



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110611552 B

(45) 授权公告日 2022. 01. 14

(21) 申请号 201910973654.5

(22) 申请日 2019.10.14

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110611552 A

(43) 申请公布日 2019.12.24

(73) 专利权人 福建师范大学福清分校  
地址 350300 福建省福州市福清市龙江街  
道校园新村1号

(72) 发明人 游莹 陈平平 林捷

(74) 专利代理机构 福州市众韬专利代理事务所  
(普通合伙) 35220

代理人 陈智雄

(51) Int. Cl.  
H04L 1/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103210591 A, 2013.07.17

CN 108712233 A, 2018.10.26

CN 104821862 A, 2015.08.05

US 2009154458 A1, 2009.06.18

审查员 张彪

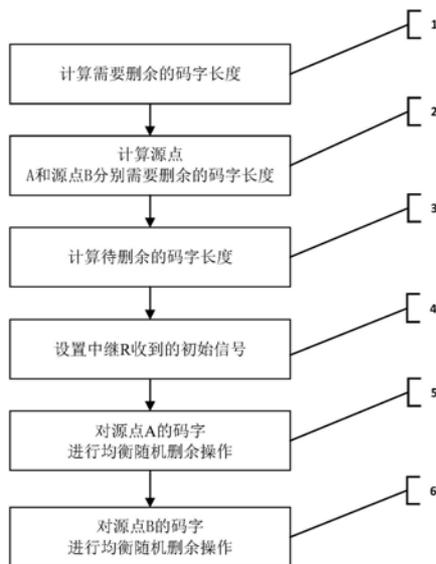
权利要求书3页 说明书11页 附图9页

(54) 发明名称

衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法

(57) 摘要

本发明属于数字通信技术领域,具体涉及一种衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法。本发明的方法包括以下步骤:步骤1、计算需要删余的码字长度;步骤2、计算源点A和源点B分别需要删余的码字长度;步骤3、计算待删余的码字长度;步骤4、初始化中继R收到的信号;步骤5、对源点A的码字进行均衡随机删余操作;步骤6、对源点B的码字进行均衡随机删余操作。本申请的方法针对衰落信道下将两边类型的物理层网络编码和删余方法相结合,构成性能优异的码率可自适应调节的两边类型物理层网络编码,与非均衡随机删余方法和CLS删余方法相比,本方法所设计的码字性能增益明显。



1. 一种衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

步骤1、计算需要删余的码字长度NP, 计算公式为:

$$NP = \frac{K}{R_o} - \frac{K}{R_t} = \frac{K(R_t - R_o)}{R_t R_o},$$

其中, K为码字的信息位长度,  $R_t$ 为码字的目标码率;  $R_o$ 为码字的原始码率, 计算公式如下:

$$R_o = \sum_d v_d - \sum_m \mu_m,$$

其中, 矢量d为与变量节点相连的不同种类边的度情况, 矢量m为与校验节点相连的不同种类边的度情况,  $\mu_m$ 表示度类型为m的校验节点个数与码长的比值,  $v_d$ 表示度类型为d的变量节点个数与码长的比值;

步骤2、计算源点A和源点B分别需要删余的码字长度;

步骤3、计算待删余的码字长度 $L_o$ , 即码字的原始总长, 计算公式为:  $L_o = \frac{K}{R_o}$ , 其中, K是码

字的信息位长度,  $R_o$ 为码字的原始码率;

步骤4、设置中继R收到的信号初始值pRarray为:

$pRarray[n] = \text{bpsk}(pYarrayA[n]) \times h1r + \text{bpsk}(pYarrayB[n]) \times h2r + \text{NoiseStdDev} \times \text{rand\_gaussian}()$ ,

其中, n是大等于0且小于 $L_o$ 的一个整数, h1r为源点A衰落信道的衰落因子, h2r为源点B衰落信道的衰落因子, pYarrayA为源点A发给中继R的码字, pYarrayB为源点B发给中继R的码字, rand\_gaussian()为生成高斯随机噪声的函数, bpsk()为bpsk调制函数, 其计算公式如下:

$$\text{bpsk}(x) = \begin{cases} -1, & \text{若 } x = 0 \text{ 时} \\ 1, & \text{若 } x = 1 \text{ 时} \end{cases},$$

NoiseStdDev为噪声方差函数, 其计算公式如下:

$$\text{NoiseStdDev} = \sqrt{\frac{1 / (\exp((\text{SNR} / 10) * \log(10.0)) * R_t)}{2}},$$
 其中, SNR为信噪比,  $R_t$ 为码字的目标码

率;

步骤5、对源点A的码字进行均衡随机删余操作;

步骤6、对源点B的码字进行均衡随机删余操作。

2. 如权利要求1所述的衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法, 其特征在于, 所述“计算源点A和源点B分别需要删余的码字长度”, 包括以下步骤:

步骤21、设置删余源点A和源点B码字时需要满足的约束条件为:  $NP = \frac{NP_A + NP_B}{2}$  且  $NP_A =$

$NP_B$ , 其中, NP为需要删除的码字长度,  $NP_A$ 为源点A需要删余的码字长度,  $NP_B$ 表示源点B需要删余的码字长度;

步骤22、根据上述约束条件计算得到源点A和源点B分别需要删余的码字长度为： $NP_A = NP_B = NP$ 。

3. 如权利要求1所述的衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法，其特征在于，所述“对源点A的码字进行均衡随机删余操作”，包括以下步骤：

步骤51、初始化参数  $j_A = 0$ ；

步骤52、初始化所述源点A中删余码字标志位  $place_A$  的值  $place_A[j_A] = 0$ ；

步骤53、判断若  $j_A < L_0$ ，其中  $L_0$  为待删余的的码字长度，则  $j_A = j_A + 1$ ，跳至步骤52继续执行，否则跳至步骤54继续执行；

步骤54、初始化删余码字计数器  $i_A = 0$ ，并设置源点A中删余位置参数  $n_A = 0$ ；

步骤55、随机生成删余位置参数  $n_A$ ，计算公式为： $n_A = \text{rand}() \% L_0$ ，其中  $\text{rand}()$  表示生成随机数的函数， $\%$  表示求余运算；

步骤56、判断如果  $place_A[n_A] = 0$ ，则表示源点A中第  $n_A$  个码字未被删余，则令  $place_A[n_A] = 1$ ，并跳至步骤57继续执行；否则表示源点A中第  $n_A$  个码字已经被删余，则需跳至步骤55重新选择删余位置参数；

步骤57、源点A中第  $n_A$  个码字删余后，更新中继R接收到的第  $n_A$  个信号  $pRArray[n_A]$ ，计算公式为：

$$pRArray[n_A] = \text{bpsk}(pYArrayB[n_A]) \times h_{2r} + \text{NoiseStdDev} \times \text{rand\_gaussian}(),$$

其中， $h_{2r}$  为源点B衰落信道的衰落因子， $pYArrayB$  为源点B发给中继R的码字， $\text{rand\_gaussian}()$  为生成高斯随机噪声的函数， $\text{bpsk}()$  为bpsk调制函数，其计算公式如下：

$$\text{bpsk}(x) = \begin{cases} -1, & \text{若 } x = 0 \text{ 时} \\ 1, & \text{若 } x = 1 \text{ 时} \end{cases},$$

$\text{NoiseStdDev}$  为噪声方差函数，其计算公式如下：

$$\text{NoiseStdDev} = \sqrt{\frac{1 / (\exp((\text{SNR} / 10) * \log(10.0)) * R_t)}{2}}, \text{ 其中, SNR 为信噪比, } R_t \text{ 为码字的目标码率};$$

步骤58、判断如果  $i_A < NP_A$ ，则  $i_A = i_A + 1$ ，并跳转至步骤55继续执行，否则，结束源点A码字的均衡随机删余操作。

4. 如权利要求1所述的衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法，其特征在于，所述“对源点B的码字进行均衡随机删余操作”，包括以下步骤：

步骤61、初始化参数  $j_B = 0$ ；

步骤62、初始化源点B中删余码字标志位  $place_B$  的值  $place_B[j_B] = 0$ ；

步骤63、判断若  $j_B < L_0$ ，其中  $L_0$  为待删余的的码字长度，则  $j_B = j_B + 1$ ，并跳至步骤62继续执行，否则跳至步骤64继续执行；

步骤64、初始化删余码字计数器  $i_B = 0$ ，并设置源点B中删余位置参数  $n_B = 0$ ；

步骤65、随机生成删余位置参数  $n_B$ ，计算公式为： $n_B = \text{rand}() \% L_0$ ，其中  $\text{rand}()$  表示生成随机数的函数； $\%$  表示求余运算；

步骤66、判断如果  $place_B[n_B] = 0$ ，表示源点B中第  $n_B$  个码字未被删余，则令  $place_B[n_B] = 1$  并跳至步骤67继续执行；否则如果  $place_B[n_B] = 1$ ，表示源点B中第  $n_B$  个码字已经被删

余,则跳至步骤65重新生成删余位置参数nB;

步骤67、判断如果 $placeA[nB]=1$ ,则说明在相同位置nB上,源点A和源点B的码字都被删余,则更新中继R接收到的第nB个信号pRarray为 $pRarray[nB]=0$ ;否则,更新中继R接收到的第nB个信号pRarray[nB]为: $pRarray[nB]=bpsk(pYarrayA[nB]) \times h1r + NoiseStdDev \times rand\_gaussian()$ ,其中,h1r表示源点A衰落信道的衰落因子,pYarrayA表示源点A发给中继R的码字,rand\_gaussian()表示生成高斯随机噪声的函数,bpsk()表示bpsk调制函数,计算公式如下:

$$bpsk(x) = \begin{cases} -1, & \text{若 } x = 0 \text{ 时} \\ 1, & \text{若 } x = 1 \text{ 时} \end{cases},$$

NoiseStdDev表示噪声方差,其计算公式如下:

$$NoiseStdDev = \sqrt{\frac{1 / (\exp((SNR/10) * \log(10.0)) * R_t)}{2}},$$

其中,SNR为信噪比, $R_t$ 为码字的目标码

率;

步骤68、判断如果 $iB < NP_B$ ,则 $iB = iB + 1$ ,并跳转至步骤65继续执行,否则,结束源点B码字的均衡随机删余操作。

## 衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于数字通信技术领域,具体涉及一种衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法。

### 背景技术

[0002] 在时变的、高移动性的无线通信系统中,提高系统吞吐量有两种有效的办法:一是物理层网络编码技术、二是码率自适应技术。

[0003] 物理层网络编码可以将同时收到的两个源点发送的信号进行映射实现网络编码,从而把源点之间的消息干扰变成有用信号,来提高无线通信系统的吞吐量,物理层网络编码和信道编码的结合已经成为目前的研究热点之一。在目前的研究中,很多信道编码都已经被用来和物理层网络编码结合设计,如重复积累(RA)编码,不规则低密度奇偶校验(LDPC)码、Lattice码和多边类型低密度奇偶校验(MET-LDPC)码,这里面最值的关注的就是2004年提出的MET-LDPC码。MET-LDPC码作为规则和不规则LDPC码的推广,其涵盖了很多的码字结构,并且在门限值、自适应能力和误码率等方面都具有良好的性能。两边类型低密度奇偶校验码作为MET-LDPC码的一种,其两种边类的结构设计提高了密度演化的稳定性,并简化了编码。已有研究表明,两边类型低密度奇偶校验码联合物理层网络编码的编码方案,即两边类型物理层网络编码的编码方案可以取得良好的性能。

[0004] 码率自适应技术是一种有效的编码方法,它可以根据信道条件来调节码字的码率,以提高无线通信系统的容量。最常用的码率自适应技术就是删余方法。删余方法是对母码的部分码字进行擦除,使其不经过信道,以提高码字的码率。删余方法目前已被广泛的应用在各种信道编码中,如卷积码、不规则RA码、LDPC码、准循环LDPC码、MET-LDPC码中。

[0005] 2019年论文《Construction of Rate-Compatible Physical Layer Network Coding in Two-way Relay Systems》(You Y,Xie Z,Chen P,et al.Construction of Rate-Compatible Physical Layer Network Coding in Two-Way Relay Systems[J].IEEE Access,2019,7:24420-24429.)提出了在理想高斯白噪声信道下,两边类型物理层网络编码的删余方法,即CLS删余方法。但是该高斯白噪声信道下的删余方法目前还无法适用于无线衰落信道。在无线衰落信道中,由于信道的变化导致接收信号的幅度发生随机变化的现象,即信号衰落,对码字的码率以及编码性能提出了更高的要求。目前,针对在无线衰落信道下,如何对两边类型物理层网络编码的进行删余,以提高码字的码率,获得较好的编码性能,现有技术还没有优秀的解决方案。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的之一在于克服以上缺点,提供一种衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法,针对衰落信道下将两边类型低密度奇偶校验码构造的物理层网络编码和删余方法相结合,构成性能优异的码率可自适应调节的两边类型物理层网络编码,码字性能增益明显。

[0007] 为了解决上述技术问题,本发明提供了一种衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤1、计算需要删余的码字长度NP,计算公式为:

$$[0009] \quad NP = \frac{K}{R_o} - \frac{K}{R_t} = \frac{K(R_t - R_o)}{R_t R_o},$$

[0010] 其中,K为码字的信息位长度, $R_t$ 为码字的目标码率; $R_o$ 为码字的原始码率,计算公式如下:

$$[0011] \quad R_o = \sum_d v_d - \sum_m \mu_m,$$

[0012] 其中,矢量d为与变量节点相连的不同种类边的度情况,矢量m为与校验节点相连的不同种类边的度情况, $\mu_m$ 表示度类型为m的校验节点个数与码长的比值, $v_d$ 表示度类型为d的变量节点个数与码长的比值;

[0013] 步骤2、计算源点A和源点B分别需要删余的码字长度;

[0014] 步骤3、计算待删余的码字长度 $L_o$ ,即码字的原始总长,计算公式为: $L_o = \frac{K}{R_o}$ ,其中,

K是码字的信息位长度, $R_o$ 为码字的原始码率;

[0015] 步骤4、设置中继R收到的信号初始值pRarray为:

[0016]  $pRarray[n] = \text{bpsk}(pYarrayA[n]) \times h1r + \text{bpsk}(pYarrayB[n]) \times h2r + \text{NoiseStdDev} \times \text{rand\_gaussian}()$ ,其中,n是大等于0且小于 $L_o$ 的一个整数,h1r为源点A衰落信道的衰落因子,h2r为源点B衰落信道的衰落因子,pYarrayA为源点A发给中继R的码字,pYarrayB为源点B发给中继R的码字,rand\_gaussian()为生成高斯随机噪声的函数,bpsk()为bpsk调制函数,其计算公式如下:

$$[0017] \quad \text{bpsk}(x) = \begin{cases} -1, & \text{若} x = 0 \text{时} \\ 1, & \text{若} x = 1 \text{时} \end{cases},$$

[0018] NoiseStdDev为噪声方差函数,其计算公式如下:

$$[0019] \quad \text{NoiseStdDev} = \sqrt{\frac{1 / (\exp((SNR/10) * \log(10.0)) * R_t)}{2}},$$
 其中,SNR为信噪比, $R_t$ 为码字

的目标码率;

[0020] 步骤5、对源点A的码字进行均衡随机删余操作;

[0021] 步骤6、对源点B的码字进行均衡随机删余操作。

[0022] 进一步地,所述“计算源点A和源点B分别需要删余的码字长度”,包括以下步骤:

[0023] 步骤21、设置删余源点A和源点B码字时需要满足的约束条件为:

[0024]  $NP = \frac{NP_A + NP_B}{2}$  且  $NP_A = NP_B$ ,其中,NP为需要删除的码字长度, $NP_A$ 为源点A需要删余

的码字长度, $NP_B$ 表示源点B需要删余的码字长度;

[0025] 步骤22、根据上述约束条件计算得到源点A和源点B分别需要删余的码字长度为:

$NP_A = NP_B = NP$ 。

[0026] 进一步地,所述“对源点A的码字进行均衡随机删余操作”,包括以下步骤:

[0027] 步骤51、初始化参数  $j_A=0$ ;

[0028] 步骤52、初始化所述源点A中删余码字标志位  $place_A$  的值  $place_A[j_A]=0$ ;

[0029] 步骤53、判断若  $j_A < L_0$ , 其中  $L_0$  为待删余的的码字长度, 则  $j_A = j_A + 1$ , 跳至步骤52继续执行, 否则跳至步骤54继续执行;

[0030] 步骤54、初始化删余码字计数器  $i_A=0$ , 并设置源点A中删余位置参数  $n_A=0$ ;

[0031] 步骤55、随机生成删余位置参数  $n_A$ , 计算公式为:  $n_A = \text{rand}() \% L_0$ , 其中  $\text{rand}()$  表示生成随机数的函数,  $\%$  表示求余运算;

[0032] 步骤56、判断如果  $place_A[n_A]=0$ , 则表示源点A中第  $n_A$  个码字未被删余, 则令  $place_A[n_A]=1$ , 并跳至步骤57继续执行; 否则表示源点A中第  $n_A$  个码字已经被删余, 则需跳至步骤55重新选择删余位置参数;

[0033] 步骤57、源点A中第  $n_A$  个码字删余后, 更新中继R接收到的第  $n_A$  个信号  $pRarray[n_A]$ , 计算公式为:

[0034]  $pRarray[n_A] = \text{bpsk}(pYarrayB[n_A]) \times h_{2r} + \text{NoiseStdDev} \times \text{rand\_gaussian}()$ ,

[0035] 其中,  $h_{2r}$  为源点B衰落信道的衰落因子,  $pYarrayB$  为源点B发给中继R的码字,  $\text{rand\_gaussian}()$  为生成高斯随机噪声的函数,  $\text{bpsk}()$  为bpsk调制函数, 其计算公式如下:

[0036] 
$$\text{bpsk}(x) = \begin{cases} -1, & \text{若 } x = 0 \text{ 时} \\ 1, & \text{若 } x = 1 \text{ 时} \end{cases}$$
,

[0037]  $\text{NoiseStdDev}$  为噪声方差函数, 其计算公式如下:

[0038] 
$$\text{NoiseStdDev} = \sqrt{\frac{1 / (\exp((\text{SNR} / 10) * \log(10.0)) * R_t)}{2}}$$
, 其中,  $\text{SNR}$  为信噪比,  $R_t$  为码字

的目标码率;

[0039] 步骤58、判断如果  $i_A < NP_A$ , 则  $i_A = i_A + 1$ , 并跳转至步骤55继续执行, 否则, 结束源点A码字的均衡随机删余操作。

[0040] 进一步地,所述“对源点B的码字进行均衡随机删余操作”,包括以下步骤:

[0041] 步骤61、初始化参数  $j_B=0$ ;

[0042] 步骤62、初始化源点B中删余码字标志位  $place_B$  的值  $place_B[j_B]=0$ ;

[0043] 步骤63、判断若  $j_B < L_0$ , 其中  $L_0$  为待删余的的码字长度, 则  $j_B = j_B + 1$ , 并跳至步骤62继续执行, 否则跳至步骤64继续执行;

[0044] 步骤64、初始化删余码字计数器  $i_B=0$ , 并设置源点B中删余位置参数  $n_B=0$ ;

[0045] 步骤65、随机生成删余位置参数  $n_B$ , 计算公式为:  $n_B = \text{rand}() \% L_0$ , 其中  $\text{rand}()$  表示生成随机数的函数;  $\%$  表示求余运算;

[0046] 步骤66、判断如果  $place_B[n_B]=0$ , 表示源点B中第  $n_B$  个码字未被删余, 则令  $place_B[n_B]=1$  并跳至步骤67继续执行; 否则如果  $place_B[n_B]=1$ , 表示源点B中第  $n_B$  个码字已经被删余, 则跳至步骤65重新生成删余位置参数  $n_B$ ;

[0047] 步骤67、判断如果  $place_A[n_B]=1$ , 则说明在相同位置  $n_B$  上, 源点A和源点B的码字都被删余, 则更新中继R接收到的第  $n_B$  个信号  $pRarray$  为  $pRarray[n_B]=0$ ; 否则, 更新中继R接收到的第  $n_B$  个信号  $pRarray[n_B]$  为:

[0048]  $pRarray[nB] = \text{bpsk}(pYarrayA[nB]) \times h1r + \text{NoiseStdDev} \times \text{rand\_gaussian}()$ , 其中,  $h1r$  表示源点A衰落信道的衰落因子,  $pYarrayA$  表示源点A发给中继R的码字,  $\text{rand\_gaussian}()$  表示生成高斯随机噪声的函数,  $\text{bpsk}()$  表示bpsk调制函数, 计算公式如下:

$$[0049] \quad \text{bpsk}(x) = \begin{cases} -1, & \text{若 } x = 0 \text{ 时} \\ 1, & \text{若 } x = 1 \text{ 时} \end{cases},$$

[0050]  $\text{NoiseStdDev}$  表示噪声方差, 其计算公式如下:

$$[0051] \quad \text{NoiseStdDev} = \sqrt{\frac{1 / (\exp((\text{SNR} / 10) * \log(10.0)) * R_t)}{2}}, \text{ 其中, SNR 为信噪比, } R_t \text{ 为码字}$$

的目标码率;

[0052] 步骤68、判断如果  $iB < NP_B$ , 则  $iB = iB + 1$ , 并跳转至步骤65继续执行, 否则, 结束源点B码字的均衡随机删余操作。

[0053] 与现有技术相比, 本发明技术方案的有益效果有:

[0054] 1、本发明从一个全新的视角来设计两边类型的物理层网络编码在衰落信道下的删余方案, 针对衰落信道下, 将两边类型低密度奇偶校验码构造的物理层网络编码和删余方法相结合, 构成性能优异的码率可自适应调节的两边类型物理层网络编码。

[0055] 2、本发明设计的两边类型物理层网络编码具有很好的性能优势, 与非均衡随机删余方法和CLS删余方法相比, 本发明所设计的码字性能增益明显。

## 附图说明

[0056] 图1是本发明一种衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法步骤流程图。

[0057] 图2是本发明对源点A的码字进行均衡随机删余操作步骤流程图。

[0058] 图3是本发明对源点B的码字进行均衡随机删余操作步骤流程图。

[0059] 图4是本发明衰落信道下的两边类型物理层网络编码系统模型。

[0060] 图5是在  $h1r = 1.0, h2r = 1.0$  时, 采用本发明均衡随机删余方法和采用非均衡随机删余方法的BER性能比较图。

[0061] 图6是在  $h1r = 1.2, h2r = 0.8$  时, 采用本发明均衡随机删余方法和采用非均衡随机删余方法的BER性能比较图。

[0062] 图7是在  $h1r = 1.4, h2r = 0.6$  时, 采用本发明均衡随机删余方法和采用非均衡随机删余方法的BER性能比较图。

[0063] 图8是在  $h1r = 1.5, h2r = 0.5$  时, 采用本发明均衡随机删余方法和采用非均衡随机删余方法的BER性能比较图。

[0064] 图9是在  $h1r = 1.2, h2r = 0.8$  时, 采用本发明均衡随机删余方法和采用CLS删余方法的BER性能比较图。

[0065] 图10是在  $R_t$  分别为 0.4、0.5、0.6, 且  $h1r = 1.2, h2r = 0.8$  时, 采用本发明均衡随机删余方法的BER性能比较图。

## 具体实施方式

[0066] 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、完整地描述,显然,所描述的实施例仅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作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0067] 如图1,是本发明一种衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法步骤流程图,包括以下步骤:

[0068] 步骤1、计算需要删余的码字长度NP,计算公式为:

$$[0069] \quad NP = \frac{K}{R_o} - \frac{K}{R_t} = \frac{K(R_t - R_o)}{R_t R_o},$$

[0070] 其中K为码字的信息位长度, $R_t$ 为码字的目标码率; $R_o$ 为码字的原始码率,计算公式如下:

$$[0071] \quad R_o = \sum_d v_d - \sum_m \mu_m,$$

[0072] 其中矢量d为与变量节点相连的不同种类边的度情况,矢量m为与校验节点相连的不同种类边的度情况, $\mu_m$ 表示度类型为m的校验结点个数与码长的比值。 $v_d$ 表示度类型为d的变量结点个数与码长的比值。

[0073] 步骤2、计算源点A和源点B分别需要删余的码字长度,包括以下步骤:

[0074] 步骤21、在衰落信道下的两边类型物理层网络编码系统模型中,要满足步骤1中所需要的删余的码字长度,则需要满足约束条件: $NP = \frac{NP_A + NP_B}{2}$ ,其中,NP为需要删除的码字长度, $NP_A$ 为源点A需要删余的码字长度, $NP_B$ 表示源点B需要删余的码字长度;另外,由于本发明采用了均衡删余的方式进行处理,因此,要求在源点A和源点B之间均衡分布所需要删除的码字长度,也就是源点A和源点B的删余数量是一致的,因此又有约束条件 $NP_A = NP_B$ 。

[0075] 步骤22、根据上述两个约束条件,可以计算得到源点A和源点B分别需要删余的码字长度为: $NP_A = NP_B = NP$ 。

[0075] 步骤22、根据上述两个约束条件,可以计算得到源点A和源点B分别需要删余的码字长度为: $NP_A = NP_B = NP$ 。

[0076] 步骤3、计算待删余的码字长度 $L_o$ ,计算公式为: $L_o = \frac{K}{R_o}$ ,其中K是码字信息位的长度, $R_o$ 为码字的原始码率。这里, $L_o$ 也可以表示为码字的原始总长。在本发明技术方案中,在源点A和源点B端都采用了两边类型的低密度奇偶校验码进行信道编码,码字的原始总长 $L_o$ 就是与 $T_2$ 类边相连的变量节点的长度。

[0077] 步骤4、当源点A和源点B的码字都未发生删除时,计算中继R收到的信号的初始值为pRarray,计算方式为:

[0077] 步骤4、当源点A和源点B的码字都未发生删除时,计算中继R收到的信号的初始值为pRarray,计算方式为:

[0078]  $pRarray[n] = \text{bpsk}(pYarrayA[n]) \times h1r + \text{bpsk}(pYarrayB[n]) \times h2r + \text{NoiseStdDev} \times \text{rand\_gaussian}()$ ,其中,n是大等于0且小于 $L_o$ 的一个整数,h1r为源点A衰落信道的衰落因子,h2r为源点B衰落信道的衰落因子,pYarrayA为源点A发给中继R的码字,pYarrayB为源点B发给中继R的码字,rand\_gaussian()为生成高斯随机噪声的函数,bpsk()为bpsk调制函数,其计算公式如下:

$$[0079] \quad \text{bpsk}(x) = \begin{cases} -1, & \text{若 } x = 0 \text{ 时} \\ 1, & \text{若 } x = 1 \text{ 时} \end{cases},$$

[0080] NoiseStdDev为噪声方差函数,其计算公式如下:

$$[0081] \quad \text{NoiseStdDev} = \sqrt{\frac{1 / (\exp((\text{SNR} / 10) * \log(10.0)) * R_t)}{2}}, \text{ 其中, SNR为信噪比, } R_t \text{ 为码字}$$

的目标码率。

[0082] 步骤5、对源点A的码字进行均衡随机删余操作;如图2,是本发明对源点A的码字进行均衡随机删余操作步骤流程图,包括以下步骤:

[0083] 步骤51、初始化参数jA=0;

[0084] 步骤52、初始化所述源点A中删余码字标志位placeA的值placeA[jA]=0;这里的placeA可以是一个数组,当placeA[jA]=0时,表示源点A中的第jA个码字未被删余;当placeA[jA]=1时,表示源点A中的第jA个码字被删余;

[0085] 步骤53、判断若jA<L<sub>0</sub>,其中L<sub>0</sub>为待删余的的码字长度,则jA=jA+1,跳至步骤52继续执行,否则跳至步骤54继续执行;步骤51至步骤53完成了placeA数组的初始化操作,将每个标志位都初始化为0;

[0086] 步骤54、初始化删余码字计数器iA=0,并设置源点A中删余位置参数nA=0;

[0087] 步骤55、随机生成删余位置参数nA,计算公式为:nA=rand()%L<sub>0</sub>,其中rand()表示生成随机数的函数,%表示求余运算;

[0088] 步骤56、判断如果placeA[nA]=0,则表示源点A中第nA个码字未被删余,则设置placeA[nA]=1,标识该码字已被删余,并跳至步骤57继续执行;否则表示源点A中第nA个码字已经被前面步骤删余过,则需跳至步骤55重新选择删余位置参数nA;

[0089] 步骤57、源点A中第nA个码字删余后,更新中继R接收到的第nA个信号pRarray[nA],计算公式为:

$$[0090] \quad pRarray[nA] = \text{bpsk}(pYarrayB[nA]) \times h_{2r} + \text{NoiseStdDev} \times \text{rand\_gaussian}(),$$

[0091] 其中,h<sub>2r</sub>为源点B衰落信道的衰落因子,pYarrayB为源点B发给中继R的码字,rand\_gaussian()为生成高斯随机噪声的函数,bpsk()为bpsk调制函数,其计算公式如下:

$$[0092] \quad \text{bpsk}(x) = \begin{cases} -1, & \text{若 } x = 0 \text{ 时} \\ 1, & \text{若 } x = 1 \text{ 时} \end{cases},$$

[0093] NoiseStdDev为噪声方差函数,其计算公式如下:

$$[0094] \quad \text{NoiseStdDev} = \sqrt{\frac{1 / (\exp((\text{SNR} / 10) * \log(10.0)) * R_t)}{2}}, \text{ 其中, SNR为信噪比, } R_t \text{ 为码字}$$

的目标码率;

[0095] 步骤58、判断如果iA<NP<sub>A</sub>,说明在源点A删余数量还未达到NP<sub>A</sub>个,则执行iA=iA+1,并跳转至步骤55继续执行,否则当iA等于NP<sub>A</sub>时,结束源点A码字的均衡随机删余操作,进入后续步骤。

[0096] 步骤6、对源点B的码字进行均衡随机删余操作。如图3,是本发明对源点B的码字进行均衡随机删余操作步骤流程图,包括以下步骤:

[0097] 步骤61、初始化参数  $j_B=0$ ;

[0098] 步骤62、初始化源点B中删余码字标志位  $place_B$  的值  $place_B[j_B]=0$ ; 同样的, 这里的  $place_B$  可以是一个数组, 如果  $place_B[j_B]=0$ , 就表示源点B中第  $j_B$  个码字未被删余; 否则, 就表示源点B中第  $j_B$  个码字已经被删余;

[0099] 步骤63、判断若  $j_B < L_0$ , 其中  $L_0$  为待删余的的码字长度, 则  $j_B = j_B + 1$ , 并跳至步骤62继续执行, 否则跳至步骤64继续执行; 步骤61至步骤63将  $place_B$  数组进行了初始化, 每个标志位都置位0;

[0100] 步骤64、初始化删余码字计数器  $i_B=0$ , 并设置源点B中删余位置参数  $n_B=0$ ;

[0101] 步骤65、随机生成删余位置参数  $n_B$ , 计算公式为:  $n_B = \text{rand}() \% L_0$ , 其中  $\text{rand}()$  表示生成随机数的函数,  $\%$  表示求余运算;

[0102] 步骤66、判断如果  $place_B[n_B]=0$ , 表示源点B中第  $n_B$  个码字还未被删余, 则设置  $place_B[n_B]=1$ , 将其标识为已经删余, 并跳至步骤67继续执行; 否则如果当前  $place_B[n_B]=1$ , 表示源点B中第  $n_B$  个码字已经被删余, 则跳至步骤65重新生成删余位置参数  $n_B$ ;

[0103] 步骤67、判断如果  $place_A[n_B]=1$ , 则说明在相同位置  $n_B$  上, 源点A和源点B的码字都被删余, 则更新中继R接收到的第  $n_B$  个信号  $pRarray$  为  $pRarray[n_B]=0$ ; 否则, 更新中继R接收到的第  $n_B$  个信号  $pRarray[n_B]$  为:

[0104]  $pRarray[n_B] = \text{bpsk}(pYarrayA[n_B]) \times h_{lr} + \text{NoiseStdDev} \times \text{rand\_gaussian}()$ , 其中  $h_{lr}$  表示源点A衰落信道的衰落因子,  $pYarrayA$  表示源点A发给中继R的码字,  $\text{rand\_gaussian}()$  表示生成高斯随机噪声的函数,  $\text{bpsk}()$  表示bpsk调制函数, 计算公式如下:

$$[0105] \quad \text{bpsk}(x) = \begin{cases} -1, & \text{若 } x = 0 \text{ 时} \\ 1, & \text{若 } x = 1 \text{ 时} \end{cases},$$

[0106]  $\text{NoiseStdDev}$  表示噪声方差, 其计算公式如下:

$$[0107] \quad \text{NoiseStdDev} = \sqrt{\frac{1 / (\exp((\text{SNR} / 10) * \log(10.0)) * R_t)}{2}}, \text{ 其中, SNR 为信噪比, } R_t \text{ 为码字}$$

的目标码率;

[0108] 步骤68、判断如果  $i_B < NP_B$ , 说明在源点A删余数量还未达到  $NP_B$  个, 则执行  $i_B = i_B + 1$ , 并跳转至步骤65继续执行, 否则, 结束源点B码字的均衡随机删余操作。

[0109] 为了便于理解, 如图4, 给出了本发明衰落信道下的两边类型物理层网络编码系统模型, 从图中可以看出源点A和源点B分别采用两边类型低密度奇偶校验码进行码字编码, 采用本申请所述的均衡随机删余方法进行处理后, 经过BPSK调制后分别通过衰弱信道发送给中继R, 实现源点A和源点B之间数据的通信交互。

[0110] 下面以一具体的实施例对本发明做进一步说明, 该实施例中源点A和源点B分别向中继R发送信息, 其信息编码采用的两边类型低密度奇偶校验码的参数表如下:

变量点			校验点	
$v_d$	$\mathbf{b}$	$\mathbf{d}$	$\mu_m$	$\mathbf{m}$
1/3	1 0	3 0	1	1 2
1	0 1	0 2		

[0112] 从上参数表可以看出,该两边类型低密度奇偶校验码包含两个变量节点和一个校验节点,其中,矢量 $\mathbf{d} := (d_1, d_2)$ 表示与变量节点相连的不同种类边的度情况,矢量 $\mathbf{d}$ 的取值个数表示该码字中具有的种类数,其中第一个值 $d_1$ 表示与变量节点相连的第一类边 $T_1$ 的度, $d_2$ 表示与变量节点相连的第二类边 $T_2$ 的度。由上述参数表可知,矢量 $\mathbf{d}$ 的取值个数2,因此这是一个两边类型的低密度奇偶校验码。矢量 $\mathbf{m} := (m_1, m_2)$ 表示与校验节点相连的不同种类边的度情况,矢量 $\mathbf{b} := (b_0, b_1)$ 表示该变量节点经过的信道,在上述参数表用 $\mathbf{b} = (1, 0)$ 表示经过该信道的变量点被删余了,用 $\mathbf{b} = (0, 1)$ 表示该码字有经过衰落信道。另外,参数表中的 $\mu_m$ 表示度类型为 $m$ 的校验节点个数与码长的比值, $v_d$ 表示度类型为 $d$ 的变量节点个数与码长的比值。

[0113] 采用本发明的衰落信道下两边类型物理层网络编码的均衡随机删余方法,包括以下步骤:

[0114] 步骤1、计算需要删余的码字长度。

[0115] 由上述参数表可知,码字的原始码率 $R_o$ 为:

$$\begin{aligned}
 R_o &= \sum_d v_d - \sum_m \mu_m \\
 [0116] \quad &= \left(\frac{1}{3} + 1\right) - 1, \\
 &= \frac{1}{3}
 \end{aligned}$$

[0117] 其中矢量 $\mathbf{d}$ 为与变量节点相连的不同种类边的度情况,矢量 $\mathbf{m}$ 为与校验节点相连的不同种类边的度情况, $\mu_m$ 表示度类型为 $m$ 的校验节点个数与码长的比值, $v_d$ 表示度类型为 $d$ 的变量节点个数与码长的比值。

[0118] 假设码字的信息位长度为 $K=512$ ,假设码字的目标码率为 $R_t=0.4$ ,要从原始码率 $R_o$ 到目标码率为 $R_t$ ,则需要删除的码字长度 $NP$ 为:

$$[0119] \quad NP = \frac{K}{R_o} - \frac{K}{R_t} = \frac{K(R_t - R_o)}{R_t R_o} = \frac{512 \left(0.4 - \frac{1}{3}\right)}{0.4 \times \frac{1}{3}} = 256。$$

[0120] 步骤2、计算源点A和源点B分别需要删余的码字长度。

[0121] 步骤21、设置删余源点A和源点B码字时需要满足如下约束条件:  $\frac{NP_A + NP_B}{2} = 256$ ,

同时,由于本发明的方法需要在源点A和源点B之间均衡分布所需要删除的码字长度,也就是源点A和源点B的删余数量是一致的,因此有:  $NP_A = NP_B$ ,其中, $NP_A$ 表示源点A需要删余的码字长度, $NP_B$ 表示源点B需要删余的码字长度。

[0122] 步骤22、根据上述约束条件,可以计算得到在源点A和源点B分别需要删余的码字长度为: $NP=NP_A=NP_B=256$ 。

[0123] 步骤3、计算待删余的码字长度 $L_0$ ,计算公式为: $L_0=\frac{512}{1/3}=1536$ ,这里, $L_0$ 也可以表示为码字的原始总长。在本发明技术方案中,在源点A和源点B端都采用了两边类型的低密度奇偶校验码进行信道编码,码字的原始总长 $L_0$ 就是与 $T_2$ 类边相连的变量节点的长度。

[0124] 步骤4、设置源点A和源点B中的码字未发生删除时,中继R收到的信号的初始值pRarray为:

[0125]  $pRarray[n]=bpsk(pYarrayA[n])\times h1r+bpsk(pYarrayB[n])\times h2r+NoiseStdDev\times rand\_gaussian()$ ,其中n是大等于0且小于1536之间的一个整数,h1r为源点A衰落信道的衰落因子,h2r为源点B衰落信道的衰落因子,

[0126] NoiseStdDev表示噪声方差,其计算公式如下:

[0127]  $NoiseStdDev=\sqrt{\frac{1/(\exp((SNR/10)*\log(10.0))*0.4)}{2}}$ ,其中,SNR表示信噪比;

pYarrayA表示源点A发给中继R的码字,pYarrayB表示源点B发给中继R的码字,rand\_gaussian()表示生成高斯随机噪声的函数,bpsk()表示bpsk调制函数,其具体公式如下:

[0128]  $bpsk(x)=\begin{cases} -1, & \text{若}x=0\text{时} \\ 1, & \text{若}x=1\text{时} \end{cases}$ 。

[0129] 步骤5、在源点A进行均衡随机删余操作,包括以下步骤:

[0130] 步骤51、设置参数jA=0;

[0131] 步骤52、初始化源点A中删余码字标志位placeA的值为:placeA[jA]=0,这里placeA[jA]=0表示源点A中的第jA个码字未被删余;

[0132] 步骤53、若jA<1536,则执行jA=jA+1,跳至步骤52继续执行;当jA=1536时表示placeA已经全部初始完成,则跳至步骤54继续执行;

[0133] 步骤54、设置删余码字计数器iA=0,设置源点A中删余位置参数nA=0;

[0134] 步骤55、随机生成删余位置参数nA:nA=rand()%1536,其中rand()表示生成随机数的函数;%表示求余运算;

[0135] 步骤56、判断如果placeA[nA]=0,则表示源点A中第nA个码字还未被删余,则设置placeA[nA]=1,并跳至步骤57继续执行;否则,说明源点A中第nA个码字已经被删余,跳至步骤55重新选择删余位置参数。

[0136] 步骤57、更新删余后中继R接收到的第nA个信号pRarray[nA]为:

[0137]  $pRarray[nA]=bpsk(pYarrayB[nA])\times h2r+NoiseStdDev\times rand\_gaussian()$ ,其中h2r表示源点B衰落信道的衰落因子,NoiseStdDev表示噪声方差,其计算公式如下:

$NoiseStdDev=\sqrt{\frac{1/(\exp((SNR/10)*\log(10.0))*0.4)}{2}}$ ,其中,SNR表示信噪比;pYarrayB表示

源点B发给中继R的码字,rand\_gaussian()表示生成高斯随机噪声的函数,bpsk()表示bpsk调制函数,其具体公式如下:

$$[0138] \quad \text{bpsk}(x) = \begin{cases} -1, & \text{若 } x = 0 \text{ 时} \\ 1, & \text{若 } x = 1 \text{ 时} \end{cases};$$

[0139] 步骤58、判断如果  $i_A < 256$ ，则执行  $i_A = i_A + 1$ ，并跳转至步骤55继续执行；否则，结束在源点A进行均衡随机删余操作，继续下一个步骤。

[0140] 步骤6、在源点B进行均衡随机删余操作，包括以下步骤：

[0141] 步骤61、初始化参数  $j_B = 0$ ；

[0142] 步骤62、初始化源点B中删余码字标志位  $\text{place}_B$  的值为： $\text{place}_B[j_B] = 0$ ；

[0143] 步骤63、判断若  $j_B < 1536$ ，则执行  $j_B = j_B + 1$ ，跳至步骤62继续执行；否则，表示  $\text{place}_B$  已经全部初始化完成，跳至步骤64继续执行；

[0144] 步骤64、初始化删余码字计数器  $i_B = 0$ ，并设置源点B码字的删余位置参数的  $n_B = 0$ ；

[0145] 步骤65、随机生成删余位置参数  $n_B$ ： $n_B = \text{rand}() \% 1536$ ，其中  $\text{rand}()$  表示生成随机数的函数； $\%$  表示求余运算；

[0146] 步骤66、判断如果  $\text{place}_B[n_B] = 0$ ，就表示源点B中第  $n_B$  个码字还未被删余，则设置  $\text{place}_B[n_B] = 1$ ；否则，如果  $\text{place}_B[n_B] = 1$ ，就表示源点B中第  $n_B$  个码字已经被删余，需跳至步骤65重新选择随机数；

[0147] 步骤67、判断若  $\text{place}_A[n_B] = 1$ ，则说明在相同位置  $n_B$  上，源点A和源点B的码字都被删余了，此时更新中继R接收到的第  $n_B$  个信号  $p_{Rarray}$  为： $p_{Rarray}[n_B] = 0$ ；否则，更新中继R接收到的第  $n_B$  个信号  $p_{Rarray}[n_B]$  为：

[0148]  $p_{Rarray}[n_B] = \text{bpsk}(p_{YarrayA}[n_B]) \times h_{1r} + \text{NoiseStdDev} \times \text{rand\_gaussian}()$ ，其中  $h_{1r}$  表示源点A衰落信道的衰落因子， $\text{NoiseStdDev}$  表示噪声方差，其计算公式如下：

$$\text{NoiseStdDev} = \sqrt{\frac{1 / (\exp((\text{SNR} / 10) * \log(10.0)) * 0.4)}{2}}, \text{ 其中, SNR 表示信噪比; } p_{YarrayA} \text{ 表示源}$$

点A发给中继R的码字， $\text{rand\_gaussian}()$  表示生成高斯随机噪声的函数， $\text{bpsk}()$  表示bpsk调制函数，其具体公式如下：

$$[0149] \quad \text{bpsk}(x) = \begin{cases} -1, & \text{若 } x = 0 \text{ 时} \\ 1, & \text{若 } x = 1 \text{ 时} \end{cases};$$

[0150] 步骤68、判断如果  $i_B < 256$ ，则执行  $i_B = i_B + 1$ ，并跳转至步骤65继续执行；否则，结束在源点B进行均衡随机删余操作。

[0151] 针对上述实施例，本申请采用了下表所示的四组不同的  $h_{1r}$  和  $h_{2r}$  的取值，来验证本发明方法设计码字的性能增益效果。

序号	$h_{1r}$ 和 $h_{2r}$ 取值情况
1	$h_{1r}=1.0, h_{2r}=1.0$
2	$h_{1r}=1.2, h_{2r}=0.8$
3	$h_{1r}=1.4, h_{2r}=0.6$

[0152]

[0153]

4  $h1r=1.5, h2r=0.5$ 

[0154] 如图5,给出了上述实施例在 $h1r=1.0, h2r=1.0$ 时,采用本发明均衡随机删余方法( $NP_A=NP_B=256$ )和采用非均衡随机删余方法( $NP_A \neq NP_B$ )的BER性能比较曲线图,其中, $K=512, R_t=0.4$ 。由图中可以看出,在衰落信道下的两边类型物理层网络编码系统模型中,在 $BER=10^{-6}$ 时,采用本发明设计的码字比非均衡随机删余方法设计的码字有明显的性能优势,最小性能增益大约有0.5dB,最大性能增益大约有3.8dB。

[0155] 如图6,给出了上述实施例在 $h1r=1.2, h2r=0.8$ 时,采用本发明均衡随机删余方法( $NP_A=NP_B=256$ )和采用非均衡随机删余方法( $NP_A \neq NP_B$ )的BER性能比较图,其中, $K=512, R_t=0.4$ 。由图中可以看出,在衰落信道下的两边类型物理层网络编码系统模型中,在 $BER=10^{-5}$ 时,采用本发明设计的码字比非均衡随机删余方法设计的码字有明显的性能优势,最小性能增益大约有1dB,最大性能增益大约有5dB。

[0156] 如图7,给出了上述实施例在 $h1r=1.4, h2r=0.6$ 时,采用本发明均衡随机删余方法( $NP_A=NP_B=256$ )和采用非均衡随机删余方法( $NP_A \neq NP_B$ )的BER性能比较图,其中, $K=512, R_t=0.4$ 。由图中可以看出,在衰落信道下的两边类型物理层网络编码系统模型中,在 $BER=10^{-4}$ 时,采用本发明设计的码字比非均衡随机删余方法设计的码字有明显的性能优势,最小性能增益大约有1dB,最大性能增益大于8dB。

[0157] 如图8,给出了上述实施例在 $h1r=1.5, h2r=0.5$ 时,采用本发明均衡随机删余方法( $NP_A=NP_B=256$ )和采用非均衡随机删余方法( $NP_A \neq NP_B$ )的BER性能比较图,其中, $K=512, R_t=0.4$ 。由图中可以看出,在衰落信道下的两边类型物理层网络编码系统模型中,在 $BER=10^{-4}$ 时,采用本发明设计的码字比非均衡随机删余方法设计的码字有明显的性能优势,最小性能增益大约有3dB,最大性能增益大于8dB。

[0158] 如图9,给出了在 $h1r=1.2, h2r=0.8$ 时,采用本发明均衡随机删余方法和采用CLS删余方法的BER性能比较图,其中, $K=512, R_t=0.4$ 。由图中可以看出,高斯信道性能优异的CLS删余算法并不完全适用于衰落信道。衰落信道下的两边类型物理层网络编码系统模型中,在 $BER=10^{-5}$ 时,将采用本发明设计的码字与采用高斯信道下性能优异的CLS删余方法所设计的码字进行比较,本发明所设计的码字有明显的性能优势,性能增益大约有5dB。

[0159] 如图10,给出了在 $R_t$ 分别为0.4、0.5、0.6,且 $h1r=1.2, h2r=0.8$ 时,采用本发明均衡随机删余方法( $NP_A=NP_B$ )的性能比较图,其中, $K=512$ 。由图中可以看出,本发明均衡随机删余方法在衰落信道下的两边类型物理层网络编码系统模型中,可以实现多码率之间的自适应调节。

[0160] 上述具体实施方式只是对本发明的技术方案进行详细解释,本发明并不只仅仅局限于上述实施例,凡是依据本发明原理的任何改进或替换,均应在本发明的保护范围之内。

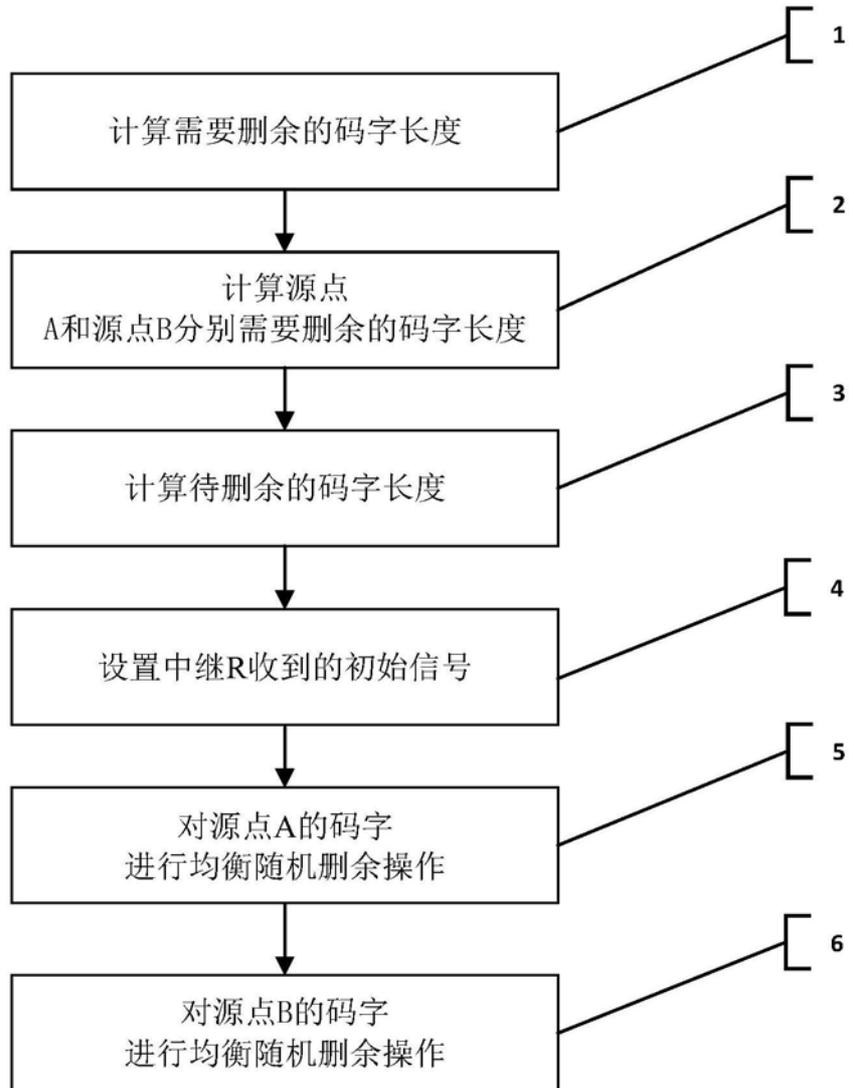


图1

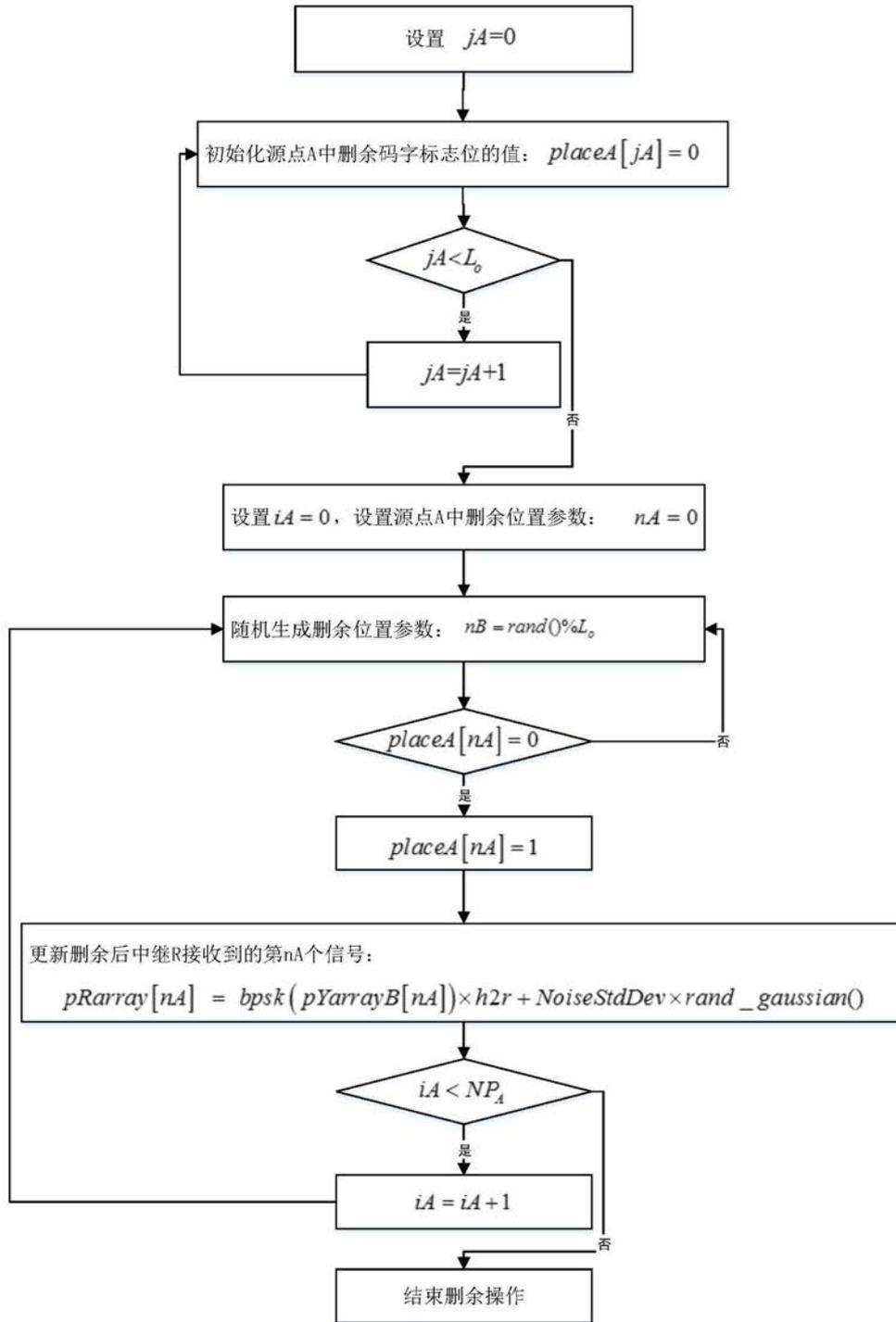


图2

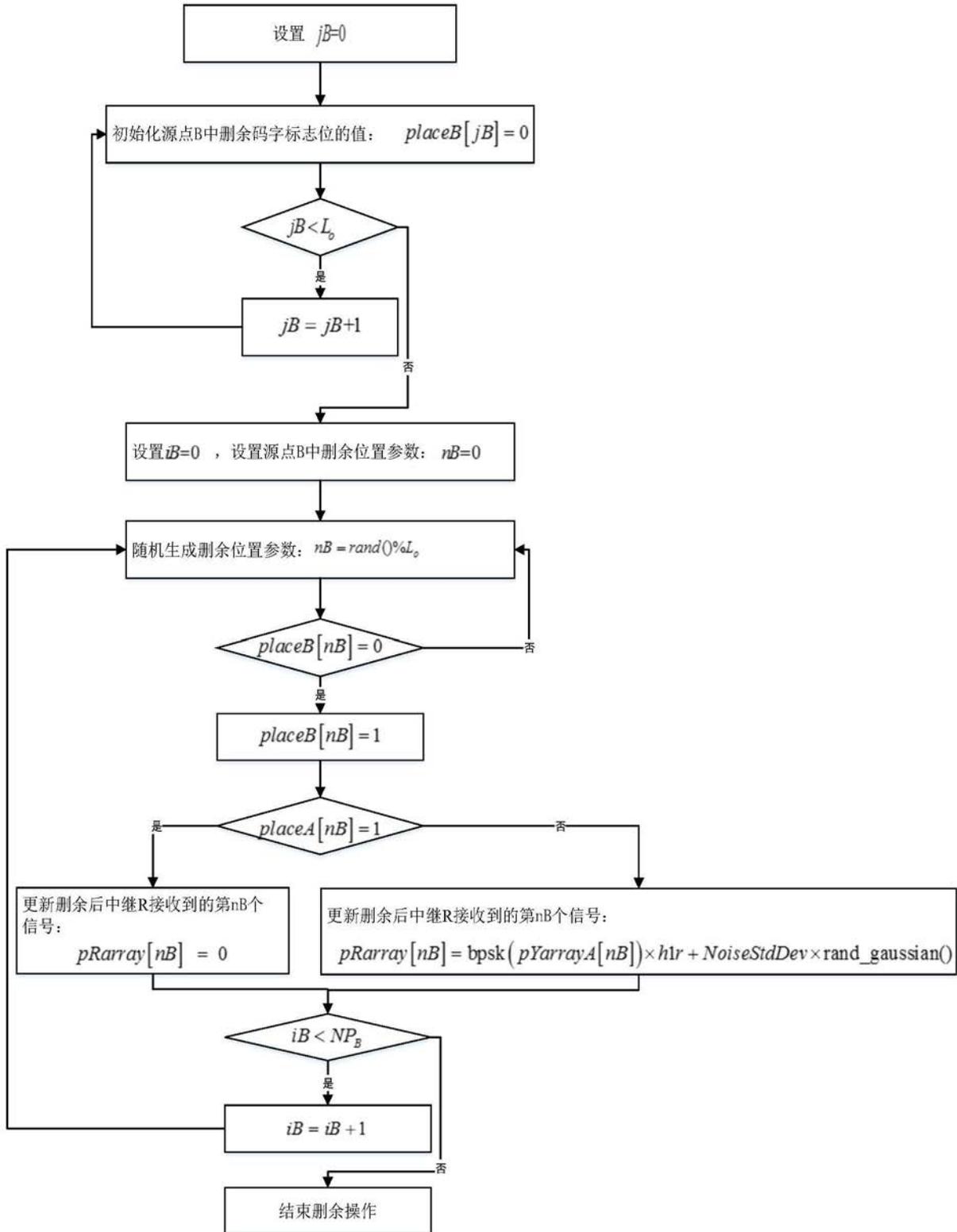


图3

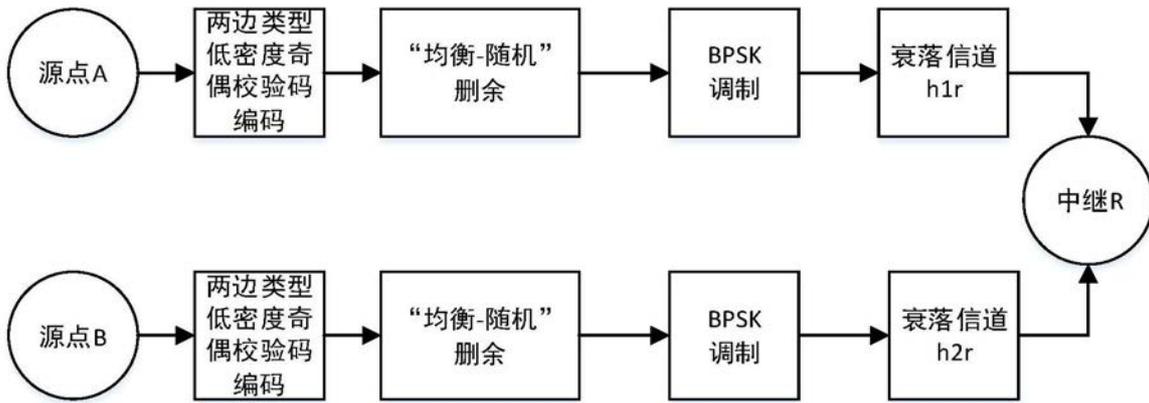


图4

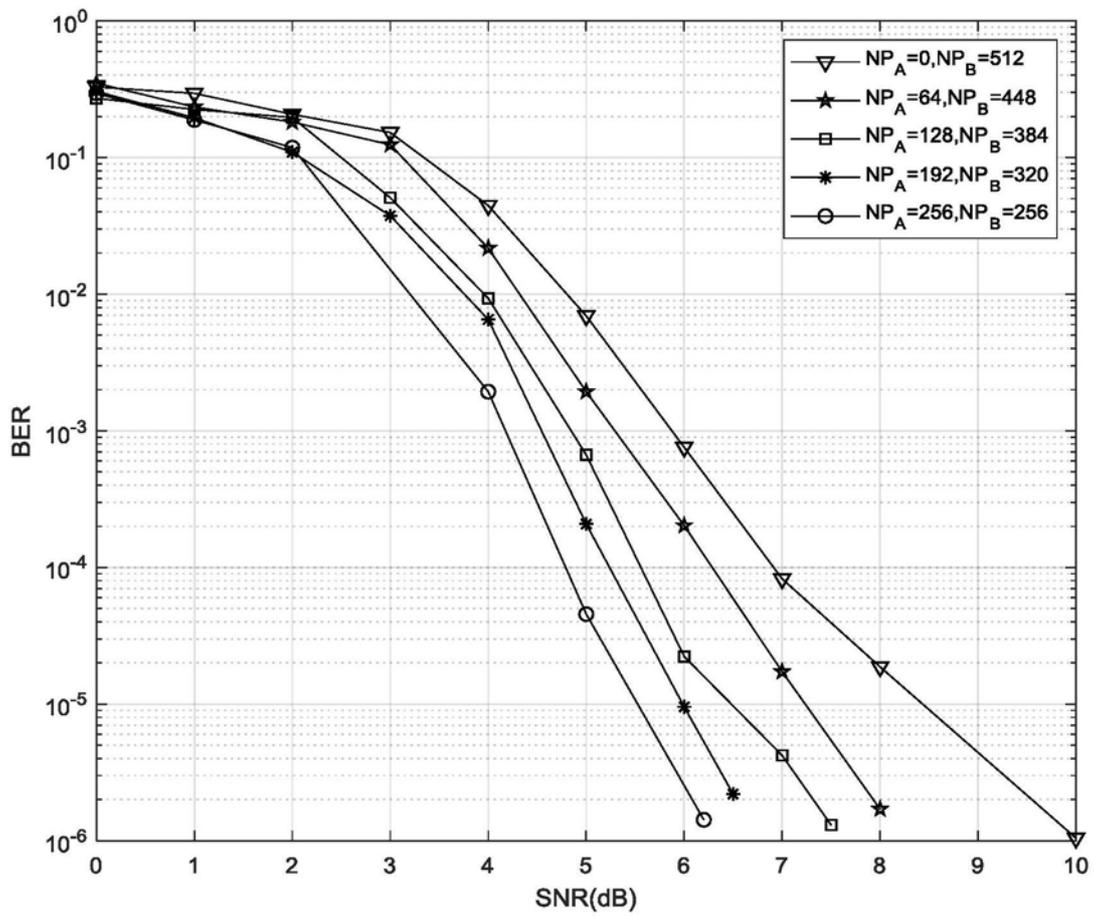


图5

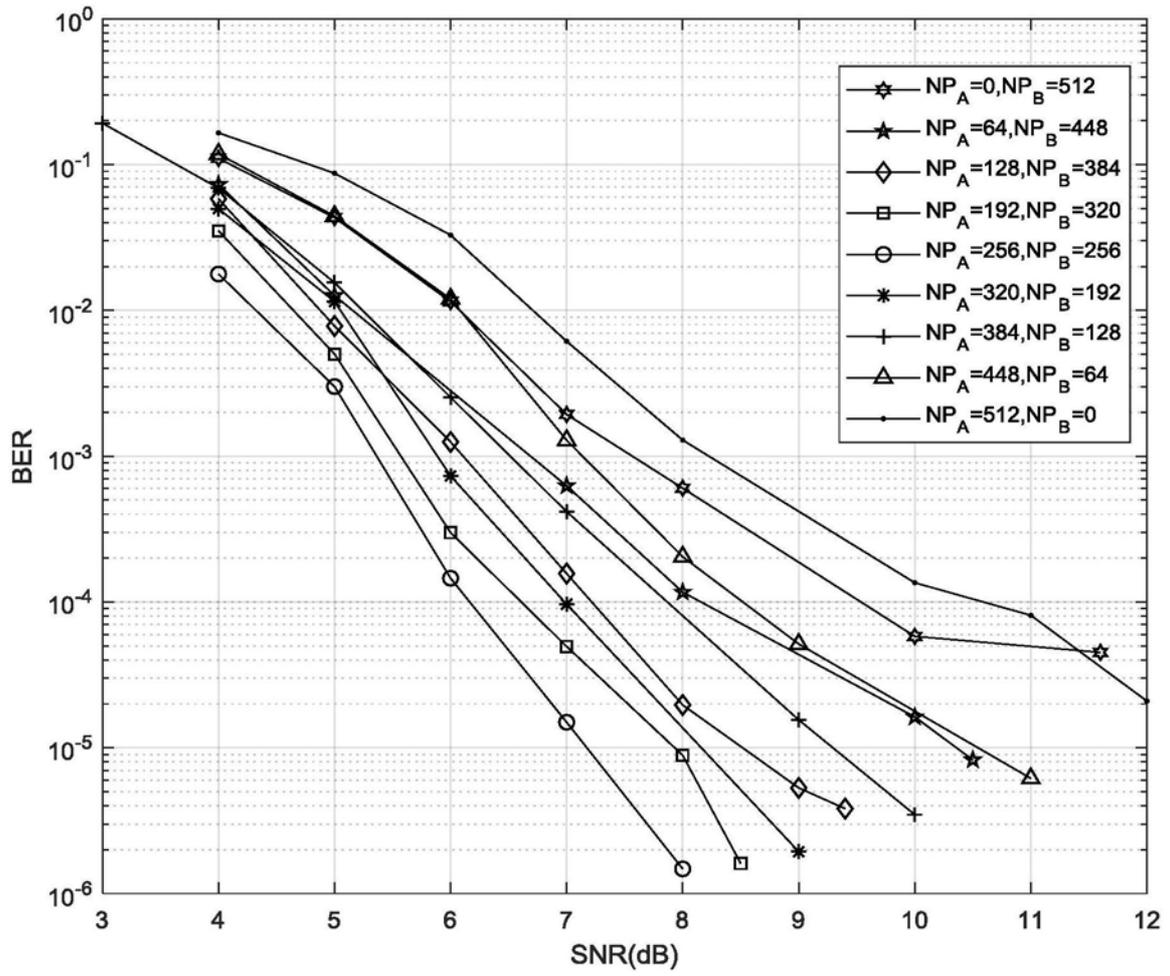


图6

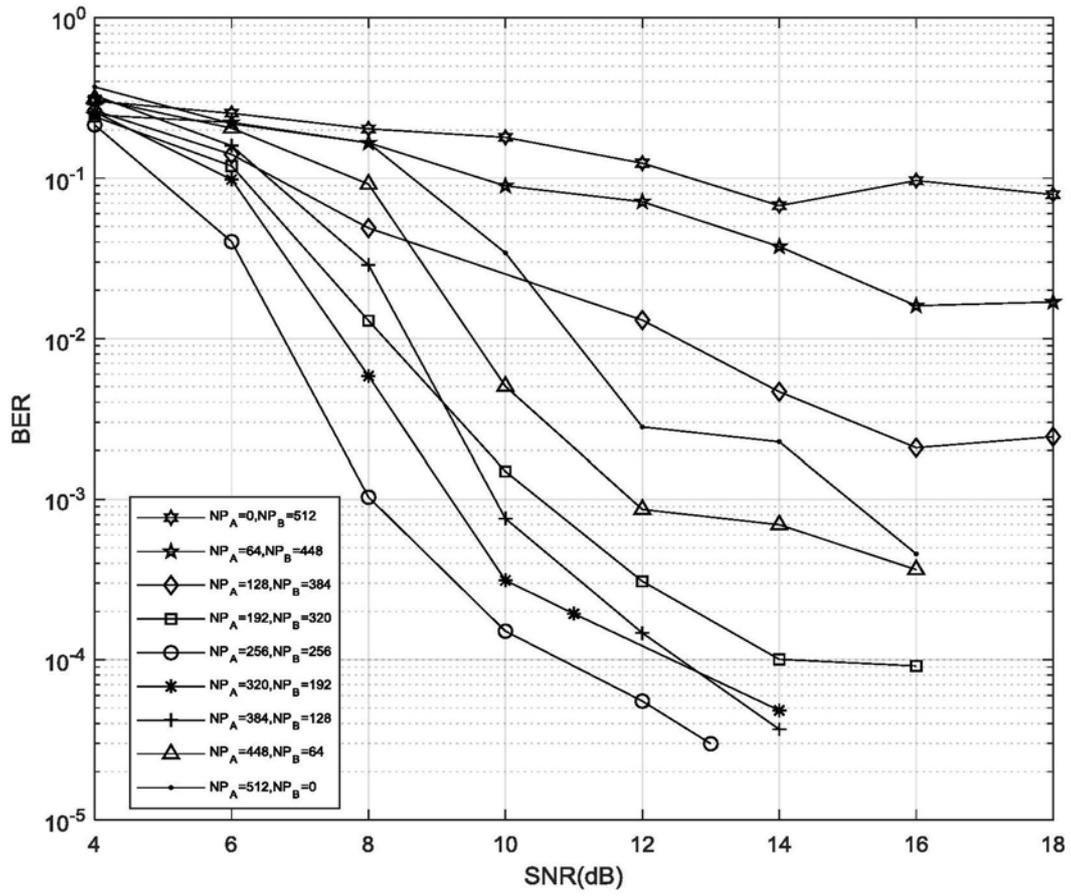


图7

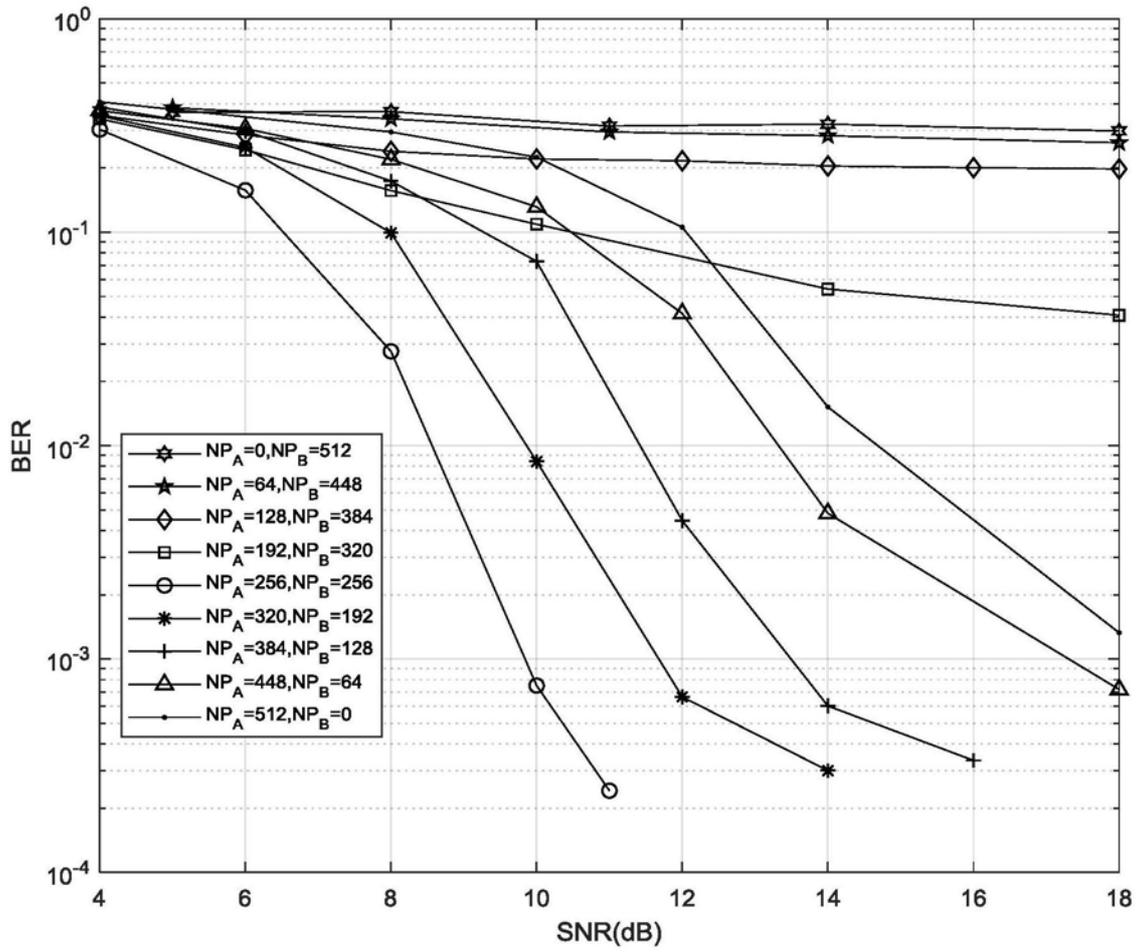


图8

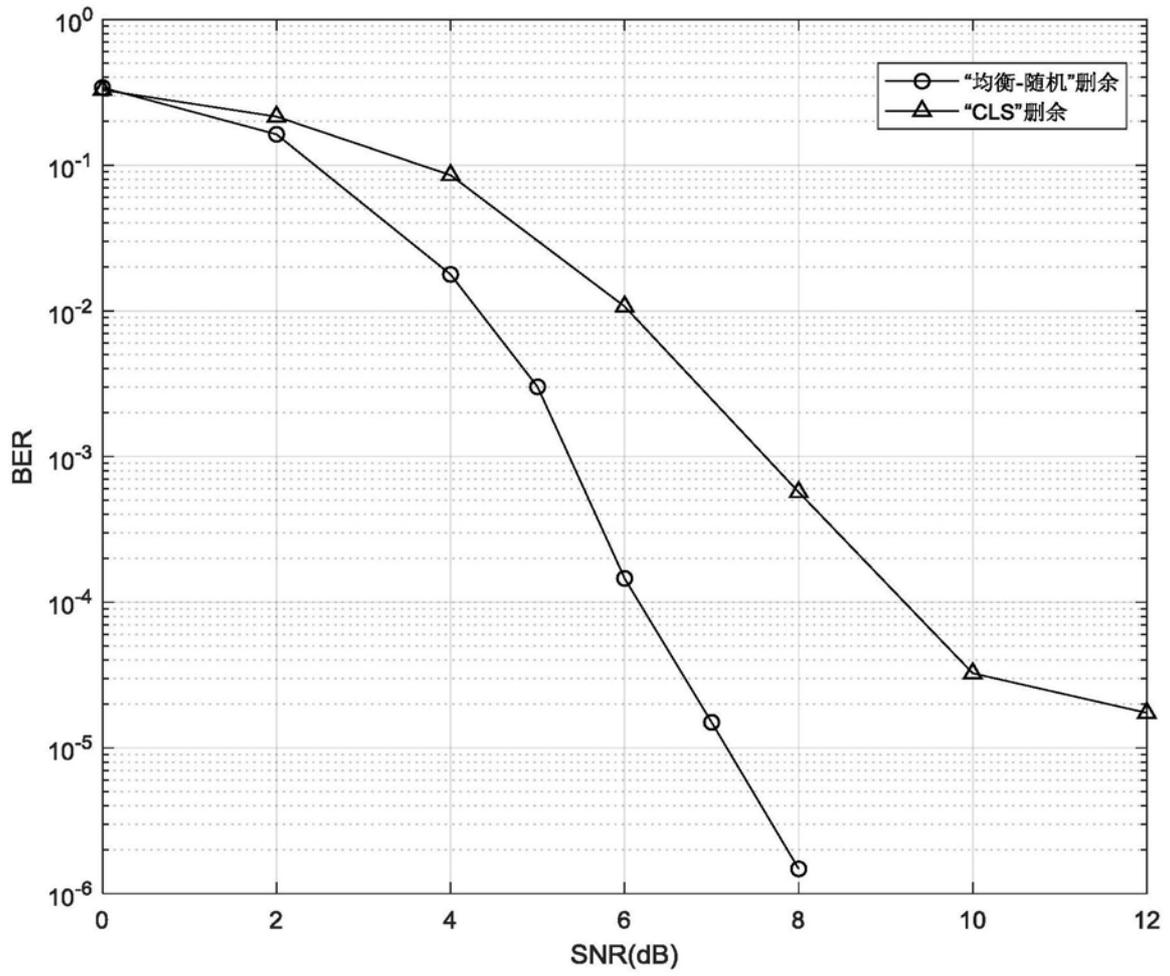


图9

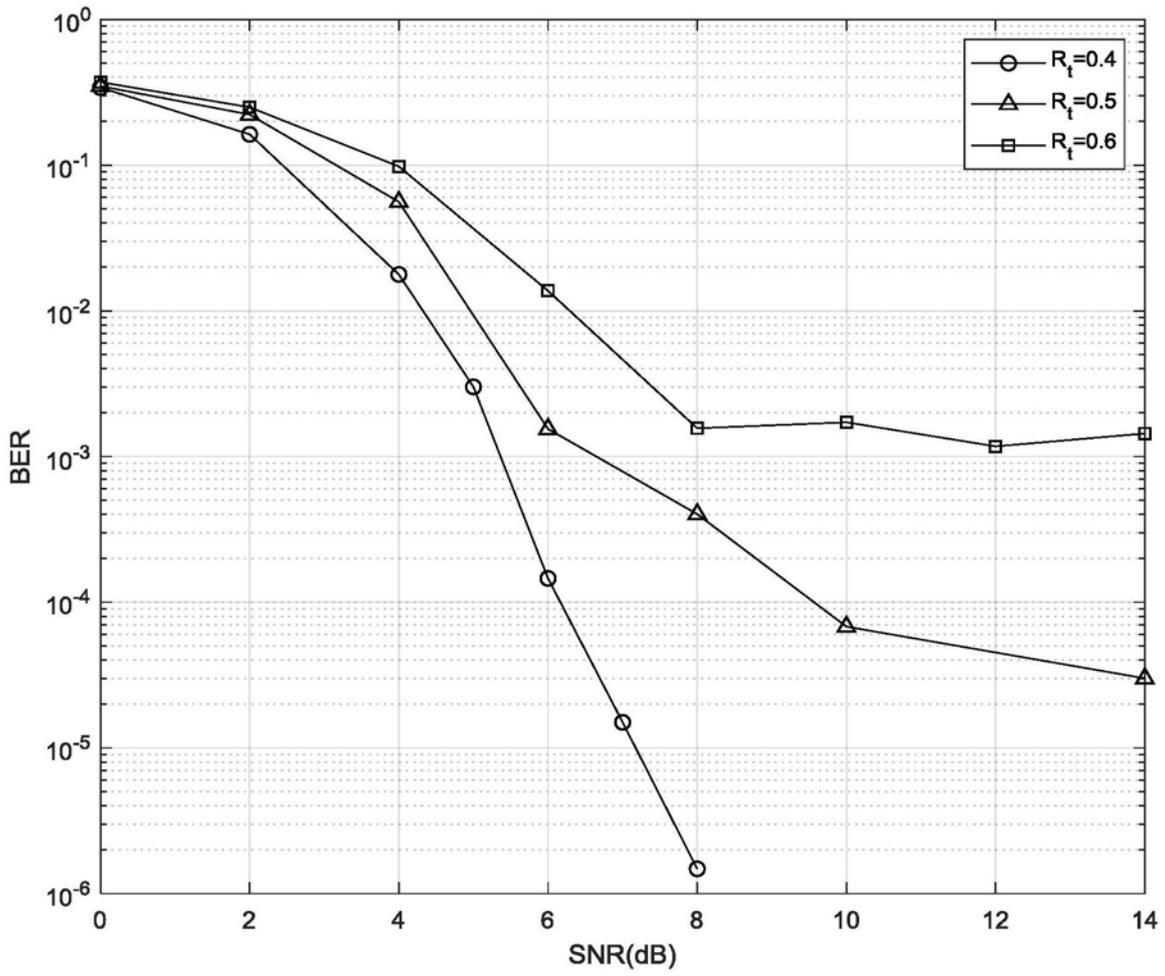


图10