

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101567761 B

(45) 授权公告日 2013. 01. 02

(21) 申请号 200910052487. 7

(22) 申请日 2009. 06. 04

(73) 专利权人 复旦大学

地址 200433 上海市邯郸路 220 号

(72) 发明人 周小林 方朝曦 胡蝶 单杭冠

(74) 专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司
31200

代理人 陆飞 盛志范

(51) Int. Cl.

H04L 1/02(2006. 01)

H04B 7/02(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101150515 A, 2008. 03. 26,

US 2007149117 A1, 2007. 06. 28,

CN 1640024 A, 2005. 07. 13,

Xiaolin Zhou et al.. Outage minimized
relay selection with partial channel
information. 《Acoustics, Speech and Signal

Processing, 2009. ICASSP 2009. IEEE

International Conference on》. 2009, 2617 -
2620.

Xiaolin Zhou et al.. On the Calculation
of OFDM Error Performance with Phase Noise
in AWGN and Fading Channels. 《Vehicular
Technology Conference, 2006. VTC
2006-Spring. IEEE 63rd》. 2006, 第 3 卷 1421 -
1425.

审查员 加玉

权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种基于网络编码协作中继的交织迭代多用户通信方法

(57) 摘要

本发明属于无线通信技术领域,具体为一种双时隙基于网络编码协作中继的交织迭代多用户通信方法。本发明采用无线中继系统模型,通信节点分为目标用户节点、干扰用户节点、中继节点和基站节点。中继节点具有基带处理模块,并对中继数据进行网络编码;此外,基站接收机利用双时隙网络编码交织迭代干扰消除改进算法进行多用户的信号检测。本发明方法可以为接收端基站提供空间分集增益,以及减少路径损耗,可实现比传统的多用户系统更高的传输可靠性;同时,可以减少中继传输的时间,提高系统容量。

1. 一种双时隙基于网络编码协作中继的交织迭代多用户通信方法,其特征在于采用无线中继系统模型,其中,通信节点分为目标用户节点、干扰用户节点、中继节点和基站节点;中继节点具有基带处理模块,并且具有不同的基带伪随机交织器,该伪随机交织器其交织图案采用对角交织、块交织或 Turbo 码内部交织设计方法;通过伪随机交织器产生不同的交织图案,分配给目标用户节点、干扰用户节点、中继节点和基站节点;基站节点利用双时隙基于网络编码的交织迭代干扰消除改进算法消除多用户信号间的互干扰,检测得到目标用户节点数据;整个中继通信流程分为两个时隙阶段,具体如下:

(1) 第一时隙发射处理

在第一时隙中,目标用户节点和干扰用户节点的媒体接入层对所要传输的数据都设定一定的发射功率,并将数据传递到物理层发射模块;在物理层发射模块中,数据将首先进行信道编码,再根据交织图案进行比特交织,然后进行符号星座调制,接着进行中频的数字滤波;再根据相应的功率发射因子,通过全向天线将数据发射出去;

(2) 第一时隙接收处理

在第一时隙中,中继节点的接收模块部分将进行迭代接收译码;处理流程为:中继节点的接收模块的射频模块接收无线信号,此接收信号包括干扰信号与有效信号;接收模块对接收信号进行相应的中频处理,根据所分配的交织图案,进行数据的迭代干扰消除处理;然后,符号解映射、信道译码,得到信号的对数似然值;而且,将译码所得数据输入到媒体接入层,进行校验和数据存储,以备下一时隙传输;

在第一时隙中,基站节点接收机也将得到信号能量较弱的多用户接收信号;此时,基站节点接收机存储这些信号;同时,等待中继节点传来的网络编码中继信号;

(3) 第二时隙发射处理

在第二时隙发射过程中,中继节点的媒体接入层将所存储的数据设定一定的发射功率,并将数据传递到物理层发射模块;再进行两个用户节点之间的网络编码,然后重复码编码、符号星座调制;然后数字中频处理,再根据中继发射功率将数据通过全向天线发射出去;

(4) 第二时隙接收处理

在第二时隙接收过程中,接收端基站节点的接收模块部分将进行迭代处理,处理流程为:基站节点的接收模块的射频模块接收信号,并对接收信号进行相应的中频处理;然后,根据所分配的交织图案,对数据进行利用双时隙基于网络编码的交织迭代干扰消除改进算法处理,其步骤为:

(1) 计算中继网络编码传输至基站的信号对数似然值:

$$L(b_{RD}(n)) = \frac{2R_{RD}(n)}{\sigma^2}, \quad (A-1)$$

(2) 计算基于网络编码用户获得的信号似然值:

$$L_{RD}(b_1(n)) = \log \frac{\exp(L(b_{RD}(n))) + \exp(L(b_2(n)))}{1 + \exp(L(b_{RD}(n)) + L(b_2(n)))}, \quad (A-2)$$

(3) 迭代初始化:

$$\text{设 } L_a(x_1(n)) = 0, \quad (A-3)$$

(4) 迭代流程：

$$E(x_1(n)) \leftarrow \tanh\left(\frac{L_a(x_1(n))}{2}\right), \quad (\text{A-4})$$

$$\text{Var}(x_1(n)) \leftarrow 1 - E(x_1(n))^2, \quad (\text{A-5})$$

$$E(\zeta_1(n)) \leftarrow \sum_{k \neq 1} E(x_k(n)), \quad (\text{A-6})$$

$$\text{Var}(\zeta_1(n)) \leftarrow \sum_{k \neq 1} |h_k|^2 \text{Var}(x_k(n)) + \sigma^2, \quad (\text{A-7})$$

$$L_a(x_1(n)) = \frac{2h_1(n)}{\text{Var}(\zeta_1(n))} (R_{SD}(n) - E(\zeta_1(n))), \quad (\text{A-8})$$

这里：

$$R_{SD}(n) = \sum_{k=1}^K h_k(n) x_k(n) + \sigma^2; \quad (\text{A-9})$$

然后, 将 $L_a(x_1(n))$ 解交织、解扩频, 再代入后验概率信道解码器, 进行译码, 得到对数似然值 $L_e(b_1(n))$;

(5) 网络编码对数似然值叠加：

$$\tilde{L}_e(b_1(n)) = L_{RD}(b_1(n)) + L_e(b_1(n)) \quad (\text{A-10})$$

再将结果扩频、交织得到 $L_a(x_1(n))$, 再带入 (A-2) 式进行下次迭代；

符号说明：

$R_{RD}(n)$: 中继节点到基站节点的接收信号, $R_{SD}(n)$: 源到基站节点的接收信号, $b_{RD}(n)$ 为中继网络编码信号, $b_1(n)$ 为目标用户节点 1 的数据, $b_2(n)$ 为目标用户节点 2 的数据, \tanh : 双曲正切函数, $E(x(n))$: 关于变量 $x(n)$ 的期望, $\text{Var}(x(n))$: 关于变量 $x(n)$ 的方差, $\zeta_1(n)$: 干扰信号, 相对于用户节点 1 而言, $E(\zeta_1(n))$: 干扰信号均值, $\text{Var}(\zeta_1(n))$: 干扰信号方差, $L_a(x_1(n))$: 目标用户节点 1 调制符号 $x_1(n)$ 的对数似然值, $L_e(b_1(n))$: 目标用户节点 1 数据译码后的对数似然值, $\tilde{L}_e(b_1(n))$: 中继节点接收更新后的目标用户节点 1 数据的对数似然值, $h_k(n)$: 第 k 个用户的信道衰落值, σ^2 : 噪声方差。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于所述无线中继系统模型中, 中继节点的基带处理模块由接收模块与发射模块元组成; 接收模块的射频模块接收无线信号, 并进行中频处理、物理层迭代干扰消除、符号解映射、信道译码判决, 且传送至媒体接入层进行存储; 中继节点发射模块将进行线性网络编码、信道编码、以及符号映射, 最后经由中频 / 射频处理单元发射至基站节点接收端。

一种基于网络编码协作中继的交织迭代多用户通信方法

技术领域

[0001] 本发明属于无线通信技术领域,具体涉及一种基于网络编码协作中继的交织迭代多用户通信方法。

背景技术

[0002] 在传统有线通信网络中,数据经过路由器传输时基本采用存储转发的机制。信息由源节点经过路由器节点,传送至目标节点。通常来说,网络的中间节点并不进行任何数据处理流程。

[0003] 随着多媒体业务的快速发展,大容量文件传输应用越来越广泛。增加网络吞吐量、降低传输误码率、减少网络能源消耗,是当今通信网络发展的重点,网络编码(network coding)理论由此产生。网络编码理论的中心思想是通过路由器对数据进行一定的处理,例如简单的异或线性编码,由此达到最大流最小割的理论上限。鉴于网络编码的这一优异特点,该技术越来越受到工业界以及学术界的关注。

[0004] 允许中间节点路由器对传输数据进行网络编码来增加系统容量、降低传输延时,这在有线通信网中已经得到了证实。网络编码在无线通信中的研究和应用还处于起步阶段。事实上,由于无线链路的广播特性,无线传输能够为网络编码的运用提供很好的应用场景。基于网络编码的设计能够解决传统多用户通信、网络路由、协议层设计中无法解决的一些技术问题,能够提高无线通信系统的整体性能。

[0005] 协作中继(Cooperative Relay)是一种全新的分集技术。随着无线多媒体业务的快速发展,用户对数据通信能力以及传输质量的要求越来越高。为了降低路径损耗、并实现满分集传输增益,人们提出了基于中继的协作通信方法。这种通信方法可分为放大转发非再生中继,以及译码转发再生中继等。协作中继的优点是能扩大覆盖范围、增加无线通信链路的容量、降低传输误码率。协作中继技术可用于后 3G/4G 蜂窝无线网络、无线城域网、无线局域网及无线传感器网等多种系统中。近年来,国际众多厂商以及研发机构正在加紧研制新型的协作中继通信设备,并制定相应的技术规范。力图借助新一代中继站的开发,以降低通信网络布建成本,增加数据传输的可靠性,并提升网络覆盖能力以及营运效益。

[0006] 上行多用户通信属于多点对点的通信模式。在多用户通信情况下,将遇到许多单用户点对点通信中没有的新问题,特别是多用户信号相互干扰、相互叠加等情况。传统多用户通信的解决方案通常有三种:时分多址(TDMA, Time Division Multiple Access)方式、频分多址(FDMA, Frequency Division Multiple Access)方式和码分多址(CDMA, Code Division Multiple Access)。时分多址中继方式,就是将时间分为连续的传输时隙,并分配给多个用户,以此实现多个用户之间数据传送的无相互碰撞干扰问题。该方法的系统控制信息简单成熟,但是其对系统时间同步要求较高。频分多址方式,就是通过将整个频谱分为相互独立的频带,分配到多个用户,达到避免互干扰的目的。该方法对时间同步的管理要求宽松,但是对射频滤波器的设计要求严格。从信息论系统容量的角度来说,此时分多址与频分多址两种方式是等效的。码分多址则是给每个用户分配不同的正交码来实现多用户

通信。迭代检测是信息领域的一项基础理论分支,多年来得到了相当的发展与应用,如法国不列颠大学的 C. Berrou 教授提出了 Turbo Code 信道编译码,澳洲悉尼大学 M. Sandell 和 R. Yan 等学者研究的 Turbo 信道均衡,香港城市大学 Li Ping 教授提出的交织分多址多用户检测技术,等等。近年来,在很多新兴通信技术领域(如协作中继通信)中,如何进一步发展 Turbo 迭代检测技术正是众多科研机构努力的方向。

[0007] 现在的多用户通信多侧重在 TDMA、FDMA、CDMA 通信系统中。对于基于中继协作的交织迭代多用户通信系统的设计则刚刚开始。

发明内容

[0008] 本发明目的在于面向多用户系统,提出一种具有可降低传输误码率、提高传输速率、拓展覆盖范围的基于网络编码中继协作的交织迭代多用户通信方法。

[0009] 本发明提出的基于网络编码中继协作的交织迭代多用户通信方法,包括采用线性网络编码的中继传输方法,以及接收端的双时隙网络编码交织迭代检测通信方法。双时隙协作中继的网络编码交织迭代通信方法在过去的研究工作中,还未出现过。实验证明该方法能够提供给系统空间分集效果,可以增强系统的吞吐量,并且降低中继传输时间。

[0010] 本发明的基于网络编码中继协作的交织迭代多用户通信方法的系统模型如图 1 所示。在此系统模型中,有目标用户源节点、干扰用户源节点、中继节点和基站。中继节点具有基带处理模块,因而可实现基带信号译码处理。中继节点配备有不同基带伪随机交织器,其交织图案设计可采用对角交织、块交织等方法,也可选用第三代移动通信协议中的 Turbo 码内部交织器设计方法。

[0011] 基于网络编码中继协作的交织迭代多用户通信方法的工作机理,是通过伪随机交织器产生不同的交织图案,分配至各个用户。中继节点利用交织迭代干扰消除技术进行多用户信号间的互干扰消除,然后通过线性网络编码进行转发。在接收端,基站利用双时隙网络编码交织迭代技术检测出目标用户信号。本发明设计的整个中继通信流程分为两个时隙阶段进行,方案参见图 1。

[0012] (1) 第一时隙多用户进行上行广播传输

[0013] 在第一个时隙中,所有用户进行上行广播通信。具体为:在第 1 中继阶段,目标用户、干扰用户的数据经过交织器交织,进行数据广播传播,将被中继节点和基站接收,如图 1 所示。中继节点和基站接收机接收到了目标用户的有效信号和其他干扰用户的干扰信号。然后,中继节点接收单元将进行迭代干扰消除与译码等基带信号处理。

[0014] 中继节点的基带处理模块如图 2 所示。该模块由接收处理单元与发射处理单元组成。接收处理单元的射频模块接收无线信号,并进行中频处理、物理层迭代干扰消除、符号解映射、译码判决,且传送至媒体接入层进行存储;

[0015] (2) 第二时隙中继节点传输数据,基站进行多用户数据检测

[0016] 在第二时隙传输中,中继节点发射单元将媒体接入层所存储的数据进行线性网络编码、信道编码、以及符号映射,最后经由中频/射频处理单元发射至基站接收端。在接收端,基站将综合两个时隙收到的信号,利用双时隙网络编码迭代干扰抵消方法进行目标用户数据检测。相应的网络编码中继交织迭代干扰改进消除算法见附录 1。

[0017] 本发明优点

[0018] (1) 通过基于中继节点的网络编码信号转发,能够为接收端基站降低路径损耗。由此,将使基站在低接收信噪比条件下,减少传输误码率。

[0019] (2) 第二时刻的中继节点转发的线性网络编码信号,能够为接收端基站提供空间分集增益。由此,将显著提高系统的传输准确性。

附图说明

[0020] 图 1 为无线协作中继网络系统。

[0021] 图 2 为中继节点的信号处理流程框图。

[0022] 图 3 为基于网络编码中继的交织迭代多用户基站接收机装置设计框图。

[0023] 图 4 为本发明系统仿真分析结论一。

[0024] 图 5 为本发明系统仿真分析结论二。

具体实施方式

[0025] 对本发明提出的基于网络编码中继的交织迭代多用户基站接收通信方法,其具体实施步骤如下:

[0026] 1、数据为服从高斯分布的随机数据。

[0027] 2、产生一组伪随机交织图案,并分配到各个用户交织器中。同时,中继节点和基站接收机也存储这组交织图案。

[0028] 3、系统分两个时隙进行工作:

[0029] (1) 第一时隙发射处理

[0030] 在第一时隙中,目标用户和干扰用户的媒体接入层对所要传输的数据都设定一定的发射功率,并将数据传递到物理层发射模块;在物理层发射模块中,数据将首先进行信道编码(如:重复码编码),再根据交织图案进行比特交织,然后进行符号星座调制,接着进行中频的数字滤波;再根据相应的功率发射因子,通过全向天线将数据发射出去;

[0031] (2) 第一时隙接收处理

[0032] 在第一工作时隙中,中继节点的接收模块部分将进行迭代接收译码。处理流程为:接收机的射频模块接收无线信号,此接收信号包括干扰信号与有效信号;接收模块对接收信号进行相应的中频处理,根据所分配的交织图案,进行数据的迭代干扰消除处理。然后,符号解映射、信道译码,得到信号的对数似然值。而且,将译码所得数据输入到媒体接入层,进行校验和数据存储,以备下一时隙传输;

[0033] 在第一工作时隙中,基站接收机也将得到信号能量较弱的多用户接收信号。此时,基站接收机存储这些信号。同时,等待中继节点传来的网络编码中继信号。

[0034] (3) 第二时隙发射处理

[0035] 在第二时隙发射过程中,中继节点的媒体接入层将所存储的数据设定一定的发射功率,并将数据传递到物理层发射模块;再进行两个用户之间的网络编码,然后重复码编码、符号星座调制;然后数字中频处理,再根据中继发射功率将数据通过全向天线发射出去;

[0036] (4) 第二时隙接收处理

[0037] 在第二时隙接收过程中,接收端基站的接收模块部分将进行迭代处理,处理流程

为：接收机的射频模块接收信号，并对接收信号进行相应的中频处理；然后，根据所分配的交织图案进行数据的基于网络编码的迭代干扰消除处理，参见图 3。具体算法见后。

[0038] 图 4、图 5 为最后的仿真结果，其中：

[0039] 图 4 表明，与传统多用户交织迭代通信方法相比，本发明提出的双时隙基于网络编码协作中继的交织迭代多用户通信方法能够显著降低误码率。例如：以 2 个目标用户为例，四次迭代，1/4 码率重复码为例：当误码率为 2×10^{-4} 为例，本发明方法可以供 2.5dB 的接收信噪比性能增益。

[0040] 图 5 表明，在迭代次数减少以后，本发明提出的基于网络编码协作中继的多用户通信方法仍然能够显著降低误码率，并获得更高的接收信噪比性能增益。例如：以 2 个目标用户为例，二次迭代，1/4 码率重复码为例：当误码率为 2×10^{-3} 为例，本发明方法可以供 3.6dB 的接收信噪比性能增益。

[0041] 本发明中，系统中双时隙基于网络编码中继的交织迭代干扰消除改进算法如下：

[0042] (1) 计算中继网络编码传输至基站的信号对数似然值：

[0043]

$$L(b_{RD}(n)) = \frac{2R_{RD}(n)}{\sigma^2}, \quad (A-1)$$

[0044] (2) 计算目标用户获得的基于网络编码中继信号对数似然值：

[0045]

$$L_{RD}(b_1(n)) = \log \frac{\exp(L(b_{RD}(n))) + \exp(L(b_2(n)))}{1 + \exp(L(b_{RD}(n)) + L(b_2(n)))}, \quad (A-2)$$

[0046] (3) 迭代初始化：

[0047] 设 $L_a(x_1(n)) = 0$, (A-3)

[0048] (4) 迭代流程：

$$E(x_1(n)) \leftarrow \tanh \left(\frac{L_a(x_1(n))}{2} \right), \quad (A-4)$$

$$Var(x_1(n)) \leftarrow 1 - E(x_1(n))^2, \quad (A-5)$$

$$E(\zeta_1(n)) \leftarrow \sum_{k=1}^K E(x_k(n)), \quad (A-6)$$

$$Var(\zeta_1(n)) \leftarrow \sum_{k=1}^K |h_k|^2 Var(x_k(n)) + \sigma^2, \quad (A-7)$$

$$L_a(x_1(n)) = \frac{2h_1(n)}{Var(\zeta_1(n))} (R_{RD}(n) - E(\zeta_1(n))), \quad (A-8)$$

[0054] 这里：

$$R_{SD}(n) = \sum_{k=1}^K h_k(n)x_k(n) + \sigma^2. \quad (A-9)$$

[0056] 然后，将 $L_a(x_1(n))$ 解交织、解扩频，再代入后验概率 (APP: A Posteriori Probability) 信道解码器，进行译码，得到对数似然值 $L_e(b_1(n))$ 。

[0057] (5) 网络编码对数似然值叠加

$$\tilde{L}_e(b_1(n)) = L_{RD}(b_1(n)) + L_e(b_1(n)) \quad (A-10)$$

[0059] 再将结果扩频、交织得到 $L_a(x_1(n))$ ，再带入 (A-2) 式进行下次迭代。

[0060] 符号说明：

[0061] $R_{RD}(n)$ ：中继节点到基站的接收信号， $R_{SD}(n)$ ：源到基站的接收信号， $b_{RD}(n)$ 为中继网络编码信号， $b_1(n)$ 为目标用户 1 的数据， $b_2(n)$ 为目标用户 2 的数据， $\tanh(\)$ ：双曲正切函数， $E(x(n))$ ：关于变量 $x(n)$ 的期望， $\text{Var}(x(n))$ ：关于变量 $x(n)$ 的方差， $\zeta_1(n)$ ：干扰信号，相对于用户 1 而言，用户编号变化，其相应的下标也变化不同， $E(\zeta_1(n))$ ：干扰信号均值， $\text{Var}(\zeta_1(n))$ ：干扰信号方差， $L_a(x_1(n))$ ：用户 1 调制符号 $x_1(n)$ 的对数似然值， $L_e(b_1(n))$ ：目标用户 1 数据译码后的对数似然值， $\tilde{L}_e(b_1(n))$ ：中继接收更新后的目标用户 1 数据的对数似然值， $h_k(n)$ ：第 k 个用户的信道衰落值， σ^2 ：噪声方差。

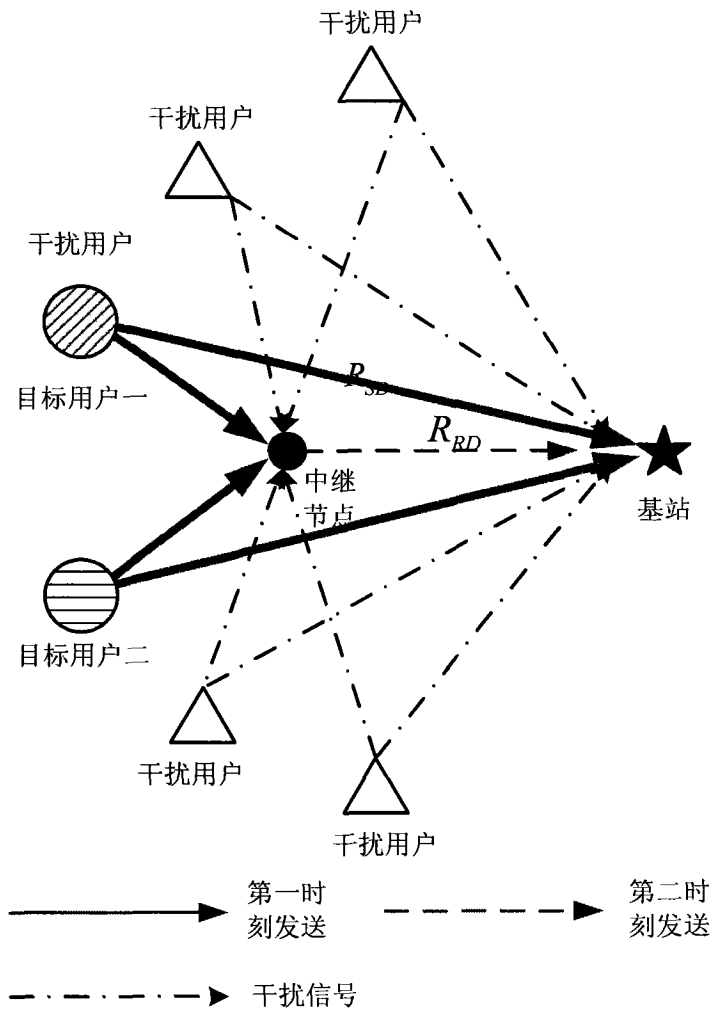


图 1

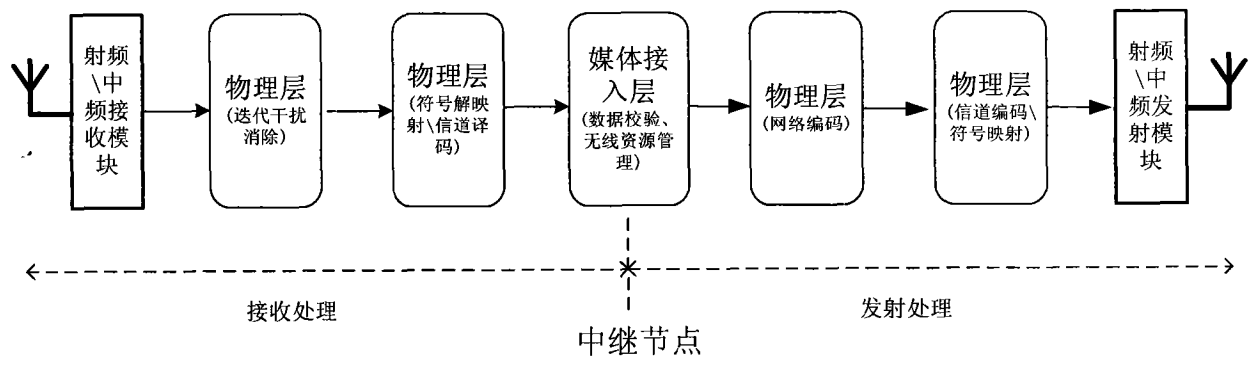


图 2

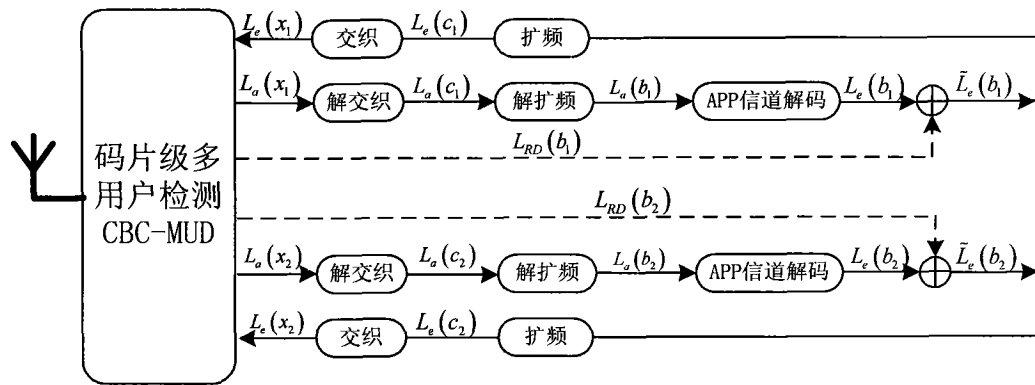
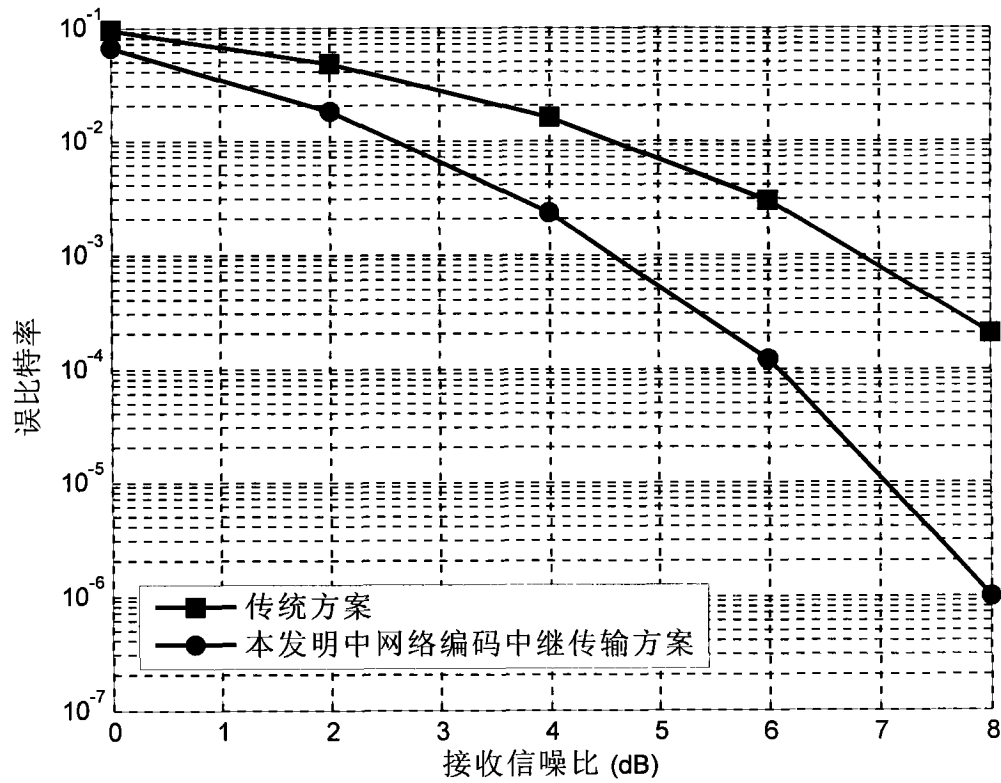
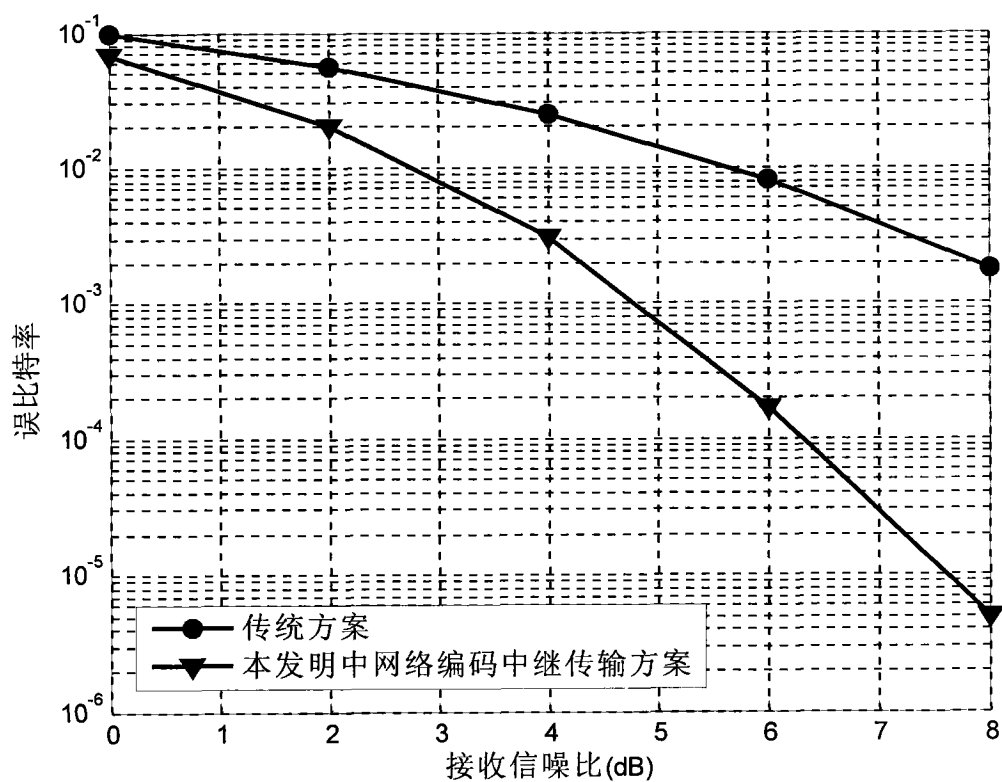


图 3



仿真参数：4 次迭代，1/4 重复码码率

图 4



仿真参数: 2 次迭代, 1/2 重复码码率

图 5