

(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
2018 年 8 月 30 日 (30.08.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/153178 A1

(51) 国际专利分类号:
H04L 25/03 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/072586

(22) 国际申请日: 2018 年 1 月 15 日 (15.01.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201710098805.8 2017 年 2 月 23 日 (23.02.2017) CN

(71) 申请人: 深圳市中兴微电子有限公司 (SANECHIPS TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽街道留仙大道中兴工业园, Guangdong 518055 (CN)。

(72) 发明人: 董雪涛 (DONG, Xuetao); 中国广东省深圳市南山区西丽街道留仙大道中兴工业园, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京派特恩知识产权代理有限公司 (CHINA PAT INTELLECTUAL PROPERTY

OFFICE); 中国北京市海淀区海淀南路 21 号中关村知识产权大厦 B 座 2 层, Beijing 100080 (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, 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,

(54) Title: MIMO SYSTEM-BASED SIGNAL DETECTION METHOD AND DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 一种基于 MIMO 系统的信号检测方法及装置、存储介质

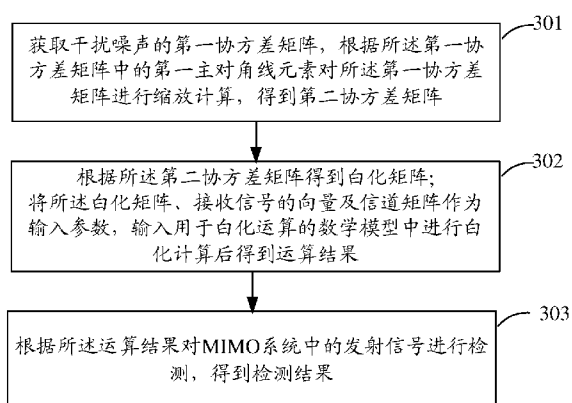


图 3

- S301 Obtain a first covariance matrix of an interfering noise, and perform scaling calculation on the first covariance matrix according to a first main diagonal element in the first covariance matrix to obtain a second covariance matrix
- S302 Obtain a whitening matrix according to the second covariance matrix; use the whitening matrix, a vector of a received signal, and a channel matrix as input parameters, and input the parameters into a mathematical model of a whitening operation to carry out whitening calculation to obtain an operation result
- S303 Detect a transmit signal in an MIMO system according to the operation result to obtain a detection result

(57) Abstract: Disclosed is a MIMO system-based signal detection method, comprising: performing scaling calculation on a first covariance matrix according to a first main diagonal element in the first covariance matrix to obtain a second covariance matrix; obtaining a whitening matrix according to the second covariance matrix; using the whitening matrix, a vector of a received signal, and a channel matrix as input parameters, and inputting the parameters into a mathematical model of a whitening operation to carry out whitening calculation to obtain an operation result; and detecting a transmit signal in a multi-input multi-output (MIMO) system according to the operation result to obtain a detection result. Also disclosed are a MIMO system-based signal detection device and a computer storage medium.

(57) 摘要: 本发明公开了一种基于 MIMO 系统的信号检测方法, 所述方法包括: 根据第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算, 得到第二协方差矩阵; 根据所述第二协方差矩阵得到白化矩阵; 将所述白化矩阵、接收信号的向量及信道矩阵作为输入参数, 输入用于白化运算的数学模型中进行白化计算后得到运算结果; 根据所述运算结果对多输入多输出 (MIMO) 系统中的发射信号进行检测, 得到检测结果。本发明还同时公开了一种基于 MIMO 系统的信号检测装置、计算机存储介质。

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))。

一种基于 MIMO 系统的信号检测方法及装置、存储介质

相关申请的交叉引用

本申请基于申请号为 201710098805.8、申请日为 2017 年 02 月 23 日的中国专利申请提出，并要求该中国专利申请的优先权，该中国专利申请的全部内容在此引入本申请作为参考。

技术领域

本发明涉及信号检测技术，具体涉及一种基于多输入多输出（MIMO, Multiple-Input Multiple-Output）系统的信号检测方法及装置、计算机存储介质。

背景技术

在长期演进技术升级版（LTE-A, Long Term Evolution-Advanced）系统中，尤其是在第三代合作伙伴计划（3GPP, 3rd Generation Partnership Project）R12/R13 规范中异构网越来越重要、微小区部署越来越密集。这种越来越密集的微小区部署导致用户设备（UE, User Equipment）在微小区边缘面临越来越强的宏小区或微小区干扰。从 3GPP R12 规范开始，要求终端支持网络辅助干扰消除和抑制（NAICS, Network Assistant Interference Cancellation and Suppression）的接收算法，一个典型的 NAICS 接收机只能解决一个强干扰邻区，其他的邻区则被看作是随机干扰。

现有技术中，UE 通过接收信号、信道估计和干扰噪声协方差矩阵对 MIMO 系统中的发射信号进行检测。

具体地，接收信号的系统方程为： $Y=HX+N$ ；其中 Y 是接收信号向量， H 是信道矩阵， X 是发射符号向量， N 是干扰噪声向量，这里，干扰噪声向量包含干扰和白噪声两部分。对于 NAICS 系统，被解决的 1 个强干扰邻区的信道和发射符号等效包含在 H 和 X 中，而其他小区的干扰则体现在 N

中。

定义 R 为干扰噪声协方差矩阵, 即 $R = E(NN^H)$, 其中, R 为正定 Hermitian 矩阵, NN^H 中的 H 表示复共轭转置矩阵, 这里, UE 可以通过多种方法估计出 R 的参数值。

5 现有技术中, UE 的信号检测以及 NAICS 中检测邻区参数时, 通常用 ZF、MMSE、ML 以及 R-ML (包括 SD) 等算法进行, 而这些算法都只适用于 $R = k \cdot I$ 的情况, 其中, k 为实常系数, 代表白噪声功率, I 为单位矩阵。具体如图 1 所示。

图 1 为现有技术中信号检测的实现过程示意图; 如图 1 所示:

10 输入 k 、 Y 和 H , 通过检测单元中的 ZF、MMSE 以及 R-ML (包括 SD) 等算法检测得到的 X 的估计 $\hat{x}$, 在 NAICS 盲检参数中则得到邻区对应的参数估计。

当有邻区干扰时, R 就不再满足 $k \cdot I$ 的性质, 对于 MMSE 算法, 可以用 MMSE-IRC 干扰抑制合并 (IRC, Interference Rejection Combining) 检测, 15 而其他算法则无法进行有效的干扰抑制。于是需要利用白化矩阵 W , 对系统方程进行白化处理, 即 $WY = WHX + WN$, 那么系统方程等效变形为: $Y_w = H_w X + N_w$, 其中 $Y_w = WY$, $H_w = WH$, 而白化后的协方差矩阵 R_w 为: $R_w = E(N_w N_w^H) = WRW^H$

适当选取 W , 使得 R_w 具有 $k \cdot I$ 的形式。例如:

20 (a) 取 $W = R^{-\frac{1}{2}}$;

(b) R^{-1} 进行 cholesky 分解, $R^{-1} = U^H \cdot U$, 其中 U 为上三角矩阵, 取 $W = U$;

(c) R 进行 cholesky 分解, $R = L \cdot L^H$, 其中 L 为下三角矩阵, 取 $W = L^{-1}$ 。

利用上述 (a)、(b)、(c) 三种 W (不限于这三种形式), 均能使 R_w 具有 $k \cdot I$ 的形式。其中形式 (c) 为业内常用方式, 因为下三角矩阵更方便求 25 逆。下面以形式 (c) 为例进行证明:

$W = L^{-1}$ 代入白化后的协方差矩阵 R_w , 则 $R_w = WRW^H = L^{-1}RL^{-H} = L^{-1}L \cdot L^H L^{-H} = I = 1 \cdot I$;

该证明说明了白化后 R_w 不但有 $k \cdot I$ 的形式, 而且 k 还为固定常数“1”, 同理可证 (a) 和 (b) 也有一样的结果。因此 UE 只需要增加一个白化单元 30 就可以使用原来的各种检测算法, 具体如图 2 所示。

图 2 为现有技术中通过白化矩阵进行信号检测的实现过程示意图；如图 2 所示：

通过协方差矩阵 R 得到白化矩阵 W ，然后再将白化矩阵 W 和系统方程中的 Y 和 H 作为白化单元的输入，对 Y 和 H 进行白化计算，得到白化后的 Y_W 和 H_W ，再将白化后的 Y_W 和 H_W 通过检测单元中的 ZF、MMSE 以及 R-ML（包括 SD）等算法检测得到的 X 的估计 $\hat{x}$ ，在 NAICS 盲检参数过程中则得到邻区对应的参数估计。

图 2 显示 k 总为固定常数“1”，他的含义是无论干扰噪声多大，最终都被等效到“1”的白噪声水平上。当 UE 处于很低干扰噪声环境时，干扰噪声功率本身很小，白化会使 Y 和 H 在数值上放大很多倍变成 Y_W 和 H_W ；当 UE 处于高干扰噪声环境时，干扰噪声功率本身很大，白化会使 Y 和 H 在数值上缩小很多倍变成 Y_W 和 H_W ，从而 Y_W 和 H_W 的变化范围非常大，需要很大的位宽才能表示，这样会大大增加检测单元通过 ZF、MMSE 以及 R-ML 算法（包括 SD）进行信号检测的面积。同时，由于干扰环境时常变化，直接导致 R 的数值范围也很大，使得利用协方差矩阵 R 计算白化矩阵 W 的过程面积也相对较大。

发明内容

为解决现有技术存在的问题，本发明实施例期望提供一种基于 MIMO 系统的信号检测方法、装置、计算机存储介质，能够降低位宽和用于白化运算的数字模型的面积。

本发明实施例的技术方案是这样实现的：

根据本发明实施例的一方面，提供一种基于 MIMO 系统的信号检测方法，所述方法包括：根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵；

根据所述第二协方差矩阵得到白化矩阵；

将所述白化矩阵、接收信号的向量及信道矩阵作为输入参数，输入用于白化运算的数学模型中进行白化计算后得到运算结果；

根据所述运算结果对多输入多输出 MIMO 系统中的发射信号进行检

测，得到检测结果。

上述方案中，所述根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵，包括：

根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素得到第一缩放因子，
5 并将所述第一缩放因子量化为 2 的幂次形式，得到第二缩放因子；

根据所述第一缩放因子或第二缩放因子对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵。需要指出的是：除了将第一缩放因子量化后得到的第二缩放因子，该第一缩放因子也可以直接拿来用，不一定非得量化成为第二缩放因子再用，也就是不排除直接用第一缩放因子的可能。

10 上述方案中，所述第一缩放因子为第一主对角线元素的均值、最大值或最小值。

上述方案中，所述根据所述运算结果对 MIMO 系统中的发射信号进行检测，得到检测结果，包括：

根据所述运算结果通过迫零 ZF 算法、最小均方误差 MMSE 算法或简
15 化的最大似然法 R-ML 算法对所述 MIMO 系统中的发射信号进行检测计算，得到检测结果。

根据本发明实施例的另一方面，提供一种基于 MIMO 系统的信号检测装置，所述装置包括：

缩放单元、白化单元和检测单元；其中，

20 所述缩放单元，配置为根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵；

所述白化单元，配置为根据所述缩放单元得到的所述第二协方差矩阵得到白化矩阵；将所述白化矩阵、接收信号的向量及信道矩阵作为输入参数，输入用于白化运算的数学模型中进行白化计算后得到运算结果；

25 所述检测单元，配置为根据所述白化单元得到的所述运算结果，对 MIMO 系统中的发射信号进行检测，得到检测结果。

上述方案中，所述缩放单元，还配置为根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素得到第一缩放因子，并将所述第一缩放因子量化为 2 的

幂次形式，得到第二缩放因子；根据所述第一缩放因子或所述第二缩放因子对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵。需要指出的是：除了将第一缩放因子量化后得到的第二缩放因子，该第一缩放因子也可以直接拿来用，不一定非得量化成为第二缩放因子再用，也就是不排除直接用第一缩放因子的可能。

上述方案中，所述第一缩放因子为第一主对角线元素的均值、最大值或最小值。

上述方案中，所述检测单元，还配置为根据所述运算结果通过 ZF 算法、MMSE 算法或 R-ML 算法对所述 MIMO 系统中的发射信号进行检测计算，得到检测结果。

所述缩放单元、所述白化单元和所述检测单元在执行处理时，可以采用中央处理器（CPU，Central Processing Unit）、数字信号处理器（DSP，Digital Singnal Processor）或可编程逻辑阵列（FPGA，Field-Programmable Gate Array）实现。

本发明实施例还提供一种计算机存储介质，其中存储有计算机可执行指令，该计算机可执行指令配置执行上述基于 MIMO 系统的信号检测方法。

本发明实施例提供一种基于 MIMO 系统的信号检测方法及装置，根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵；根据所述第二协方差矩阵得到白化矩阵；将所述白化矩阵、接收信号的向量及信道矩阵作为输入参数，输入用于白化运算的数学模型中进行白化计算后得到运算结果；根据所述运算结果对 MIMO 系统中的发射信号进行检测，得到检测结果。如此，通过协方差矩阵中的主对角线元素对协方差矩阵进行缩放计算，实现对协方差矩阵进行归一化处理，从而使得缩放后的协方差矩阵中的数值集中不再发散，达到降低位宽和降低用于白化运算的数字模型的面积；另外，通过对第一缩放因子转换成 2 的幂次形式，使得除法运算变为移位运算，进一步节省了资源。

附图说明

图 1 为现有技术中信号检测时的实现过程示意图；

图 2 为现有技术中通过白化矩阵进行信号检测的实现过程示意图；

图 3 为本发明实施例一种基于 MIMO 系统的信号检测方法的实现流程图；

图 4 为本发明实施例中对 MIMO 系统中的发射信号进行检测的实现流程图示意图；

图 5 为本发明实施例中利用缩放单元对 R 进行缩放计算的具体实现流程图示意图；

图 6 为本发明实施例一种基于 MIMO 系统的信号检测装置的组成结构示意图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的具体实施方式进行详细说明。应当理解的是，此处所描述的具体实施方式仅用于说明和解释本发明，并不用于限制本发明。

图 3 为本发明实施例一种基于 MIMO 系统的信号检测方法的实现流程图；如图 3 所示，所述方法包括：

步骤 301、获取干扰噪声的第一协方差矩阵，根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵。

这里，所述方法主要应用于 MIMO 系统中实现，第一协方差矩阵 R 为正定 Hermitian 矩阵，根据所述第一协方差矩阵中第一主对角线元素的均值、最大值或最小值对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵，能够实现对第一协方差矩阵的归一化处理，并使所得到的第二协方差矩阵的数值集中不再发散，从而降低了位宽。

步骤 302、根据所述第二协方差矩阵得到白化矩阵；将所述白化矩阵、接收信号的向量及信道矩阵作为输入参数，输入用于白化运算的数学模型

中进行白化计算后得到运算结果；

这里，具体根据所述第二协方差矩阵得到白化矩阵 W ，然后将所述白化矩阵 W 、接收信号的向量 Y 及信道矩阵 H 作为输入参数，输入用于白化运算的数字模型中，进行白化计算后，得到白化后的 Y_w 和 H_w 。

5 这步骤 303、根据所述运算结果对 MIMO 系统中的发射信号进行检测，得到检测结果。

这里，将白化后的 Y_w 和 H_w 通过迫零 (ZF, Zero Forcing) 算法、最小均方误差 (MMSE, Minimum Mean Square Error) 算法或简化的最大似然法 (R-ML, Reduced Maximum Likelihood) 算法对所述 MIMO 系统中的发射
10 信号进行检测计算，得到检测结果。

图 4 为本发明实施例中对 MIMO 系统中的发射信号进行检测的实现流程图示意图；如图 4 所示：

以对 R 进行 cholesky 分解， $R = L \cdot L^H$ ，其中 L 为下三角矩阵，取 $W = L^{-1}$ 为例，通过缩放单元对 R 进行缩放计算，得到 R_0 ，其中， $R_0 = \frac{1}{k} R$ ；

15 然后，用 R_0 得到白化矩阵 W ， $R_0 = L_0 \cdot L_0^H$ ， $R_0^{-1} = L_0^{-H} \cdot L_0^{-1}$ ，令 $W = L_0^{-1}$ ，则
 $R_w = WRW^H = L_0^{-1} k R_0 L_0^{-H} = k L_0^{-1} L_0 \cdot L_0^H L_0^{-H} = k \cdot I$

之后，依据 R 的主对角线元素选择合适的第二缩放因子 k 值，再将所述白化矩阵 W 、接收信号的向量 Y 及信道矩阵 H 作为白化单元的输入参数，输入用于白化运算的数字模型中进行白化计算后得到运算结果；再由检测
20 单元根据所述运算结果通过 ZF 算法、MMSE 算法或 R-ML 算法对所述 MIMO 系统中的发射信号进行检测计算，得到检测结果。具体地，依据 R 的主对角线元素选择 k 值如图 5 所示。

图 5 为本发明实施例中利用缩放单元对 R 进行缩放计算的具体实现流程图示意图；如图 5 所示：

25 使用 R 的主对角元素 r_{ii} 作为计算第一缩放因子的输入，例如令第一缩放因子 k 为 R 主对角线元素的均值，最大值或最小值，但不限于此种方法，包含所有基于主对角元素获取第一缩放因子 k 值的方法，比如适当缩放等，从而对 R 有归一化的作用，使所得 R_0 数值集中不再发散，这就降低了位宽，从而降低计算白化矩阵模块的面积。同时， k 不再是固定值“1”，与本来的

干扰噪声在数值大小上变化不大,从而 Y_w 和 H_w 的数值范围变化也不大,使得后续通过ZF、MMSE、R-ML(包括SD)单元也不必增加位宽,优化了信号检测的实现面积。

在本发明实施例中,所述根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算,得到第二协方差矩阵,包括:

根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素得到第一缩放因子,并将所述第一缩放因子量化为2的幂次形式,得到第二缩放因子;

根据所述第二缩放因子对所述第一协方差矩阵进行缩放计算,得到第二协方差矩阵。

这里,可以对第一缩放因子 k 进行量化,具体地,所述第一缩放因子可以为第一主对角线元素 R 的均值、最大值或最小值以及其他值,然后采用最接近的2的幂次形式的数值作为第二缩放因子 k ,即 $k=2^m$,其中 m 为整数。这样可以将 $R_0=\frac{1}{k}R$ 中的除法用移位运算代替,而移位运算不耗费资源,即 $R_0=2^{-m} \cdot R$ 。例如:

$$Y = \begin{bmatrix} 0.59 + j0.055 \\ 1.28 - j1.142 \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} -0.46 + j0.46 & -0.58 + j0.03 \\ -0.97 + j0.128 & 0.588 + j0.3 \end{bmatrix};$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.011133 & 0.0154 + j0.005 \\ 0.0154 - j0.005 & 0.03185 \end{bmatrix};$$

(1) 如果不对 R 进行缩放计算,而是直接进行白化计算,则对 R 进行cholesky分解后, $R=L \cdot L^H$,则:

$$L = \begin{bmatrix} 0.1055 & 0 \\ 0.14595 - j0.04739 & 0.09112 \end{bmatrix};$$

得到白化矩阵:

$$W = L^{-1} = \begin{bmatrix} 9.477 & 0 \\ -15.18 + j4.928 & 10.9744 \end{bmatrix};$$

从上式可以看出, W 的数值非常大,需要较多整数位,使得位宽变大。

Y 和 H 通过白化处理后,得到:

$$Y_w = W \cdot Y = \begin{bmatrix} 9.477 & 0 \\ -15.18 + j4.928 & 10.9744 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.59 + j0.055 \\ 1.28 - j1.142 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5.59 + j0.52 \\ 4.82 - j10.46 \end{bmatrix};$$

$$H_w = W \cdot H = \begin{bmatrix} 9.477 & 0 \\ -15.18 + j4.928 & 10.9744 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.46 + j0.46 & -0.58 + j0.03 \\ -0.97 + j0.128 & 0.588 + j0.3 \end{bmatrix};$$

$$= \begin{bmatrix} -4.36 + j4.36 & -5.497 + j0.284 \\ -5.93 - j7.845 & 15.11 - j0.216 \end{bmatrix}$$

可以看出, Y_w 和 H_w 和原本的 Y 和 H 比较, 变大了很多, 这就需要更多的整数位来表示, 因此增加了位宽, 也就增加了检测单元的实现面积。

(2) 利用 R 主对角元素的均值对 R 进行缩放,

$$k = (0.013 + 0.03185) / 2 = 0.0215$$

5

$$R_0 = \frac{1}{k} R = \frac{1}{0.0215} \times \begin{bmatrix} 0.011133 & 0.0154 + j0.005 \\ 0.0154 - j0.005 & 0.03185 \end{bmatrix};$$

$$= \begin{bmatrix} 0.518 & 0.717 + j0.233 \\ 0.717 - j0.233 & 1.482 \end{bmatrix}$$

对 R_0 进行 cholesky 分解, $R_0 = L_0 \cdot L_0^H$,

$$L_0 = \begin{bmatrix} 0.72 & 0 \\ 1 - j0.323 & 0.622 \end{bmatrix};$$

得到白化矩阵

$$W = L_0^{-1} = \begin{bmatrix} 1.39 & 0 \\ -2.225 + j0.723 & 1.61 \end{bmatrix};$$

10

可见 W 的范围已经收缩了。需要指出的是, 计算 W 的白化单元实际也是电路实现的, 由于 R_0 的范围集中, 使得计算 W 的过程位宽也大大减小, 从而减小了计算 W 的白化单元面积。

$$Y_w = W \cdot Y = \begin{bmatrix} 1.39 & 0 \\ -2.225 + j0.723 & 1.61 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.59 + j0.055 \\ 1.28 - j1.142 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.82 + j0.076 \\ 0.707 - j1.533 \end{bmatrix};$$

$$H_w = W \cdot H = \begin{bmatrix} 1.39 & 0 \\ -2.225 + j0.723 & 1.61 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.46 + j0.46 & -0.58 + j0.03 \\ -0.97 + j0.128 & 0.588 + j0.3 \end{bmatrix};$$

$$= \begin{bmatrix} -0.64 + j0.64 & -0.801 + j0.04 \\ -0.87 - j1.15 & 2.215 - j0.003 \end{bmatrix}$$

15

可见, R 缩放和不缩放比较, Y_w 和 H_w 没有变得异常大, 并且范围和原来的 Y 和 H 基本相同, 使得后续检测单元通过 ZF、MMSE 和 R-ML (包括 SD) 等算法进行信号检测时, 基本不需要进行位宽调整就可以使用。

20

本发明实施例一实施方式中, 将第一缩放因子 k 量化为 2 的幂次形式得到第二缩放因子, $k = 0.0215$, 则最接近的 2 的幂次形式的数值为 $2^{-6} = 0.015625$, 因此实际可以取 $k = 2^{-6} = 0.015625$ 来进一步简化 R 的缩放过程, 通过移位运算代替除法运算, 大大降低检测单元的实现面积。

$$R_0 = \frac{1}{k} R = \frac{1}{2^{-6}} \times \begin{bmatrix} 0.011133 & 0.0154 + j0.005 \\ 0.0154 - j0.005 & 0.03185 \end{bmatrix};$$

$$= \begin{bmatrix} 0.7125 & 0.9856 + j0.32 \\ 0.9856 - j0.32 & 2.0384 \end{bmatrix}$$

对 R_0 进行 cholesky 分解, $R_0 = L_0 \cdot L_0^H$,

$$L_0 = \begin{bmatrix} 0.844 & 0 \\ 1.1676 - j0.38 & 0.729 \end{bmatrix};$$

白化矩阵

$$W = L_0^{-1} = \begin{bmatrix} 1.1847 & 0 \\ -1.8975 + j0.616 & 1.372 \end{bmatrix};$$

5 将所述白化矩阵 W 、接收信号的向量 Y 及信道矩阵 H 作为输入参数，输入用于白化运算的数学模型中进行白化计算：

$$Y_w = W \cdot Y = \begin{bmatrix} 1.1847 & 0 \\ -1.8975 + j0.616 & 1.372 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.59 + j0.055 \\ 1.28 - j1.142 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.699 + j0.065 \\ 0.6025 - j1.307 \end{bmatrix};$$

$$H_w = W \cdot H = \begin{bmatrix} 1.1847 & 0 \\ -1.8975 + j0.616 & 1.372 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.46 + j0.46 & -0.58 + j0.03 \\ -0.97 + j0.128 & 0.588 + j0.3 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} -0.545 + j0.545 & -0.687 + j0.036 \\ -0.741 - j0.98 & 1.889 - j0.0027 \end{bmatrix}$$

10 可见 W 的范围已经收缩了。需要指出的是，计算 W 的白化单元实际也是电路实现的，由于 R_0 的范围集中，使得白化单元计算 W 的过程位宽也大大减小，从而减小了白化单元计算 W 的实现面积。

图 6 为本发明实施例一种基于 MIMO 系统的信号检测装置的组成结构示意图；如图 6 所示，所述装置包括：缩放单元 601、白化单元 602 和检测单元 603；

15 其中，所述缩放单元 601，配置为根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵；

所述白化单元 602，配置为根据所述缩放单元 601 得到的所述第二协方差矩阵得到白化矩阵；将所述白化矩阵、接收信号的向量及信道矩阵作为输入参数，输入用于白化运算的数学模型中进行白化计算后得到运算结果；

20 所述检测单元 603，配置为根据所述白化单元 602 得到的所述运算结果，对 MIMO 系统中的发射信号进行检测，得到检测结果。

这里，具体通过所述缩放单元 601 定义干扰噪声的第一协方差矩阵，第一协方差矩阵 R 为正定 Hermitian 矩阵，根据所述第一协方差矩阵中第一主对角线元素的均值、最大值或最小值对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵。能够实现对第一协方差矩阵的归一化处理，并使所得到的第二协方差矩阵的数值集中不再发散，从而降低了位宽。

然后，由所述白化单元 602 根据所述第二协方差矩阵得到白化矩阵 W ，然后将所述白化矩阵 W 、接收信号的向量 Y 及信道矩阵 H 作为输入参数，

输入用于白化运算的数字模型中，进行白化计算后，得到白化后的 Y_W 和 H_W 。

然后，由所述检测单元 603 将白化后的 Y_W 和 H_W 通过 ZF 算法、MMSE 算法或 R-ML 算法对所述 MIMO 系统中的发射信号进行检测计算，得到检测结果。具体地，对 MIMO 系统中的发射信号进行检测的实现流程参照图 4 描述。

在本发明实施例中，所述缩放单元 601，还配置为根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素得到第一缩放因子，并将所述第一缩放因子量化为 2 的幂次形式，得到第二缩放因子；根据所述第二缩放因子对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵。具体地，利用缩放单元 601 对 R 进行缩放计算的具体实现流程参照图 5 描述。如此通过将协方差矩阵中的除法用移位运算代替，降低了资源。

本领域内的技术人员应明白，本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本发明可采用硬件实施例、软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本发明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和光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本发明是参照根据本发明实施例的方法、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。

以上所述，仅为本发明的较佳实施例而已，并非用于限定本发明的保护范围。

工业实用性

采用本发明实施例，根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵；根据所述第二协方差矩阵得到白化矩阵；将所述白化矩阵、接收信号的向量及信道矩阵作为输入参数，输入用于白化运算的数学模型中进行白化计算后得到运算结果；根据所述运算结果对 MIMO 系统中的发射信号进行检测，得到检测结果。如此，通过协方差矩阵中的主对角线元素对协方差矩阵进行缩放计算，实现对协方差矩阵进行归一化处理，从而使得缩放后的协方差矩阵中的数值集中不再发散，达到降低位宽和降低用于白化运算的数字模型的面积；另外，通过对第一缩放因子转换成 2 的幂次形式，使得除法运算变为移位运算，节省了资源。

权利要求书

1、一种基于 MIMO 系统的信号检测方法，所述方法包括：

根据第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵；

5 根据所述第二协方差矩阵得到白化矩阵；

将所述白化矩阵、接收信号的向量及信道矩阵作为输入参数，输入用于白化运算的数学模型中进行白化计算后得到运算结果；

根据所述运算结果对多输入多输出 MIMO 系统中的发射信号进行检测，得到检测结果。

10 2、根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵，包括：

根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素得到第一缩放因子，并将所述第一缩放因子量化为 2 的幂次形式，得到第二缩放因子；

15 根据所述第一缩放因子或第二缩放因子对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵。

3、根据权利要求 2 所述的方法，其中，所述第一缩放因子为第一主对角线元素的均值、最大值或最小值。

20 4、根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述根据所述运算结果对 MIMO 系统中的发射信号进行检测，得到检测结果，包括：

根据所述运算结果通过迫零 ZF 算法、最小均方误差 MMSE 算法或简化的最大似然法 R-ML 算法对所述 MIMO 系统中的发射信号进行检测计算，得到检测结果。

5、一种基于 MIMO 系统的信号检测装置，所述装置包括：

25 缩放单元、白化单元和检测单元；其中，

所述缩放单元，配置为根据第一协方差矩阵中的第一主对角线元素对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵；

所述白化单元，配置为根据所述缩放单元得到的所述第二协方差矩阵

得到白化矩阵；将所述白化矩阵、接收信号的向量及信道矩阵作为输入参数，输入用于白化运算的数学模型中进行白化计算后得到运算结果；

所述检测单元，配置为根据所述白化单元得到的所述运算结果，对 MIMO 系统中的发射信号进行检测，得到检测结果。

5 6、根据权利要求 5 所述的装置，其中，所述缩放单元，具体配置为根据所述第一协方差矩阵中的第一主对角线元素得到第一缩放因子，并将所述第一缩放因子量化为 2 的幂次形式，得到第二缩放因子；根据所述第一缩放因子或所述第二缩放因子对所述第一协方差矩阵进行缩放计算，得到第二协方差矩阵。

10 7、根据权利要求 6 所述的装置，其中，所述第一缩放因子为所述第一主对角线元素的均值、最大值或最小值。

8、根据权利要求 5 所述的装置，其中，所述检测单元，具体配置为根据所述运算结果通过 ZF 算法、MMSE 算法或 R-ML 算法对所述 MIMO 系统中的发射信号进行检测计算，得到检测结果。

15 9、一种计算机存储介质，其中存储有计算机可执行指令，该计算机可执行指令配置执行所述权利要求 1-4 中任一项的基于 MIMO 系统的信号检测方法。

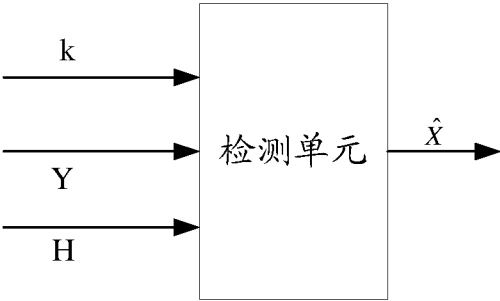


图 1

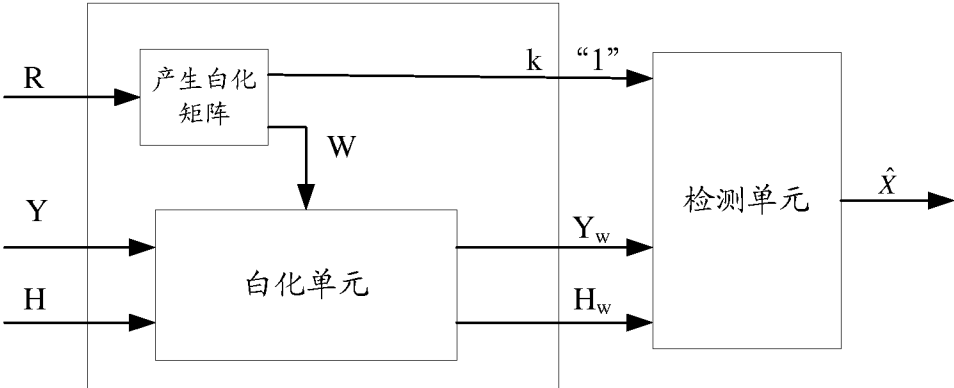


图 2

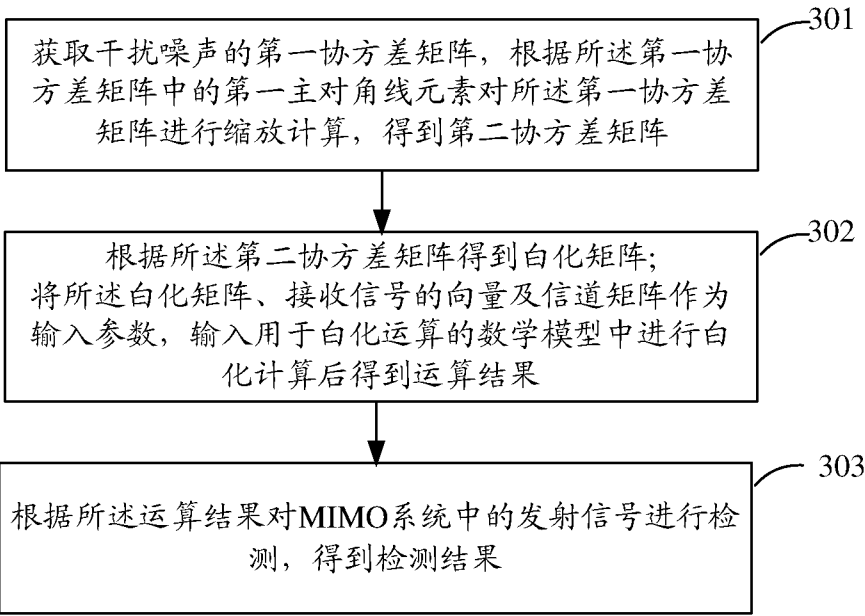


图 3

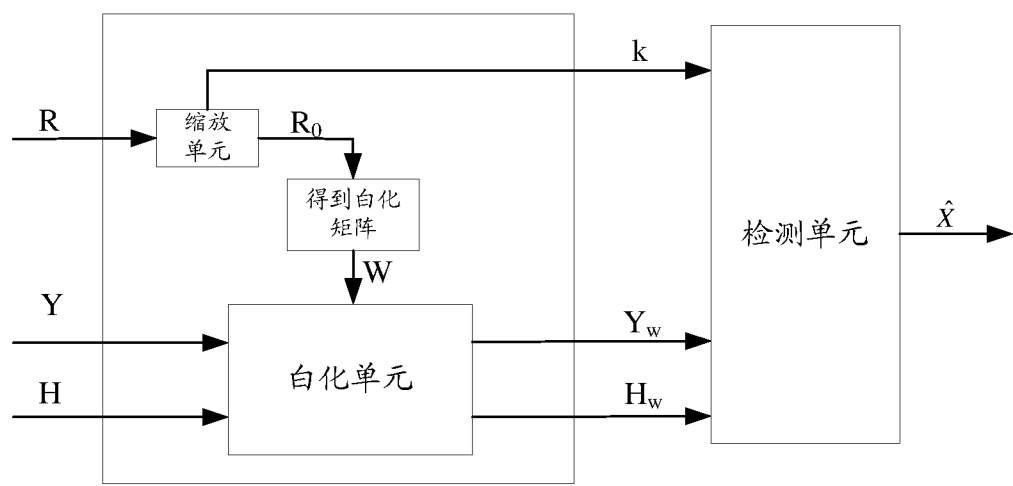


图 4

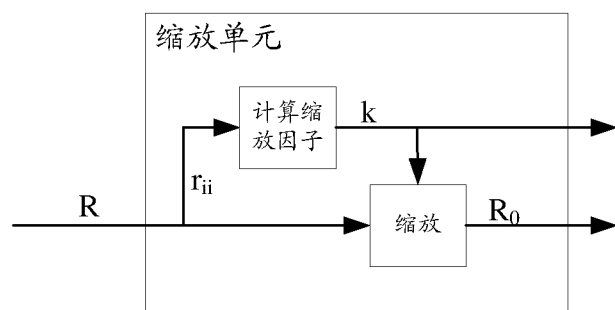


图 5

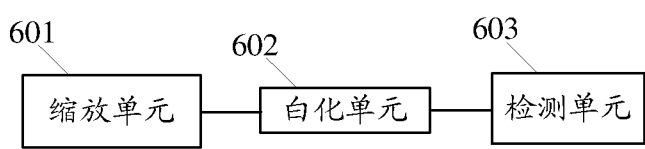


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/072586

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 25/03 (2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04L; H04W; H04Q; 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, WPI, EPODOC, IEEE, 3GPP, GOOGLE, CNKI: 多输入多输出, 检测, 干扰, 噪声, 协方差矩阵, 矩阵, 白化, 主对角线, 缩放, 分解, 平方根分解法, MIMO, interference, noise, matrix, covariance matrix, whiten, principal diagonal, zoom, decompose, Cholesky

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105763493 A (ZTE MICROELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.), 13 July 2016 (13.07.2016), description, paragraphs [0053]-[0133]	1-9
A	CN 104683282 A (ZTE CORP.), 03 June 2015 (03.06.2015), entire document	1-9
A	CN 103997473 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.), 20 August 2014 (20.08.2014), entire document	1-9
A	US 2013102256 A1 (MARVELL WORLD TRADE LTD.), 25 April 2013 (25.04.2013), entire document	1-9
A	QUALCOMM INCORPORATED, "PDSCH Demodulation Performance of Enhanced SU-MIMO Receiver UE", 3GPP TSG-RAN WG4 #81, R4-1609709, 18 November 2016 (18.11.2016), entire document	1-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 12 March 2018	Date of mailing of the international search report 27 March 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer CHEN, Jing Telephone No. (86-10) 53961688

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/072586

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ZHANG, Biling et al., "A RIS-based Subspace Channel Estimation for MIMO Virtual Carrier OFDM Systems", Telecommunications and Signal Processing (TSP), 2016 39th International Conference on, 01 November 2016 (01.11.2016), entire document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/072586

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105763493 A	13 July 2016	None	
CN 104683282 A	03 June 2015	US 2018034532 A1	01 February 2018
		WO 2016131342 A1	25 August 2016
		EP 3261308 A1	27 December 2017
CN 103997473 A	20 August 2014	None	
US 2013102256 A1	25 April 2013	WO 2013059451 A1	25 April 2013
		JP 2014534721 A	18 December 2014
		KR 20140072891 A	13 June 2014
		CN 103891168 A	25 June 2014
		EP 2769485 A1	27 August 2014

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/072586

A. 主题的分类 H04L 25/03 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																				
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H04L; H04W; H04Q; 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, WPI, EPODOC, IEEE, 3GPP, GOOGLE, CNKI: 多输入多输出, 检测, 干扰, 噪声, 协方差矩阵, 矩阵, 白化, 主对角线, 缩放, 分解, 平方根分解法, MIMO, interference, noise, matrix, covariance matrix, whiten, principal diagonal, zoom, decompose, Cholesky																				
C. 相关文件 <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>A</td> <td>CN 105763493 A (深圳市中兴微电子有限公司) 2016年 7月 13日 (2016 - 07 - 13) 说明书第[0053]-[0133]段</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104683282 A (中兴通讯股份有限公司) 2015年 6月 3日 (2015 - 06 - 03) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103997473 A (华为技术有限公司) 2014年 8月 20日 (2014 - 08 - 20) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2013102256 A1 (MARVELL WORLD TRADE LTD.) 2013年 4月 25日 (2013 - 04 - 25) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>QUALCOMM INCORPORATED; . "PDSCH Demodulation Performance of Enhanced SU-MIMO Receiver UE; " 3GPP TSG-RAN WG4 #81, R4-1609709; , 2016年 11月 18日 (2016 - 11 - 18), 全文</td> <td>1-9</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 105763493 A (深圳市中兴微电子有限公司) 2016年 7月 13日 (2016 - 07 - 13) 说明书第[0053]-[0133]段	1-9	A	CN 104683282 A (中兴通讯股份有限公司) 2015年 6月 3日 (2015 - 06 - 03) 全文	1-9	A	CN 103997473 A (华为技术有限公司) 2014年 8月 20日 (2014 - 08 - 20) 全文	1-9	A	US 2013102256 A1 (MARVELL WORLD TRADE LTD.) 2013年 4月 25日 (2013 - 04 - 25) 全文	1-9	A	QUALCOMM INCORPORATED; . "PDSCH Demodulation Performance of Enhanced SU-MIMO Receiver UE; " 3GPP TSG-RAN WG4 #81, R4-1609709; , 2016年 11月 18日 (2016 - 11 - 18), 全文	1-9
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
A	CN 105763493 A (深圳市中兴微电子有限公司) 2016年 7月 13日 (2016 - 07 - 13) 说明书第[0053]-[0133]段	1-9																		
A	CN 104683282 A (中兴通讯股份有限公司) 2015年 6月 3日 (2015 - 06 - 03) 全文	1-9																		
A	CN 103997473 A (华为技术有限公司) 2014年 8月 20日 (2014 - 08 - 20) 全文	1-9																		
A	US 2013102256 A1 (MARVELL WORLD TRADE LTD.) 2013年 4月 25日 (2013 - 04 - 25) 全文	1-9																		
A	QUALCOMM INCORPORATED; . "PDSCH Demodulation Performance of Enhanced SU-MIMO Receiver UE; " 3GPP TSG-RAN WG4 #81, R4-1609709; , 2016年 11月 18日 (2016 - 11 - 18), 全文	1-9																		
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
<table border="0"> <tr> <td> * 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 </td> <td> "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 </td> </tr> </table>			* 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																
* 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																		
2018年 3月 12日		2018年 3月 27日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员																		
中华人民共和国国家知识产权局 (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		陈静 电话号码 (86-10)53961688																		

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
A	ZHANG, Biling等; . "A RIS-based Subspace Channel Estimation for MIMO Virtual Carrier OFDM Systems; " Telecommunications and Signal Processing (TSP), 2016 39th International Conference on; , 2016年 11月 1日 (2016 - 11 - 01), 全文	1-9

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/072586

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	105763493	A	2016年 7月 13日	无			
CN	104683282	A	2015年 6月 3日	US	2018034532	A1	2018年 2月 1日
				WO	2016131342	A1	2016年 8月 25日
				EP	3261308	A1	2017年 12月 27日
CN	103997473	A	2014年 8月 20日	无			
US	2013102256	A1	2013年 4月 25日	WO	2013059451	A1	2013年 4月 25日
				JP	2014534721	A	2014年 12月 18日
				KR	20140072891	A	2014年 6月 13日
				CN	103891168	A	2014年 6月 25日
				EP	2769485	A1	2014年 8月 27日