**异步协作通信系统的Alamouti时空传输方案**

蒋睿哲

东南大学，江苏省南京市， 211189

**摘 要：**针对异步协作系统，本文提出了一种简单的正交频分复用（OFDM）方案，其中OFDM在源节点实现，中继节点实现时间反转和复共轭。源节点处的循环前缀（CP）用于消除来自中继节点的定时错误。在该方案中，目标节点处的接收信号在每个子载波上具有Alamouti码结构，因此具有快速的符号明文ML解码。应当强调的是，中继节点只需要实现时间反转，一些符号从正变为负，和/或对接收信号的复共轭，不需要IDFT或DFT操作。结果表明，该方案无需中继节点同步，即可获得二阶分集增益。

**关键词：**正交频分复用；比特出错概率 ；中继节点；

**A Simple Alamouti Space–Time Transmission**

**Scheme for Asynchronous Cooperative Systems**

Ruizhe Jiang

(South East University, Nanjing, 211189)

**Abstract:** In this letter, we propose a simple orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) scheme for an asynchronous cooperative system, where OFDM is implemented at the source node, and time-reversion and complex conjugation are implemented at the relay nodes. The cyclic prefix (CP) at the source node is used for combating the timing errors from the relay nodes. In this scheme, the received signals at the destination node have the Alamouti code structure on each subcarrier, and thus, it has the fast symbol-wise ML decoding. It should be emphasized that the relay nodes only need to implement the time-reversion, some sign changes from plus to minus, and/or the complex conjugation to the received signals, and no IDFT or DFT operation is needed. It is shown that this simple scheme achieves second-order diversity gain without the synchronization requirement at the relay nodes.

**Key words:** OFDM; BER; relay nodes

虽然MIMO系统中所有实现空时码的全分集都实现了同步协作系统的全空间分集，但是很少有实现异步协作系统的全空间分集。在之前针对异步协作通信使用过的方法中，大多使用的是DF协作。

针对异步协作系统，本文提出了一种简单的正交频分复用（OFDM）方案，其中OFDM在源节点实现，中继节点实现时间反转和复共轭。

**基金项目：**东南大学协作通信课程

**作者简介：蒋睿哲**，（1998-），男，本科生，E-mail: bobchiang@163.com

# 1 简介

## 1.1背景

下一代无线系统需要有类似目前蜂窝移动无线标准的高话音质量，并提供高比特率数据

服务(直到 2Mb/s)。同时远端单元必须是既小又轻的手机。进一步，它们必须在不同类型环境中可靠工作：宏蜂窝、微蜂窝和飞蜂窝；在城区、郊区和乡村；室内和室外。换句话讲 ，下一代系统被要求有较好的通信质量和覆盖，是更加功率/带宽有效的，并且被部署在各种各样的环境中。然而，为了被市场接受服务质量不能下降。此外，新的分组通信必须保持相对简单。然而，幸运的是大规模应用允许基站结构可以较为复杂。事实上，增加基站复杂性是实现下一代无线系统需求的基本趋势。

造成无线传输困难的主要原因是时变多径衰落[1]。正是时变多径衰落使得无线传输质量远不及光纤、同轴电缆、视距微波、甚至卫星传输。

在多径衰落信道提高传输质量，或者减少有效误码率是极端困难的。在附加白色高斯噪声(AWGN)中，使用典型调制和编码方案，减少有效比特误码率(BER)从1到10dB或许仅仅需要1或2dB高的信噪比(SNR)。然而，在多径衰落环境中达到同样的效果需要最多10dB的SNR改善。SNR的改善或许不能通过提高发射功率或附加带宽来实现，因为这些措施同下一代系统的要求相矛盾。因此，不增加功率或不牺牲带宽条件下，在基站和远端单元有效地抗击或减少多径衰落的影响是至关重要的。

## 1.2方案简介

本文提出一种简单的异步协作系统空时编码方法，以实现异步协作分集。我们提出在源节点实现正交频分复用（OFDM），在中继节点实现时间反转和复共轭。这样，在目的节点，接收信号在每个子载波上具有Alamouti码[1]结构，因此，它具有快速的符号明文ML解码。

在源节点采用循环前缀（CP）来克服中继节点的定时误差，表明所提出的简单方案可以实现分集阶数2。

与现有用于消除中继节点定时错误的OFDM方法不同，本文中OFDM仅在源节点实现，而在[2]和[3]中在中继节点实现，这增加了中继节点的复杂性。在我们的方案中，中继节点仅对来自源节点的接收信号执行非常简单的操作：时间反转、一些符号从正变为负、和/或对接收信号的复共轭。

# 2新的空时传输方案

从简单的情况开始考虑，让我们先考虑一个模型：一个具有一个源节点、一个目的地节点和两个中继节点的协作系统，如图一所示。

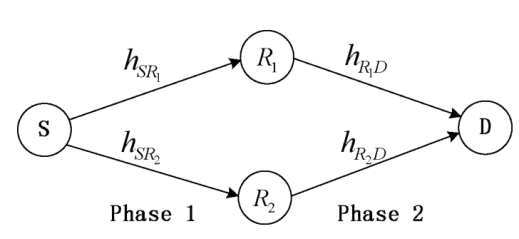


图1 协作系统架构

系统中的每个节点只有一个天线。为了将信息从源节点S传输到目的地节点D，它们经历两个阶段。在第一阶段，源节点S向两个中继节点广播信息 i=1,2。同时，两个中继节点接收信息。在第二阶段中，源节点S停止传输，两个中继节点 i=1,2将接收信号发送到目的节点D。

假设任何两个终端之间的信道是准静态平坦瑞利衰落。表示从源节点S到第i个中继节点的衰落系数为，i=1,2，以及从第i个中继到目的地节点D的衰落系数为，i=1,2。假设,是具有零均值和单位方差的独立复高斯随机变量。

## 2.1 源节点的实现

在源节点，首先将信息比特调制成复符号，然后将每个调制符号作为块馈送到子载波的OFDM调制器。我们将每两个连续的块为一个单元进行调制。在OFDM调制器中，第一块是逐点IDFT调制的，而第二块是逐点DFT调制的。每一个块的前面都有一个长度为的循环前缀。所以每一个OFDM符号的长度都为L=N+。

最后，OFDM符号被广播到两个中继。假设CP长度不小于从中继节点到达目的地节点的信号的相对定时误差的最大值。

## 2.2 中继节点的实现

在中继节点处，所接收的噪声信号将被简单地处理并如下转发到目的地节点。假设信道系数在两个OFDM符号的间隔是常数。然后在第i个中继节点被接受到的信号可以写为：

(1)

(2)

和是分别在连续的两个OFDM符号持续时间内的，均值为零，方差为1的加性高斯白噪声。

令表示在源节点的传输功率。噪声的方差已经假设为1，所以在中继节点的接收信号的功率为+1。令表示在中继节点的平均传输功率。在图表1中表明了两个中继节点对接受到的噪声信号的处理。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | OFDM Symbol 1 | OFDM Symbol 2 |
| Relay  Node R1 |  |  |
| Relay  Node R2 |  |  |

表1 中继节点的处理

注意，如从表中可以看到的，在第二中继节点处，两个OFDM符号被切换，这意味着第二中继节点在处理和发送之前必须等待一个OFDM符号。因此，第一中继节点还需要等待一个OFDM符号开始发送。另一点值得注意的是，尽管上述过程具有离散形式，但它可以简单地在模拟域中实现。

## 2.3 目的节点的实现

在目的节点，首先将每一个OFDM符号的循环前缀移除，将其转化为传统的OFDM信号。在第二个OFDM信号中，因为中继节点将噪声信号和包含信息的符号和循环前缀一并进行了时间反转处理。所以当移除循环前缀之后，我们希望得到时间反转形式的信息符号。我们将进行以下两个步骤：

1）移除循环前缀，是信号成为传统的ODFM信号，得到N点矢量。

2）移动位于末尾的长度为的矢量作为位于起始的循环前缀

循环前缀去除后，利用点DFT对接收信号进行变换。如前所述，由于定时误差，来自目的地节点的信号采样晚于来自目的地节点的信号。由于循环前缀长度不小于最大的时间延迟，我们仍然可以保持子载波之间的正交性。

时域中的延迟对应于频域中的相变：

(3)

f = (4)

令，为在目的节点经过循环前缀移除和DFT转换的的两个连续的OFDM块。

我们将，写为Alamouti码，则在第k个子载波，：

(5)

式（5）同时告诉我们，如果采用Jing and Hassibi提出的最优化的功率分配模式，我们的结果适用于Jing and Hassibi提出的用于分析分集增益的阶数的模型。

令P为整个系统中的总传输能量，若采用上述功率分配方式，我们将得到：

（6）

其中R是中继节点的数量。当SNR足够高时，在目的节点的形如式（5）的信号有2阶分集增益。

在Jing and Hassibi [4]提出的模型中，R取值较大，而我们的模型中R=2，所以我们用式（6）的功率分配进行的计算存在误差。

当存在两个以上中继节点时，我们可以使用“集群节点”的概念，这是协作通信中常用的。如图2所示，所有中继节点可以分成两个节点集群。同一集群中的节点实现相同的时空处理。第一个集群用R1表示，第二个集群用R2表示。在这种情况下，每个中继节点的CP长度应不小于从任何中继节点到达目的地节点的信号的最大可能延迟。正如我们将在后面的模拟中看到的，具有更多中继节点的集群提高了性能。不难看出，当每个簇中的中继节点数量变大时，当考虑从源节点到中继节点的附加附加噪声时，它收敛到两个发射天线和一个接收天线的瑞利衰落信道的Alaamouti方案。

# 3.仿真结果

接下来我们将给出方针结果。在我们的仿真中，我们假设N=64，循环前缀的长度为16,最大延时误差在0到15的区间内随机分布。这些数据符号是BPSK调制的。我们进一步假设信道状态信息（CSI）在目的地节点是完全已知的。我们使用最优化的功率分配的传输和接收端的快速ML Alamouti解码

Alamouti编码OFDM(Alamouti-OFDM)是在[7]中提出的，用于对抗协作系统中的定时误差，其中协议是解码转发(DF)。在[4]中，DF方案在第一阶段假设完全解码。我们比较了新提出的简单方案与DF方案的误码性能，DF方案中没有假设第一阶段的完全解码。在我们比较过的DF方案中，源向两个中继节点广播作为帧的128个信息符号。

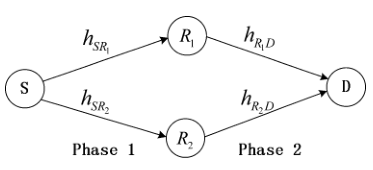


图2 集群系统架构

我们假设在我们的方案和DF方案中，在源节点的发射功率是固定的，（总共的传输功率是2）

我们还给出了2\*1MIMO系统的Alamouti系统各天线发射功率（两天线总发射功率）曲线以供参考。图3显示了BER性能相对于P1的曲线。

从图中可以看出，当信噪比小于20dB时，新方案的性能优于DF方案；当信噪比大于20dB时，DF方案的性能略优于我们的新方案。这是因为当信噪比不大时，在DF方案中，解码错误更可能在第一阶段发生，从而降低第二阶段的性能。当信噪比较大时，第一阶段的译码误差减小，第二阶段的性能提高。然而，在我们的新方案中，我们从来不需要在中继中执行解码。此外，我们可以看到，当增加（因此，P也增加）时，我们的方案的BER曲线的斜率接近Alamouti MIMO曲线的斜率。这验证了我们对分集增益阶数的分析。



图3

当有四个和六个中继节点时，它们被分成两个集群，每个集群分别有两个和三个中继节点。具有更多中继节点的集群提高了性能。然而，当中继节点的数量进一步增加时，改善的水平降低。

将AWGN信道，SISO瑞利衰落信道信道和2\*1Alamouti方案进行比较，我们得到图4。



图4

新方案要求同时从两个天线发射信号。虽然每个天线以1/2功率发射，明显的是潜在干扰的数量被加倍，即，我们有两倍数目的干扰，每一个具有一半的干扰功率。一般假定在存在许多干扰情况下，全部干扰是高斯分布。应用中如果这个假定成立，在系统中新方案导致相同的干扰分布和干扰功率。然而，如果使用了干扰抵消方案(阵列处理技术)，该方案或许对系统设计有影响。不清楚的是此影响是正面的还是负面的。对于空时格码，与阵列处理技术(针对干扰缓解)有关的发射分集方案(针对衰落缓解)的应用已经被研究[9]。类似的努力也在进行中以便扩展这些技术到新发射分集方案中。

# 4.总结

本文提出了一种简单的异步协作系统的空时传输方案，其中OFDM在源节点实现，而在中继节点实现非常简单的操作（时间反转和复共轭）。通过这种简单的方案，目的地节点处的接收信号具有Alamouti码形式，因此具有快速的符号式ML解码，同时具有分集阶数2。

# 参考文献：

[1] S. M. Alamouti, “A simple transmit diversity technique for wirelesscommunications,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 16, no. 8, pp.

[2] Y. Mei, Y. Hua, A. Swami, and B. Daneshrad, “Combating synchronization errors in cooperative relays,” in Proc. IEEE ICASSP 2005,Mar. 2005, vol. 3, pp. 369–372.

[3] Y. Li, W. Zhang, and X.-G. Xia, “Distributive high-rate full-diversity space-frequency codes for asynchronous cooperative communications,” in Proc. IEEE ISIT 2006, Seattle, WA, Jul. 9–14, 2006.

[4] Y. Jing and B. Hassibi, “Distributed space-time coding in wireless relay networks,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 5, no. 12, pp.3524–3536, Dec. 2006.