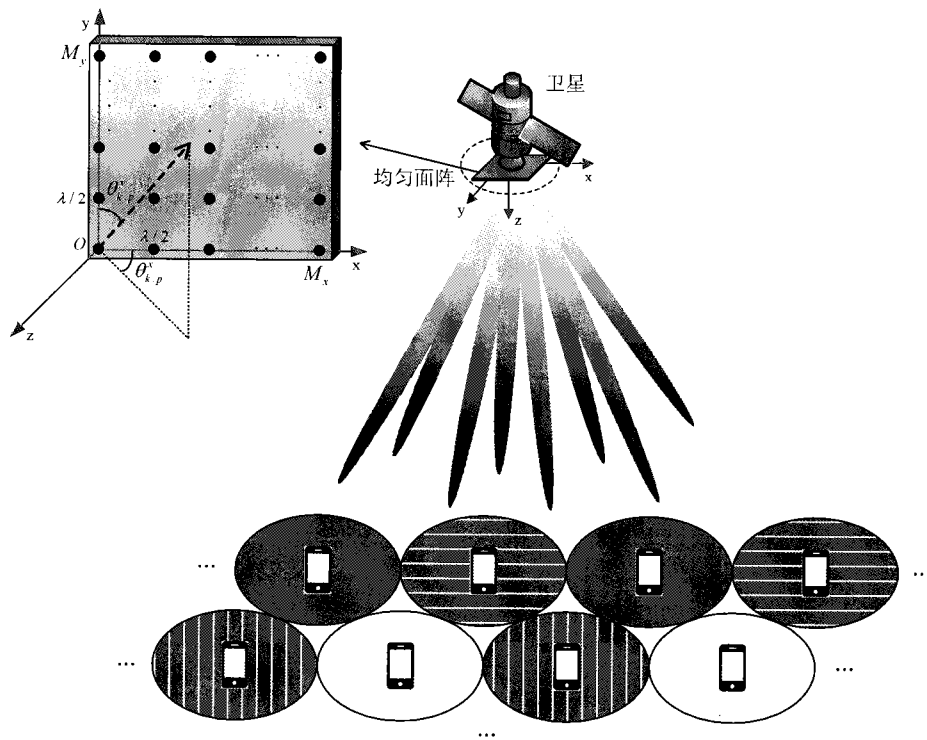


图 3

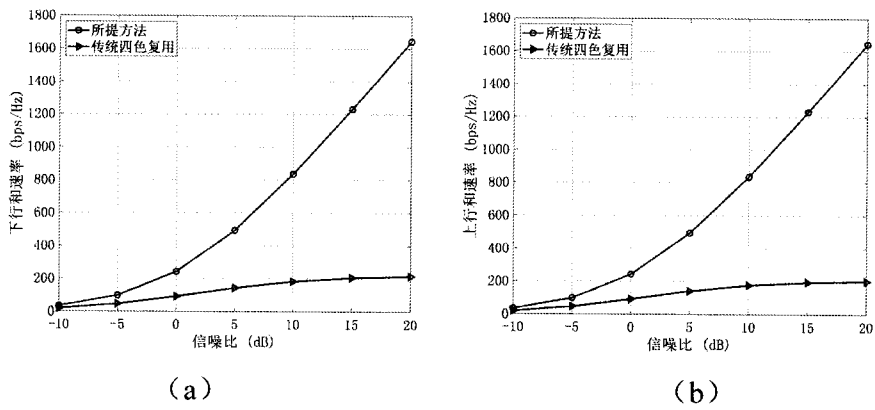


图 4

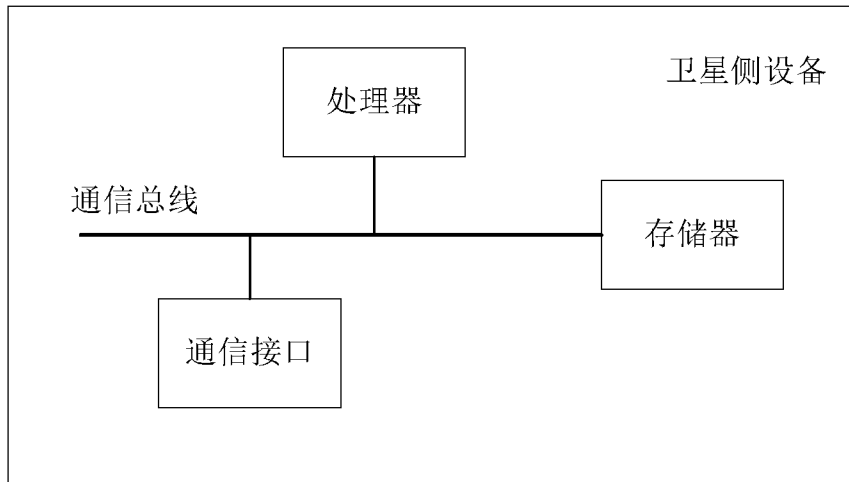


图 5

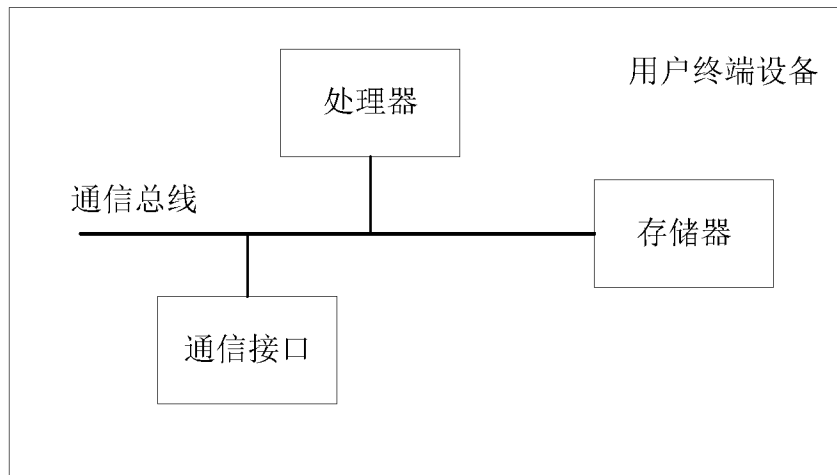


图 6

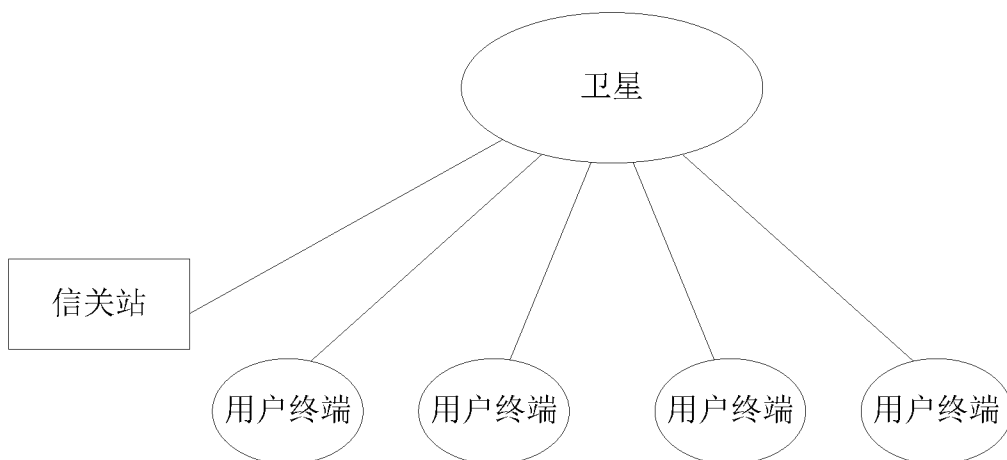


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/110248

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 7/185(2006.01)1 ; H04B 7/0456(2017.01)1 ; H04B 7/0426(2017.01)i ; H04B 7/0413(2017.01)1 ; H04B 7/0408(2017.01)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; H04W; H04Q

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: 卫星 通信 ,用户 ,分组 ,预编码 ,探测信号 ,空间角度 ,地理位置 ,多普勒频移 ,传播时延 ,satellite, communication, user, group, precoding, reference signal, spatial, geography, doppler shift, time delay

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 106302274 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 04 January 2017 (2017-01-04) description, paragraphs [0007]-[0018]	1-10
Y	CN 109547075 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 29 March 2019 (2019-03-29) description, paragraph [0035]	1-10
Y	CN 103220773 A (CHINA ACADEMY OF TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY) 24 July 2013 (2013-07-24) description, paragraphs [0007]-[0014]	6-7, 9-10
A	CN 109787665 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) 21 May 2019 (2019-05-21) entire document	1-10
A	CN 103580738 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 12 February 2014 (2014-02-12) entire document	1-10
A	US 2011188586 A1 (BBN TECHNOLOGIES CORPORATION) 04 August 2011 (2011-08-04) entire document	1-10

 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

29 April 2020

Date of mailing of the international search report

27 May 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.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/110248

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	106302274	A	04 January 2017	None	
CN	109547075	A	29 March 2019	None	
CN	103220773	A	24 July 2013	TW 201336241 A	01 September 2013
				WO 2013107276 A1	25 July 2013
CN	109787665	A	21 May 2019	None	
CN	103580738	A	12 February 2014	WO 2014012366 A1	23 January 2014
US	2011188586	A1	04 August 2011	WO 2011096984 A1	11 August 2011
				EP 2532103 A1	12 December 2012
				RU 2012137512 A	10 March 2014
				JP 2013519294 A	23 May 2013

<p>A. 主题的分类</p> <p>H04B 7/185 (2006.01)i; H04B 7/0456 (2017.01)i; H04B 7/0426 (2017.01)i; H04B 7/0413 (2017.01)i; H04B 7/0408 (2017.01)i</p> <p>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</p>																							
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>H04B; H04W; H04Q</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>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))</p> <p>CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC, IEEE: 卫星, 通信, 用户, 分组, 预编码, 探测信号, 空间角度, 地理位置, 多普勒频移, 传播时延, satellite, communication, user, group, precoding, reference signal, spatial, geography, doppler shift, time delay</p>																							
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 106302274 A (清华大学) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 说明书第[0007]-[0018]段</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 109547075 A (东南大学) 2019年 3月 29日 (2019 - 03 - 29) 说明书第[0035]段</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 103220773 A (电信科学技术研究院) 2013年 7月 24日 (2013 - 07 - 24) 说明书第[0007]-[0014]段</td> <td>6-7, 9-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109787665 A (上海交通大学) 2019年 5月 21日 (2019 - 05 - 21) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103580738 A (华为技术有限公司) 2014年 2月 12日 (2014 - 02 - 12) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2011188586 A1 (BBN TECHNOLOGIES CORPORATION) 2011年 8月 4日 (2011 - 08 - 04) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 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</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 106302274 A (清华大学) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 说明书第[0007]-[0018]段	1-10	Y	CN 109547075 A (东南大学) 2019年 3月 29日 (2019 - 03 - 29) 说明书第[0035]段	1-10	Y	CN 103220773 A (电信科学技术研究院) 2013年 7月 24日 (2013 - 07 - 24) 说明书第[0007]-[0014]段	6-7, 9-10	A	CN 109787665 A (上海交通大学) 2019年 5月 21日 (2019 - 05 - 21) 全文	1-10	A	CN 103580738 A (华为技术有限公司) 2014年 2月 12日 (2014 - 02 - 12) 全文	1-10	A	US 2011188586 A1 (BBN TECHNOLOGIES CORPORATION) 2011年 8月 4日 (2011 - 08 - 04) 全文	1-10
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
Y	CN 106302274 A (清华大学) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 说明书第[0007]-[0018]段	1-10																					
Y	CN 109547075 A (东南大学) 2019年 3月 29日 (2019 - 03 - 29) 说明书第[0035]段	1-10																					
Y	CN 103220773 A (电信科学技术研究院) 2013年 7月 24日 (2013 - 07 - 24) 说明书第[0007]-[0014]段	6-7, 9-10																					
A	CN 109787665 A (上海交通大学) 2019年 5月 21日 (2019 - 05 - 21) 全文	1-10																					
A	CN 103580738 A (华为技术有限公司) 2014年 2月 12日 (2014 - 02 - 12) 全文	1-10																					
A	US 2011188586 A1 (BBN TECHNOLOGIES CORPORATION) 2011年 8月 4日 (2011 - 08 - 04) 全文	1-10																					
国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期																						
2020年 4月 29日	2020年 5月 27日																						
ISA/CN的名称和邮寄地址	授权官员																						
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	阎赛 电话号码 86-(10)-53961605																						

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/110248

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	106302274	A	2017年 1月 4日	无			
CN	109547075	A	2019年 3月 29日	无			
CN	103220773	A	2013年 7月 24日	TW	201336241	A	2013年 9月 1日
				WO	2013107276	A1	2013年 7月 25日
CN	109787665	A	2019年 5月 21日	无			
CN	103580738	A	2014年 2月 12日	WO	2014012366	A1	2014年 1月 23日
US	2011188586	A1	2011年 8月 4日	WO	2011096984	A1	2011年 8月 11日
				EP	2532103	A1	2012年 12月 12日
				RU	2012137512	A	2014年 3月 10日
				JP	2013519294	A	2013年 5月 23日