



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107408967 B

(45) 授权公告日 2020.10.09

(21) 申请号 201680013951.X

小原辰德 奥村幸彦

(22) 申请日 2016.03.02

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

(65) 同一申请的已公布的文献号

11105

申请公布号 CN 107408967 A

代理人 于小宁 张晋逾

(43) 申请公布日 2017.11.28

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据

H04B 7/0452 (2017.01)

2015-043823 2015.03.05 JP

H04B 7/0456 (2017.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2017.09.05

US 2007259694 A1,2007.11.08

(86) PCT国际申请的申请数据

CN 101232356 A,2008.07.30

PCT/JP2016/056450 2016.03.02

Tatsunori Obara等.Joint Fixed

(87) PCT国际申请的公布数据

Beamforming and Eigenmode Precoding for Super High Bit Rate Massive MIMO Systems Using Higher Frequency Bands.《IEEE》.2014, 全文.

W02016/140276 JA 2016.09.09

(73) 专利权人 株式会社NTT都科摩

审查员 安晓兰

地址 日本东京都

(72) 发明人 奥山达树 须山聪 沈纪恽

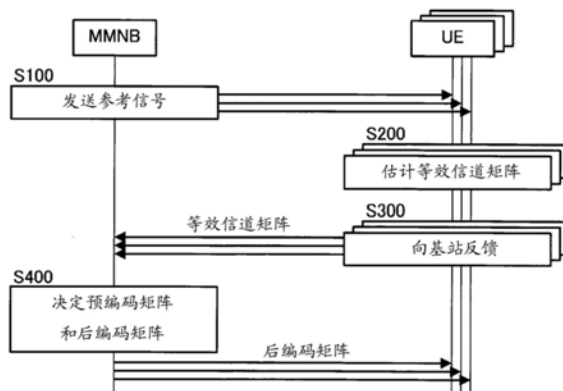
权利要求书2页 说明书25页 附图10页

(54) 发明名称

无线通信控制方法以及无线通信系统

(57) 摘要

通信控制方法对多个接收机UE的各个,计算包括对与该接收机UE对应的发送BF权重矩阵分别乘以与该接收机UE以外的接收机UE对应的多个信道矩阵而得到的多个等效信道矩阵的排除信道矩阵;取得在对排除信道矩阵进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与排除信道矩阵的噪声子空间对应的第一特征矢量;取得在对包括与该接收机UE对应的发送BF权重矩阵的等效信道矩阵和第一特征矢量的积进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与该积的信号子空间对应的第二特征矢量;将第一特征矢量和第二特征矢量相乘而得到与该接收机UE对应的预编码矩阵。



1. 一种通信控制方法,用于具有使用MU-MIMO通信方式执行无线通信的发送机和多个接收机的无线通信系统,

所述通信控制方法包括:

关于成为与所述发送机进行MU-MIMO通信的对象多个接收机的各个接收机,

计算排除信道矩阵,该排除信道矩阵包括对与所述接收机对应的发送波束成型即BF权重矩阵分别乘以与所述接收机以外的接收机对应的多个信道矩阵而得到的多个等效信道矩阵;

取得在对所述排除信道矩阵进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述排除信道矩阵的噪声子空间对应的第一特征矢量;

取得在对包括与所述接收机对应的发送BF权重矩阵的等效信道矩阵和所述第一特征矢量的积进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述积的信号子空间对应的第二特征矢量;

将所述第一特征矢量和所述第二特征矢量相乘而得到与所述接收机对应的预编码矩阵。

2. 如权利要求1所述的通信控制方法,

所述排除信道矩阵包括对与所述接收机对应的发送BF权重矩阵分别乘以与所述接收机以外的接收机对应的多个信道矩阵和与所述接收机以外的接收机对应的多个接收BF权重矩阵而得到的多个等效信道矩阵。

3. 如权利要求1所述的通信控制方法,

与所述接收机对应的发送BF权重矩阵包括多个发送权重矢量,

多个所述发送权重矢量的各个是具有将该接收机中的接收功率最大化的水平角度以及垂直角度的组合的导向矢量。

4. 如权利要求1所述的通信控制方法,

按照信号对干扰比从低到高的顺序,选择成为与所述发送机进行MU-MIMO通信的对象多个所述接收机。

5. 如权利要求1所述的通信控制方法,

对与所述接收机对应的发送BF权重矩阵乘以干扰控制矩阵,该干扰控制矩阵是将关于各个合计权重矢量计算出的相关矩阵相加而得到的合计相关矩阵的逆矩阵,该合计权重矢量是将与所述接收机以外的接收机对应的多个发送BF权重矢量按每个发送波束相加而得到的。

6. 一种无线通信系统,具有使用MU-MIMO通信方式执行无线通信的发送机和多个接收机,

所述无线通信系统具有预编码控制单元,

所述预编码控制单元进行以下操作:

关于成为与所述发送机进行MU-MIMO通信的对象多个接收机的各个接收机,

计算排除信道矩阵,该排除信道矩阵包括对与所述接收机对应的发送BF权重矩阵分别乘以与所述接收机以外的接收机对应的多个信道矩阵而得到的多个等效信道矩阵;

取得在对所述排除信道矩阵进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述排除信道矩阵的噪声子空间对应的第一特征矢量;

取得在对包括与所述接收机对应的发送BF权重矩阵的等效信道矩阵和所述第一特征矢量的积进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述积的信号子空间对应的第二特征矢量;

将所述第一特征矢量和所述第二特征矢量相乘而得到与该接收机对应的预编码矩阵。

7. 一种发送机,使用MU-MIMO通信方式与多个接收机执行无线通信,

所述发送机具有预编码控制单元,

所述预编码控制单元进行以下操作:

关于成为与所述发送机进行MU-MIMO通信的对象多个接收机的各个接收机,

计算排除信道矩阵,该排除信道矩阵包括对与所述接收机对应的发送BF权重矩阵分别乘以与所述接收机以外的接收机对应的多个信道矩阵而得到的多个等效信道矩阵;

取得在对所述排除信道矩阵进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述排除信道矩阵的噪声子空间对应的第一特征矢量;

取得在对包括与所述接收机对应的发送BF权重矩阵的等效信道矩阵和所述第一特征矢量的积进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述积的信号子空间对应的第二特征矢量;

将所述第一特征矢量和所述第二特征矢量相乘而得到与该接收机对应的预编码矩阵。

无线通信控制方法以及无线通信系统

技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信控制方法以及无线通信系统。

背景技术

[0002] 在无线通信的领域中,近年来,有效地利用通过在发送机侧和接收机侧的双方使用多个天线来执行发送接收,从而实现信号传输的高速化以及高质量化的MIMO(多输入多输出(Multiple-Input and Multiple-Output))技术。MIMO技术包括将单一的用户(接收机)作为对象的SU-MIMO(单用户MIMO(Single User MIMO))和将多个用户(接收机)作为对象的MU-MIMO(多用户MIMO(Multiple User MIMO))。

[0003] 此外,为了实现信号传输的进一步的高速化和干扰降低,正在研究在能够进行天线的小型化和宽频带的确保的高频带(例如,10GHz以上)中,使用了大量的天线元件(例如,100个元件以上)的大规模MIMO(Massive-MIMO)传输方式(例如,专利文献1)。

[0004] 在大规模MIMO中,与以往的MIMO相比,能够实现使用了大量的天线元件的高级的波束成型(Beam Forming,BF)。波束成型是通过控制多个天线元件而控制波束(与发送天线对应的发送波束、与接收天线对应的接收波束)的指向性或形状的技术。在MIMO中,由于能够对各天线元件进行相位以及振幅的控制,所以所使用的天线元件的数目越多则波束控制的自由度越高。

[0005] 作为波束成型的一个方式,例示固定波束成型。在固定波束成型中,从事先准备的多个波束成型权重的候选中选择应使用的波束成型权重(固定波束)。在固定波束成型中,控制固定波束的波束成型和实现多个流间复用的补偿的编码(发送侧的预编码以及接收侧的后编码)单独执行。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:日本特开2013-232741号公报

发明内容

[0009] 发明要解决的课题

[0010] 在MU-MIMO中,提出了通过将表示发送机和多个接收机之间的传播特性的信道矩阵进行块对角化,从而降低对于其他的用户(接收机)的干扰的技术(Q.H.Spencer, A.L.Swindlehurst, and M.haartd, "Zero-Forcing Methods for Downlink Spatial Multiplexing in Multiuser MIMO channels," IEEE Trans.Sig.Processing, vol.53, no.2, pp.461-471, Feb.2004.)。在以上的技术中,使用发送机从多个接收机取得的传播信道的信息,生成将信道矩阵进行块对角化的权重矩阵(预编码矩阵),并用于无线信号的发送。

[0011] 但是,以上的技术并不支持采用固定波束成型的MU-MIMO。这是因为在固定波束成型中,不仅需要考虑到预编码处理(即,预编码矩阵的乘法),还需要考虑到发送波束成型处理

(即,发送波束成型矩阵的乘法)。

[0012] 考虑以上的情况,本发明的目的在于在采用固定波束成型的MU-MIMO中适当地决定预编码矩阵。

[0013] 用于解决课题的手段

[0014] 本发明的无线通信控制方法用于具有使用MU-MIMO通信方式执行无线通信的发送机和多个接收机的无线通信系统,所述无线通信控制方法包括:关于成为与所述发送机进行MU-MIMO通信的对象的一个接收机的各个接收机,计算排除信道矩阵,该排除信道矩阵包括对与该接收机对应的发送BF(波束成型)权重矩阵分别乘以与该接收机以外的接收机对应的多个信道矩阵而得到的多个等效信道矩阵;取得在对所述排除信道矩阵进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述排除信道矩阵的噪声子空间对应的第一特征矢量;取得在对包括与该接收机对应的发送BF权重矩阵的等效信道矩阵和所述第一特征矢量的积进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述积的信号子空间对应的第二特征矢量;将所述第一特征矢量和所述第二特征矢量相乘而得到与该接收机对应的预编码矩阵。

[0015] 本发明的无线通信系统具有使用MU-MIMO通信方式执行无线通信的发送机和多个接收机,所述无线通信系统具有预编码控制单元,预编码控制单元进行以下操作:关于成为与所述发送机进行MU-MIMO通信的对象的一个接收机的各个接收机,计算排除信道矩阵,该排除信道矩阵包括对与该接收机对应的发送BF权重矩阵分别乘以与该接收机以外的接收机对应的多个信道矩阵而得到的多个等效信道矩阵;取得在对所述排除信道矩阵进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述排除信道矩阵的噪声子空间对应的第一特征矢量;取得在对包括与该接收机对应的发送BF权重矩阵的等效信道矩阵和所述第一特征矢量的积进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述积的信号子空间对应的第二特征矢量;将所述第一特征矢量和所述第二特征矢量相乘而得到与该接收机对应的预编码矩阵。

[0016] 本发明的发送机使用MU-MIMO通信方式与多个接收机执行无线通信,所述发送机具有预编码控制单元,所述预编码控制单元进行以下操作:关于成为与所述发送机进行MU-MIMO通信的对象的一个接收机的各个接收机,计算排除信道矩阵,该排除信道矩阵包括对与该接收机对应的发送BF权重矩阵分别乘以与该接收机以外的接收机对应的多个信道矩阵而得到的多个等效信道矩阵;取得在对所述排除信道矩阵进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述排除信道矩阵的噪声子空间对应的第一特征矢量;取得在对包括与该接收机对应的发送BF权重矩阵的等效信道矩阵和所述第一特征矢量的积进行奇异值分解而得到的右奇异矩阵中包含的、与所述积的信号子空间对应的第二特征矢量;将所述第一特征矢量和所述第二特征矢量相乘而得到与该接收机对应的预编码矩阵。

[0017] 发明效果

[0018] 根据本发明,适当地决定预编码矩阵。

附图说明

[0019] 图1是第一实施方式的大规模MIMO传输方式的概要说明图。

[0020] 图2是第一实施方式的无线通信系统的概略结构图。

- [0021] 图3是表示第一实施方式的大规模MIMO传输的功能性结构的图。
- [0022] 图4是表示第一实施方式的发送机的电路结构的例的图。
- [0023] 图5是表示第一实施方式的接收机的电路结构的例的图。
- [0024] 图6是第一实施方式的MU-MIMO的概念图。
- [0025] 图7是表示采用了第一实施方式的固定波束成型的大规模MIMO中的发送机以及接收机的结构的一例的图。
- [0026] 图8是第一实施方式的小型基站的功能框图。
- [0027] 图9是第一实施方式的用户装置的功能框图。
- [0028] 图10是第一实施方式的发送BF权重矩阵的决定处理的流程图。
- [0029] 图11是表示第一实施方式的预编码矩阵以及后编码矩阵的决定处理的流程图的一部分。
- [0030] 图12是表示第三实施方式的正交化对象用户的选择处理的流程图的一例。
- [0031] 图13是表示第三实施方式的正交化对象用户的选择处理的流程图的一例。
- [0032] 图14是表示第四实施方式的发送BF权重矩阵的调整处理的流程图的一例。

具体实施方式

[0033] 1. 第一实施方式

[0034] 1(1). 大规模MIMO传输

[0035] 说明本发明的第一实施方式的大规模MIMO传输方式。在基站使用多个发送天线 A_T 执行无线通信的大规模MIMO传输方式中,实现基于复用化的高的无线通信速度(数据速率)。此外,通过使用多个发送天线 A_T ,进行波束成型时的天线控制的自由度提高,所以实现比以往更高级的波束成型。因此,实现了干扰量的降低或无线资源的有效利用。

[0036] 另外,适应于大规模MIMO的基站具有的发送天线 A_T 的数目并不限定于以下数目,但优选为32根以上、64根以上、96根以上、100根以上、128根以上、192根以上、200根以上、256根以上、500根以上、512根以上、1000根以上或者1024根以上。

[0037] 在大规模MIMO传输方式中,适合使用高频带(例如,10GHz以上的频带)。在高频带中,与低频带相比,容易确保宽的带宽(例如,200MHz以上)的无线资源。此外,由于天线元件的大小与信号的波长呈比例,所以在使用无线信号的波长相对短的高频带的情况下,能够将天线A更加小型化。另一方面,由于频率越高则传播损耗越增大,所以即使使用相同的发送功率而从基站发送了无线信号,在使用了高频带的情况下,与使用低频带的情况相比的结果为移动台中的接收信号强度降低。

[0038] 但是,如以上所述的、使用高频带而导致的接收信号强度的降低能够通过波束成型增益而补偿。图1是示意性地表示与频率相应的波束(无线信号)的到达范围的图。由于以往的基站(宏基站MeNB)使用低频带进行无线通信,所以即使使用宽度宽的辐射图案的波束,波束也会到达较远处。

[0039] 另一方面,由于支持本实施方式的大规模MIMO传输方式的基站(小型基站MMNB)使用高频带进行无线通信,所以在使用宽度宽的辐射图案的波束的情况下,与宏基站MeNB相比,波束到达的距离更短。但是,在通过波束成型而缩窄波束的辐射图案的宽度的情况下,即使是使用高频带的小型基站MMNB,也能够使波束达到较远处。

[0040] 图2是第一实施方式的无线通信系统1的概略结构图。无线通信系统1具有宏基站MeNB、小型基站MMNB、中央控制台MME以及用户装置UE。小型基站MMNB是支持大规模MIMO传输方式的基站。

[0041] 宏基站MeNB在其周围形成宏小区Cm,小型基站MMNB在其周围形成大规模MIMO小区(MM小区)Cmm。由于与宏基站MeNB使用的频带(例如,2GHz带)相比,小型基站MMNB使用的频带(例如,10GHz带)的频率更高且传播损耗也更大,所以MM小区Cmm的小区尺寸比宏小区Cm的小区尺寸更小。因此,小型基站MMNB和用户装置UE通过视线(line-of-sight)而被连接的可能性高。

[0042] 如图2所示,MM小区Cmm能够与宏小区Cm等能够通过其他的无线接入技术(Radio Access Technology,RAT)进行无线通信的区域重叠(Overlap)。作为结果,对位于重叠的区域的用户装置UE,支持基于多个无线接入技术的同时连接(多重连接(Multiple Connectivity))。

[0043] 进一步,对正在与支持大规模MIMO传输方式的小型基站MMNB进行通信的用户装置UE,还能够从支持不同的无线接入技术的宏基站MeNB发送控制信号。另外,作为其他的无线接入技术,例示了公共或者局域的无线LAN。

[0044] 如前述那样,在使用高频带的大规模MIMO传输中,优选为传播损耗根据通过波束成型实现的增益而被补偿。此外,为了实现进一步的高速无线通信,优选为多个数据流在空间上进行复用后被传输。如以上所示的复用传输中,进一步优选为除了基于波束成型的波束本身的控制之外,还实现基于预编码的流间复用的补偿。

[0045] 图3是表示采用了固定波束成型的大规模MIMO中的发送机以及接收机的结构的一例的图。图3表示基于存在单一的发送机和单一的接收机的SU-MIMO的结构。发送机(例如,小型基站MMNB)的预编码器以及发送波束成型器分别执行预编码以及发送波束成型,接收机(例如,用户装置UE)的接收波束成型器以及后编码器分别执行接收波束成型以及后编码。

[0046] 在数学上,预编码处理是对表示M条(M为2以上的自然数,例如M=16)流的M行1列的信号矢量

[0047] 【数1】

[0048] s

[0049] 乘以 L_T 行M列(L_T 为发送波束数)的预编码矩阵

[0050] 【数2】

[0051] P

[0052] 的处理。发送波束成型处理是对实施了预编码的信号乘以 N_T 行 L_T 列(N_T 为发送天线数,例如 $N_T=256$)的发送BF(波束成型)权重矩阵

[0053] 【数3】

[0054] W_T

[0055] 的处理。在发送波束成型后,对从发送天线 A_T 发送的信号乘以与空间的传播对应的 N_R 行 N_T 列(N_R 为接收天线数,例如 $N_R=16$)的信道矩阵

[0056] 【数4】

[0057] H

[0058] 。接收波束成型处理是对在接收天线 A_R 中接收到的信号乘以 L_R 行 N_R 列 (L_R 为接收波束数) 的接收BF权重矩阵

[0059] 【数5】

[0060] W_R

[0061] 的处理。后编码 (postcoding) 处理是对实施了接收波束成型的信号乘以 M 行 L_R 列的后编码矩阵

[0062] 【数6】

[0063] B

[0064] 的处理。以上, 后编码后的 M 行1列的信号矢量

[0065] 【数7】

[0066] y

[0067] 由以下的算式表现。

[0068] 【数8】

[0069] $y = BW_R H W_T P_s + Bz$

[0070] 另外, 作为在以上的算式中加上的另一项的

[0071] 【数9】

[0072] Z

[0073] 为 L_R 行1列的噪声矢量。

[0074] 在本实施方式中, 作为大规模MIMO传输的更优选的方式, 作为预编码而采用数字预编码, 作为发送以及接收波束成型而采用模拟固定波束成型, 作为后编码而采用数字后编码。在图4以及图5中非限定地示出具体的电路结构的例。图4表示发送机侧的等效电路, 图5表示接收机侧的等效电路。

[0075] 如图4所示, 在发送机侧, 对 M 条流通过具有多个乘法器MP以及加法器AD的数字信号处理电路 DC_T 而数字地实施预编码 (矩阵运算) 之后, 通过处理电路 PC_T 执行傅里叶逆变换、保护间隔的插入、DA转换以及上变频而生成高频发送信号。高频发送信号通过具有多个可变移相器PS以及振幅调整器AA中的任一方或双方以及加法器AD的模拟信号处理电路 AC_T 而在相位以及振幅中被赋予了变化之后 (即, 在模拟地实施了发送波束成型之后), 从 N_T 根发送天线 A_T 发送。

[0076] 如图5所示, 在接收机侧, 对在 N_R 根接收天线 A_R 中接收到的高频接收信号, 通过具有多个可变移相器PS、振幅调整器AA以及加法器AD的模拟信号处理电路 AC_R 而在相位以及振幅中赋予变化 (即, 模拟地实施接收波束成型)。并且, 对接收波束成型后的信号, 在通过处理电路 PC_R 而执行下变频、AD转换以及傅里叶变换、通过数字信号处理电路 DC_R 而数字地实施了后编码 (矩阵运算) 的结果, 生成 (再现) M 条流。

[0077] 以上的结构尤其适合发送天线数 N_T 相对于应传输的流数 M 而言非常多 (即, $M \ll N_T$) 的大规模MIMO传输方式。一般来说, 在发送流数 $M <$ 发送天线数 N_T 的情况下, 在无线信号的发送之前, 需要将 M 个流分量转换为 N_T 个发送天线分量的 N_T 行 M 列的矩阵运算。在本实施方式中, 如前述那样, 在数学上, 通过基于 L_T 行 M 列的预编码矩阵

[0078] 【数10】

[0079] P

[0080] 以及 N_T 行 L_T 列的发送BF权重矩阵

[0081] 【数11】

[0082] W_T

[0083] 的矩阵运算, M 个流分量转换为 N_T 个发送天线分量。

[0084] 在以上的结构中,在发送侧,只有预编码由数字信号处理电路 DC_T 执行。因此,与对预编码和发送波束成型的双方进行数字处理的结构相比,能够削减数字信号处理电路 DC_T 的电路规模以及运算量的基础上,还能够削减DA转换器(处理电路 PC_T)的信道数。因此,能够一并实现结构的简化和多个发送天线 A_T 的使用。关于接收侧(后编码以及接收波束成型),也是同样的。

[0085] 1. (2) 多用户MIMO (MU-MIMO)

[0086] 说明本发明的第一实施方式的MU-MIMO。图6是MU-MIMO的概念图。在MU-MIMO中,作为1个MIMO基站的小型基站MMNB同时使用多根发送天线 A_T 将被复用的信号发送给多个用户装置UE。即,MIMO基站能够通过用户复用而与多个用户同时进行无线通信。根据MU-MIMO,多个用户间的信道相关降低,所以全部用户装置UE合计的通信速度提高。

[0087] 另一方面,如图6所示,通过用户进行复用而在多个用户间产生干扰。例如,对于第一用户装置UE-1的期望信号成为对于第二用户装置UE-2的干扰信号,相反的情况下也是。因此,需要用于降低用户间的干扰的干扰控制。

[0088] 图7是表示采用了固定波束成型的大规模MIMO中的发送机以及接收机的结构的一例的图。图7表示基于存在单一的发送机和多个接收机的MU-MIMO的结构。以下,合计的用户数(接收机数)为 N_U ,全部用户的合计流数为 M 。某单一的用户由 i ($1 \leq i \leq N_U$) 表示,第 i 个用户(第 i 用户)的流数为 M_i 。

[0089] 作为发送机的小型基站MMNB的预编码器以及发送波束成型器针对发往作为接收机的用户装置UE的各个用户装置UE(第一个用户装置UE-1、...、第 i 个用户装置UE- i 、...、第 N_U 个用户装置UE- N_U)的信号,分别执行预编码以及发送波束成型。对于全部用户装置UE的信号被相加,从 N_T 根发送天线 A_T 发送。全部用户合计的发送波束数为 L_T ,第 i 用户的发送波束数为 L_{Ti} (例如, $L_{Ti} = L_T/N_U$)。各用户装置UE使用 N_R 根接收天线 A_R 接收信号,各用户装置UE的接收波束成型器以及后编码器分别执行接收波束成型以及后编码。

[0090] 在数学上,针对第 i 用户的预编码处理是对 N_R 行1列的信号矢量

[0091] 【数12】

[0092] s_i

[0093] 乘以 L_{Ti} 行 N_R 列的预编码矩阵

[0094] 【数13】

[0095] P_i

[0096] 的处理。以上的信号矢量由以下的式表示。

[0097] 【数14】

$$[0098] \quad s_i = [d_i^T \quad 0^T]^T$$

[0099] 在此,以上的式的

[0100] 【数15】

[0101] d_i

[0102] 是与 M_i 条流对应的 M_i 行1列的数据信号矢量，

[0103] 【数16】

[0104] 0是 $(N_R - M_i)$ 行1列的零矢量。 $(\cdot)^T$ 表示矩阵或者矢量的转置。

[0105] 针对第 i 用户的发送波束成型处理是对实施了预编码处理的信号乘以 N_T 行 L_{Ti} 列的发送BF权重矩阵

[0106] 【数17】

[0107] W_{Ti}

[0108] 的处理。另外，若将与 L_{Ti} 条的各发送波束对应的 N_T 行1列的发送BF权重矢量设为

[0109] 【数18】

[0110] $w_{Ti,1}$

[0111] ，则发送BF权重矩阵能够表现为

[0112] 【数19】

[0113] $W_{Ti} = [w_{Ti,1} \ w_{Ti,2} \ \dots \ w_{Ti,L_{Ti}}]$ 。

[0114] 以上的预编码处理以及发送波束成型处理(以下，有时与发送侧信号处理统称)针对全部用户(UE-1、 \dots 、UE- i 、 \dots 、UE- N_U)执行。作为对于全部用户的发送侧信号处理的结果而得到的每个用户的 N_T 条信号被分配给 N_T 个加法器而相加，从 N_T 根发送天线 A_T 发送。即，在从某一根发送天线 A_T 发送的信号中，可包括对于全部用户的信号分量。

[0115] 从 N_T 根发送天线 A_T 发送的信号被各用户装置UE所接收。对第 i 个用户装置UE- i 接收的信号，乘以与从小型基站MMNB到用户装置UE- i 的空间的传播对应的 N_R 行 N_T 列的信道矩阵

[0116] 【数20】

[0117] H_i

[0118] 。另外，以上的信道矩阵根据用户装置UE而不同。因此，在本例的MU-MIMO系统整体中，形成 $N_R \cdot N_U$ 行 N_T 列的整体信道矩阵

[0119] 【数21】

$$[0120] \quad H_C = \begin{bmatrix} H_1 \\ \vdots \\ H_i \\ \vdots \\ H_{N_U} \end{bmatrix}$$

[0121] 。 $N_R \cdot N_U$ 表示系统整体的接收天线 A_R 数。

[0122] 针对第 i 用户的接收波束成型处理是对在接收天线 A_R 中接收到的接收信号矢量(细节在后面叙述)乘以 N_R 行 N_R 列的接收BF权重矩阵

[0123] 【数22】

[0124] W_{Ri}

[0125] 的处理。针对第 i 用户的后编码处理是对实施了接收波束成型的信号乘以 N_R 行 N_R 列的后编码矩阵

[0126] 【数23】

[0127] B_i

[0128] 的处理。通过后编码处理,得到 N_R 行1列的信号矢量

[0129] 【数24】

[0130] y_i

[0131] 。在此,

[0132] 【数25】

[0133] y_i

[0134] 的第1行至第 M_i 行是与被估计的(被再现的) M_i 条流对应的数据信号矢量,剩余的(第 M_i+1)行至第 N_R 行是零矢量。

[0135] 1(3). 发送机以及接收机的结构

[0136] 图8是表示第一实施方式的小型基站MMNB(发送机)的主要的结构元素的功能框图。小型基站MMNB具有数据信号生成单元10、参考信号生成单元20、基带处理单元30、DA转换单元40、RF处理单元50、反馈单元60、预编码控制单元70、发送BF权重控制单元80和存储单元90。基带处理单元30具有预编码单元32,RF处理单元50具有上变频单元52和发送波束成型单元54。 N_T 根发送天线 A_T 连接到发送波束成型单元54。另外,在本实施方式的小型基站MMNB中采用的载波结构是任意的。例如,可以采用单载波(Single Carrier,SC),也可以采用正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing,OFDM)。

[0137] 数据信号生成单元10生成在对于用户装置UE的发送信号中应包含的数据信号。数据信号生成单元10能够作为多个序列的流而生成数据信号。在本实施方式中,数据信号生成单元10生成与 N_U 个用户装置UE对应的 M 条流的数据信号(如前所述,第 i 个用户(第 i 用户)的流数为 M_i)。

[0138] 参考信号生成单元20生成在对于用户装置UE的发送信号中应包含的参考信号。参考信号是在例如各用户装置中的信道估计、用户装置UE和小型基站MMNB的初始同步以及用户装置UE中的小型基站MMNB的识别中使用的信号。所生成的数据信号以及参考信号作为基带信号而输入到基带处理单元30。

[0139] 基带处理单元30是对被输入的基带信号(数据信号、参考信号)进行处理的元素。基带处理单元30具有对第 i 用户的信号矢量使用预编码矩阵

[0140] 【数26】

[0141] P_i

[0142] 实施数字预编码(矩阵运算)的预编码单元32。预编码单元32对与全部用户(UE-1、 \dots 、UE- N_U)对应的合计 M 条流执行以上的数字预编码。即,预编码单元32作为 N_U 个预编码器来发挥作用。

[0143] 在通常的无线发送中,将数据信号和参考信号进行了组合的信号在预编码单元32中进行预编码,并从基带处理单元30输出。另一方面,在本实施方式的等效信道矩阵的估计中,没有被预编码的参考信号从基带处理单元30输出。

[0144] DA转换单元40将从基带处理单元30输出的数字信号转换为模拟信号,并输出到RF处理单元50。

[0145] RF处理单元50是对被输入的模拟信号进行处理后从发送天线 A_T 发送的元素。RF处理单元50具备将被输入的模拟信号频率变换为无线频率(RadioFrequency)的RF信号的上

变频单元52以及对频率变换后的信号基于发送BF权重矩阵

[0146] 【数27】

[0147] W_{Ti}

[0148] 实施模拟发送波束成型的发送波束成型单元54。发送波束成型单元54对与全部用户(UE-1、 \dots 、UE- N_U)的全部发送波束对应的合计 L_T 条信号执行以上的发送波束成型。即,发送波束成型单元54作为 N_U 个发送波束成型器来发挥作用。

[0149] 从发送波束成型单元54(各发送波束成型器)输出的高频信号通过发送波束成型单元54具有的 N_T 个加法器而被相加,从 N_T 根发送天线 A_T 发送。以上的模拟发送波束成型是使用可变移相器PS以及振幅调整器AA对模拟信号赋予与发送BF权重矩阵的乘法相当的相位以及振幅的变化的处理。换言之,在以上的模拟发送波束成型中,多个发送天线 A_T 间(从多个发送天线 A_T 发送的信号间)的相位以及振幅模拟地发生变化,以使其相当于发送BF权重矩阵的乘法。

[0150] 反馈单元60是与各个用户装置UE进行与控制有关的通信的元素,尤其,将来自用户装置UE的反馈信息提供给预编码控制单元70以及发送BF权重控制单元80。预编码控制单元70进行在预编码单元32中使用的预编码矩阵的控制。发送BF权重控制单元80进行在发送波束成型单元54中使用的BF权重的控制。存储单元90存储与无线通信的控制有关的信息(例如,预编码矩阵、发送BF权重矩阵)。

[0151] 在小型基站MMNB中包含的元素中,执行数字的处理的元素(例如,数据信号生成单元10、参考信号生成单元20、基带处理单元30、反馈单元60、预编码控制单元70、发送BF权重控制单元80)是由未图示的CPU(中央处理单元(Central Processing Unit))执行在存储单元80中存储的计算机程序且根据该计算机程序发挥作用而实现的功能块。

[0152] 图9是表示第一实施方式的第i用户的用户装置UE(接收机)的主要的结构元素的功能框图。用户装置UE具有RF处理单元110、AD转换单元120、基带处理单元130、信号分析单元140、发送接收特性估计单元150、接收BF权重控制单元160、后编码控制单元170、反馈单元180和存储单元190。RF处理单元110具有接收波束成型单元112和下变频单元114,基带处理单元130具有后编码单元132。 N_R 根接收天线 A_R 连接到接收波束成型单元112。

[0153] 从作为发送机的小型基站MMNB发送且在空间传播的无线信号被 N_R 根接收天线 A_R 接收而输入到RF处理单元110。

[0154] RF处理单元110是处理多个接收天线 A_R 接收到的信号的元素。RF处理单元110具有对接收到的信号基于接收BF权重矩阵

[0155] 【数28】

[0156] W_{Ti}

[0157] 实施模拟接收波束成型的接收波束成型单元112、和将被输入的信号频率变换为基带信号而输出的下变频单元114。以上的模拟接收波束成型是使用可变移相器PS以及振幅调整器AA对模拟信号赋予与接收BF权重矩阵的乘法相当的相位以及振幅的变化的处理。换言之,在以上的模拟接收波束成型中,多个接收天线 A_R 间(在多个接收天线 A_R 间接收到的信号间)的相位以及振幅模拟地发生变化,以使其相当于接收BF权重矩阵的乘法。

[0158] AD转换单元120将从RF处理单元110输出的模拟信号转换为数字信号,并输出到基带处理单元130。

[0159] 基带处理单元130是对被输入的基带信号进行处理而恢复 M_i 条流的元素。基带处理单元130具有对从AD转换单元120输出的信号使用后编码矩阵

[0160] 【数29】

[0161] B_i

[0162] 实施数字后编码(矩阵运算)的后编码单元132。通过以上的后编码,再现 M_i 条流。被再现的 M_i 条流输入到信号分析单元140进行分析。

[0163] 发送接收特性估计单元150执行后述的发送接收特性的估计。接收BF权重控制单元160进行在接收波束成型单元112中使用的BF权重的控制。后编码控制单元170进行在后编码单元132中使用的后编码矩阵的控制。反馈单元180是与小型基站MMNB进行有关控制的通信的元素,尤其,将来自发送接收特性估计单元150以及接收BF权重控制单元160的反馈信息发送给小型基站MMNB。存储单元190存储与无线通信的控制有关的信息(例如,后编码矩阵、接收BF权重矩阵)。

[0164] 在用户装置UE中包含的元素中,执行数字的处理的元素(例如,基带处理单元130、信号分析单元140、发送接收特性估计单元150、接收BF权重控制单元160、后编码控制单元170、反馈单元180)是由未图示的CPU执行在存储单元190中存储的计算机程序且根据该计算机程序发挥作用而实现的功能块。

[0165] 1(4). 预编码矩阵的决定

[0166] 1(4)-1. 基于块对角化的接收信号的分离

[0167] 若将第 i 个用户装置UE- i 中的 N_r 行1列的接收信号矢量设为

[0168] 【数30】

[0169] r_i

[0170] ,则全部用户装置UE(1, ..., N_U)的接收信号矢量(MU-MIMO系统整体的接收信号矢量)如下表示。

[0171] 【数31】

$$\begin{aligned}
 [0172] \quad \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{r}_{N_U} \end{bmatrix} &= \mathbf{H}_C [\mathbf{W}_{T1} \quad \dots \quad \mathbf{W}_{TN_U}] \text{diag}[\mathbf{P}_1 \quad \dots \quad \mathbf{P}_{N_U}] \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} & \dots & \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{TN_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{T1} & \dots & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \end{bmatrix} \text{diag}[\mathbf{P}_1 \quad \dots \quad \mathbf{P}_{N_U}] \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \dots & \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \dots & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \dots (1)
 \end{aligned}$$

[0173] 以上的式(1)中的矩阵

[0174] 【数32】

$$[0175] \quad \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \dots & \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \dots & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \end{bmatrix} \dots (2)$$

[0176] 的非对角分量,即

[0177] **【数33】**

[0178] $H_k W_{Ti} P_i (k \neq i)$

[0179] 相当于对于第i用户的信号对于第i用户以外的第k用户的信号产生的干扰分量。因此,预编码控制单元70通过以成为

[0180] **【数34】**

[0181] $H_k W_{Ti} P_i = 0 (k \neq i)$

[0182] 的方式设定各预编码矩阵

[0183] **【数35】**

[0184] P_i

[0185] ,能够将以上的矩阵 (2) 的非对角分量(干扰分量)全部设为

[0186] **【数36】**

[0187] 0 (即,将矩阵 (2) 设为块对角化)。

[0188] 将矩阵 (2) 设为块对角化后的式 (1) 由以下的式表示。

[0189] **【数37】**

$$[0190] \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{r}_{N_U} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \dots (3)$$

[0191] 基于以上的式 (3), 第i用户的接收信号矢量表示为如下。

[0192] **【数38】**

[0193] $r_i = H_i W_{Ti} P_i s_i + z_i$

[0194] 即,预编码控制单元70通过以将矩阵 (2) 设为块对角化的方式设定各预编码矩阵

[0195] **【数39】**

[0196] P_i

[0197] ,能够关于第i个用户装置UE-i,选择与该用户装置UE-i对应的发送BF权重矩阵

[0198] **【数40】**

[0199] W_{Ti}

[0200] ,且将与该用户装置UE-i对应的信道矩阵

[0201] **【数41】**

[0202] H_i

[0203] 以外的信道矩阵

[0204] **【数42】**

[0205] $H_k (k=1, \dots, i-1, i+1, \dots, N_U)$

[0206] 的影响(信道响应)设为零(即,能够将MU-MIMO对象的多个用户正交化)。作为结果,能够关于第i用户得到不包括干扰信号分量的接收信号矢量。

[0207] 1 (4) -2. 实现块对角化的预编码矩阵的计算

[0208] 以下,预编码控制单元70求出将前述的矩阵 (2)

[0209] **【数43】**

$$[0210] \quad \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \dots & \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \dots & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \end{bmatrix}$$

[0211] 设为块对角化的 N_U 个预编码矩阵

[0212] **【数44】**

[0213] \mathbf{P}_i ($i = 1 \dots N_U$)。

[0214] 以下,通过表述为

[0215] **【数45】**

[0216] $\mathbf{H}_k \mathbf{W}_{Ti} = \mathbf{H}_{k,i}$

[0217] ,将发送BF权重矩阵和信道矩阵作为一体来处理。另外,以下,有时将矩阵

[0218] **【数46】**

[0219] $\mathbf{H}_{k,i}$

[0220] 称为“等效信道矩阵”。

[0221] 将在包括与第 i 用户对应的发送BF权重矩阵的等效信道矩阵

[0222] **【数47】**

[0223] $\mathbf{H}_{1,i}, \dots, \mathbf{H}_{i,i}, \dots, \mathbf{H}_{N_U,i}$

[0224] 中排除了包括与第 i 用户对应的信道矩阵的等效信道矩阵

[0225] **【数48】**

[0226] $\mathbf{H}_{i,i}$

[0227] 的、 $N_R \cdot (N_U - 1)$ 行 L_{Ti} 列的等效信道矩阵的集合(排除信道矩阵)如下定义。

[0228] **【数49】**

[0229] $\tilde{\mathbf{H}}'_i = [(\mathbf{H}_{1,i})^T, \dots, (\mathbf{H}_{i-1,i})^T, (\mathbf{H}_{i+1,i})^T, \dots, (\mathbf{H}_{N_U,i})^T]^T$

[0230] 以上的排除信道矩阵还能够表现为包括对与第 i 用户对应的发送BF权重矩阵

[0231] **【数50】**

[0232] \mathbf{W}_{Ti}

[0233] 分别乘以与第 i 用户以外的用户对应的信道矩阵

[0234] **【数51】**

[0235] $\mathbf{H}_1, \dots, \mathbf{H}_{i-1}, \mathbf{H}_{i+1}, \dots, \mathbf{H}_{N_U}$

[0236] 而得到的、多个等效信道矩阵的集合。

[0237] 通过对于以上的排除信道矩阵的奇异值分解,得到以下的式(4)。

[0238] **【数52】**

$$[0239] \quad \begin{aligned} \tilde{\mathbf{H}}'_i &= \tilde{\mathbf{U}}'_i \tilde{\Sigma}'_i (\tilde{\mathbf{V}}'_i)^H \\ &= \tilde{\mathbf{U}}'_i \tilde{\Sigma}'_i [\tilde{\mathbf{V}}'_i{}^{(1)} \tilde{\mathbf{V}}'_i{}^{(2)}] \dots \end{aligned} \quad (4)$$

[0240] 另外, $(\cdot)^H$ 表示共轭转置矩阵。

[0241] 在以上的式(4)中,左奇异矩阵

[0242] **【数53】**

[0243] $\tilde{\mathbf{U}}'_i$

[0244] 是 $N_R \cdot (N_U - 1)$ 行 $N_R \cdot (N_U - 1)$ 列的酉矩阵 (unitary matrix)。右奇异矩阵

[0245] 【数54】

[0246] $\tilde{\mathbf{V}}'_i$

[0247] 是 L_{Ti} 行 L_{Ti} 列的酉矩阵。奇异值矩阵

[0248] 【数55】

[0249] $\tilde{\Sigma}'_i$

[0250] 是具有

[0251] 【数56】

[0252] $\tilde{\mathbf{H}}'_i (\tilde{\mathbf{H}}'_i)^H$

[0253] 的奇异值作为对角分量, 具有0作为非对角分量的 $N_R \cdot (N_U - 1)$ 行 L_{Ti} 列的矩阵。此外,

[0254] 【数57】

[0255] $\tilde{\mathbf{V}}'^{(1)}_i$

[0256] 是 L_{Ti} 行 $N_R \cdot (N_U - 1)$ 列的矩阵,

[0257] 【数58】

[0258] $\tilde{\mathbf{V}}'^{(2)}_i$

[0259] 是 L_{Ti} 行 $(L_{Ti} - N_R \cdot (N_U - 1))$ 列的矩阵。

[0260] 【数59】

[0261] $\tilde{\mathbf{V}}'^{(2)}_i$

[0262] 是与排除信道矩阵

[0263] 【数60】

[0264] $\tilde{\mathbf{H}}'_i$

[0265] 的发送机侧的噪声子空间对应的特征矢量 (第一特征矢量), 使用于本实施方式的块对角化。

[0266] 在此, 第一特征矢量

[0267] 【数61】

[0268] $\tilde{\mathbf{V}}'^{(2)}_i$

[0269] 满足以下的式 (5)。

[0270] 【数62】

$$[0271] \quad \mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}'^{(2)}_i = \mathbf{H}_k \mathbf{W}_{Ti} \tilde{\mathbf{V}}'^{(2)}_i \begin{cases} = \mathbf{0} & (i \neq k) \\ \neq \mathbf{0} & (i = k) \end{cases} \quad \dots (5)$$

[0272] 接着, 通过对于等效信道矩阵和第一特征矢量之积

[0273] 【数63】

[0274] $\mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}_i'^{(2)}$

[0275] 的奇异值分解,得到以下的式(6)。

[0276] 【数64】

$$\begin{aligned} [0277] \quad \mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}_i'^{(2)} &= \mathbf{U}'_i \boldsymbol{\Sigma}'_i (\mathbf{V}'_i)^T \\ &= \mathbf{U}'_i \boldsymbol{\Sigma}'_i [\mathbf{V}'_i^{(1)} \quad \mathbf{V}'_i^{(2)}]^T \dots(6) \end{aligned}$$

[0278] 在以上的式(5)中,左奇异矩阵

[0279] 【数65】

[0280] \mathbf{U}'_i

[0281] 是 N_R 行 N_R 列的正交矩阵。右奇异矩阵

[0282] 【数66】

[0283] \mathbf{V}'_i

[0284] 是 $(L_{Ti}-N_R \cdot (N_U-1))$ 行 $(L_{Ti}-N_R \cdot (N_U-1))$ 列的正交矩阵。奇异值矩阵

[0285] 【数67】

[0286] $\boldsymbol{\Sigma}'_i$

[0287] 是具有

[0288] 【数68】

[0289] $\mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}_i'^{(2)} (\mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}_i'^{(2)})^H$

[0290] 的奇异值作为对角分量,具有0作为非对角分量的 N_R 行 $(L_{Ti}-N_R \cdot (N_U-1))$ 列的矩阵。此外,

[0291] 【数69】

[0292] $\mathbf{V}'_i^{(1)}$

[0293] 是 $(L_{Ti}-N_R \cdot (N_U-1))$ 行 N_R 列的矩阵,

[0294] 【数70】

[0295] $\mathbf{V}'_i^{(2)}$

[0296] 是 $(L_{Ti}-N_R \cdot (N_U-1))$ 行 $(L_{Ti}-N_R \cdot (N_U-1)-N_R)$ 列的矩阵。

[0297] 【数71】

[0298] $\mathbf{V}'_i^{(1)}$

[0299] 是与

[0300] 【数72】

[0301] $\mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}_i'^{(2)}$

[0302] 的发送机侧的信号子空间对应的特征矢量(第二特征矢量),使用于本实施方式的块对角化。

[0303] 基于如以上得到的特征矢量(第一特征矢量以及第二特征矢量),如以下的式(7)那样求出第i用户的预编码矩阵。

[0304] 【数73】

$$[0305] \quad \mathbf{P}_i = \tilde{\mathbf{V}}_i'^{(2)} \mathbf{V}_i'^{(1)} \dots (7)$$

[0306] 此外,第*i*用户的后编码矩阵如以下的式(8)那样求出。

[0307] 【数74】

$$[0308] \quad \mathbf{B}_i = (\mathbf{U}'_i)^H \dots (8)$$

[0309] 若将以上的式(7)代入到前述的矩阵(2)的非对角分量

[0310] 【数75】

$$[0311] \quad \mathbf{H}_k \mathbf{W}_{Ti} \mathbf{P}_i \quad (k \neq i)$$

[0312] ,则得到

[0313] 【数76】

$$[0314] \quad \mathbf{H}_k \mathbf{W}_{Ti} \tilde{\mathbf{V}}_i'^{(2)} \mathbf{V}_i'^{(1)} \quad (k \neq i)$$

[0315] 。以上的非对角分量基于式(5)的关系,成为

[0316] 【数77】

$$[0317] \quad 0$$

[0318] 。如上,预编码控制单元70通过如式(7)那样设定各用户的预编码矩阵,矩阵(2)成为块对角化,式(3)成立(即,MU-MIMO对象的多个用户相互正交化)。

[0319] 若使用式(8)的后编码矩阵,则式(3)能够进一步如下变形。

[0320] 【数78】

$$[0321] \quad \begin{aligned} \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \mathbf{r}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{B}_{N_U} \mathbf{r}_{N_U} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & \mathbf{B}_{N_U} \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{B}_{N_U} \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \Sigma'_1 & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & \Sigma'_{N_U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{B}_{N_U} \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0322] 另外,以上的块对角化成立需要各用户(第*i*用户)使用的发送波束数 L_{Ti} 为系统整体的接收天线 A_R 数 $N_R \cdot N_U$ 以上($L_{Ti} \geq N_R \cdot N_U$)。此外,如前所述,在第*i*用户的发送波束数表示为 $L_{Ti} = L_T / N_U$ 的情况下,系统整体的发送波束数 L_T 需要为 $N_R \cdot N_U^2$ 以上($L_T \geq N_R \cdot N_U^2$)。

[0323] 1(4)-3. 权重矩阵的决定

[0324] 如以上所述,通过预编码控制单元70决定 N_U 个预编码矩阵

[0325] 【数79】

$$[0326] \quad \mathbf{P}_i \quad (i = 1 \dots N_U)$$

[0327] ,实现MU-MIMO系统中的整体信道矩阵

[0328] 【数80】

$$[0329] \quad \mathbf{H}_c$$

[0330] 的块对角化。换言之,只要预编码矩阵

[0331] 【数81】

$$[0332] \quad \mathbf{P}_i$$

[0333] 如前述那样决定,则发送BF权重矩阵

[0334] **【数82】**

[0335] W_{Ti}

[0336] 以及接收BF权重矩阵

[0337] **【数83】**

[0338] W_{Ri}

[0339] 就可以任意地决定。

[0340] 在本实施方式中,发送BF权重控制单元80将第i用户的发送BF权重矩阵

[0341] **【数84】**

[0342] W_{Ti}

[0343] 例如可以以将第i用户中的接收功率设为最大化的方式决定,也可以以将第i用户的信号对干扰比 (Signal-to-Interference Ratio) 设为最大化的方式决定,也可以以将系统整体的信道容量 (capacity) 设为最大化的方式决定。

[0344] 发送BF权重控制单元80将第i用户的发送BF权重矩阵

[0345] **【数85】**

[0346] W_{Ti}

[0347] 可以通过表示基于可变移相器PS以及振幅调整器AA的相位以及振幅的变化的导向矢量 (steering vector) 来生成,也可以基于DFT (离散傅里叶变换 (Discrete Fourier Transform)) 预编码来生成,也可以以将多个用户间的发送波束正交化的方式使用巴特勒矩阵来生成。

[0348] 此外,在本实施方式中,第i用户的接收BF权重矩阵

[0349] **【数86】**

[0350] W_{Ri}

[0351] 作为 N_R 行 N_R 列的单位矩阵来决定。即,在接收侧采用不乘以BF权重的结构。

[0352] 1 (4) -3-1. 发送BF权重矩阵的决定的具体例

[0353] 以下,具体例示对第i用户使用导向矢量来决定发送BF权重矩阵的结构。如前所述,发送BF权重矩阵表现为

[0354] **【数87】**

[0355] $W_{Ti} = [w_{Ti,1} \ w_{Ti,2} \ \dots \ w_{Ti,L_{Ti}}]$

[0356] 。与第1个发送波束对应的发送BF权重矢量

[0357] **【数88】**

[0358] $w_{Ti,1}$

[0359] 的候选由具有作为根据候选而不同的变量的 Φ (水平角度) 以及 θ (垂直角度) 的以下的导向矢量

[0360] **【数89】**

[0361]
$$w(\Phi, \theta) = \frac{1}{\sqrt{N_T}} [\exp\{-jW_{0,0}(\Phi, \theta)\} \dots \exp\{-jW_{N_{Tx}-1,0}(\Phi, \theta)\}, \\ \dots \exp\{-jW_{0,N_{Tz}-1}(\Phi, \theta)\} \dots \exp\{-jW_{N_{Tx}-1,N_{Tz}-1}(\Phi, \theta)\}]^T$$

[0362] 表现。在此,式中的

[0363] 【数90】

[0364] $W_{n_x, n_z}(\Phi, \theta)$

[0365] 是配置了多个发送天线 A_T 的一致平面阵列的横第 n_x 个($n_x=0\sim N_{Tx}-1$)、纵第 n_z 个($n_z=0\sim N_{Tz}-1$)天线元件中的相位旋转量,表现为

[0366] 【数91】

[0367] $W_{n_x, n_z}(\Phi, \theta) = \frac{2\pi}{\lambda} (n_x \Delta x \cos \Phi \sin \theta + n_z \Delta z \cos \theta)$

[0368] 。 λ 表示载波的波长。

[0369] 图10是发送BF权重矩阵的决定处理的操作流程。小型基站MMNB将与第1个发送波束对应的发送BF权重矢量

[0370] 【数92】

[0371] $W_{Ti, 1}$

[0372] 的候选(即,作为导向矢量的变量的 Φ 以及 θ 的组合)选择一个(S10),发送相互正交的 L_{Ti} 个流的参考信号(S20)。用户装置UE测量所发送的参考信号的接收功率(S30)。小型基站MMNB直到全部导向矢量的候选的选择结束为止,重复以上的步骤(S40:否)。发送BF权重矢量的候选(即, Φ 以及 θ 的组合)优选为一边以规定的差分 $\Delta \Phi$ 、 $\Delta \theta$ 为单位进行偏移一边进行选择。

[0373] 若选择全部导向矢量的候选,则小型基站MMNB将表示选择结束的信息通知给用户装置UE(S40:是)。用户装置UE基于与发送BF权重矢量的各个候选对应的参考信号的接收功率的测量结果,选择与第1个发送波束对应的最佳发送BF权重矢量

[0374] 【数93】

[0375] $W_{Ti, 1}$

[0376] 的候选(即, Φ 以及 θ 的组合)(S50)。用户装置UE例如将具有参考信号的接收功率变得最大的 Φ 以及 θ 的组合的发送BF权重矢量的候选选择作为最佳发送BF权重矢量

[0377] 【数94】

[0378] $W_{Ti, 1}$

[0379] 。所选择的最佳发送BF权重矢量从用户装置UE反馈给小型基站MMNB(S60)。小型基站MMNB基于来自用户装置UE的报告,决定最佳发送BF权重矢量(S70)。

[0380] 通过以上的操作重复作为第 i 用户的发送波束数的 L_{Ti} 次(S80:否),决定第 i 用户的发送BF权重矩阵

[0381] 【数95】

[0382] W_{Ti} 。

[0383] 1(5).预编码矩阵以及后编码矩阵的决定处理的操作流程

[0384] 图11是表示本实施方式的预编码矩阵以及后编码矩阵的决定处理的操作流程。另外,在以下的操作流程中,设备用户的发送BF权重矩阵

[0385] 【数96】

[0386] $W_{Ti} (i=1\cdots N_U)$

[0387] 以及接收BF权重矩阵

[0388] 【数97】

[0389] W_{Ri} ($i=1\cdots N_U$)

[0390] 例如通过前述的方法(在“1(3)-3. 权重矩阵的决定”中记载的方法)而预先决定。如前所述,本实施方式的接收BF权重矩阵

[0391] 【数98】

[0392] W_{Ri}

[0393] 是单位矩阵。

[0394] 小型基站MMNB的发送BF权重控制单元80对发送波束成型单元54进行控制,使得使用全部用户的发送BF权重矩阵

[0395] 【数99】

[0396] W_{T1}, \dots, W_{TN_U}

[0397] 对参考信号RS实施模拟发送波束成型后从 N_T 根发送天线 A_T 发送(S100)。

[0398] 从发送天线 A_T 发送的参考信号RS通过在朝向各个用户装置UE(UE-1, ..., UE- N_U)的空间(传播路径)传播,成为被乘以与各个用户装置UE对应的信道矩阵

[0399] 【数100】

[0400] H_1, \dots, H_{N_U}

[0401] 的参考信号RS,到达各个用户装置UE(UE-1, ..., UE- N_U)。

[0402] 第 i 个用户装置UE- i 的接收BF权重控制单元160对接收波束成型单元112进行控制,使得对在接收天线 A_R 中接收到的参考信号RS使用作为单位矩阵的接收BF权重矩阵

[0403] 【数101】

[0404] W_{Ri}

[0405] 实施模拟接收波束成型(即,不乘以接收权重)。

[0406] 在接收波束成型单元112中接收到的参考信号RS经过下变频单元114和AD转换单元120输入到发送接收特性估计单元150。发送接收特性估计单元150使用被输入的参考信号RS,估计等效信道矩阵

[0407] 【数102】

[0408] $H_{i,1}, \dots, H_{i,i}, \dots, H_{i,N_U} (= H_i W_{T1}, \dots, H_i W_{Ti}, \dots, H_i W_{TN_U})$

[0409] (S200)。以上的等效信道矩阵是表示基于发送波束成型以及空间传播的信号的变化特性矩阵。以上的等效信道矩阵的估计与一般的信道估计同样地执行。例如,能够使用最小平方法进行估计。估计出的等效信道矩阵经由反馈单元180从第 i 用户装置UE- i 反馈(S300),被小型基站MMNB接收。

[0410] 作为全部用户装置UE(UE-1, ..., UE- N_U)执行以上的步骤S200以及S300的结果,小型基站MMNB取得等效信道矩阵的全部组合

[0411] 【数103】

$$[0412] \begin{bmatrix} H_{1,1} & \dots & H_{1,N_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{N_U,1} & \dots & H_{N_U,N_U} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 W_{T1} & \dots & H_1 W_{TN_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{N_U} W_{T1} & \dots & H_{N_U} W_{TN_U} \end{bmatrix} .$$

[0413] 小型基站MMNB的预编码控制单元70使用取得的等效信道矩阵的全部组合,生成全部用户的排除信道矩阵

[0414] 【数104】

[0415] $\tilde{\mathbf{H}}'_1, \dots, \tilde{\mathbf{H}}'_i, \dots, \tilde{\mathbf{H}}'_{N_U}$

[0416] ,并根据前述的方法(在“1(3)-2.实现块对角化的预编码矩阵的计算”中说明的方法),决定 N_U 个预编码矩阵

[0417] 【数105】

[0418] P_i ($i = 1 \cdots N_U$)

[0419] 以及后编码矩阵

[0420] 【数106】

[0421] B_i ($i = 1 \cdots N_U$)

[0422] (S400)。

[0423] 另外,在本例中,预编码矩阵以及后编码矩阵的决定在小型基站MMNB(预编码控制单元70)中执行。被决定的后编码矩阵分别经由反馈单元60通知给对应的用户装置UE。

[0424] 1(6).本实施方式的效果

[0425] 根据以上的本实施方式的结构,在采用固定波束成型的MU-MIMO环境中,通过使用基于对第 i 用户的发送BF权重矩阵

[0426] 【数107】

[0427] \mathbf{W}_{Ti}

[0428] 分别乘以了第 i 用户以外的用户的信道矩阵

[0429] 【数108】

[0430] $\mathbf{H}_1, \dots, \mathbf{H}_{i-1}, \mathbf{H}_{i+1}, \dots, \mathbf{H}_{N_U}$

[0431] 的等效信道矩阵

[0432] 【数109】

[0433] $H_k \mathbf{W}_{Ti} = H_{k,i}$ ($k \neq i$)

[0434] 的集合即排除信道矩阵

[0435] 【数110】

[0436] $\tilde{\mathbf{H}}'_i = [(\mathbf{H}_{1,i})^T, \dots, (\mathbf{H}_{i-1,i})^T, (\mathbf{H}_{i+1,i})^T, \dots, (\mathbf{H}_{N_U,i})^T]^T$

[0437] 而决定的预编码矩阵

[0438] 【数111】

[0439] P_i ($i = 1 \cdots N_U$)

[0440] ,将对于全部用户(UE-1, ..., UE- N_U)的等效信道矩阵作为分量的矩阵

[0441] 【数112】

[0442]
$$\begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} & \dots & \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{TN_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{T1} & \dots & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \end{bmatrix}$$

[0443] 成为块对角化(相当于干扰分量的非对角分量成为0)。作为结果,实现MU-MIMO对

象用户间的干扰控制。

[0444] 2. 第二实施方式

[0445] 以下,说明本发明的第二实施方式。在以下例示的各实施方式中,关于作用、功能与第一实施方式同等的元素,沿用在以上的说明中参照的标号并适当省略各自的说明。

[0446] 在发送机(小型基站MMNB)中,发送波束数 L_T 越多,则电路规模(处理电路 PC_T 的数目)越增大,制造成本越高。因此,为了降低小型基站MMNB的制造成本,应降低发送波束数 L_T 。

[0447] 如前所述,为了实现如第一实施方式所示的基于块对角化的干扰控制,需要各用户(第 i 用户)使用的发送波束数 L_{Ti} 为系统整体的接收天线 A_R 数 $N_R \cdot N_U$ 以上($L_{Ti} \geq N_R \cdot N_U$)。因此,为了降低发送波束数 L_{Ti} ,应减少各用户的接收天线数 N_R 和MU-MIMO对象的合计用户数 N_U 中的至少任一个。

[0448] 另一方面,若减少发送波束数 L_{Ti} ,则等效信道矩阵

[0449] 【数113】

[0450] $H_k W_{Ti} = H_{k,i}$

[0451] 的列数(N_R 行 L_{Ti} 列)也减少,自由度降低。作为结果,不能充分降低用户间的干扰,传输特性有可能变差。因此,应补偿伴随着发送波束数 L_{Ti} 的降低的自由度的降低。

[0452] 2(1).接收天线数的虚拟的削减

[0453] 在第一实施方式中,使用 N_R 行 L_{Ti} 列的等效信道矩阵

[0454] 【数114】

[0455] $H_{k,i} = H_k W_{Ti}$

[0456] 执行块对角化。在本实施方式中,代替以上,使用包括接收BF权重矩阵的 L_{Rk} 行 L_{Ti} 列($N_R > L_{Rk}$)的矩阵

[0457] 【数115】

[0458] $H_{k,i} = W_{Rk} H_k W_{Ti}$

[0459] 作为等效信道矩阵来执行块对角化,从而虚拟地削减各用户的接收天线数 N_R 。

[0460] 块对角化中的具体的计算的流程除了等效信道矩阵如以上那样置换之外,与第一实施方式中的流程相同。即, $L_{Rk} \cdot (N_U - 1)$ 行 L_{Ti} 列的等效信道矩阵的集合(排除信道矩阵)定义为

[0461] 【数116】

[0462] $\tilde{H}'_i = [(\mathbf{H}_{1,i})^T, \dots, (\mathbf{H}_{i-1,i})^T, (\mathbf{H}_{i+1,i})^T, \dots, (\mathbf{H}_{N_U,i})^T]^T$

[0463] ,与第一实施方式同样地进行两个阶段的奇异值分解,从而计算出预编码矩阵

[0464] 【数117】

[0465] P_i

[0466] 以及后编码矩阵

[0467] 【数118】

[0468] B_i

[0469] 。由于具体的计算方法在第一实施方式中已经说明,所以省略说明。

[0470] 在本实施方式中,与第一实施方式相比,等效信道矩阵

[0471] 【数119】

[0472] $H_{k,i}$

[0473] 的尺寸(行数)从 N_R 行 L_{Ti} 列减少为 L_{Rk} 行 L_{Ti} 列(即,接收天线 A_R 的数目 N_R 虚拟地削减),所以各用户(第 i 用户)使用的最低限度必要的发送波束数 L_{Ti} 也从 $N_R \cdot N_U$ 减少为 $L_{Rk} \cdot N_U$ ($L_{Ti} \geq L_{Rk} \cdot N_U$)。进而,等效信道矩阵的秩减小,从而自由度提高。

[0474] 以上,与第 i 用户以外的用户对应的 L_{Rk} 行 N_R 列的接收BF权重矩阵

[0475] 【数120】

[0476] W_{Rk}

[0477] 例如,可以按照接收功率从大到小的顺序选择 L_{Rk} 个接收波束而生成。即,在用户装置UE中,也可以使用 L_R 个接收波束成型器以时分方式生成 N_R 个正交波束,在这些正交波束中按照接收功率从大到小的顺序选择 L_{Rk} 个接收波束,从而生成以上的接收BF权重矩阵。

[0478] 取而代之,以上的接收BF权重矩阵也可以通过选择接收功率更高的接收天线 A_R 而生成。即,也可以基于第 i 用户的接收信号矢量

[0479] 【数121】

[0480] $r_i = H_i W_{Ti} P_i s_i + z_i$

[0481] ,生成按照接收功率从大到小的顺序选择 L_{Rk} 个接收天线 A_R 的接收BF权重矩阵。

[0482] 此外,也可以以以上的接收BF权重矩阵基于

[0483] 【数122】

[0484] $W_{Rk} H_k W_{Ti}$

[0485] 求出的容量

[0486] 【数123】

[0487] $C = \log \det(\mathbf{I} + \mathbf{B}_i \mathbf{W}_{Ri} \mathbf{H}_i \mathbf{W}_{Ti} \mathbf{P}_i \mathbf{P}_i^H \mathbf{W}_{Ti}^H \mathbf{H}_i^H \mathbf{W}_{Ri}^H \mathbf{B}_i^H)$

[0488] 最大化的方式,例如基于MMSE(最小均方误差)法而生成。

[0489] 2(2).本实施方式的效果

[0490] 根据以上的结构,由于各用户装置UE的接收天线数 N_R 虚拟地削减,所以能够减少对于各用户的发送波束数 L_{Ti} ,进而能够减少整体的发送波束数 L_T 。作为结果,能够较小地抑制小型基站MMNB的电路规模,降低制造成本。除此之外,通过等效信道矩阵的秩减小,能够提高自由度。

[0491] 3.第三实施方式

[0492] 在第二实施方式中,通过虚拟地削减各用户的接收天线数 N_R ,降低发送波束数 L_T 。在第三实施方式中,通过削减MU-MIMO对象的合计用户数 N_U ,降低发送波束数 L_T 。

[0493] 3(1).正交化对象的用户装置的削减

[0494] 以下,削减成为MU-MIMO通信的对象(即,成为正交化的对象)的合计用户数 N_U 。更具体而言,关于第 i 用户,只将能够基于削减了发送波束数 L_{Ti} 之后的等效信道矩阵

[0495] 【数124】

[0496] $H_{k,i}$

[0497] 具有的自由度进行正交化的数目的用户设为正交化的对象,将其他用户设为与第 i 用户的正交化的对象外。关于成为正交化的对象外的用户,不去除来自第 i 用户的干扰(即,允许来自第 i 用户的干扰)。

[0498] 在第一实施方式中,在生成关于第i用户的排除信道矩阵

[0499] **【数125】**

[0500] $\tilde{\mathbf{H}}_i'$

[0501] 时,只排除包括与第i用户对应的信道矩阵的等效信道矩阵

[0502] **【数126】**

[0503] $H_{i,i}$

[0504] ,但在本例中,进一步,将包括与设为与第i用户的正交化的对象外的用户(称为第m用户)对应的信道矩阵的等效信道矩阵

[0505] **【数127】**

[0506] $H_{m,i}$

[0507] 也从以上的排除信道矩阵排除,计算预编码矩阵

[0508] **【数128】**

[0509] P_i

[0510] 。设为与第i用户的正交化的对象外的第m用户也可以存在多个。

[0511] 正交化对象的用户的选择(进一步,成为正交化的对象外的用户的选择)在来自用户装置UE的等效信道矩阵的反馈后(S300)预编码矩阵的决定(S400)之前执行。

[0512] 图12是表示正交化对象用户的选择处理的操作流程的一例。在本例中,基于在用户装置UE中测量的SIR(信号对干扰比),按照SIR从低到高的顺序选择成为正交化对象的用户。小型基站MMNB将发往可成为正交化的对象的多个用户装置UE的信号进行复用化而发送(S310)。各用户装置UE接收从小型基站MMNB发送的信号而测量SIR(S320),并反馈给小型基站MMNB(S330)。小型基站MMNB判定从多个用户装置UE反馈的各个SIR是否为期望SIR以上(S340)。

[0513] 若被反馈的全部SIR为期望SIR以上(S340:是),则小型基站MMNB不将报告了这些SIR的用户装置UE选择为正交化的对象,进入预编码矩阵的决定(S400)。另一方面,在被反馈的SIR中包括小于期望SIR的SIR的情况下(S340:否),小型基站MMNB按照SIR从低到高的顺序,将用户装置UE选择作为正交化的对象,重复以上的循环(步骤S310~S340)。如前所述,选择的用户装置UE的数目的上限值根据与发送波束数 L_{Ti} 对应的等效信道矩阵的自由度而决定。

[0514] 图13是表示正交化对象用户的选择处理的操作流程的另一例。在本例中,基于用户间的信道相关而选择成为正交化对象的用户。小型基站MMNB基于从各用户装置UE反馈的等效信道矩阵,计算全部用户装置UE间的信道相关值(S312)。小型基站MMNB基于计算出的信道相关值,估计全部用户装置UE的位置关系(S322)。某2个用户装置UE间的信道相关值越高,则能够估计为这些用户装置UE越近。

[0515] 小型基站MMNB对各用户装置UE合计信道相关值,按照合计值从大到小的顺序选择成为正交化对象的用户装置UE(S332)。这是因为:某用户装置UE中的信道相关值的合计值越大,则能够估计为越多的其他用户装置UE存在于该用户装置UE的附近(即,该用户装置UE的SIR较低)。

[0516] 3(2).本实施方式的效果

[0517] 根据以上的结构,由于成为MU-MIMO的对象(即,成为正交化的对象)的合计用户数

N_U 削减,所以能够减少各用户的发送波束数 L_{Ti} ,进而能够减少整体的发送波束数 L_T 。作为结果,能够较小地抑制小型基站MMNB的电路规模,降低制造成本。

[0518] 4. 第四实施方式

[0519] 在第四实施方式中,通过进一步调整例如第一实施方式的项目1(4)-3那样决定的第i用户的发送BF权重矩阵

[0520] 【数129】

[0521] W_{Ti}

[0522] ,抑制对于第i用户以外的用户的干扰。

[0523] 4(1). 发送BF权重矩阵的调整

[0524] 图14是表示发送BF权重矩阵的调整处理的操作流程的一例。小型基站MMNB的发送BF权重控制单元80如以下的式那样合计与对于第i用户以外的用户(多个第k用户)的第l个发送波束对应的 N_T 行1列的发送BF权重矢量(S400)。

[0525] 【数130】

[0526]
$$W_{sum,Ti,l} = \sum_{k=1, k \neq i}^{N_U} W_{Tk,l}$$

[0527] 作为步骤S400的结果,取得 L_{Tk} 个(发送波束数)的合计权重矢量

[0528] 【数131】

[0529] $W_{sum,Ti,l} (l = 1 \cdots L_{Tk})$ 。

[0530] 接着,发送BF权重控制单元80对取得的合计权重矢量的各个,计算相关矩阵

[0531] 【数132】

[0532] $W_{sum,Ti,l} W_{sum,Ti,l}^H$

[0533] ,且如以下的式那样对全部发送波束进行合计(S410)。

[0534] 【数133】

[0535]
$$W_{sum,Ti} = \sum_{l=1}^{L_{Tk}} W_{sum,Ti,l} W_{sum,Ti,l}^H$$

[0536] 作为步骤S410的结果,取得 N_T 行 N_T 列的合计相关矩阵

[0537] 【数134】

[0538] $W_{sum,Ti}$ 。

[0539] 发送BF权重控制单元80通过将取得的合计相关矩阵的逆矩阵(干扰控制矩阵)

[0540] 【数135】

[0541] $W_{sum,Ti}^{-1}$

[0542] 乘以发送BF权重矩阵

[0543] 【数136】

[0544] W_{Ti}

[0545] ,取得调整后的发送BF权重矩阵

[0546] 【数137】

[0547]
$$W'_{Ti} = W_{sum,Ti}^{-1} W_{Ti}$$

[0548] (S420)。

[0549] 以上的步骤S400至S420对全部用户(1, ..., N_U)执行,对全部用户调整发送BF权重矩阵。如以上那样取得的调整后的发送BF权重矩阵使用于从小型基站MMNB的无线信号的发送。

[0550] 4(2).本实施方式的效果

[0551] 根据以上的结构,由于基于与对于第i个用户以外的用户的发送波束对应的发送BF权重矢量而生成的干扰控制矩阵乘以第i个用户的发送BF权重矩阵,所以能够降低对于第i个用户的无线信号对其他用户产生的干扰。

[0552] 5.变形例

[0553] 以上的实施方式可变形为各种各样。以下例示具体的变形方式。从以上的实施方式以及以下的例示中任意选择的两种以上的方式只要不相互矛盾就能够适当地合并。

[0554] 5(1).变形例1

[0555] 在以上的实施方式中,某一个用户(第i用户)的发送波束数 L_{Ti} 被固定地设定(例如, $L_{Ti} = L_T/N_U$)。但是,发送波束数 L_{Ti} 也可以动态地设定。例如,发送波束数 L_{Ti} 也可以设定为第i用户的通信速度成为一定值以上,也可以设定为系统整体的通信速度进一步提高(优选地,成为最大),也可以设定为与发送波束数 L_{Ti} 被固定地设定的情况相比通信速度进一步提高,也可以设定为进一步增大第i用户的容量(优选地,成为最大)。例如,优选发送波束数 L_{Ti} 根据MCS(调制和编码方案(Modulation and Coding Scheme))的值而被设定。

[0556] 根据以上的结构,能够灵活应对每个用户所要求的的质量的差异。此外,能够实现系统整体的通信速度的提高,且确保用户间的通信速度的公平性。

[0557] 5(2).变形例2

[0558] 在以上的实施方式中,小型基站MMNB和用户装置UE的控制信息的通信能够通过任意的路由而执行。例如,在小型基站MMNB和用户装置UE之间建立了无线链路的情况下,可以通过直接发送接收无线信号而交换控制信息。此外,在没有建立以上的无线链路的情况下,小型基站MMNB和用户装置UE可以经由宏基站MeNB而发送接收控制信息。

[0559] 5(3).变形例3

[0560] 在以上的实施方式中,在发送侧(小型基站MMNB)决定预编码矩阵以及后编码矩阵。但是,能够在无线通信系统1内的任意的地方执行预编码矩阵的决定。例如,也可以在接收侧(用户装置UE)决定后编码矩阵。此外,也可以在发送侧决定后编码矩阵,在接收侧决定预编码矩阵。也可以在既不是发送侧也不是接收侧的地方(例如,中央控制台MME)决定预编码矩阵以及后编码矩阵中的至少任一个。

[0561] 5(4).变形例4

[0562] 在以上的实施方式中,基于从用户装置UE反馈的等效信道,小型基站MMNB决定预编码矩阵等。由于对无线通信系统1采用时分双工(Time Division Duplex, TDD)的情况下,在上行链路和下行链路中使用共同的频率,所以小型基站MMNB能够基于从用户装置UE发送的参考信号而估计等效信道,决定预编码矩阵等。即,在采用时分双工的情况下,也可以不从用户装置UE对小型基站MMNB反馈等效信道。

[0563] 5(5).变形例5

[0564] 小型基站MMNB的发送波束成型单元54也可以是使用 N_T 根发送天线 A_T 的全部而生成1个发送波束的全阵列型结构,也可以是使用(N_T/L_T)根发送天线 A_T 而生成1个发送波束的子

阵列型结构。无论是哪种结构,都能够实现以上的实施方式的用户复用。

[0565] 5(6).变形例6

[0566] 能够对进行了以上的实施方式中的块对角化的用户进一步应用各种特性提高方法。例如,能够应用自适应地改变校正编码方式或调制方式的自适应编码调制(Adaptive Modulation and Coding,AMC)、自适应地控制发送流数的秩自适应、或者功率分配等方法。

[0567] 5(7).变形例7

[0568] 用户装置UE是能够与网络内的基站(宏基站MeNB、小型基站MMNB)进行无线通信的任意的装置。用户装置UE例如可以是功能手机或者智能手机等便携电话终端,也可以是平板终端,也可以是台式个人计算机,也可以是笔记本式个人计算机,也可以是UMPC(超便携移动个人计算机(Ultra-Mobile Personal Computer)),也可以是便携用游戏机,也可以是其他的无线终端。

[0569] 5(8).变形例8

[0570] 在无线通信系统1内的各元素(用户装置UE以及小型基站MMNB)中CPU执行的各功能可以代替CPU而由硬件执行,例如也可以在FPGA(现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array))、DSP(数字信号处理器(Digital Signal Processor))等可编程逻辑设备中执行。

[0571] 标号说明

[0572] 1……无线通信系统、MMNB……小型基站、10……数据信号生成单元、20……参考信号生成单元、30……基带处理单元、32……预编码单元、40……转换单元、50……处理单元、52……上变频单元、54……发送波束成型单元、60……反馈单元、70……预编码控制单元、80……权重控制单元、90……存储单元、UE……用户装置、110……处理单元、112……接收波束成型单元、114……下变频单元、120……转换单元、130……基带处理单元、132……后编码单元、140……信号分析单元、150……发送接收特性估计单元、160……权重控制单元、170……后编码控制单元、180……反馈单元、190……存储单元、AA……振幅调整器、AC_R……模拟信号处理电路、AC_T……模拟信号处理电路、AD……加法器、AR……接收天线、AT……发送天线、C_m……宏小区、C_{mm}……大规模MIMO小区、DC_R……数字信号处理电路、DC_T……数字信号处理电路、MME……中央控制台、MP……乘法器、MeNB……宏基站、PC_R……处理电路、PC_T……处理电路、PS……可变移相器。

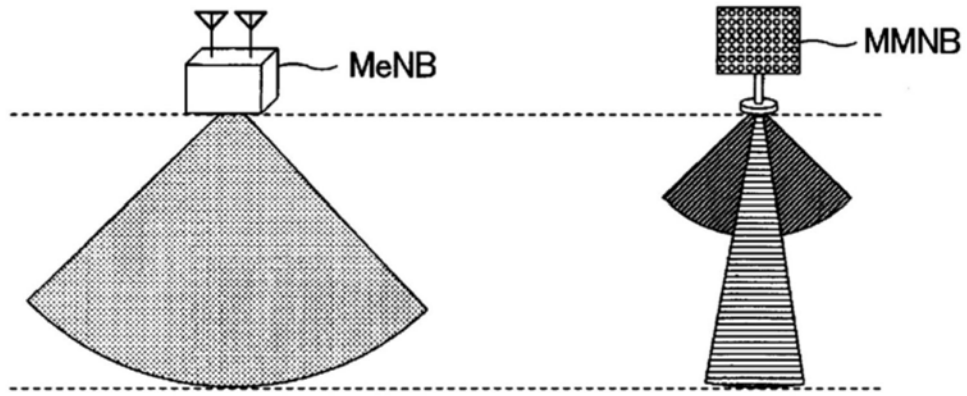


图1

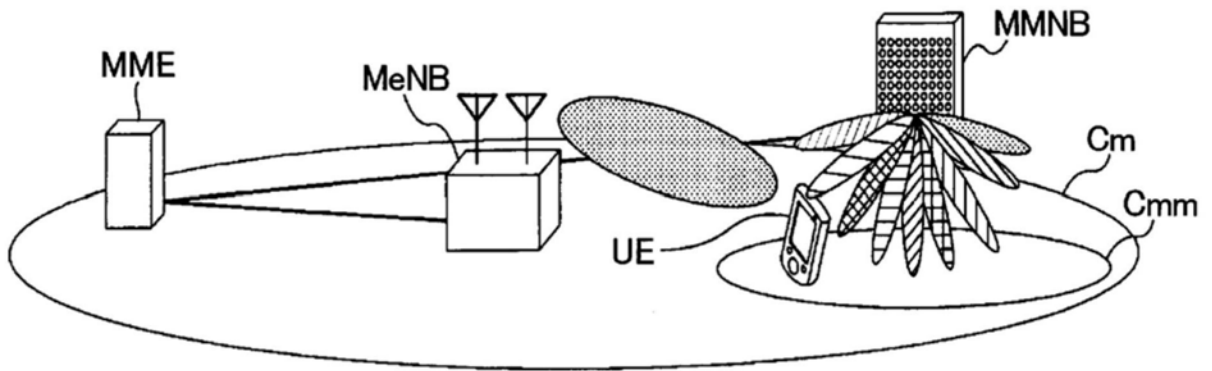


图2

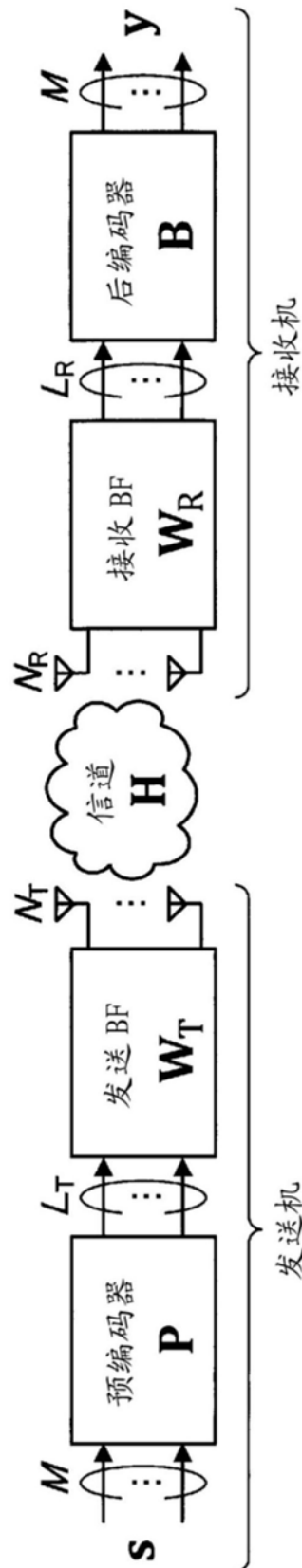


图3

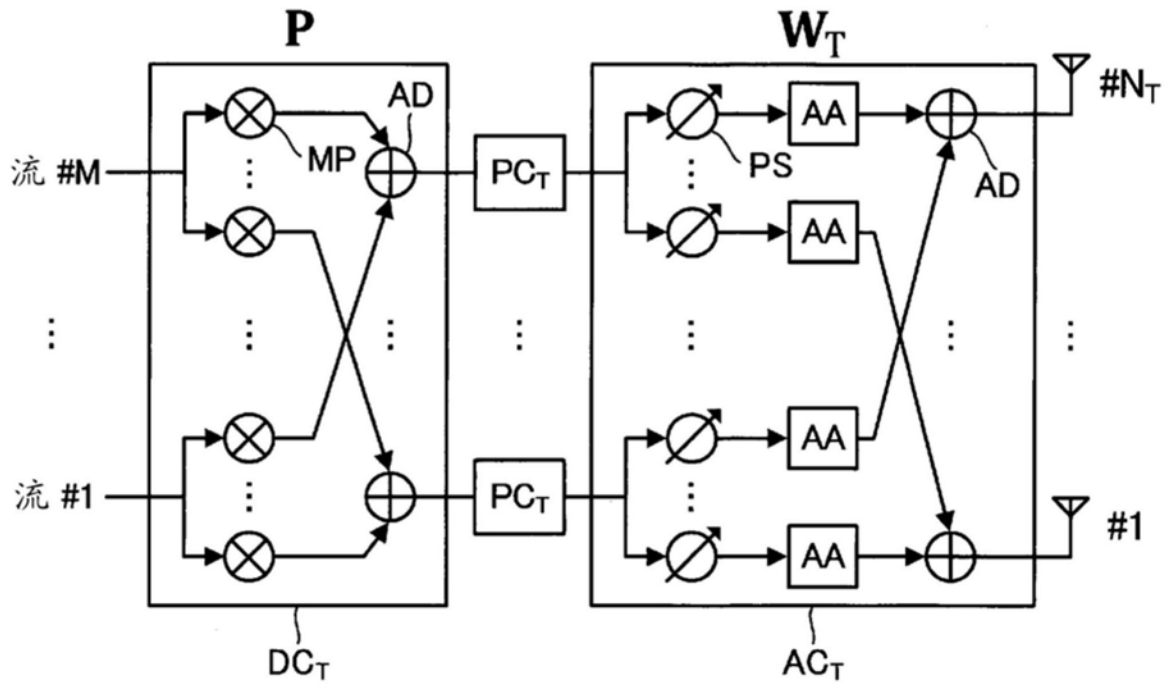


图4

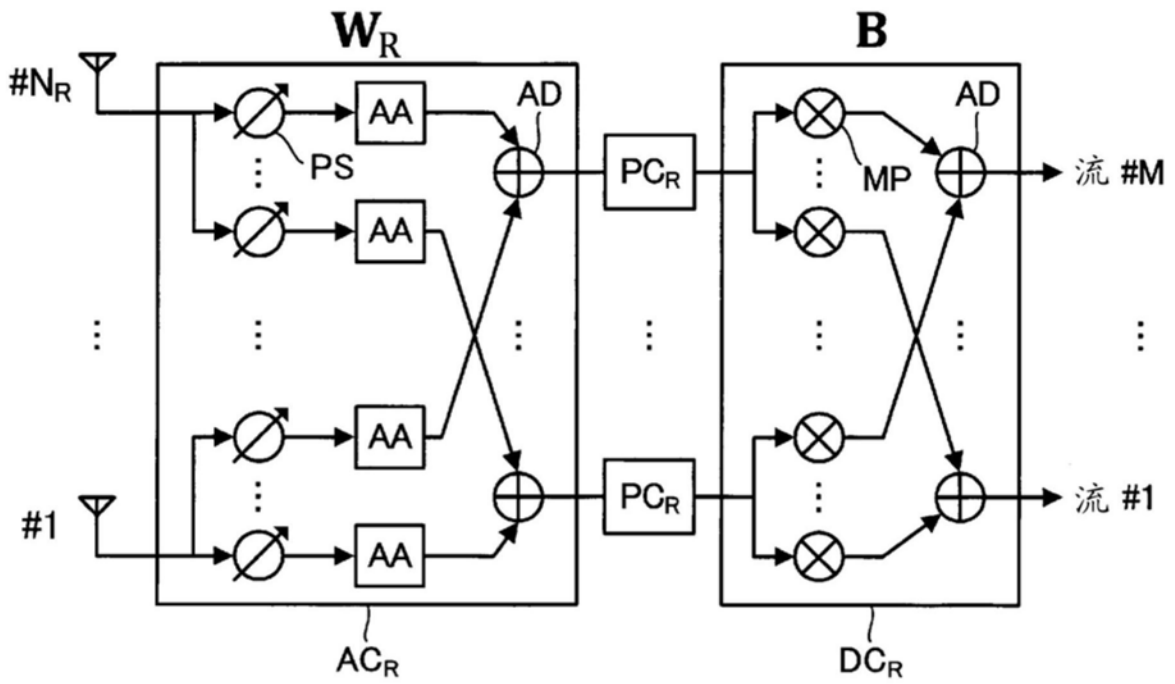


图5

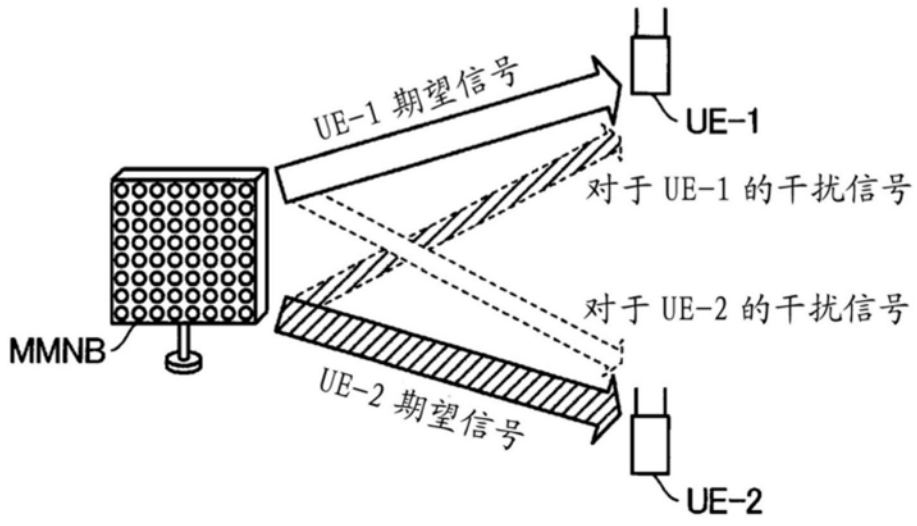


图6

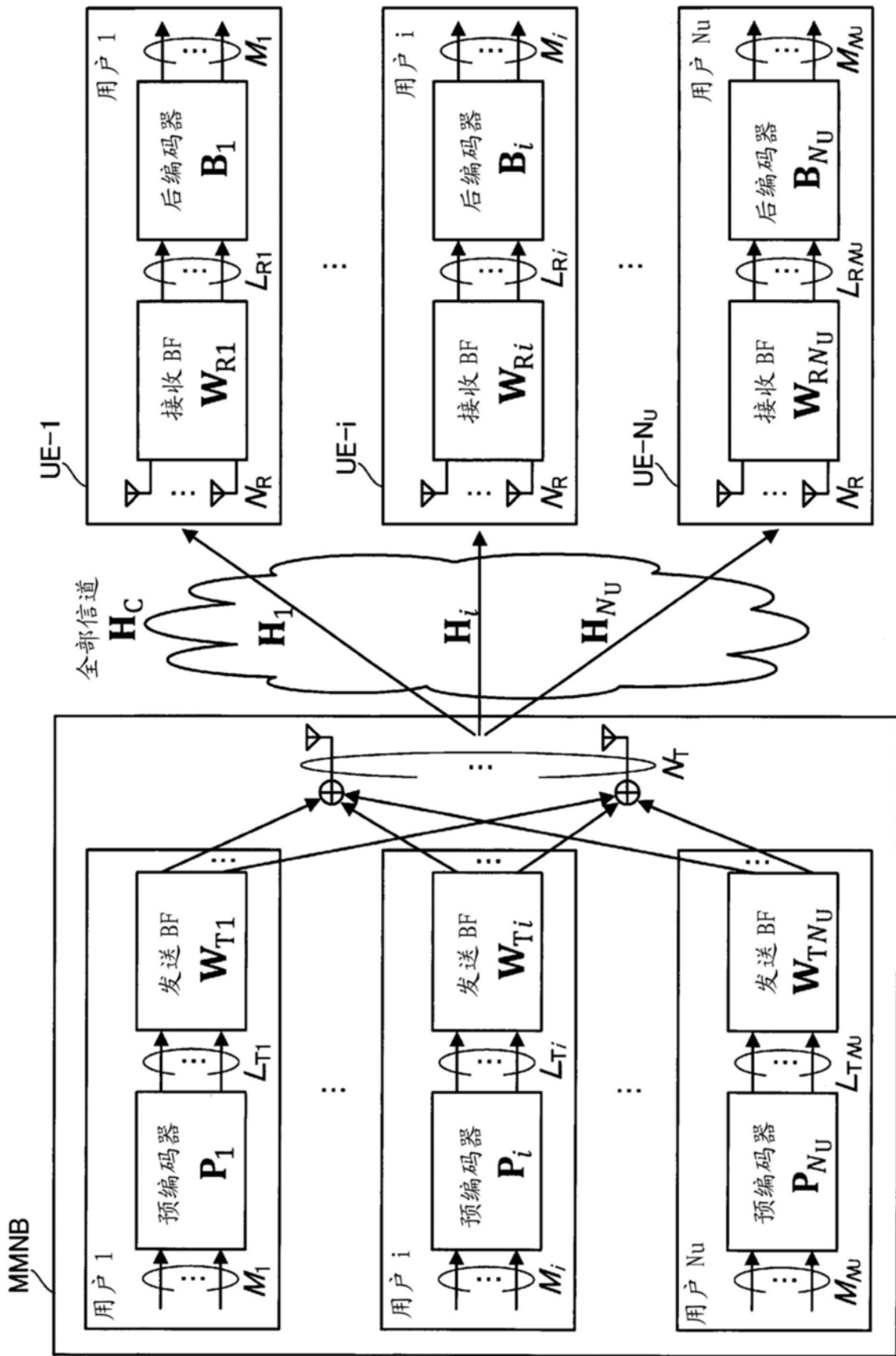


图7

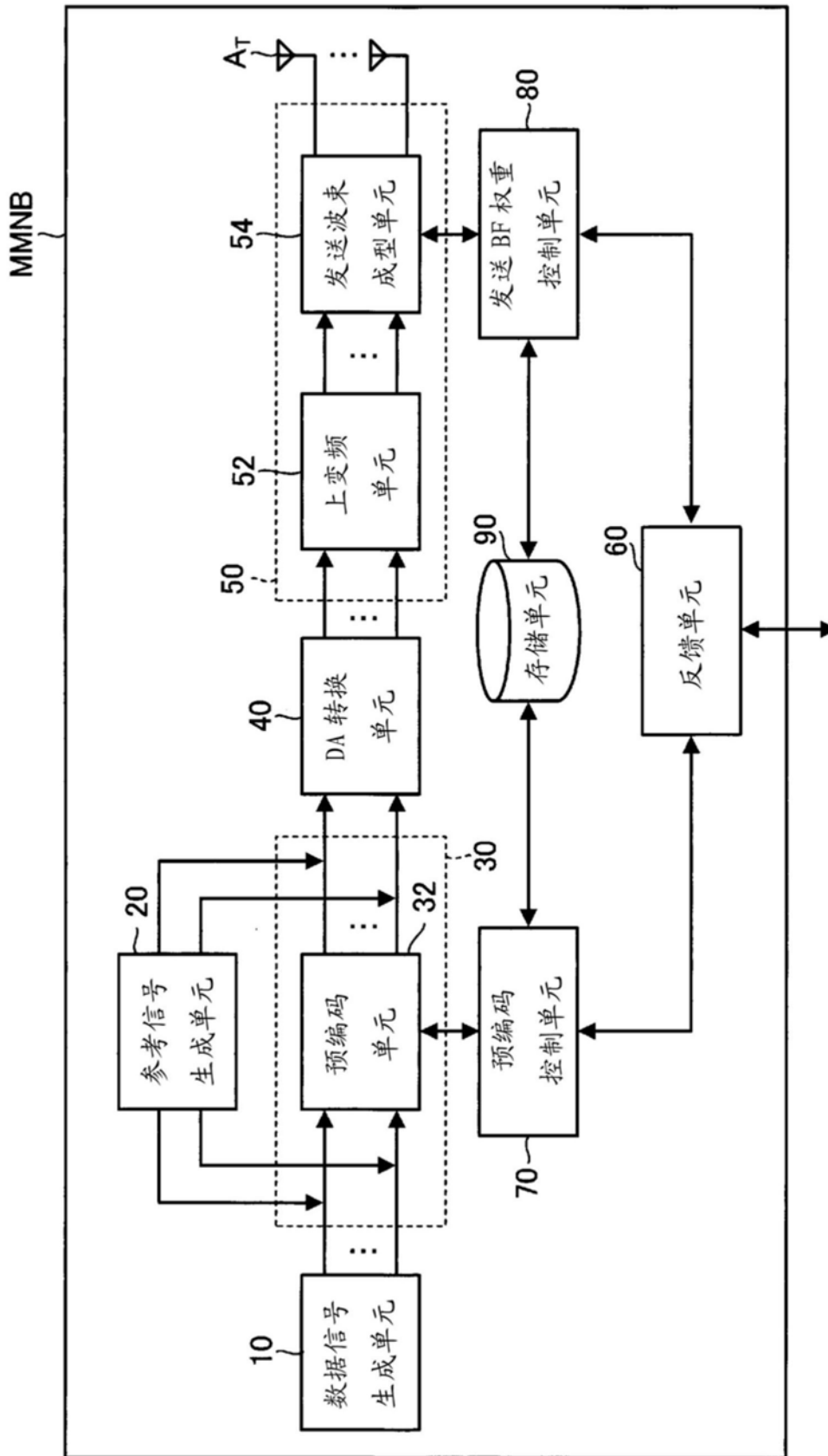


图8

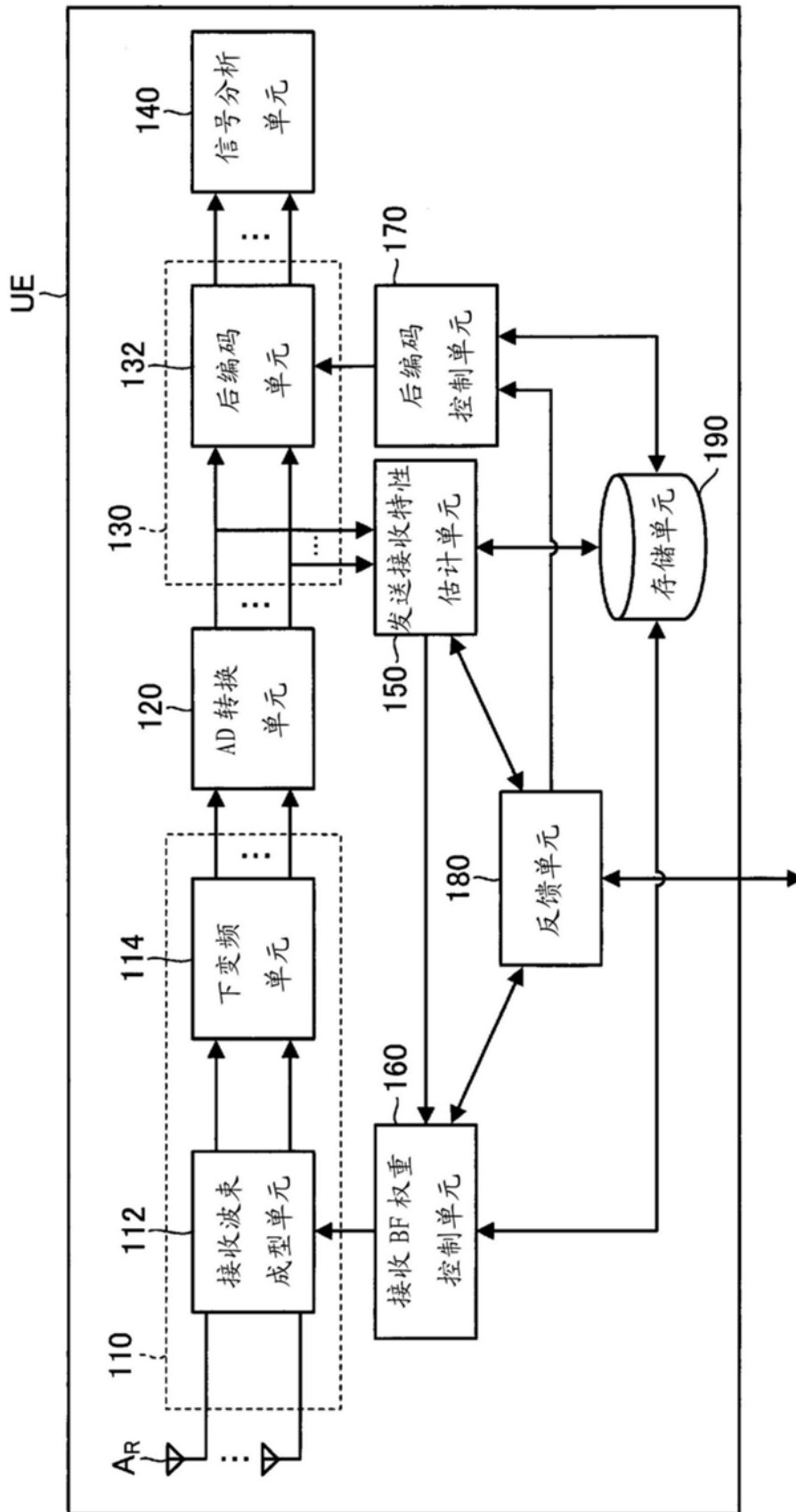


图9

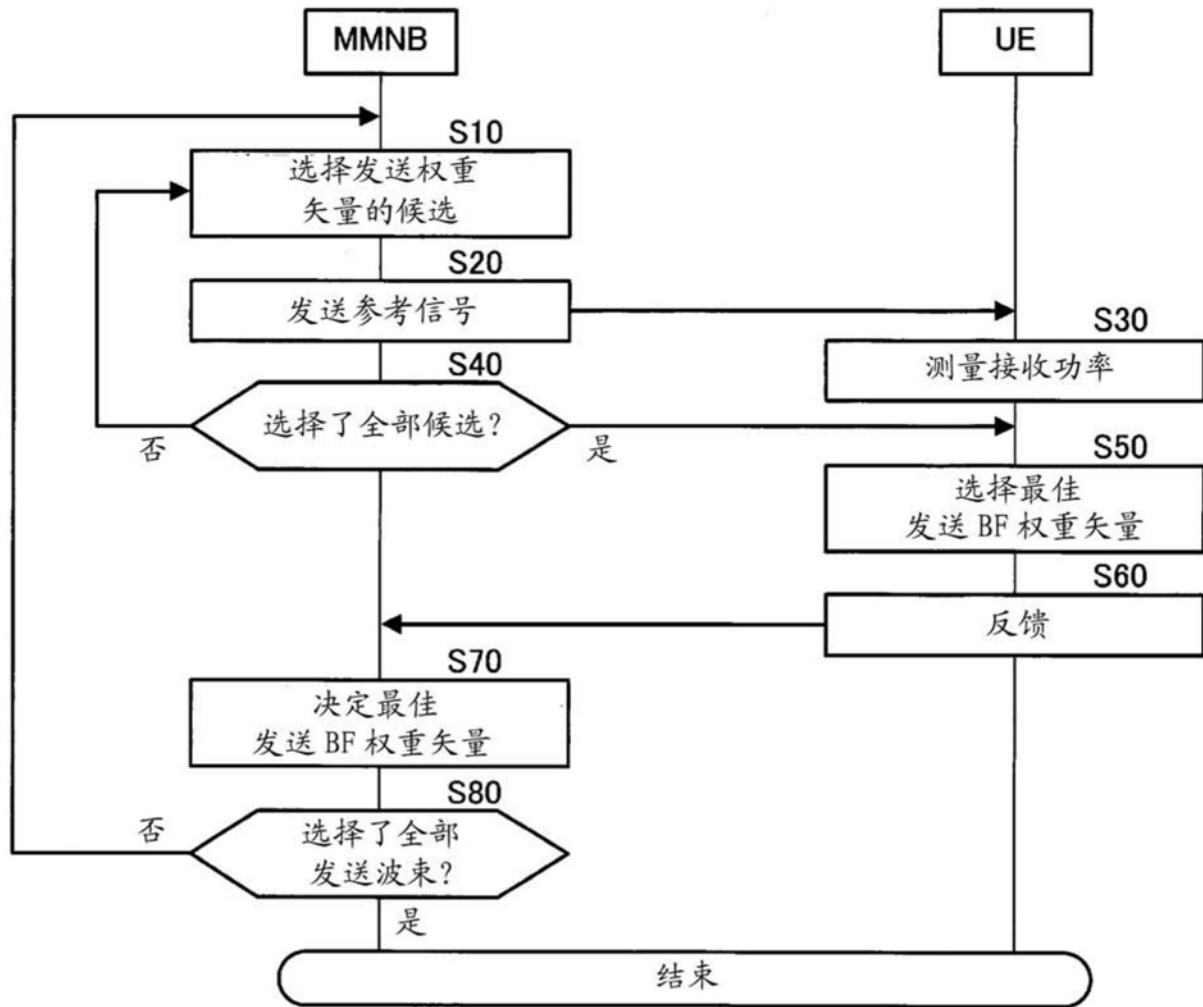


图10

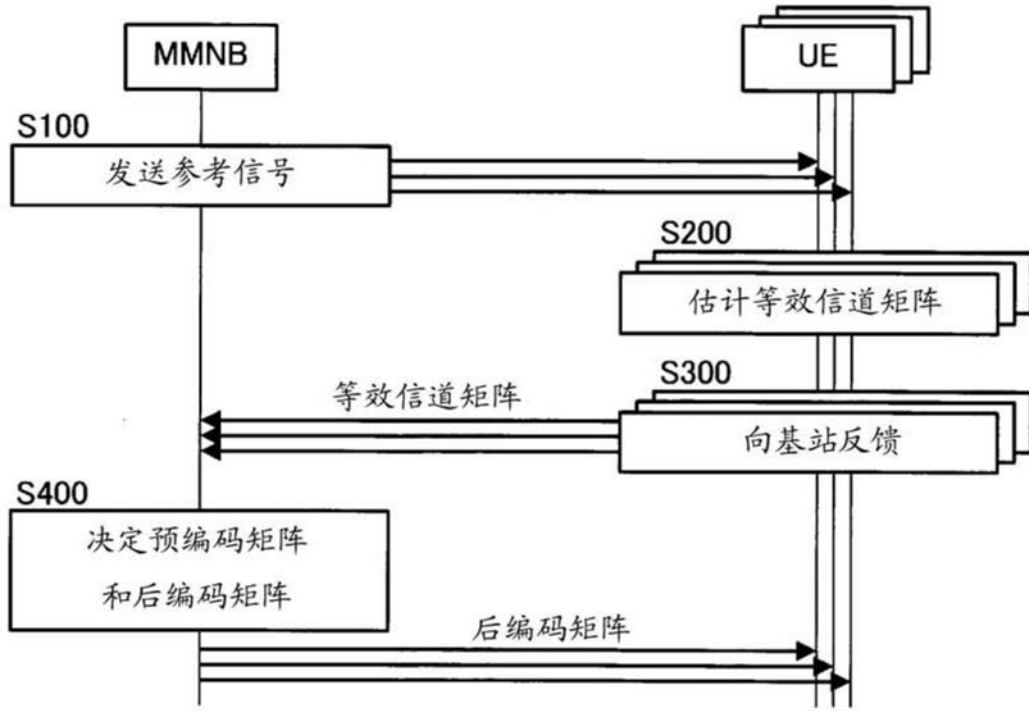


图11

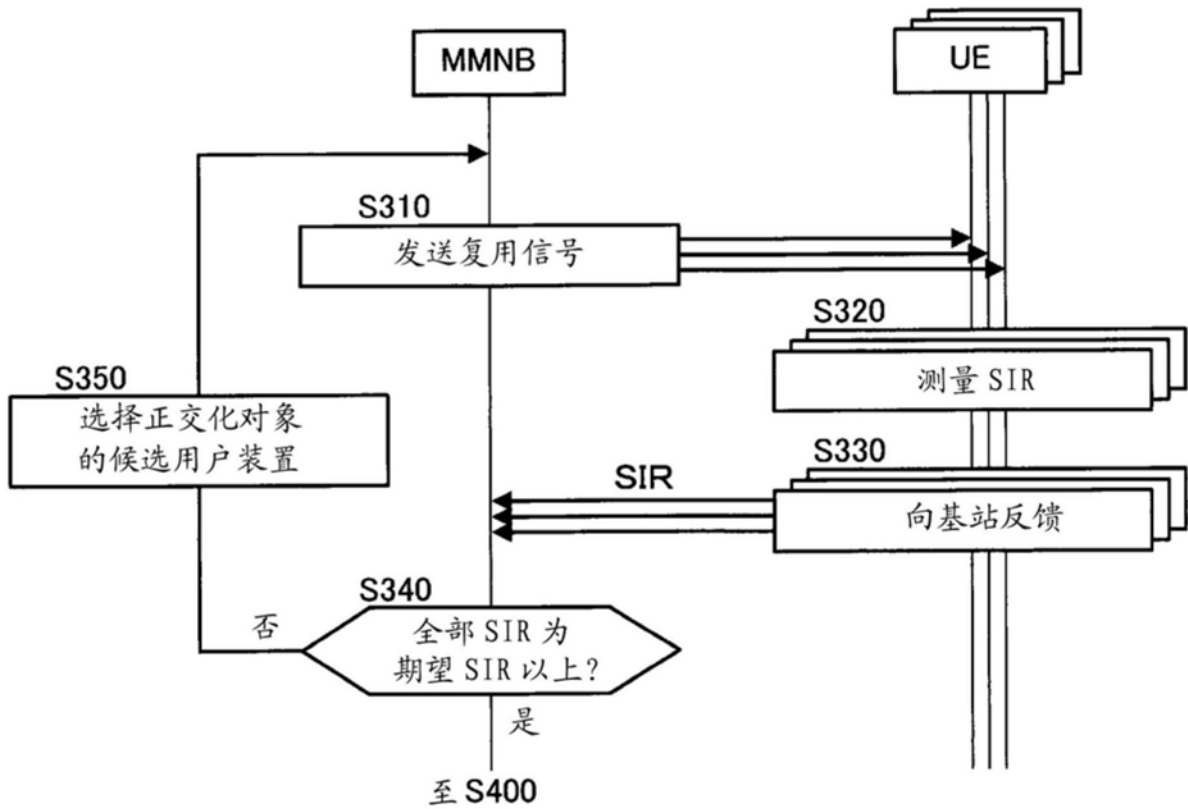


图12

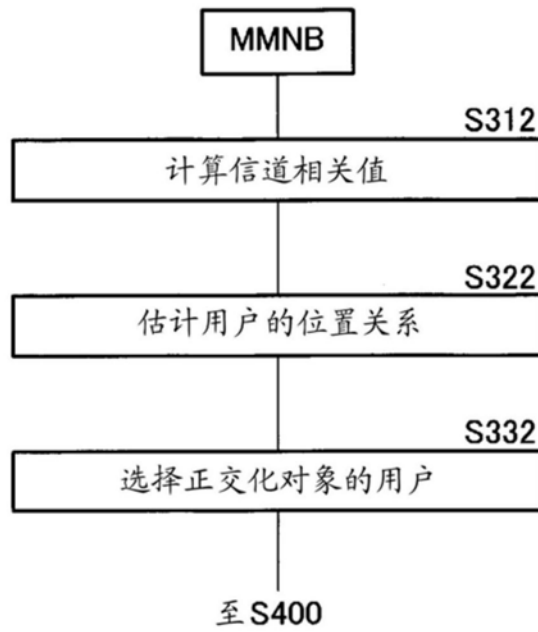


图13

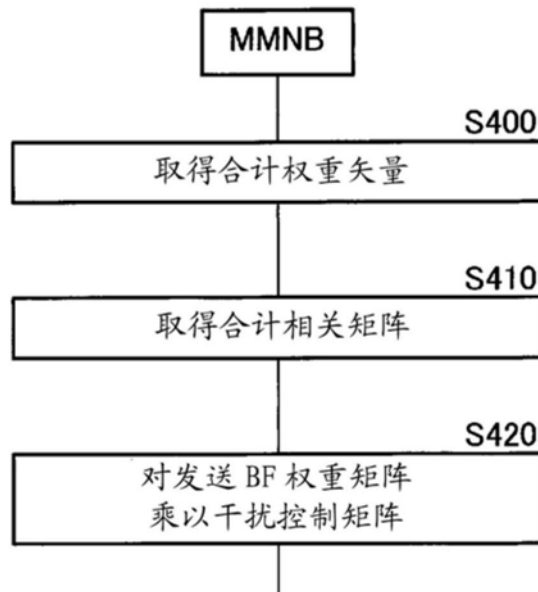


图14