



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112968852 A

(43) 申请公布日 2021.06.15

(21) 申请号 202011544946.6

(22) 申请日 2020.12.24

(71) 申请人 浙江香农通信科技有限公司
地址 311121 浙江省杭州市未来科技城丽水数字大厦B座606

(72) 发明人 王亮 冯宇 祝涛 别志松

(74) 专利代理机构 北京华创智道知识产权代理
事务所(普通合伙) 11888
代理人 彭随丽

(51) Int. Cl.
H04L 27/26 (2006.01)

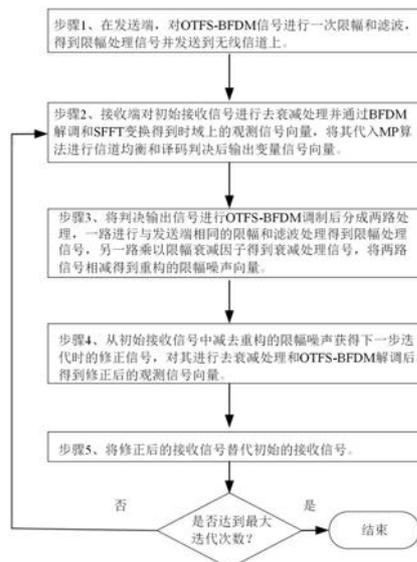
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

基于峰均比抑制的限幅噪声消除方法、系统及电子设备

(57) 摘要

本发明提供了一种基于峰均比抑制的限幅噪声消除方法、系统及电子设备。该方法在发送端使用限幅和滤波的方法对OTFS-BFDM信号的峰均比进行抑制,在接收端使用与发送端相同的调制和限幅方法对限幅噪声进行重构,通过迭代消除的方式减少限幅噪声在初始接收信号中的残留量,从而在降低OTFS-BFDM信号峰均比的同时提高系统译码的准确性。



1. 一种基于峰均比抑制的限幅噪声消除方法,该方法应用于限幅噪声消除系统中,其特征在于,该方法包括:

步骤1,在发送端,对OTFS-BFDM调制信号进行一次限幅和滤波,以得到限幅处理信号 s' ;

步骤2,在接收端,对初始的接收信号 r 进行去衰减处理后,通过BFDM解调和辛有限傅里叶变换SFFT得到时域上的观测信号向量 \hat{d} ,将 \hat{d} 代入MP算法进行信道均衡和译码判决后输出变量信号向量 \tilde{d} ;

步骤3,将判决输出变量信号向量 \tilde{d} 进行OTFS-BFDM调制后分成两路处理,一路进行与发送端相同的限幅和滤波处理,以得到第一路限幅处理信号 \tilde{s}_1' ,另一路乘以限幅衰减因子,以得到第二路衰减处理信号 \tilde{s}_2' ,将所述第一路限幅处理信号 \tilde{s}_1' 与所述第二路衰减处理信号 \tilde{s}_2' 相减,以获得重构的限幅噪声向量 δ' ,将所述限幅噪声向量 δ' 通过信道卷积矩阵后,获得接收机端的重构限幅噪声估计 $H\delta'$;

步骤4,从初始的接收信号 r 中减去重构的限幅噪声 $H\delta'$,以获得修正的接收信号 $r_1 = Hs' + w - H\delta'$ 进行下一步迭代,对所述修正的接收信号 r_1 进行去衰减处理和OTFS-BFDM解调,以得到修正后的观测信号向量 \hat{d}_1 ;

步骤5,将所述修正的接收信号 r_1 替代所述初始的接收信号 r ,返回步骤2并重复执行步骤2,根据预设的最大迭代次数 τ_{\max} ,当迭代次数达到 τ_{\max} 时,跳出并结束此次限幅噪声消除。

2. 根据权利要求1所述的限幅噪声消除方法,其特征在于,所述对OTFS-BFDM调制信号进行一次限幅和滤波,具体包括:

所述对OTFS-BFDM调制信号与限幅处理信号 s' 的关系表示为 $s' = \alpha s + \delta$,其中, s 为OTFS-BFDM调制信号, α 表示限幅衰减因子, δ 是限幅噪声向量;

所述限幅衰减因子 α 通过如下公式计算:

$$\alpha = 1 - \exp(-\gamma) + \frac{\sqrt{\pi\gamma}}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma})$$

发送端经过限幅处理后的信号为 $s' = \alpha \mathbf{P}(\mathbf{F}_N^{-1} \otimes \mathbf{I}_M) \mathbf{d} + \delta$,其中 \mathbf{d} 表示调制符号向量;

\mathbf{P} 为块循环矩阵, $\mathbf{P} = (\mathbf{F}_N^{-1} \otimes \mathbf{I}_M) \mathbf{A} (\mathbf{F}_N \otimes \mathbf{I}_M)$;

\mathbf{A} 为对角矩阵, $\mathbf{A} = \operatorname{diag}(\Lambda_0, \Lambda_1, \dots, \Lambda_{N-1})$,并通过下式获得:

$$\begin{cases} [\mathbf{A}_0(i, j), \mathbf{A}_1(i, j), \dots, \mathbf{A}_{N-1}(i, j)] = \sqrt{N} \mathbf{F}_{N-1} \boldsymbol{\Phi}(i, j) \\ \boldsymbol{\Phi}(i, j) = [\mathbf{p}_0(i, j), \mathbf{p}_1(i, j), \dots, \mathbf{p}_{N-1}(i, j)]^T \end{cases}, (0 \leq i, j \leq M-1)$$

对于 \mathbf{A} 中的每个子矩阵,仅当 $i = j$ 元素不等于0,矩阵 $\boldsymbol{\Phi}(i, j)$ 不为空。

3. 根据权利要求2所述的限幅噪声消除方法,其特征在于,所述OTFS-BFDM调制信号通过OTFS-BFDM系统的传输矩阵来计算,所述OTFS-BFDM系统的传输矩阵为 $\mathbf{P}(\mathbf{F}_N^{-1} \otimes \mathbf{I}_M)$,其中 $\mathbf{F}_N^{-1} \otimes \mathbf{I}_M$ 是ISSFT变换, \mathbf{F}_N^{-1} 和 \mathbf{I}_M 分别表示归一化的 N 点IDFT矩阵和 M 维单位矩阵, \otimes 表示克

罗内克积, P 是BFDM分析滤波系数矩阵, P 表示为

$$P = \begin{bmatrix} P_0 & P_{N-1} & L & P_1 \\ P_1 & P_0 & L & P_2 \\ M & M & O & M \\ P_{N-1} & P_{N-2} & L & P_0 \end{bmatrix}, \quad P_i = \begin{bmatrix} p(iM) & & & \\ & p(iM+1) & & \\ & & O & \\ & & & p(iM+M-1) \end{bmatrix},$$

其中, $p(n)$ 是长度为 $L=MN$ 的分析滤波器原型窗口函数, $0 \leq i \leq N-1$ 。

4. 根据权利要求1至3之一所述的限幅噪声消除方法, 其特征在于,

对所述限幅噪声消除系统的PAPR进行预设, 定义一帧OTFS-BFDM发射信号的离散时间样本的PAPR为:

$$PAPR = 10 \log \frac{\max_{0 \leq l \leq N-1} \{|s(l)|^2\}}{E\{|s(l)|^2\}}$$

其中, $s(l)$ 为时域上的OTFS-BFDM发射机输出信号, $0 \leq l \leq MN$;

所述限幅噪声消除系统的PAPR性能通过互补累积分布函数CCDF来衡量, 它计算每个发射样本值的峰值功率比超过预定义阈值 ($PAPR_0$) 的概率, 互补累积分布函数CCDF具有统计特性, 通过如下公式计算:

$$C_{PAPR}(PAPR_0) = \Pr(PAPR > PAPR_0) = 1 - \Pr(PAPR \leq PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^L.$$

5. 根据权利要求1所述的限幅噪声消除方法, 其特征在于, 所述对初始的接收信号 r 进行去衰减处理, 具体包括:

将限幅处理信号 s' 经过多普勒频移频率衰落信道后, 获得初始的接收信号 $r = Hs' + w$, 其中 H 为信道卷积矩阵, w 为信道加性高斯白噪声向量, OTFS-BFDM系统的接收矩阵为 $(F_N \otimes I_M)Q$, 其中 $F_N \otimes I_M$ 是SFFT变换, F_N 表示归一化的 N 点DFT矩阵, Q 是BFDM综合滤波器系数矩阵;

$$Q = \begin{bmatrix} Q_0 & Q_1 & L & Q_{N-1} \\ Q_{N-1} & Q_0 & L & Q_{N-2} \\ M & M & O & M \\ Q_1 & Q_2 & L & Q_0 \end{bmatrix}, \quad Q_i = \begin{bmatrix} q(iM) & & & \\ & q(iM+1) & & \\ & & O & \\ & & & q(iM+M-1) \end{bmatrix}$$

其中, $q(n)$ 是长度为 $L=MN$ 的综合滤波器原型窗口函数, $0 \leq i \leq N-1$ 。

6. 根据权利要求5所述的限幅噪声消除方法, 其特征在于, BFDM综合滤波器系数矩阵 Q 表示为 $Q = (F_N^{-1} \otimes I_M)A^{-1}(F_N \otimes I_M)$;

当接收信号 r 通过OTFS-BFDM系统接收矩阵后获得观测信号向量 \hat{d} :

$$\hat{d} = (F_N \otimes I_M)QH P(F_N^{-1} \otimes I_M)d + \alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)QH \delta + \alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)Qw$$

其中, $(F_N \otimes I_M)QH P(F_N^{-1} \otimes I_M)d$ 为 H_{eff} 表示系统的信道有效矩阵, $\alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)QH \delta$ 为限幅噪声, $\alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)Qw$ 为信道噪声;

或者

$$\hat{d} = \Lambda^{-1}(F_N \otimes I_M)H(F_N^{-1} \otimes I_M)\Lambda d + \alpha^{-1}\Lambda^{-1}(F_N \otimes I_M)H\delta + \alpha^{-1}\Lambda^{-1}(F_N \otimes I_M)w$$

其中, $\Lambda^{-1}(F_N \otimes I_M)H(F_N^{-1} \otimes I_M)\Lambda d$ 为 H_{eff} 表示系统的信道有效矩阵, $\alpha^{-1}\Lambda^{-1}(F_N \otimes I_M)H\delta$ 为限幅噪声, $\alpha^{-1}\Lambda^{-1}(F_N \otimes I_M)w$ 为信道噪声。

7. 根据权利要求1所述的限幅噪声消除方法, 其特征在于, 所述步骤3具体包括:

步骤301、对输出变量信号向量 \tilde{d} 进行OTFS-BFDM调制后得到新的OTFS-BFDM信号;

步骤302、对所述新的OTFS-BFDM信号进行限幅处理后, 得到第一路限幅处理信号

$$\tilde{s}_1' = \alpha \cdot P \left(F_N^{-1} \otimes I_M \right) \cdot \tilde{d} + \delta';$$

步骤303、对所述新的OTFS-BFDM信号进行衰减处理后, 得到第二路衰减处理信号

$$\tilde{s}_2' = \alpha \cdot P \left(F_N^{-1} \otimes I_M \right) \cdot \tilde{d};$$

步骤304、将所述第一路限幅处理信号 \tilde{s}_1' 与所述第二路衰减处理信号 \tilde{s}_2' 相减, 以得到重构的限幅噪声 $\delta' = \tilde{s}_1' - \tilde{s}_2'$;

步骤305、将所述重构的限幅噪声 δ' 通过信道卷积矩阵, 获得接收机端的重构限幅噪声估计 $H\delta'$ 。

8. 根据权利要求1所述的限幅噪声消除方法, 其特征在于, 所述修正后的观测信号向量 \hat{d}_1 通过如下公式计算:

$$\hat{d}_1 = (F_N \otimes I_M)QHP(F_N^{-1} \otimes I_M)d + \alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)QH(\delta - \delta') + \alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)Qw$$

或者

$$\hat{d}_1 = \Lambda^{-1}(F_N \otimes I_M)H(F_N^{-1} \otimes I_M)\Lambda d + \alpha^{-1}\Lambda^{-1}(F_N \otimes I_M)H(\delta - \delta') + \alpha^{-1}\Lambda^{-1}(F_N \otimes I_M)w$$

其中, $\delta - \delta'$ 是残留的限幅噪声, 通过初始限幅噪声与重构的限幅噪声之差计算获得, 所述残留的限幅噪声在观测信号进入检测器之前得到, 并在所述下一步迭代中进一步减少。

9. 一种基于峰均比抑制的限幅噪声消除系统, 该系统应用如所述权利要求1至8之一所述的限幅噪声消除方法, 其特征在于, 该系统包括发射机和接收机两个部分, 所述发射机位于发送端、所述接收机位于接收端, 所述发射机与所述接收机通过无线通信链路相连接。

10. 一种电子设备, 包括存储器单元和处理器单元, 所述存储器单元上存储有计算机程序, 其特征在于, 所述处理器单元执行所述程序时实现如权利要求1至8之一所述的方法。

基于峰均比抑制的限幅噪声消除方法、系统及电子设备

【技术领域】

[0001] 本申请涉及无线通信技术领域,尤其涉及一种基于峰均比抑制的限幅噪声消除方法、系统及电子设备。

【背景技术】

[0002] 下一代无线系统(5G及以上)旨在促进高移动性环境下的无缝和可靠通信,包括高速列车、飞机、车对车和车对基础设施通信。尽管正交频分多路复用(OFDM)系统在时不变的频率选择性信道上可以实现高频谱效率,但在高多普勒扩展的时变信道上呈现鲁棒性不足。最近提出的正交时频空间(OTFS)系统被证明在高移动性环境下比OFDM具有更显著的优势。进一步将OTFS变换和双正交频分多路复用(BFDM)调制结合构成一个OTFS-BFDM系统,该系统拥有更长的非矩形原型窗口函数,能够实现灵活的波形设计和更低的带外弥散,并保证了系统的稀疏连通性。然而,OTFS-BFDM信号的峰均比(PAPR)会随着传输间隔内符号数目的增加而变高。当PAPR过高时,发射机会造成信号的非线性失真,最终影响系统的BER性能。因此,采取有效措施抑制OTFS-BFDM系统的PAPR成为当务之急。

[0003] 在基于消息传递(MP)信号检测算法的多载波系统中,为了不破坏系统的稀疏连通性,目前多采用选择映射法和MP辅助的限幅法对来抑制信号的PAPR,前者造成信号失真,但是要求传输边带信息,降低了频谱利用率,后者把限幅噪声和信道噪声一起作为MP算法的噪声输入,虽然缓解了限幅干扰,但对系统BER的影响依然很大。

[0004] 有鉴于此,本发明的目的在于提出一种OTFS-BFDM系统中针对峰均比抑制的限幅噪声消除方法,在解决系统PAPR过高的同时,尽可能恢复系统的BER性能。

【发明内容】

[0005] 本发明提供一种基于峰均比抑制的限幅噪声消除方法、系统及电子设备,假设信道状态、限幅参数和窗口函数在接收端是完全已知的,且OTFS-BFDM系统的调制符号(如4QAM)在的延迟多普勒格上传输,其中和分别表示最大的多普勒和时延偏移,本发明采用了如下技术方案:

[0006] 一种基于峰均比抑制的限幅噪声消除方法,该方法应用于限幅噪声消除系统中,该方法包括:

[0007] 步骤1,在发送端,对OTFS-BFDM调制信号进行一次限幅和滤波,以得到限幅处理信号 s' ;

[0008] 步骤2,在接收端,对初始的接收信号 r 进行去衰减处理后,通过BFDM解调和辛有限傅里叶变换SFFT得到时域上的观测信号向量 $\hat{\mathbf{d}}$,将 $\hat{\mathbf{d}}$ 代入MP算法进行信道均衡和译码判决后输出变量信号向量 $\tilde{\mathbf{d}}$;

[0009] 步骤3,将判决输出变量信号向量 $\tilde{\mathbf{d}}$ 进行OTFS-BFDM调制后分成两路处理,一路进行与发送端相同的限幅和滤波处理,以得到第一路限幅处理信号 \tilde{s}'_1 ,另一路乘以限幅衰减因

子,以得到第二路衰减处理信号 \tilde{s}'_2 ,将所述第一路限幅处理信号 \tilde{s}'_1 与所述第二路衰减处理信号 \tilde{s}'_2 相减,以获得重构的限幅噪声向量 δ' ,将所述限幅噪声向量 δ' 通过信道卷积矩阵后,获得接收机端的重构限幅噪声估计 $H\delta'$;

[0010] 步骤4、从初始的接收信号 r 中减去重构的限幅噪声 $H\delta'$,以获得修正的接收信号 $r_1 = Hs' + w - H\delta'$ 进行下一步迭代,对所述修正的接收信号 r_1 进行去衰减处理和OTFS-BFDM解调,以得到修正后的观测信号向量 \hat{d}_1 ;

[0011] 步骤5,将所述修正的接收信号 r_1 替代所述初始的接收信号 r ,返回步骤2并重复执行步骤2,根据预设的最大迭代次数 τ_{\max} ,当迭代次数达到 τ_{\max} 时,跳出并结束此次限幅噪声消除。

[0012] 进一步的,所述对OTFS-BFDM调制信号进行一次限幅和滤波,具体包括:

[0013] 所述对OTFS-BFDM调制信号与限幅处理信号 s' 的关系表示为 $s' = \alpha s + \delta$,其中, s 为OTFS-BFDM调制信号, α 表示限幅衰减因子, δ 是限幅噪声向量;

[0014] 所述限幅衰减因子 α 通过如下公式计算:

$$[0015] \quad \alpha = 1 - \exp(-\gamma) + \frac{\sqrt{\pi\gamma}}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma})$$

[0016] 发送端经过限幅处理后的信号为 $s' = \alpha P(F_N^{-1} \otimes I_M)d + \delta$,其中 d 表示调制符号向量;

[0017] P 为块循环矩阵, $P = (F_N^{-1} \otimes I_M)A(F_N \otimes I_M)$;

[0018] Λ 为对角矩阵, $\Lambda = \operatorname{diag}(\Lambda_0, \Lambda_1, \dots, \Lambda_{N-1})$,并通过下式获得:

$$[0019] \quad \begin{cases} [A_0(i, j), A_1(i, j), \dots, A_{N-1}(i, j)] = \sqrt{N} F_{N-1} \Phi(i, j) \\ \Phi(i, j) = [p_0(i, j), p_1(i, j), \dots, p_{N-1}(i, j)]^T \end{cases}, \quad (0 \leq i, j \leq M-1)$$

[0020] 对于 Λ 中的每个子矩阵,仅当 $i = j$ 元素不等于0,矩阵 $\Phi(i, j)$ 不为空。

[0021] 进一步的,所述OTFS-BFDM调制信号通过OTFS-BFDM系统的传输矩阵来计算,所述OTFS-BFDM系统的传输矩阵为 $P(F_N^{-1} \otimes I_M)$,其中 $F_N^{-1} \otimes I_M$ 是ISSFT变换, F_N^{-1} 和 I_M 分别表示归一化的 N 点IDFT矩阵和 M 维单位矩阵, \otimes 表示克罗内克积, P 是BFDM分析滤波系数矩阵, P 表示为

$$[0022] \quad P = \begin{bmatrix} P_0 & P_{N-1} & \cdots & P_1 \\ P_1 & P_0 & \cdots & P_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N-1} & P_{N-2} & \cdots & P_0 \end{bmatrix}, \quad P_i = \begin{bmatrix} p(iM) & & & \\ & p(iM+1) & & \\ & & \ddots & \\ & & & p(iM+M-1) \end{bmatrix},$$

[0023] 其中, $p(n)$ 是长度为 $L = MN$ 的分析滤波器原型窗口函数, $0 \leq i \leq N-1$ 。

[0024] 进一步的,对所述限幅噪声消除系统的PAPR进行预设,定义一帧OTFS-BFDM发射信号的离散时间样本的PAPR为:

$$[0025] \quad PAPR = 10 \log \frac{\max_{0 \leq l \leq N-1} \{|s(l)|^2\}}{E\{|s(l)|^2\}}$$

[0026] 其中, $s(l)$ 为时域上的 OTFS-BFDM 发射机输出信号, $0 \leq l \leq MN$;

[0027] 所述限幅噪声消除系统的 PAPR 性能通过互补累积分布函数 CCDF 来衡量, 它计算每个发射样本值的峰值功率比超过预定义阈值 ($PAPR_0$) 的概率, 互补累积分布函数 CCDF 具有统计特性, 通过如下公式计算:

$$[0028] \quad C_{PAPR}(PAPR_0) = \Pr(PAPR > PAPR_0) = 1 - \Pr(PAPR \leq PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^L.$$

[0029] 进一步的, 所述对初始的接收信号 r 进行去衰减处理, 具体包括:

[0030] 将限幅处理信号 s' 经过多普勒频移频率衰落信道后, 获得初始的接收信号 $r = Hs' + w$, 其中 H 为信道卷积矩阵, w 为信道加性高斯白噪声向量, OTFS-BFDM 系统的接收矩阵为 $(F_N \otimes I_M)Q$, 其中 $F_N \otimes I_M$ 是 SFFT 变换, F_N 表示归一化的 N 点 DFT 矩阵, Q 是 BFDM 综合滤波器系数矩阵;

$$[0031] \quad Q = \begin{bmatrix} Q_0 & Q_1 & \cdots & Q_{N-1} \\ Q_{N-1} & Q_0 & \cdots & Q_{N-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_1 & Q_2 & \cdots & Q_0 \end{bmatrix}, \quad Q_i = \begin{bmatrix} q(iM) & & & \\ & q(iM+1) & & \\ & & \ddots & \\ & & & q(iM+M-1) \end{bmatrix}$$

[0032] 其中, $q(n)$ 是长度为 $L = MN$ 的综合滤波器原型窗口函数, $0 \leq i \leq N-1$;

[0033] 进一步的, BFDM 综合滤波器系数矩阵 Q 表示为 $Q = (F_N^{-1} \otimes I_M)A^1(F_N \otimes I_M)$;

[0034] 当接收信号 r 通过 OTFS-BFDM 系统接收矩阵后获得观测信号向量 \hat{d} :

$$[0035] \quad \hat{d} = (F_N \otimes I_M)QH P(F_N^{-1} \otimes I_M)d + \alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)QH \delta + \alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)Qw$$

[0036] 其中, $(F_N \otimes I_M)QH P(F_N^{-1} \otimes I_M)d$ 为 H_{eff} 表示系统的信道有效矩阵, $\alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)QH \delta$ 为限幅噪声, $\alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)Qw$ 为信道噪声;

[0037] 或者

$$[0038] \quad \hat{d} = A^1(F_N \otimes I_M)H(F_N^{-1} \otimes I_M)\Lambda d + \alpha^{-1}A^1(F_N \otimes I_M)H \delta + \alpha^{-1}A^1(F_N \otimes I_M)w$$

[0039] 其中, $A^1(F_N \otimes I_M)H(F_N^{-1} \otimes I_M)\Lambda d$ 为 H_{eff} 表示系统的信道有效矩阵, $\alpha^{-1}A^1(F_N \otimes I_M)H \delta$ 为限幅噪声, $\alpha^{-1}A^1(F_N \otimes I_M)w$ 为信道噪声。

[0040] 进一步的, 所述步骤 3 具体包括:

[0041] 步骤 301、对输出变量信号向量 \tilde{d} 进行 OTFS-BFDM 调制后得到新的 OTFS-BFDM 信号;

[0042] 步骤 302、对所述新的 OTFS-BFDM 信号进行限幅处理后, 得到第一路限幅处理信号 $\tilde{s}'_1 = \alpha P(F_N^{-1} \otimes I_M)\tilde{d} + \delta'$;

[0043] 步骤 303、对所述新的 OTFS-BFDM 信号进行衰减处理后, 得到第二路衰减处理信号 $\tilde{s}'_2 = \alpha P(F_N^{-1} \otimes I_M)\tilde{d}$;

[0044] 步骤304、将所述第一路限幅处理信号 \tilde{s}'_1 与所述第二路衰减处理信号 \tilde{s}'_2 相减,以得到重构的限幅噪声 $\delta' = \tilde{s}'_1 - \tilde{s}'_2$;

[0045] 步骤305、将所述重构的限幅噪声 δ' 通过信道卷积矩阵,获得接收机端的重构限幅噪声估计 $H\delta'$ 。

[0046] 进一步的,所述修正后的观测信号向量 \hat{d}_1 通过如下公式计算:

$$[0047] \quad \hat{d}_1 = (F_N \otimes I_M) Q H P (F_N^{-1} \otimes I_M) d + \alpha^{-1} (F_N \otimes I_M) Q H (\delta - \delta') + \alpha^{-1} (F_N \otimes I_M) Q w$$

[0048] 或者

$$[0049] \quad \hat{d}_1 = \Lambda^{-1} (F_N \otimes I_M) H (F_N^{-1} \otimes I_M) \Lambda d + \alpha^{-1} \Lambda^{-1} (F_N \otimes I_M) H (\delta - \delta') + \alpha^{-1} \Lambda^{-1} (F_N \otimes I_M) w$$

[0050] 其中, $\delta - \delta'$ 是残留的限幅噪声,通过初始限幅噪声与重构的限幅噪声之差计算获得,所述残留的限幅噪声在观测信号进入检测器之前得到,并在所述下一步迭代中进一步减少。

[0051] 一种基于峰均比抑制的限幅噪声消除系统,该系统应用上述限幅噪声消除方法,该系统包括:包括发射机和接收机两个部分,所述发射机位于发送端、所述接收机位于接收端,所述发射机与所述接收机通过无线通信链路相连接。

[0052] 一种电子设备,包括存储器单元和处理器单元,所述存储器单元上存储有计算机程序,所述处理器单元执行所述程序时实现上述方法。

[0053] 通过本申请实施例,可以获得如下技术效果:在发送端使用一次限幅和滤波的方法对OTFS-BFDM信号的PAPR进行抑制,在接收端将限幅噪声进行重构,通过迭代方式将限幅噪声从初始的接收信号中尽可能消除掉,从而提高信号译码的准确性。

【附图说明】

[0054] 为了更清楚地说明本申请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一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0055] 图1为本发明的限幅噪声消除方法的算法流程图;

[0056] 图2为本发明的系统组成结构示意图;

[0057] 图3为本发明的PAPR互补累积分布函数的示意图;

[0058] 图4为本发明的误码率仿真示意图。

【具体实施方式】

[0059] 为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的全部其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0060] 本发明基于OTFS-BFDM系统架构,考虑了尤其在大数据包的情况下,系统的PAPR过高的问题,提出一种针对OTFS-BFDM系统峰均比抑制的限幅噪声消除方案。本发明在发送端

使用一次限幅和滤波的方法,保证了原始信号和限幅处理信号之间的线性关系并降低了系统的PAPR,在接收端通过重构限幅噪声和迭代消除的方法减少限幅噪声对信号译码的干扰。

[0061] 图1为本发明的限幅噪声消除方法的算法流程图,该方法应用于限幅噪声消除系统中,该限幅噪声消除方法包括如下步骤:

[0062] 步骤1,在发送端,对OTFS-BFDM调制信号进行一次限幅和滤波,以得到限幅处理信号 s' ;

[0063] 当一个高斯随机信号进入限幅器件时,其输出信号可以统计地分解成两部分不相关的信号之和,使用一次限幅和滤波的目的在于保持这种线性关系,并且能够滤除掉带外噪声;

[0064] 所述对OTFS-BFDM调制信号进行一次限幅和滤波,具体包括:

[0065] 所述对OTFS-BFDM调制信号与限幅处理信号 s' 的关系表示为 $s' = \alpha s + \delta$,其中, s 为OTFS-BFDM调制信号, α 表示限幅衰减因子, δ 是限幅噪声向量;

[0066] 所述限幅衰减因子 α 通过如下公式计算:

$$[0067] \quad \alpha = 1 - \exp(-\gamma) + \frac{\sqrt{\pi\gamma}}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma})$$

[0068] 发送端经过限幅处理后的信号为 $s' = \alpha P(F_N^{-1} \otimes I_M)d + \delta$,其中 d 表示调制符号向量,例如4QAM;

[0069] P 为块循环矩阵, $P = (F_N^{-1} \otimes I_M) \Lambda (F_N \otimes I_M)$;

[0070] Λ 为对角矩阵, $\Lambda = \operatorname{diag}(\Lambda_0, \Lambda_1, \dots, \Lambda_{N-1})$,并通过下式获得:

$$[0071] \quad \begin{cases} [\Lambda_0(i, j), \Lambda_1(i, j), \dots, \Lambda_{N-1}(i, j)] = \sqrt{N} F_{N-1} \Phi(i, j) \\ \Phi(i, j) = [p_0(i, j), p_1(i, j), \dots, p_{N-1}(i, j)]^T \end{cases}, (0 \leq i, j \leq M-1)$$

[0072] 对于 Λ 中的每个子矩阵,仅当 $i = j$ 元素不等于0,矩阵 $\Phi(i, j)$ 不为空;

[0073] 所述OTFS-BFDM调制信号通过OTFS-BFDM系统的传输矩阵来计算,所述OTFS-BFDM系统的传输矩阵为 $P(F_N^{-1} \otimes I_M)$,其中 $F_N^{-1} \otimes I_M$ 是ISSFT变换, F_N^{-1} 和 I_M 分别表示归一化的 N 点IDFT矩阵和 M 维单位矩阵, \otimes 表示克罗内克积, P 是BFDM分析滤波系数矩阵, P 表示为

$$[0074] \quad P = \begin{bmatrix} P_0 & P_{N-1} & \cdots & P_1 \\ P_1 & P_0 & \cdots & P_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N-1} & P_{N-2} & \cdots & P_0 \end{bmatrix}, \quad P_i = \begin{bmatrix} p(iM) & & & \\ & p(iM+1) & & \\ & & \ddots & \\ & & & p(iM+M-1) \end{bmatrix},$$

[0075] 其中, $p(n)$ 是长度为 $L = MN$ 的分析滤波器原型窗口函数, $0 \leq i \leq N-1$;

[0076] 在发送端,对所述限幅噪声消除系统的PAPR进行预设,定义一帧OTFS-BFDM发射信号的离散时间样本的PAPR为:

$$[0077] \quad PAPR = 10 \log \frac{\max_{0 \leq l \leq N-1} \{|s(l)|^2\}}{E\{|s(l)|^2\}}$$

[0078] 其中, $s(l)$ 为时域上的OTFS-BFDM发射机输出信号, $0 \leq l \leq MN$;

[0079] 在实际应用中, 所述限幅噪声消除系统的PAPR性能通过互补累积分布函数CCDF来衡量, 它计算每个发射样本值的峰值功率比超过预定义阈值 ($PAPR_0$) 的概率, 互补累积分布函数CCDF具有统计特性, 通过如下公式计算:

$$[0080] \quad C_{PAPR}(PAPR_0) = \Pr(PAPR > PAPR_0) = 1 - \Pr(PAPR \leq PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^L$$

[0081] 步骤2, 在接收端, 对初始的接收信号 r 进行去衰减处理后, 通过BFDM解调和辛有限傅里叶变换SFFT得到时域上的观测信号向量 \hat{d} , 将 \hat{d} 代入MP算法进行信道均衡和译码判决后输出变量信号向量 \tilde{d} ;

[0082] 所述对初始的接收信号 r 进行去衰减处理, 具体包括:

[0083] 将限幅处理信号 s' 经过多普勒频移频率衰落信道后, 获得初始的接收信号 $r = Hs' + w$, 其中 H 为信道卷积矩阵, w 为信道加性高斯白噪声向量, OTFS-BFDM系统的接收矩阵为 $(F_N \otimes I_M)Q$, 其中 $F_N \otimes I_M$ 是SFFT变换, F_N 表示归一化的 N 点DFT矩阵, Q 是BFDM综合滤波器系数矩阵;

$$[0084] \quad Q = \begin{bmatrix} Q_0 & Q_1 & \cdots & Q_{N-1} \\ Q_{N-1} & Q_0 & \cdots & Q_{N-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_1 & Q_2 & \cdots & Q_0 \end{bmatrix}, \quad Q_i = \begin{bmatrix} q(iM) & & & \\ & q(iM+1) & & \\ & & \ddots & \\ & & & q(iM+M-1) \end{bmatrix}$$

[0085] 其中, $q(n)$ 是长度为 $L = MN$ 的综合滤波器原型窗口函数, $0 \leq i \leq N-1$;

[0086] 同理, 按照步骤1中的方法, Q 可以表示为 $Q = (F_N^{-1} \otimes I_M)A^1(F_N \otimes I_M)$;

[0087] 当接收信号 r 通过OTFS-BFDM系统接收矩阵后获得观测信号向量 \hat{d} ;

$$[0088] \quad \hat{d} = (F_N \otimes I_M)QHP(F_N^{-1} \otimes I_M)d + \alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)QH\delta + \alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)Qw$$

[0089] 其中, $(F_N \otimes I_M)QHP(F_N^{-1} \otimes I_M)d$ 为 H_{eff} 表示系统的信道有效矩阵, $\alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)QH\delta$ 为限幅噪声, $\alpha^{-1}(F_N \otimes I_M)Qw$ 为信道噪声;

[0090] 或者

$$[0091] \quad \hat{d} = A^1(F_N \otimes I_M)H(F_N^{-1} \otimes I_M)Ad + \alpha^{-1}A^1(F_N \otimes I_M)H\delta + \alpha^{-1}A^1(F_N \otimes I_M)w$$

[0092] 其中, $A^1(F_N \otimes I_M)H(F_N^{-1} \otimes I_M)Ad$ 为 H_{eff} 表示系统的信道有效矩阵, $\alpha^{-1}A^1(F_N \otimes I_M)H\delta$ 为限幅噪声, $\alpha^{-1}A^1(F_N \otimes I_M)w$ 为信道噪声;

[0093] 在上述计算公式中, $(F_N \otimes I_M)H(F_N^{-1} \otimes I_M)$ 被证明是稀疏连通的, 在其前后同时乘以一个对角矩阵并不改变稀疏连通性, 因此 H_{eff} 也是稀疏连通的, 因此可以用基于因子图

的MP算法进行信号探测；系统噪声包括限幅噪声和信道噪声，当进行信号译码时系统默认使用信道噪声作为MP检测算法的噪声输入，这就影响了译码的准确性，降低了BER性能，因此需要对限幅噪声进行消除；

[0094] 步骤3、将判决输出变量信号向量 \tilde{d} 进行OTFS-BFDM调制后分成两路处理，一路进行与发送端相同的限幅和滤波处理，以得到第一路限幅处理信号 \tilde{s}'_1 ，另一路乘以限幅衰减因子，以得到第二路衰减处理信号 \tilde{s}'_2 ，将所述第一路限幅处理信号 \tilde{s}'_1 与所述第二路衰减处理信号 \tilde{s}'_2 相减，以获得重构的限幅噪声向量 δ' ，将所述限幅噪声向量 δ' 通过信道卷积矩阵后，获得接收机端的重构限幅噪声估计 $H\delta'$ ；

[0095] 所述步骤3具体包括：

[0096] 步骤301、对输出变量信号向量 \tilde{d} 进行OTFS-BFDM调制后得到新的 OTFS-BFDM信号；

[0097] 步骤302、对所述新的OTFS-BFDM信号进行限幅处理后，得到第一路限幅处理信号 $\tilde{s}'_1 = \alpha P(F_N^{-1} \otimes I_M) \tilde{d} + \delta'$ ；

[0098] 步骤303、对所述新的OTFS-BFDM信号进行衰减处理后，得到第二路衰减处理信号 $\tilde{s}'_2 = \alpha P(F_N^{-1} \otimes I_M) \tilde{d}$ ；

[0099] 步骤304、将所述第一路限幅处理信号 \tilde{s}'_1 与所述第二路衰减处理信号 \tilde{s}'_2 相减，以得到重构的限幅噪声 $\delta' = \tilde{s}'_1 - \tilde{s}'_2$ ；

[0100] 步骤305、将所述重构的限幅噪声 δ' 通过信道卷积矩阵，获得接收机端的重构限幅噪声估计 $H\delta'$ ；

[0101] 步骤4、从初始的接收信号 r 中减去重构的限幅噪声 $H\delta'$ ，以获得修正的接收信号 $r_1 = Hs' + w - H\delta'$ 进行下一步迭代，对所述修正的接收信号 r_1 进行去衰减处理和OTFS-BFDM解调，以得到修正后的观测信号向量 \hat{d}_1 ，其中，所述修正后的观测信号向量 \hat{d}_1 通过如下公式计算：

$$[0102] \quad \hat{d}_1 = (F_N \otimes I_M) QHP(F_N^{-1} \otimes I_M) d + \alpha^{-1} (F_N \otimes I_M) QH(\delta - \delta') + \alpha^{-1} (F_N \otimes I_M) Qw$$

[0103] 或者

$$[0104] \quad \hat{d}_1 = \Lambda^{-1} (F_N \otimes I_M) H(F_N^{-1} \otimes I_M) \Lambda d + \alpha^{-1} \Lambda^{-1} (F_N \otimes I_M) H(\delta - \delta') + \alpha^{-1} \Lambda^{-1} (F_N \otimes I_M) w$$

[0105] 其中， $\delta - \delta'$ 是残留的限幅噪声，通过初始限幅噪声与重构的限幅噪声之差计算获得，所述残留的限幅噪声在观测信号进入检测器之前得到，并在所述下一步迭代中进一步减少；

[0106] 步骤5、将所述修正的接收信号 r_1 替代所述初始的接收信号 r ，返回步骤2 并重复执行步骤2，根据预设的最大迭代次数 τ_{\max} ，当迭代次数达到 τ_{\max} 时，跳出并结束此次限幅噪声消除；

[0107] 图2为本发明的系统组成结构示意图，所述限幅噪声消除系统包括发射机和接收机两个部分，所述发射机位于发送端、所述接收机位于接收端，所述发射机与所述接收机通

过无线通信链路相连接。

[0108] 所述发射机,在发送端进行ISSFT变换、BFDM调制、限幅和滤波处理,所述接收机,在接收端进行BFDM解调、辛有限傅里叶变换SFFT、ISFFT和BFDM 调制、以及限幅和滤波处理。

[0109] 本发明的仿真实验中,所考虑的延迟多普勒谱参数如表I所示,其中每条路径的功率增益符合均匀分布。

[0110] 表I:路径=5的延迟多普勒谱参数

Path index	1	2	3	4	5
Delay (μs)	0	2.08	4.17	6.25	8.33
Doppler (Hz),	0	483.87	967.74	1451.61	1935.48

[0112] 表II总结了其他相关的仿真参数。

[0113] 表II:仿真参数

参数	值
载波频率 (GHz)	4
子载波间隔(KHz)	15
帧大小 (M,N)	(32,31)
调制方案	4-QAM
CP (μs)	10.42
信道估计	Ideal

[0115] 图3为本发明的PAPR互补累积分布函数的示意图,其中,OTFS-BFDM使用RRC窗口函数的PAPR的CCDF。为了更好地研究信号的PAPR,过采样因子的值为 $O=4$ 。如图所示,经过限幅处理后,OTFS-BFDM信号的PAPR大大降低。当CCDF概率为 10^{-3} 时,采用限幅方法的信号的PAPR比SLM方法的PAPR小 1.015dB,比原始信号的PAPR小4.38dB。此外,随着N的增大,信号PAPR的CCDF也都随之增大。

[0116] 图4为本发明的误码率仿真示意图。本发明中进行评估采用RRC的 OTFS-BFDM系统在多普勒频移为1935Hz情况下的BER性能。从图上可以看出采用迭代限幅噪声消除方法的OTFS-BFDM,随着迭代次数增加,BER性能越来越好,这是由于残留限幅噪声随迭代次数增加而减少。无论是采用迭代限幅噪声消除方法还是采用MP辅助的限幅方法(在图中称为OTFS_RCwithCN), OTFS-BFDM系统的BER率都随着限幅率增大而越来越好,这是由于越高,信号失真越小。虽然后者考虑到了把限幅噪声作为系统噪声的一部分,但是总体上采用后者的系统的BER要大于前者。

[0117] 本发明公开了一种OTFS-BFDM系统中针对峰均比抑制的限幅噪声消除方法。本发明使用限幅和滤波的方法对OTFS-BFDM信号的峰均比进行抑制,并在接收端使用与发送端相同的调制和限幅方法对限幅噪声进行重构,通过迭代消除的方式减少限幅噪声在初始接收信号中的残留量,从而在降低 OTFS-BFDM信号峰均比的同时提高系统译码的准确性。通过比较不同方法下,使用RRC窗口函数的OTFS-BFDM系统的PAPR和BER性能,得出了限幅和滤波的方法比SLM法能更好地抑制PAPR,而且针对峰均比抑制的限幅噪声消除方法比MP辅助的限幅方法有更好的BER性能。

[0118] 在一些实施例中,计算机程序的部分或者全部可以经由ROM而被载入和 /或安装到设备上。当计算机程序加载并被执行时,可以执行上文描述的方法的一个或多个步骤。

[0119] 本文中以上描述的功能可以至少部分地由一个或多个硬件逻辑部件来执行。例如,非限制性地,可以使用的示范类型的硬件逻辑部件包括:场可编程门阵列 (FPGA)、专用集成电路 (ASIC)、专用标准产品 (ASSP)、芯片上系统的系统 (SOC)、负载可编程逻辑设备 (CPLD) 等等。

[0120] 用于实施本公开的方法的程序代码可以采用一个或多个编程语言的任何组合来编写。这些程序代码可以提供给通用计算机、专用计算机或其他可编程数据处理装置的处理或控制器,使得程序代码当由处理器或控制器执行时使流程图和/或框图中所规定的功能/操作被实施。程序代码可以完全在机器上执行、部分地在机器上执行,作为独立软件包部分地在机器上执行且部分地在远程机器上执行或完全在远程机器或服务服务器上执行。

[0121] 在本公开的上下文中,机器可读介质可以是有形的介质,其可以包含或存储以供指令执行系统、装置或设备使用或与指令执行系统、装置或设备结合地使用的程序。机器可读介质可以是机器可读信号介质或机器可读储存介质。机器可读介质可以包括但不限于电子的、磁性的、光学的、电磁的、红外的、或半导体系统、装置或设备,或者上述内容的任何合适组合。机器可读存储介质的更具体示例会包括基于一个或多个线的电气连接、便携式计算机盘、硬盘、随机存取存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、可擦除可编程只读存储器 (EPROM 或快闪存储器)、光纤、便捷式紧凑盘只读存储器 (CD-ROM)、光学储存设备、磁储存设备、或上述内容的任何合适组合。

[0122] 此外,虽然采用特定次序描绘了各操作,但是这应当理解为要求这样操作以所示出的特定次序或以顺序次序执行,或者要求所有图示的操作应被执行以取得期望的结果。在一定环境下,多任务和并行处理可能是有利的。同样地,虽然在上面论述中包含了若干具体实现细节,但是这些不应当被解释为对本公开的范围的限制。在单独的实施例的上下文中描述的某些特征还可以组合地实现在单个实现中。相反地,在单个实现的上下文中描述的各种特征也可以单独地或以任何合适的子组合的方式实现在多个实现中。

[0123] 尽管已经采用特定于结构特征和/或方法逻辑动作的语言描述了本主题,但是应当理解所附权利要求书中所限定的主题未必局限于上面描述的特定特征或动作。相反,上面所描述的特定特征和动作仅仅是实现权利要求书的示例形式。

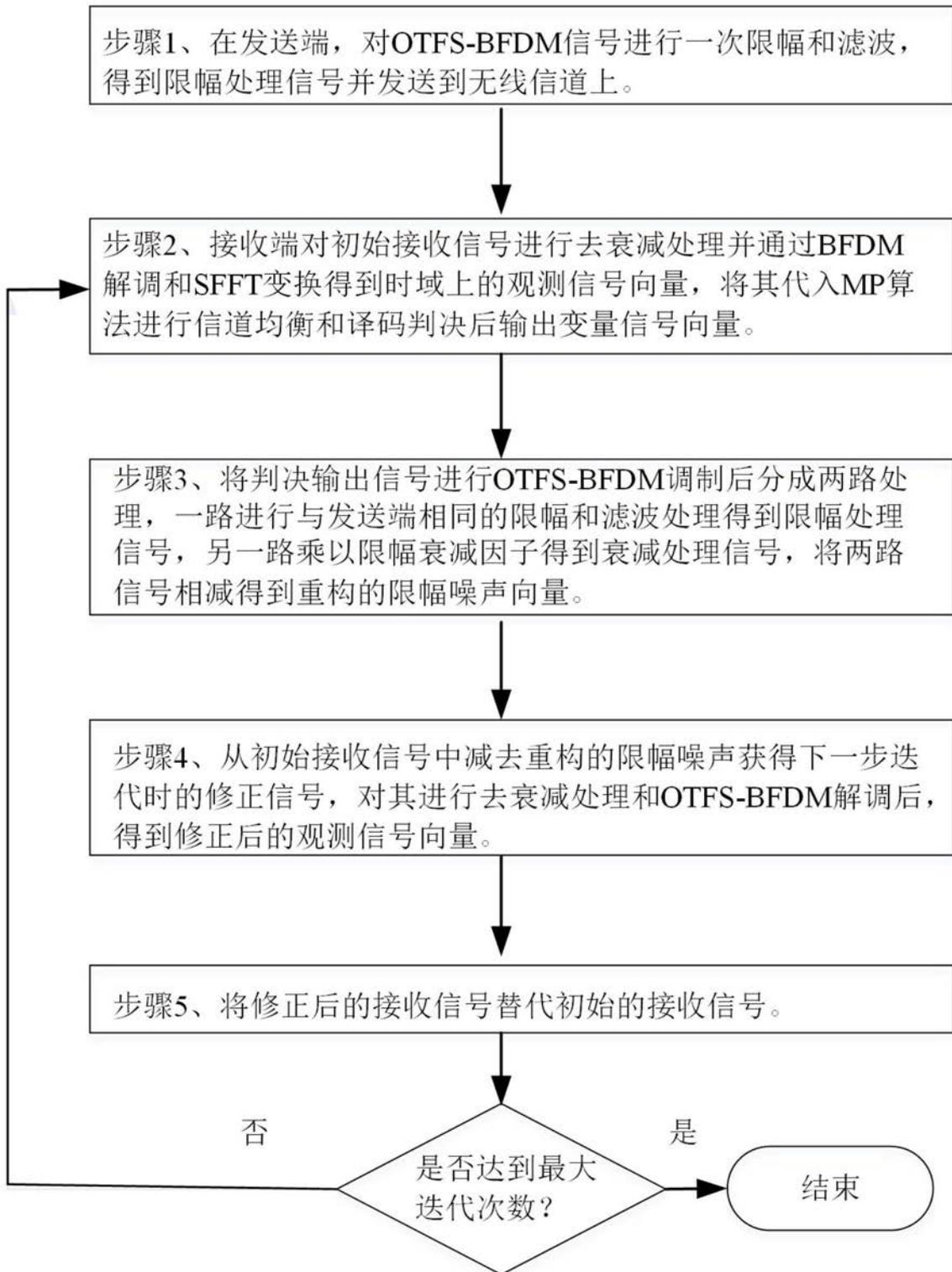


图1

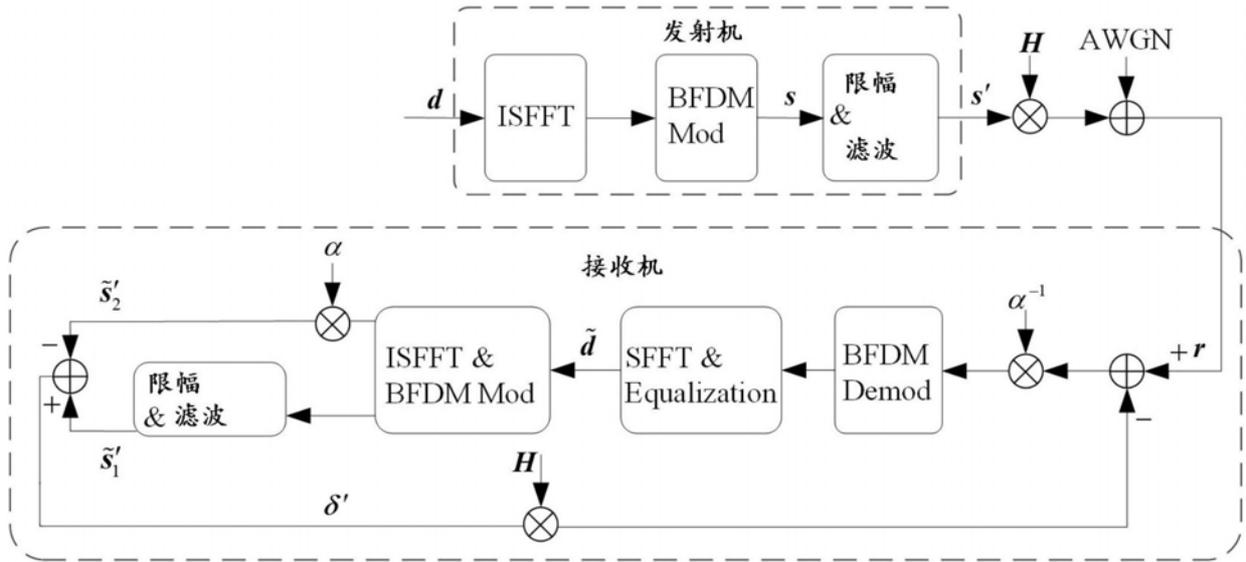


图2

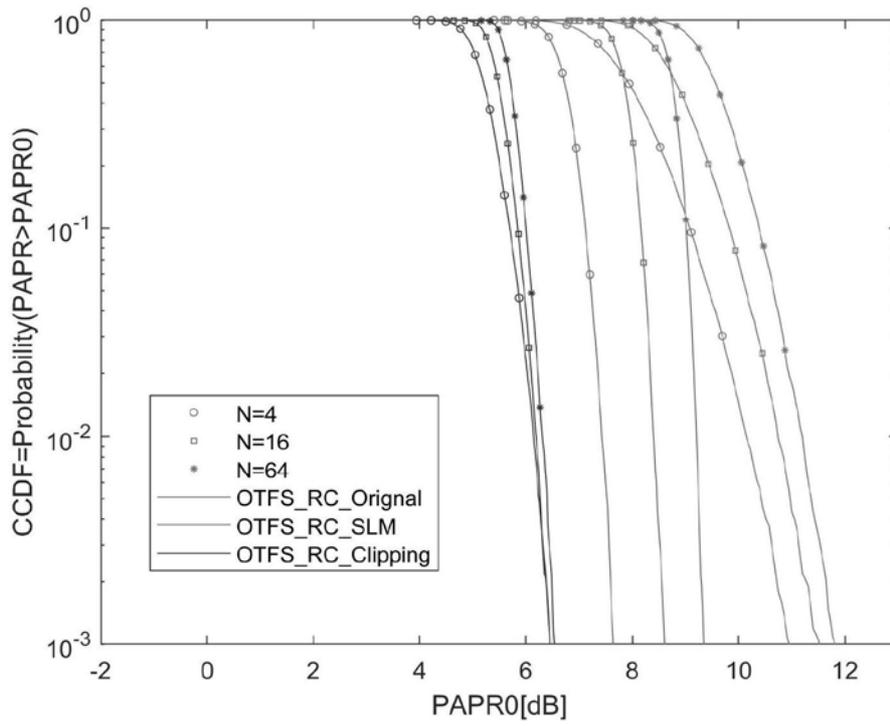


图3

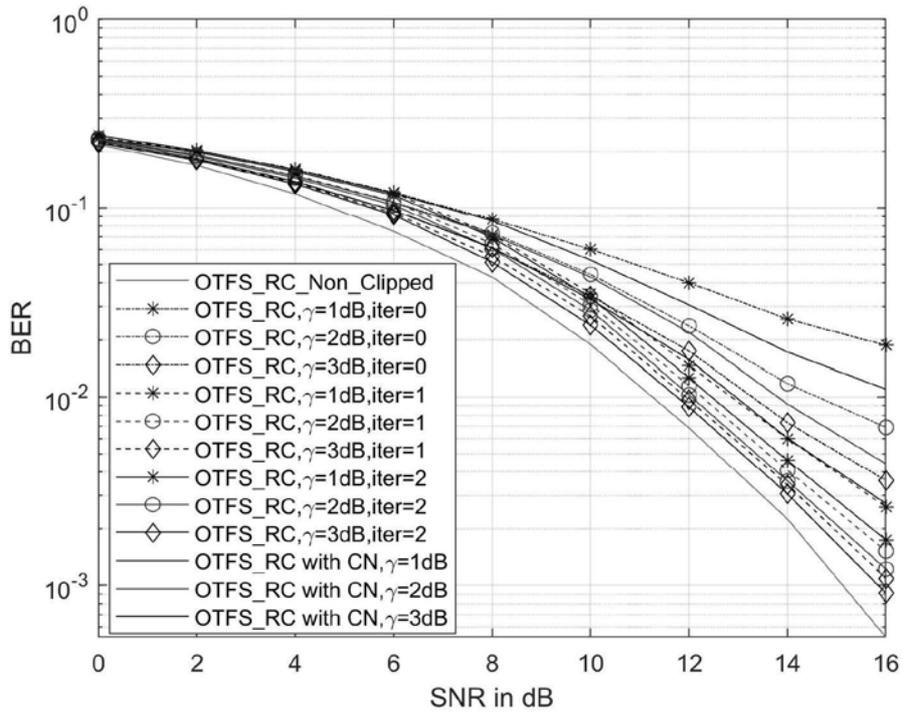


图4