

## 四节点协作通信切换通用模型的建立和性能分析 Construction and Performance Analysis of General Handoff Model with Four Nodes for Cooperative Communication

祁正团, 胡 强, 覃团发

QI Zheng-tuan, HU Qiang, QIN Tuan-fa

(广西大学计算机与电子信息学院, 广西南宁 530004)

(School of Computer, Electronics and Information, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

**摘要:**在三节点中继信道模型的基础上,根据协作通信和切换技术的特点尝试性地建立四节点的协作通信切换通用模型,并对通用模型进行仿真和系统性能分析。四节点的协作通信切换通用模型的系统性能在中低信噪比时明显优于传统通信切换,高信噪比时与传统通信切换的性能差别不大。四节点的协作通信切换通用模型解决了切换技术在协作通信中的实现问题。

**关键词:** 通讯网络 切换 协作通信 模型 性能分析

**中图分类号:** TN925.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2010)04-0469-03

**Abstract:** On the basis of the relay channel model with three nodes, the general handoff model with four nodes for cooperative communication according to the properties of cooperative communication and handoff technology is established. The simulation and performance of system are analyzed. The system performance of the general handoff model with four nodes for cooperative communication is evidently better than and similar to that of traditional communication handoff at low SNR and high SNR, respectively. The general handoff model with four nodes for cooperative communication resolves the implementation problem of handoff technology for cooperative communication.

**Key words:** communication networks, handoff, cooperative communication, model, performance analysis

随着信息技术的不断发展,原有的数据传输速率和服务质量已经不能满足人们对无线蜂窝通信系统的要求。

在单天线链路中,在使用诸如 Turbo 码和 LD-PC 码等高效信道编码技术后数据传输速率已经非常接近香农限,因而使用编码技术提升数据传输速率的空间非常有限。在多天线链路中通过增加发送机和接收机的天线数量可以提高空间分集增益,抵抗多径衰落,为进一步提高数据传输速率奠定了基

础。在发射机端的天线数量多于一副才可能形成发射分集,然而许多无线通信设备因为受到体积、功耗、硬件复杂度等方面的限制只能设置一副天线,限制了多天线技术在这些设备上的应用<sup>[1]</sup>。如果一个移动终端可以接收到其他移动终端的信号,并将此信号与自身的信号一同发出去,而且这两个信号所经历的信道衰落是统计独立的,那么这两个移动终端就可以实现空间分集。这样就可以利用多个具有单天线的移动终端的这种性质来形成空间分集从而提高数据传输速率。由此就产生了协作通讯概念。协作通讯是在多用户环境中,多个具有单天线的移动用户按照一定的协作方式(即协作通信协议)来共享彼此间的天线,从而形成虚拟天线阵列(Virtual Antenna Array, VAA),进而获得发射分集增益,提

收稿日期:2010-03-22

修回日期:2010-09-26

作者简介:祁正团(1975-),男,硕士,助理工程师,主要从事协作通讯和无线通讯研究。

高系统的吞吐量和可靠性。

切换是在保证正常通信服务不中断或损失的情况下移动台将正在进行的语音通话或者多媒体会话从一个基站的链接转换到另一个物理位置相近的基站链接的过程。由于无线信号的传播特性以及移动用户的移动性都会导致移动台周围的信号衰减或干扰,同时为了满足移动用户长时间通话的需要,要求增加系统容量和小区的覆盖率,因而切换技术在蜂窝移动通信系统中必不可少。

协作通信是最近几年信息理论领域研究的热点,协作通讯中的切换技术目前国内外还没有相关的研究。本文在 Cover T. M. 和 Gamal El 提出的三节点中继信道模型<sup>[2]</sup>的基础上尝试性地提出四节点的协作通信切换通用模型,并对其性能分析,为切换技术在协作通信中的实际应用提供理论参考。

### 1 四节点协作通信切换通用模型建立

四节点的协作通信切换的通用模型(图1)包括用户节点、协作用户节点、当前业务基站节点和目标基站节点,其中用户节点与协作用户的角色和地位是相同的,可以互换,但是当前业务基站节点和目标基站节点由于具有不同的功能,而不能互换。四节点的协作通信切换的通用模型切换的主要流程:当一个经历严重信道衰落的用户离开一个小区覆盖的区域将要进入另一个小区覆盖的区域,即其处于切换小区的边缘时,而协作用户与用户以及协作用户与基站间都具有良好的信道链路质量,用户将与当前业务建站的连接转换到目标基站的连接,同时协作用户(接收用户发送的信息以及将自身的信息发送给基站)也将与当前业务基站的连接转换到目标基站的连接,用户和协作用户的信息在目标基站处根据分集合并方式进行相应的合并,协作通信的切换过程完成。

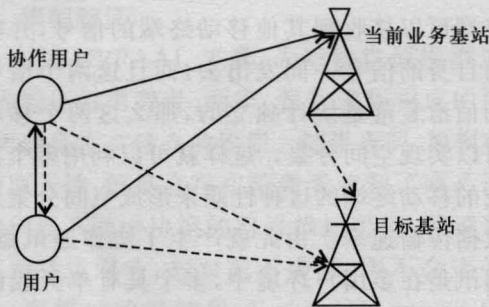


图1 协作通信切换模型

——:当前业务基站的三节点协作模型,-----:目标基站的三节点协作模型。

根据现代通信不同的切换类型的特点以及无线链路连接的连续性,协作通信切换的通用模型可以细化出不同的具体模型,比如:协作通信硬切换模型、协作通信软切换模型,以及协作通信接力切换模型。协作通信硬切换模型主要适用于 GSM 移动通信系统的终端和基站参与的协作通信的切换过程,协作通信软切换模型主要应用于 CDMA 移动通信系统的终端和基站参与的协作通信的切换过程,协作通信接力切换模型用于 TD-SCDMA 移动通信系统的终端和基站参与的协作通信的切换过程。

### 2 四节点协作通信切换通用模型性能分析

分析协作通信中编码协作协议下的中断概率性能。假定信道为准静态瑞利衰落信道,信道的即时信噪比 SNR 为  $\gamma$ ,不同信道间的即时信噪比独立同分布。由香农定理可以得到信道容量  $C(\gamma) = \log_2(1 + \gamma)$  当  $C(\gamma)$  小于给定的门限速率  $R$  b/s/Hz 时,信道处于中断状态,即中断事件为  $\{C(\gamma) < R\}$  或者  $\{\gamma < 2^R - 1\}$ 。根据准静态瑞利衰落信道的性质,非协作通信中断概率可以表示为<sup>[3]</sup>

$$P_{out} = \Pr\{\gamma < 2^R - 1\} = \int_0^{2^R-1} P_r(\gamma) d\gamma = \int_0^{2^R-1} \frac{1}{\Gamma} \exp\left(-\frac{\gamma}{\Gamma}\right) d\gamma = 1 - \exp\left(-\frac{2^R-1}{\Gamma}\right).$$

式中  $\Gamma$  为衰落信道的平均信噪比,  $p_r(\gamma)$  为即时信噪比  $\gamma$  的概率密度函数。

编码协作中,用户的码字分成 2 个连续的帧发送,根据协作用户对第 1 帧传输的码字能否正确译码的情况,第 2 帧码字的传输有 4 种可能的协作情况:用户和协作用户都能正确为对方译码;用户和协作用户都不能为对方正确译码;用户可以为协作用户正确译码而协作用户不能为用户正确译码;协作用户可以为用户正确译码而用户不能为协作用户正确译码。根据第 2 帧码字传输的 4 种可能的协作情况,其中断事件也分 4 种情况来分析。由于前面假设不同信道间的即时信噪比  $\gamma_{1,2}, \gamma_{2,1}, \gamma_{1,d}, \gamma_{2,d}$  是相互独立的,所以将 4 种中断事件的概率组合起来形成系统中用户的中断概率可以表示为

$$P_{out}^c = \Pr\{\gamma_{1,2} > 2^{\frac{R}{\alpha}} - 1\} \Pr\{\gamma_{2,1} > 2^{\frac{R}{\alpha}} - 1\} \cdot \Pr\{(1 + \gamma_{1,d})^\alpha (1 + \gamma_{2,d})^{1-\alpha} < 2^R\} + \Pr\{\gamma_{1,2} < 2^{\frac{R}{\alpha}} - 1\} \cdot \Pr\{\gamma_{2,1} < 2^{\frac{R}{\alpha}} - 1\} \Pr\{\gamma_{1,d} < 2^R - 1\} + \Pr\{\gamma_{1,2} > 2^{\frac{R}{\alpha}} - 1\} \Pr\{\gamma_{2,1} < 2^{\frac{R}{\alpha}} - 1\} \Pr\{(1 + \gamma_{1,d})^\alpha$$

$$(1 + \gamma_{1,d} + \gamma_{2,d})^{1-\alpha} < 2^R \} + \Pr \{ \gamma_{1,2} < 2^{\frac{R}{\alpha}} - 1 \} \Pr \{ \gamma_{2,1} > 2^{\frac{R}{\alpha}} - 1 \} \Pr \{ \gamma_{1,d} < 2^R - 1 \}$$

式中  $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$  为编码协作的协作级数。

当用户到目的端与协作用户到目的端之间具有相同的信道状态信息即  $\Gamma_{1,d} = \Gamma_{2,d}$ ，且  $\alpha$  为  $1/2$  时，系统中用户的中断概率为

$$P_{out}^c = \exp\left(\frac{2(1-4^R)}{\Gamma_{1,2}}\right) \left[ 2 - 2\exp\left(\frac{1-4^R}{\Gamma_{1,d}}\right) - 2 \int_0^{4^R-1} \frac{1}{\Gamma_{1,d}} \exp\left(-\frac{\gamma_{1,d}}{\Gamma_{1,d}}\right) \exp\left(-\frac{1+\gamma_{1,d}}{\Gamma_{2,d}}\right) d\gamma_{1,d} \right] + [1 - \exp\left(\frac{1-4^R}{\Gamma_{1,2}}\right)] [1 - \exp\left(\frac{1-2^R}{\Gamma_{1,d}}\right)]$$

简化后，可以得到

$$P_{out}^c \approx [1 - \exp\left(\frac{1-4^R}{\Gamma_{1,2}}\right)] [1 - \exp\left(\frac{1-2^R}{\Gamma_{1,d}}\right)]$$

从编码协作通信门限速率  $R = \frac{1}{2} b/s/Hz$  情况

下编码协作切换与非协作通信切换的中断概率对平均信噪比(用户与协作用户间的平均信噪比相等,即  $\Gamma_{1,2} = \Gamma_{2,1}$ ，并且  $\Gamma_{1,2} = \Gamma_{1,d}$ )的关系(图2)可以看出,当平均信噪比大于15dB时,非编码协作的中断概率接近编码协作的中断概率,这表明非协作的系统性能接近与编码协作的系统性能;当平均信噪比小于15dB时,编码协作的中断概率总是小于非编

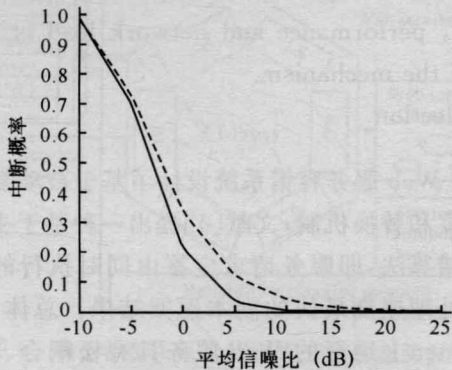


图2 中断概率对平均信噪比的关系

——:编码协作切换,-----:非协作通信切换。

码协作的中断概率,因而编码协作时的系统性能优于非协作编码,即协作通信切换的系统性能优于传统通信切换的系统性能。因此可以得出结论:中低信噪比时编码协作通信切换的系统性能明显优于传统通信切换的系统性能,而高信噪比时二者的性能差别不大。

### 3 结束语

本文根据三节点中继信道的经典模型及其信息论基础,在分析现代通信的各种不同切换类型的基础上,首次提出四节点的协作通信切换通用模型。分析协作通信中编码协作协议下的中断概率性能显示,中低信噪比时编码协作通信切换的系统性能明显优于传统通信切换的系统性能,而高信噪比时二者的性能差别不大。

根据无线链路连接的连续性以及不同的移动通信系统,四节点的协作通信切换通用模型可以细化出不同的具体模型,比如:协作通信硬切换模型、协作通信软切换模型,以及协作通信接力切换模型。四节点的协作通信切换通用模型利用协作通信的特性和切换技术的特点将二者的优势有机的结合起来,解决了切换技术在协作通信中的实现问题。

#### 参考文献:

[1] Nosratinia A, Hunter T E. Cooperative communication in wireless networks [M]. IEEE Communications Magazine, 2004;74-80.  
 [2] Cover T M, Gamal A A E. Capacity theorems for the relay channel[J]. IEEE Trans Info Theory, 1979, 25 (5): 572-584.  
 [3] Hunter T E, Shahab Sanayei, Nosratinia A. Outage analysis of coded cooperation [J]. IEEE Trans Info Theory, 2006, 52(2):375-391.

(责任编辑:邓大玉)