

协作分集 OFDM 系统的混合排序子载波配对算法^①

沈振惠^② 王晓湘 张建华*

(北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室 北京 100876)

(* 中船工业集团船舶系统工程部 北京 100036)

摘 要 考虑到信源子载波和中继子载波的配对能在频率选择信道环境下提高协作分集系统的性能,对协作分集正交频分复用(OFDM)系统的子载波配对进行了研究,推导了 2 种特殊情况下的最佳子载波配对方法,即顺序配对和逆序配对,在此基础上,提出了一种基于混合排序的子载波配对算法。该算法根据信源-中继链路、信源-目标链路和中继-目标链路上的每个子载波的信噪比状态,自适应地选择顺序配对或逆序配对。仿真结果表明,提出的混合排序子载波配对算法能显著提高系统的平均可取得速率,性能明显优于顺序配对和逆序配对。

关键词 协作分集,子载波配对,混合排序配对,平均可取得速率

0 引 言

多径衰落是影响无线通信系统性能的主要因素,分集技术可以有效对抗衰落。在多用户无线网络中,用户间相互协作是一种新型的空间分集方式。在协作通信系统中,为用户分配 1 个或多个中继,中继接收并处理信源的传输数据,然后以一定方式重传,这样目标节点将收到信源信息的 2 个独立数据块,形成空间分集,从而改善系统性能^[1,2]。两种最基本的协作分集模式是放大转发^[3](amplify-and-forward, AF)和解码转发^[1,2,4](decode-and-forward, DF)。在 AF 模式中,中继放大接收到的信源信号,然后将信号转发到目标节点;在 DF 模式中,中继首先对接收到的信源的信号进行译码,然后以相同的方式重新编码后转发出去。为了避免 DF 模式中的误码传播问题,Laneman 等人^[5]提出一种自适应的选择中继(selective relaying, SR)模式,当中继正确译码时协作,否则转为非协作模式。在选择 DF(selective DF, SDF)模式中,中继在译码正确的情况下重传信源的数据,否则,信源重传自己的数据。

另外,为了满足高速数据传输业务的需要,宽带无线通信系统被广泛应用。在宽带无线通信系统中,信道衰落通常具有频率选择性,正交频分复用(orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM)调制

可以减轻频率选择信道的影响。然而,将多用户协作技术引进 OFDM 系统,信源和中继之间的子载波配对会对系统性能产生重要影响,因而显得尤为重要和具有挑战性。目前,对协作通信系统子载波配对的研究还很少。文献[6-8]研究了传统中继 OFDM 系统的子载波配对,提出基于排序的子载波配对方法。对于具有空间分集的协作系统的子载波配对的研究还未见文献报道。

本文研究了 AF、DF 和 SDF 模式下的协作分集 OFDM 系统中的子载波配对问题,提出了一种快速有效的混合排序子载波配对算法,并对其性能进行了评估和比较。

1 系统模型

考虑如图 1 所示的协作分集 OFDM 系统,系统包括 1 个信源(S)、1 个中继(R)和 1 个目标(D)。信息从信源经中继分集传送到目标,中继采用半双工工作方式。1 个完整的传输过程分为 2 个阶段,第 1 阶段,信源通过广播信道将信号传输到中继和目标,称此阶段为监听阶段;第 2 阶段,中继采用 AF、DF 或 SDF 模式转发信源的信息,然后目标节点结合 2 个阶段接收到的数据进行译码,称此阶段为协作阶段。

^① 863 计划(2007AA01Z265, 2009AA01Z247)资助项目。

^② 女,1977 年生,博士生,讲师;研究方向:无线通信;联系人, E-mail: iris2girl@sina.com
(收稿日期:2009-03-02)

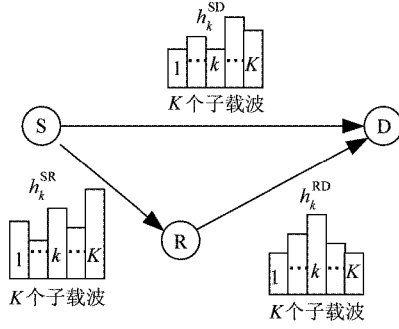


图1 协作分集 OFDM 系统模型

假设每个发射节点与接收节点之间信道都是频率选择的,信号采用 OFDM 调制,系统总带宽为 B ,子载波数目为 K ,每个子载波信道是平坦的。 h_k^{mn} 表示从发射节点 m 到接收节点 n 的第 k 个子载波上的复信道幅度增益, P_k^m 表示发射节点 m 为第 k 个子载波分配的功率,其中 $m \in \{S, R\}$, $n \in \{R, D\}$, 且 $m \neq n$ 。假设子载波对 (k, k') 选定, (k, k') 表示信源的第 k 个子载波与中继的第 k' 个子载波配对。

对于 AF 模式,信源与目标间可以取得的速率为^[5]

$$R^{\text{AF}} = \frac{1}{2K} \sum_{k=1}^K \log \left(1 + \frac{P_k^S |h_k^{\text{SD}}|^2}{\sigma^2} + \frac{P_k^S |h_k^{\text{SR}}|^2 / \sigma^2 \cdot P_{k'}^R |h_{k'}^{\text{RD}}|^2 / \sigma^2}{P_k^S |h_k^{\text{SR}}|^2 / \sigma^2 + P_{k'}^R |h_{k'}^{\text{RD}}|^2 / \sigma^2 + 1} \right) \quad (1)$$

其中,系数 $1/2$ 表示信号在 2 个阶段进行了重传, σ^2 是每个子载波的噪声功率,这里假设所有节点的每个子载波噪声功率相同。对于 DF 和 SDF 模式,系统可取得速率分别表示为^[5]

$$R^{\text{DF}} = \frac{1}{2K} \sum_{k=1}^K \min[\log(1 + P_k^S |h_k^{\text{SR}}|^2 / \sigma^2), \log(1 + P_k^S |h_k^{\text{SD}}|^2 / \sigma^2 + P_{k'}^R |h_{k'}^{\text{RD}}|^2 / \sigma^2)] \quad (2)$$

$$R^{\text{SDF}} = \frac{1}{2K} \sum_{k=1}^K \max\{\log(1 + P_k^S |h_k^{\text{SD}}|^2 / \sigma^2 + P_{k'}^R |h_{k'}^{\text{RD}}|^2 / \sigma^2), \min[\log(1 + P_{k'}^S |h_{k'}^{\text{SD}}|^2 / \sigma^2), \log(1 + P_k^S |h_k^{\text{SR}}|^2 / \sigma^2)]\} \quad (3)$$

式(3)中,最大函数的第 1 项表示中继没有正确接收信源的数据,信源在第 2 阶段重传自己的数据,第 2 项表示中继能正确接收信源的数据并重传。

2 子载波配对

2.1 问题描述

由于同一个子载波在不同链路上的衰落是相互独立的,因而中继用相同的子载波对信源的每个子载波进行转发,其性能往往并不是最佳的。如果根据各条链路上每个子载波的信噪比状态将信源子载波与中继的子载波进行合适的配对,能提高系统的性能。

在没有分集的传统中继 OFDM 系统中,最佳子载波配对算法是排序配对,即信源-中继链路上拥有最佳信道质量的子载波与中继-目标链路上拥有最佳信道质量的子载波配对,信源-中继链路上拥有次佳信道质量的子载波与中继-目标链路上拥有次佳信道质量的子载波配对,依此类推。然而,对于协作分集通信,发现基于信源-中继链路和中继-目标链路的排序子载波配对并不能得到很好的性能,因为还需要考虑信源-目标链路的影响。

在式(1) - (3)中,定义 $a_k = P_k^S |h_k^{\text{SD}}|^2 / \sigma^2$, $b_k = P_k^S |h_k^{\text{SR}}|^2 / \sigma^2$ 和 $c_k = P_k^R |h_k^{\text{RD}}|^2 / \sigma^2$, a_k 、 b_k 和 c_k 分别表示信源-目标链路、信源-中继链路和中继-目标链路在第 k 个子载波上的信噪比。AF、DF 和 SDF 模式下系统可取得速率可以分别表示为

$$R^{\text{AF}} = \frac{1}{2K} \sum_{k=1}^K \log \left(1 + a_k + \frac{b_k c_{k'}}{b_k + c_{k'} + 1} \right) \quad (4)$$

$$R^{\text{DF}} = \frac{1}{2K} \sum_{k=1}^K \min[\log(1 + b_k), \log(1 + a_k + c_{k'})] \quad (5)$$

$$R^{\text{SDF}} = \frac{1}{2K} \sum_{k=1}^K \max\{\log(1 + a_k + c_{k'}), \min[\log(1 + b_k), \log(1 + a_k + c_{k'})]\} \quad (6)$$

假设最佳子载波配对的目标是使系统可取得速率最大化,那么 AF、DF 和 SDF 模式下的最佳子载波配对的数学模型如式

$$\begin{aligned} G^{\text{AF}*} &= \arg \max_G \frac{1}{2K} \sum_{k=1, k'=g_k}^K \log \left(1 + a_k + \frac{b_k c_{k'}}{b_k + c_{k'} + 1} \right) \\ &= \arg \max_G \frac{1}{2K} \prod_{k=1, k'=g_k}^K \left(1 + a_k + \frac{b_k c_{k'}}{b_k + c_{k'} + 1} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} G^{\text{DF}*} &= \arg \max_G \frac{1}{2K} \sum_{k=1, k'=g_k}^K \min[\log(1 + b_k), \\ &\quad \log(1 + a_k + c_{k'})] \end{aligned}$$

$$= \arg \max_G \frac{1}{2K} \prod_{k=1, k'=g_k}^K \min[(1+b_k), (1+a_k+c_{k'})] \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{G}^{\text{SDF}*} &= \arg \max_G \frac{1}{2K} \sum_{k=1, k'=g_k}^K \max\{\text{lb}(1+a_k+a_{k'}), \\ &\quad \min[\text{lb}(1+b_k), \text{lb}(1+a_k+c_{k'})]\} \\ &= \arg \max_G \frac{1}{2K} \prod_{k=1, k'=g_k}^K \max\{(1+a_k+a_{k'}), \\ &\quad \min[(1+b_k), (1+a_k+c_{k'})]\} \quad (9) \end{aligned}$$

所示。其中, $\mathbf{G}$ 是 1 个置换向量, 不同的置换向量代表不同的配对方法。 $\mathbf{G}$ 向量的第 k 个元素, 即 g_k , 表示信源的第 k 个子载波与中继的第 g_k 个子载波配对。这是一个指派问题, 可以用匈牙利算法解决, 其计算复杂度随子载波数目 K 的增大而以平方速度迅速增大, 因而难以在实际系统中得到应用。

2.2 2 种特殊情况的最佳子载波配对算法

定义 $\mathbf{G}$ 的函数 $y(\mathbf{G})$, 即

$$y(\mathbf{G}) = \begin{cases} \prod_{k=1, k'=g_k}^K \left(1 + a_k + \frac{b_k c_{k'}}{b_k + c_{k'} + 1}\right) & (\text{AF 模式}) \\ \prod_{k=1, k'=g_k}^K \min[(1+b_k), (1+a_k+c_{k'})] & (\text{DF 模式}) \\ \prod_{k=1, k'=g_k}^K \max\{(1+a_k+a_{k'}), \min[(1+b_k), (1+a_k+c_{k'})]\} & (\text{SDF 模式}) \end{cases} \quad (10)$$

$y(\mathbf{G})$ 表示目标在所有子载波对上的接收信噪比的积, $y(\mathbf{G})$ 值越大, 可取得速率越大, $\mathbf{G}$ 代表的配对方法越好。

首先考虑包含 2 个子载波的情况, 包含多个子载波的情况可以通过归纳法得到结论。从 SDF 模式开始讨论。不失一般性, 我们假设 $a_1 \geq a_2, b_1 \geq b_2, c_1 \geq c_2$, 并且令 $a_1 \leq b_1 \leq c_1, a_2 \leq b_2 \leq c_2$ (其他情况下, 结论一样)。这种情况下, 有 2 种配对方法。第 1 种配对方法是信源的第 1 个子载波与中继的第 1 个子载波配对, 信源的第 2 个子载波与中继的第 2 个子载波配对, 配对向量为 $\mathbf{G}_1 = [1, 2]$ 。第 2 种配对方法是与第 1 种相反, 配对向量为 $\mathbf{G}_2 = [2, 1]$ 。2 种配对方法的 $y(\mathbf{G})$ 值分别为

$$\begin{aligned} y_1 &= y(\mathbf{G}_1) \\ &= \max\{1+a_1+a_1, \min[1+b_1, 1+a_1+c_1]\} \\ &\quad \max\{1+a_2+a_2, \min[1+b_2, 1+a_2+c_2]\} \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_2 &= y(\mathbf{G}_2) \\ &= \max\{1+a_1+a_2, \min[1+b_1, 1+a_1+c_2]\} \\ &\quad \max\{1+a_2+a_1, \min[1+b_2, 1+a_2+c_1]\} \quad (12) \end{aligned}$$

为简化问题, 我们分析 2 种极端情况。第 1 种情况是信源与目标之间距离非常大, 其信道的信噪比很小, 即 $a_1 \approx 0$ 和 $a_2 \approx 0$, 此时可以忽略直传路径的影响, 因而可以将 y_1 和 y_2 的值表示为

$$\begin{aligned} y_1 &= \min[1+b_1, 1+c_1] \cdot \min[1+b_2, 1+c_2] \\ &= (1+b_1)(1+b_2) \quad (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_2 &= \min[1+b_1, 1+c_2] \cdot \min[1+b_2, 1+c_1] \\ &= \min[1+b_1, 1+c_2] \cdot (1+b_2) \\ &\leq (1+b_1)(1+b_2) \quad (14) \end{aligned}$$

可得到 y_1 和 y_2 的关系为

$$y_1 \geq y_2 \quad (15)$$

式(15)表明, 当信源与目标间距离很远时, 根据信源-中继链路和中继-目标链路上每个子载波的信噪比状态, 将信源与中继的子载波按信噪比顺序配对, 系统能取得更高的可取得速率。

第 2 种极端情况是信源与中继之间的距离非常近, 其信道的信噪比很大, 即 b_1 与 b_2 的值很大, 这样, y_1 和 y_2 分别为

$$\begin{aligned} y_1 &= \max\{1+a_1+a_1, 1+a_1+c_1\} \cdot \max\{1+a_2 \\ &\quad + a_2, 1+a_2+c_2\} \\ &= (1+a_1+c_1)(1+a_2+c_2) \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_2 &= \max\{1+a_1+a_2, 1+a_1+c_2\} \cdot \max\{1+a_2 \\ &\quad + a_1, 1+a_2+c_1\} \\ &= (1+a_1+c_2)(1+a_2+c_1) \quad (17) \end{aligned}$$

因为 $(1+a_1+c_2)(1+a_2+c_1) \geq (1+a_1+c_1)(1+a_2+c_2)$, 我们可以得到 y_1 和 y_2 之间如式

$$y_1 \leq y_2 \quad (18)$$

所示的关系。式(18)表明, 当信源与中继之间距离很近时, 根据信源-目标链路与中继-目标链路上每个子载波的信噪比状态, 将信源与中继的子载波按信噪比逆序配对, 系统能取得更好的性能。

对于 DF 模式, 2 种配对的 y 值分别为

$$\begin{aligned} y_1 &= \min[(1+b_1), (1+a_1+c_1)] \cdot \min[(1+b_2), \\ &\quad (1+a_2+c_2)] \quad (19) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_2 &= \min[(1+b_1), (1+a_1+c_2)] \cdot \min[(1+b_2), \\ &\quad (1+a_2+c_1)] \quad (20) \end{aligned}$$

在第 1 种情况下, y_1 和 y_2 的值分别为

$$\begin{aligned} y_1 &= \min[(1+b_1), (1+c_1)] \cdot \min[(1+b_2), (1 \\ &\quad + c_2)] \quad (21) \end{aligned}$$

$$y_2 = \min[(1 + b_1), (1 + c_2)] \cdot \min[(1 + b_2), (1 + c_1)] \quad (22)$$

式(21)、(22)分别与 SDF 模式的式(13)、(14)相同,同样可得到如式(15)的结论。在第 2 种情况下, y_1 和 y_2 值的计算由式(23)、(24)

$$y_1 = (1 + a_1 + c_1)(1 + a_2 + c_2) \quad (23)$$

$$y_2 = (1 + a_1 + c_2)(1 + a_2 + c_1) \quad (24)$$

所示,式(23)、(24)分别与 SDF 模式的式(16)、(17)相同,同样可得到如式(18)所示的 y_1 和 y_2 的关系。

同样地,对于 AF 模式,在第 1 种情况下 y_1 和 y_2 值的计算式分别为

$$y_1 = \left(1 + \frac{b_1 c_1}{b_1 + c_1 + 1}\right) \left(1 + \frac{b_2 c_2}{b_2 + c_2 + 1}\right) \quad (25)$$

$$y_2 = \left(1 + \frac{b_1 c_2}{b_1 + c_2 + 1}\right) \left(1 + \frac{b_2 c_1}{b_2 + c_1 + 1}\right) \quad (26)$$

在第 2 种情况下, y_1 和 y_2 值的计算式为

$$y_1 = (1 + a_1 + c_1)(1 + a_2 + c_2) \quad (27)$$

$$y_2 = (1 + a_1 + c_2)(1 + a_2 + c_1) \quad (28)$$

由式(25)–(28),很容易得到式(15)和式(18)的关系。对于多于 2 个子载波的情况,通过归纳法可以得到相同的结论,即当信源与目标间距离很远时,根据信源-中继链路和中继-目标链路上每个子载波的信噪比状态,将信源与中继的子载波按信噪比顺序配对,系统能取得最大的可取得速率;当信源与中继之间距离很近时,根据信源-目标链路与中继-目标链路上每个子载波的信噪比状态,将信源与中继的子载波按信噪比逆序配对,系统能取得更大的可取得速率,分别将它们称为顺序配对和逆序配对。

2.3 混合排序子载波配对算法

顺序配对和逆序配对算法分别在信源与目标很远和信源与中继很近的情况下是最优的,但由于都只考虑了协作分集系统中的 2 条链路,忽略了另 1 条链路的信道状况,因此并不能普遍应用于协作分集系统中。当信源与中继之间的子载波上的信噪比足够高时,逆序配对算法的性能优于顺序配对算法;而当信源与目标之间的子载波信噪比相对低时,顺序配对算法比逆序配对算法好。这启发我们研究一种混合排序配对算法,综合考虑信源-目标链路、信源-中继链路和中继-目标链路上每个子载波的信噪比状态,在每个子载波上自适应地选择顺序配对算法或逆序配对算法。提出的混合排序子载波配对算法分 4 个步骤进行:

步骤(1) 将序列 $[a_1, \dots, a_K]$ 按降序排列,序列 $[b_1, \dots, b_K]$ 和 $[c_1, \dots, c_K]$ 按升序排列。用 $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$ 和

$\mathbf{C}$ 分别表示这三个排序后的向量。

步骤(2) 将 $\mathbf{A}$ 中第 k 个子载波与 $\mathbf{C}$ 中第 k 个子载波配对,得到逆序配对序列 $\mathbf{G}^{\text{reverse}}$ 。将 $\mathbf{B}$ 和 $\mathbf{C}$ 以相同的方式进行子载波配对,得到顺序配对向量 $\mathbf{G}^{\text{order}}$,其中,上标 order 和 reverse 分别表示顺序配对和逆序配对。配对向量 $\mathbf{G}^i$ 的第 j 个元素 g_j^i ($i = \text{order}, \text{reverse}$) 表示信源的第 j 个子载波与中继的第 g_j^i 个子载波配对。

步骤(3) 比较 $\mathbf{G}^{\text{order}}$ 与 $\mathbf{G}^{\text{reverse}}$,得配对向量 $\mathbf{G} = [g_1, g_2, \dots, g_K]$ 。

对信源的每个子载波 $j = 1, 2, \dots, K$

if $g_j^{\text{order}} = g_j^{\text{reverse}}$,

let $g_j = g_j^{\text{order}}$;

else

if $c_{g_j^{\text{order}}} \geq c_{g_j^{\text{reverse}}}$,

let $g_j = g_j^{\text{order}}$;

else

Let $g_j = g_j^{\text{reverse}}$.

end

end

步骤(4) 检查配对向量 $\mathbf{G}$

对中继的每个子载波 $j = 1, 2, \dots, K$

if $\exists p \neq q, g_p = g_q$,

compute

$y_{\text{order}} = y([g_p^{\text{order}}, g_q^{\text{order}}])$,

$y_{\text{reverse}} = y([g_p^{\text{reverse}}, g_q^{\text{reverse}}])$.

if $y_{\text{order}} \geq y_{\text{reverse}}$,

let $g_p = g_p^{\text{order}}$, and $g_q = g_q^{\text{order}}$;

else

let $g_p = g_p^{\text{reverse}}$, and $g_q = g_q^{\text{reverse}}$.

end

end

步骤(1)对信源-目标链路上的子载波按信噪比降序排序,对信源-中继链路和中继-目标链路上的子载波按信噪比升序排序。步骤(2)分别实现顺序配对和逆序配对。步骤(3)对顺序配对和逆序配对进行比较,总是将信源的第 j 个子载波与中继的第 g_j^{order} 和第 g_j^{reverse} 个子载波中具有较好信噪比状态的子载波配对,这可以保证在第 j 个子载波对上获得较高的可取的速率。由于步骤(3)可能且最多导致信源的 2 个不同子载波与中继的同一个子载波配对,则需要检查配对向量 $\mathbf{G}$ 。在步骤(4)中,如果信源的第 p 个和第 q 个子载波与中继的同一个子载波

配对,即 $g_p = g_q$, 分别计算 G^{order} 配对和 G^{reverse} 配对在第 p 个和第 q 个子载波对上的信噪比,并选择具有较大信噪比的配对作为信源第 p 和第 q 个子载波的最后配对。

3 仿真结果

为检验提出的混合排序子载波配对算法的性能,分别对 AF、DF 和 SDF 模式下的协作分集系统的可取的速率进行仿真。

在仿真中,信源和目标分别固定在 $(0, 0)_m$ 和 $(1000, 0)_m$ 。中继在信源和目标之间的连线上移动。信源和中继的发射功率为 20dBm,并在子载波上平均分配。信道加性高斯白噪声(AGWN)的 PDF 为 -80dBm/Hz 。系统带宽 $B = 960\text{kHz}$, OFDM 子载波数目 $K = 64$ 。假设各节点间信道均为频率选择性多径信道,路损因子为 2,多径数目为 6,各条路径的延时向量和功率向量分别为 $[0, 0.2, 0.6, 1.6, 2.4, 5.0]\mu\text{s}$ 和 $[-3, 0, -2, -6, -8, -10]\text{dB}$ 。系统的平均可取得速率通过随机产生 20000 个信道衰落样本获得。

图 2、图 3 和图 4 分别给出了 AF、DF 和 SDF 模式下的协作分集 OFDM 系统的可取得速率与中继位置的关系,比较了混合排序配对算法和顺序配对、逆序配对的性能,并给出了没有子载波配对的结果。从图中可以看出,通过信源和中继的子载波配对,可以提高系统的可取得速率性能,并且混合排序配对算法明显优于顺序配对算法和逆序配对算法,尤其是在中继靠近信源的情况下。

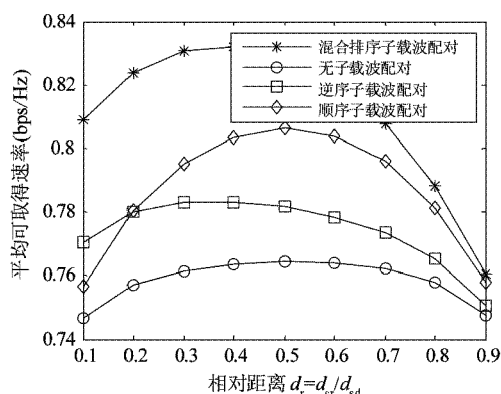


图 2 AF 模式下不同子载波配对算法的系统可取得速率比较

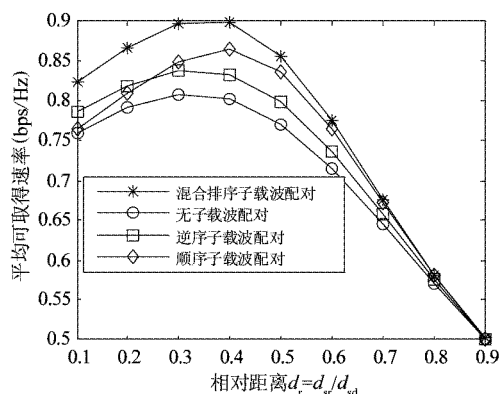


图 3 DF 模式下不同子载波配对算法的系统可取得速率比较

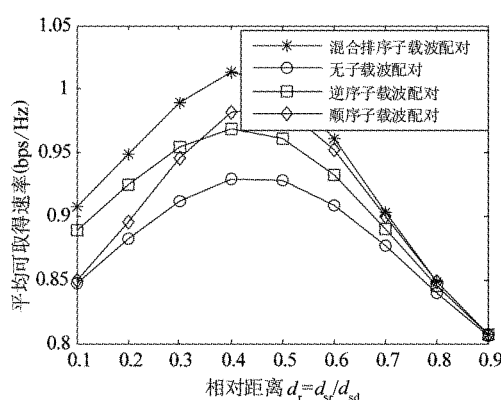


图 4 SDF 模式下不同子载波配对算法的系统可取得速率比较

4 结论

协作用户间的资源分配决定了协作通信能否以较小的代价获得显著的性能增益,研究协作用户间的资源分配是协作通信中的重要课题。本文研究了协作分集 OFDM 系统的子载波配对问题,提出一种基于混合排序的子载波配对算法,该算法同时考虑信源-中继、信源-目标和中继-目标链路影响,能快速有效地根据各条链路每个子载波的信噪比状态自适应的调整子载波配对。仿真结果显示了它的优越性。

参考文献

- [1] Sendonaris A, Erkip E, Aazhang B. User cooperation diversity-part I: system description. *IEEE Trans Commun*, 2003, 51 (11): 1927-1938
- [2] Sendonaris A, Erkip E, Aazhang B. User cooperation diversity-part II: implementation aspects and performance analysis. *IEEE Trans Commun*, 2003, 51(11): 1939-1948
- [3] Laneman J N, Wornell G W, Tse D N C. An efficient protocol

- for realizing cooperative diversity in wireless networks. In: Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Information Theory. Washington, USA: IEEE press, 2001. 294
- [4] Sendonaris A, Erkip E, Aazhang B. Increasing uplink capacity via user cooperation diversity. In: Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Information Theory. Cambridge, USA: IEEE press, 1998. 156
- [5] Laneman J N, Tse D N C, Wornell G W. Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior. *IEEE Trans Inform Theory*, 2004, 50(12): 3062-3080
- [6] Hammerstroem I, Wittneben A. On the optimal power allocation for nonregenerative OFDM relay links. In: Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Communications. Istanbul, Turkey: IEEE press, 2006. 4463-4468
- [7] Li Y, Wang W, Kong J, et al. Power allocation and subcarrier pairing in OFDM-based relaying networks. In: Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Communications. Beijing, China: IEEE press, 2008. 2602-2606
- [8] Wang Y, Qu X, Wu T, et al. Power allocation and subcarrier pairing algorithm for regenerative OFDM relay system. In: Proceedings of the 2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference. Dublin, Ireland: IEEE press, 2007. 2727-2731

A hybrid sorted algorithm for subcarrier pairing in cooperative diversity OFDM systems

Shen Zhenhui, Wang Xiaoxiang, Zhang Jianhua *

(Key Laboratory of Universal Wireless Communications, Ministry of Education,
Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

(* System Engineering Research Institute of CSSC, Beijing 100036)

Abstract

In consideration of the fact that the performance of a cooperative diversity system can be improved by pairing source subcarriers with relay subcarriers, this paper investigates the subcarrier pairing problem in OFDM-based cooperative diversity systems. Two optimal subcarrier pairing methods are derived under two extreme conditions, respectively, i.e. the order pairing and the reverse order pairing. Further, a hybrid sorted pairing algorithm is proposed, which adaptively selects the order pairing or the reverse order pairing for each subcarrier according to instantaneous SNR conditions of source-relay, source-destination and relay-destination links. The simulation results show that the proposed pairing algorithm can enhance the average achievable rate and outperforms the order pairing and the reverse order pairing methods significantly.

Key words: cooperative diversity, subcarrier pairing, hybrid sorted pairing, average achievable rate