

# 基于 Agent 联盟的协作学习系统研究

江 峰<sup>1</sup> 王程华<sup>2</sup> 刘国柱<sup>1</sup>

(青岛科技大学信息与科学技术学院 青岛 266061)<sup>1</sup> (上海政法学院现代教育技术中心 上海 201701)<sup>2</sup>

**摘 要** 为了在协作学习系统中实现学习者 Agent 之间的有效合作,通过引入一种新的合作机制——同学关系网模型 (Schoolmate Relation Web Model),来构建学习系统中学习者 Agent 之间的同学联盟,并且基于学习者 Agent 之间的同学联盟来实现多个学习者 Agent 之间的协作学习。在每个同学联盟中,任意两个 Agent 之间都具有同学关系,并且联盟中的所有 Agent 相互协作,共同完成学习任务。另外,联盟中的学习者 Agent 之间的通信不是直接进行的,而是通过一个黑板来进行,这可以显著地提高 Agent 之间的通信效率。由于同学关系网模型可以避免 Agent 联盟形成的盲目性,并且可以提高学习者 Agent 之间的交互效率,从而使得我们基于 Agent 同学联盟的协作学习系统可以实现学习者 Agent 之间的有效合作,弥补了现有协作学习系统的不足。

**关键词** 协作学习,多 Agent 系统,远程教育,Agent 联盟,同学联盟,同学关系网

## Collaborative Learning System Based on Coalitions of Agents

JIANG Feng<sup>1</sup> WANG Cheng-hua<sup>2</sup> LIU Guo-zhu<sup>1</sup>

(College of Information and Science Technology, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)<sup>1</sup>

(Modern Education Technology Center, Shanghai University of Political Science and Law, Shanghai 201701, China)<sup>2</sup>

**Abstract** In order to implement an efficient collaboration between different learners in a collaborative learning system, we proposed a new kind of collaborative mechanism——Schoolmate Relation Web Model, by which we can construct coalitions of schoolmates among different learner Agents. Based on this kind of coalition of schoolmates we can implement the collaborative learning between different learner Agents. In each coalition of schoolmates, every Agent has a schoolmate relation with other Agents, they cooperate with each other and finish learning tasks together. And the agents in the coalition do not communicate directly with each other, but through a blackboard set up in the coalition, which can remarkably improve the efficiency of communication among Agents. Since Schoolmate Relation Web Model can avoid blindness in the forming process of coalition and improve the efficiency of negotiation among learner Agents, our collaborative learning system based on coalitions of schoolmates can realize an effective collaboration among learner agents and solve the problem of large communication and calculation cost which widely exists in current collaborative learning systems.

**Keywords** Collaborative learning, Multi-agent system, E-Learning, Coalition of agents, Coalition of schoolmates, Schoolmate relation Web

## 1 问题的提出

网络教学和远程教育的发展为远程学习者提供了极大的便利,使得学生可以在任何时间、地点学习适合自己的知识。然而远程学习者由于地理上的分散性,不可避免地产生了大量孤立的学习者,他们很难与其他学习者进行交流和互动。众所周知,传统教育中老师与学生之间的交流与互动非常重要,与学生单独学习相比,协作学习能产生更好的学习效果和效率,并能促进学习者之间相互关心与支持,有利于心理健康和责任感、自尊心的建立。因此,如果能够提供一种有效的方法,将具有相同兴趣的学生组织到一起,并帮助他们在学

习过程中能够共同分享学习经验、交流学习资料,这对于提高学生的学习效率将起到极大的促进作用。目前,解决这类问题的一种有效方法就是根据学习者的学习特点和兴趣通过学习小组的划分来实现协作学习。协作学习是 20 世纪 60 年代初由约翰逊兄弟 (D. W. Johnson & R. T. Johnson) 首先提出,并在 70 年代至 80 年代中期取得实质性进展的一种教学理论与策略<sup>[1]</sup>。关于协作学习的定义,国内外学者有不同的理解,一般认为:协作学习是学生以小组的形式参与,为达到共同的学习目标,在一定的激励机制下最大化个人和他人学习成果而合作互助的一切相关行为<sup>[2,3]</sup>。

近年来,已经提出了很多基于 Agent 技术的协作学习框

到稿日期:2008-07-01 返修日期:2008-10-10 本文受国家自然科学基金(60802042, 60641010, 60573063 和 60573064), 863 计划项目(2007AA01Z325), 青岛市科技发展计划(07-2-3-3-jch)和青岛科技大学引进人才启动基金(200702583)资助。

江 峰 男,博士,副教授,主要研究方向为人工智能等, E-mail: jiangkong2002@163.com; 王程华 男,硕士,助理工程师,主要研究方向为人工智能、数据库; 刘国柱 男,副教授,硕士,主要研究方向为网络安全与加密技术、网络数据库开发。

架,其中 Dorneich 设计并提出了 Framework-Driven 的协作学习系统,该系统集成了分布式计算以及 CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) 中的概念和方法,为协作学习系统的发展提供了指导<sup>[4]</sup>。Florea 提出了基于多 Agent 系统的协作学习环境,通过同步或异步的合作,学习者之间共同协作完成学习任务<sup>[5]</sup>。Lowyck 从不同的角度描述了协作学习,其中包括情景学习、学习社区、激励因子以及分布式认知等方面<sup>[6]</sup>。

基于 Agent 的协作学习,就是利用 Agent 技术来构建一个协作环境,通过在这个协作环境中嵌入许多 Agent 来更好地实现协作学习。基于 Agent 的协作学习需要考虑的一个重要问题就是如何选择一种好的 Agent 合作机制。目前,Agent 合作机制主要有 Smith 提出的合同网协议 (Contract Net Protocol)<sup>[7]</sup>。但是,由于合同网协议需要向所有其他 Agent 广播标书,对系统的通信和资源提出了很高的要求。虽然有一些人对于合同网协议做了一些改进,但是仍然需要大量的通信开销。

为了在协作学习中实现学习者 Agent 之间的高效合作,最好是让每个学习者 Agent 都了解其他学习者 Agent 的信息,不再为确定合作 Agent 付出额外的通信开销。本文中我们通过引入一种新的合作机制——同学关系网模型 (Schoolmate Relation Web Model),来形成 Agent 之间的同学联盟,并且在同学联盟中实现多个学习者 Agent 之间的协作学习<sup>[8-10]</sup>。由于同学关系网模型可以解决多 Agent 系统中普遍存在的通信开销和资源开销等问题,从而使得在 Agent 同学联盟中实现的协作学习更加可行和有效,弥补了现有协作学习系统在这方面存在的不足。

## 2 同学关系网模型

### 2.1 同学关系网模型的提出

在协作学习中,学习者之间在参与学习活动的过程中形成了一种特殊的社会关系,即同学关系。但是,与传统的学习模式不一样,网络学习具有特殊性,例如学习者在学习地点和学习时间上的不统一性。因此我们这里所定义的同学关系也可以不限定为同一时间在一个教室听同一个老师讲课,而是更广泛意义上的同学关系,比如共同参与了一门网络课程的学习,并且通过 bbs, email 等方式进行过多次交流,彼此比较熟悉的几个学习者之间就可以看作是同学关系。针对某个学习问题,所有同学关系的总和也构成一个同学关系网络。基于这种同学关系网络我们可以设计出一种新的 Agent 合作机制——同学关系网模型。在该模型中基于同学关系网,学习者 Agent 之间可以被组织成多个同学联盟。每个同学联盟都可以看成是一个学习小组,学习小组内的多个学习者 Agent 之间互相交流学习体会,共同协商完成特定的学习任务。我们在每个同学联盟内都设置一个黑板,学习者 Agent 之间的通信都经过黑板进行,从而 Agent 的选择以及 Agent 之间的任务协商均是在基于同学关系网的黑板上实现的<sup>[11]</sup>。

同学关系网中的每个 Agent 只需要在内部建立并维护一个经常访问的同学通讯录,该通讯录容量是有限的。当一个学习者 Agent 需要寻求帮助时,首先在他的同学通讯录中找出同学 Agent 的联系方式,然后将所要发送的消息以及同学 Agent 的联系方式传送给本联盟内的黑板就可以了,不需要

建立一个专门的中间协调 Agent 或熟人模型来记录所有 Agent 的通信信息<sup>[10]</sup>。在每个同学联盟中,学习者 Agent 之间的这种交互都是同时并行进行的,由于同学关系网模型采用了这样一种分布式、并行的方式来访问和维护 Agent 信息,因此大大提高了整个系统的通信效率。

### 2.2 同学关系网模型的框架和定义

定义 1(学习者 Agent) 学习者 Agent 是整个同学关系网模型的基本构件,可抽象成一个 8 元组:

$$\text{Agent} = (\text{ID}, \text{Name}, \text{Address}, \text{Task\_Study}, \text{Ability\_Study}, \text{Property\_Study}, \text{Blackboard}, \text{Contact\_List})$$

其中, ID 表示 Agent 的标识; Name 表示 Agent 的名称; Address 表示 Agent 的联系地址; Task\_Study 表示 Agent 的学习任务,它可以表示为一个学习任务的集合,即  $\text{Task\_Study} = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ , 对于  $1 \leq i \leq k$ ,  $t_i$  表示 Agent 需要完成的第  $i$  项学习任务; Ability\_Study 表示 Agent 的学习能力; Property\_Study 表示 Agent 的学习属性; Blackboard 表示 Agent 所在的同学联盟内的黑板; Contact\_List 表示 Agent 的同学通讯录,即 Agent 的所有同学的通信信息的列表。

协作学习系统中的所有学习者 Agent 构成一个集合  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , 其中  $a_i$  表示一个学习者 Agent,  $1 \leq i \leq n$ 。

定义 2(学习任务和优先级) 给定一个学习者 Agent  $a$ , 需要 Agent  $a$  学习的问题和知识称为 Agent  $a$  的学习任务。我们用一个集合  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  来表示 Agent  $a$  的学习任务, 其中  $t_i$  表示 Agent  $a$  的第  $i$  项学习任务,  $1 \leq i \leq k$ 。  $T$  中的每项学习任务都分别对应不同的优先级别, 优先级用集合  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$  来表示, 其中  $f_i$  表示第  $i$  项学习任务的优先级别,  $1 \leq i \leq k$ 。

定义 3(学习能力) 给定一个学习者 Agent  $a$  和一个学习任务的集合  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ , 按照 Agent  $a$  在学习过程中所表现出来的实际认知状况、学习偏好以及学习成绩等, 将其学习能力定义为一个集合  $B_a = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ , 其中  $b_i \in \{0, 1\}$ ,  $b_i = 0$  表示 Agent  $a$  还不具备学习第  $i$  项任务的学习能力,  $b_i = 1$  表示 Agent  $a$  已经具备学习第  $i$  项任务的学习能力,  $1 \leq i \leq k$ 。

定义 4(学习属性) 给定一个学习者 Agent  $a$  和一个学习任务的集合  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ , 按照 Agent  $a$  在学习过程中所表现出来的学习兴趣和特点, 将 Agent  $a$  具有的外在学习属性定义为一个集合  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ , 其中  $p_i$  表示 Agent  $a$  在学习第  $i$  项任务时所具有的学习属性,  $1 \leq i \leq k$ 。

个性化教学是网络教学实施的核心之一,也是网络教学发展的目标之一。通过上面的定义 3 和 4,我们将每一个学习者的学习能力和学习兴趣、学习特点等个性化特征引入到同学联盟和同学关系网模型中<sup>[9,10]</sup>。

定义 5(同学通讯录) 给定一个学习者 Agent  $a$ , 我们把 Agent  $a$  的所有同学的通讯方式都存放在一个集合  $\text{Contact\_List}(a) = \{l_1, l_2, \dots, l_r\}$  中, 称  $\text{Contact\_List}(a)$  为 Agent  $a$  的同学通讯录, 其中  $l_i$  称为一条通讯地址, 用来记录第  $i$  个同学的联系信息,  $1 \leq i \leq r$ 。

每条通讯地址  $l_i$  可定义为  $l_i = \langle \text{ID}, \text{Name}, \text{Ability\_Study}, \text{Property\_Study}, \text{Address}, \text{Trust} \rangle$ , 其中 ID, Name, Ability\_Study, Property\_Study, Address 分别表示 Agent  $a$  的第  $i$  个同学的标识、名字、学习能力、学习属性和联系地址; Trust 定

义为 Agent  $a$  对于该同学的信任度,  $1 \leq i \leq r$  [10]。

**定义 6(同学关系)** 给定两个学习者 Agent  $a$  和  $b$ , 如果  $\exists l \in \text{Contact\_List}(a)$  ( $b.\text{ID} = l.\text{ID}$ ), 则我们称 Agent  $b$  是 Agent  $a$  的同学, 也就是说 Agent  $a$  与 Agent  $b$  具有同学关系, 记为  $\text{Classmate}(a, b)$ 。

本文中, 我们假设一个 Agent  $a$  和自己具有同学关系, 即  $\text{Classmate}(a, a)$ , 这是因为当 Agent 遇到问题时, 总是先自己试图去解决该问题。另外, 同学关系是对称的, 但不是传递的。因此, 给定一个学习者 Agent 的集合  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , 定义在集合  $A$  上的同学关系实际上是一个相容关系。根据相容关系的特点我们可知, 由同学关系我们可以在集合  $A$  上形成多个同学联盟, 每个同学联盟都是一个相容类, 这些同学联盟构成集合  $A$  的一个覆盖。

### 3 同学联盟机制

#### 3.1 同学联盟的概念

**定义 7(同学联盟)** 在协作学习中, 给定一个学习者 Agent 的集合  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , 集合  $A$  中一组通过协作可共同完成特定学习任务并且具有同学关系的学习者 Agent 按照一定的方式组织起来就形成了一个同学联盟  $C$ 。显然,  $C \subseteq A$  或者  $C = A$ 。

**定义 8(同学联盟的学习能力)** 给定一个学习者 Agent 的集合  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  以及  $A$  上一个同学联盟  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 。令  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  为一个学习任务的集合, 对于任意一个  $t_i \in T$ , 联盟  $C$  在学习任务  $t_i$  时的学习能力等于联盟中每个学习者 Agent 在学习  $t_i$  时的学习能力的析取。如果用集合  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$  表示联盟  $C$  的学习能力,  $B_j = \{b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jm}\}$  表示联盟  $C$  的第  $j$  个成员的学习能力, 则  $b_i = \bigvee_{j=1}^m b_{ji} = b_{i1} \vee b_{i2} \vee \dots \vee b_{im}$ , 其中  $b_{ji}$  表示联盟  $C$  在学习第  $i$  项任务时所具有的学习能力,  $b_{ji} \in \{0, 1\}$  表示联盟  $C$  的第  $j$  个成员在学习第  $i$  项任务时所具有的学习能力,  $1 \leq i \leq k, 1 \leq j \leq m$  [9,10]。

**定义 9(同学联盟的大小)** 给定一个学习者 Agent 的集合  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  以及集合  $A$  上一个同学联盟  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ , 我们将集合  $C$  的基数称为该同学联盟的大小, 即同学联盟  $C$  的大小为  $|C|$ , 其中  $|C|$  表示集合  $C$  的基数 [9,10]。如果协作学习系统中有多个同学联盟, 则必须满足  $\sum_{i=1}^s |C_i| \leq n$ , 其中  $C_i$  表示系统中的第  $i$  个联盟,  $1 \leq i \leq s$ 。

**定义 10(同学联盟的性能)** 给定一个学习者 Agent 的集合  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  以及  $A$  上一个同学联盟  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 。令  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  为一个学习任务的集合, 对于任意一个  $t_i \in T$ , 联盟  $C$  在完成学习任务  $t_i$  时的性能  $V_i(C)$  是指联盟中所有成员通过集体行动完成学习任务  $t_i$  时的学习效率。 $V_i(C) = \text{Profit}(t_i) / \text{Cost}(t_i)$ , 其中  $\text{Profit}(t_i)$  指联盟  $C$  在完成学习任务  $t_i$  所获得的收益;  $\text{Cost}(t_i)$  是指联盟  $C$  为完成学习任务  $t_i$  所付出的开销,  $1 \leq i \leq k$ 。同学联盟  $C$  的性能可以表示如下:  $V(C) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k V_i(C)$ ,  $1 \leq i \leq k$ 。

给定一个协作学习系统, 我们把系统中所有同学联盟的性能的平均值作为整个协作学习系统的性能。

#### 3.2 同学联盟的形成策略

给定一个协作学习系统, 系统中由学习者 Agent 的集合  $A$

$= \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  生成多个同学联盟时, 必须满足下列条件 [12]:

(1) 所有同学联盟构成集合  $A$  的一个覆盖, 即  $\bigcup_{i=1}^s C_i = A$ , 且  $C_i \subseteq A$  或者  $C_i = A$ ;

(2) 给定一个学习任务集合  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ , 每个同学联盟  $C_i$  的学习能力  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$  必须满足对任意  $1 \leq j \leq k, b_j = 1$ ;

(3) 应该保证整个协作学习系统的性能最大化, 即系统中所有同学联盟的性能的平均值最大;

(4) 应该保证每个同学联盟  $C_i$  的大小最小化, 即同学联盟的成员个数尽量少。

**定义 11(初始同学联盟)** 给定一个学习者 Agent 的集合  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  以及  $A$  上一个同学关系  $\text{Classmate}$ 。令集合  $\text{Classmate}(x) = \{y \in A \mid (x, y) \in \text{Classmate}\}$  为学习者 Agent  $x$  的所有同学,  $\{\text{Classmate}(x) \mid x \in A\}$  构成集合  $A$  的一个覆盖。我们把学习者 Agent  $x$  的所有信任度超过阈值  $\mu$  的同学称为包含 Agent  $x$  的一个初始同学联盟, 即包含 Agent  $x$  的一个初始同学联盟为  $I(x) = \{y \in \text{Classmate}(x) \mid \exists l \in \text{Contact\_List}(x) ((y.\text{ID} = l.\text{ID}) \wedge (l.\text{Trust} > \mu))\}$ , 其中  $\text{Contact\_List}(x)$  为 Agent  $x$  的同学通讯录,  $\mu$  为给定的一个信任度阈值。

初始同学联盟并不是协作学习系统中所采用的同学联盟, 还需要对初始同学联盟进行改进, 使其满足相应的联盟形成策略。

**定义 12(基本同学联盟)** 给定一个学习者 Agent 的集合  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  以及一个学习任务的集合  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ 。令  $I(x)$  为包含学习者 Agent  $x$  的一个初始同学联盟, 对于任意一个子集  $X \subseteq I(x)$ ,  $X$  被称为包含 Agent  $x$  的一个基本同学联盟, 如果  $X$  满足以下条件: (1)  $x \in X$ ; (2)  $X$  的学习能力  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$  必须满足对任意  $1 \leq i \leq k, b_i = 1$ ; (3)  $X$  在满足 (1) 和 (2) 的前提下, 所包含的元素尽可能少。

**定义 13(最终同学联盟)** 给定一个学习者 Agent 的集合  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  以及一个学习任务的集合  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ 。令  $X_1, \dots, X_s$  为包含学习者 Agent  $x$  的  $s$  个基本同学联盟, 我们称  $C \in \{X_1, \dots, X_s\}$  为包含学习者 Agent  $x$  的最终同学联盟, 如果  $C$  满足  $V(C) = \max_{i=1}^s V(X_i)$ , 其中  $V(C)$  表示同学联盟  $C$  的性能。

一旦为每个学习者 Agent 都确定好其最终同学联盟之后, 协作学习系统就可以按照最终同学联盟的结构, 将学习者 Agent 组成多个学习小组, 分别进行相关学习任务的学习。

#### 3.3 同学联盟的形成算法

算法输入: 学习者 Agent 的集合  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ; 信任度阈值  $\mu$ ; 学习任务  $T_1, T_2, \dots$

算法输出: 最终同学联盟的集合  $\{C_1, C_2, \dots, C_s\}$

(1) 初始化: 令  $E = A$ , 确定学习系统中的同学关系  $\text{Classmate}$ ;

(2) 接收新的学习任务  $T$ , 并将  $T$  分解成若干个子任务;

(3) 对于任意学习者 Agent  $a \in E$ , 循环执行下列语句:

① 根据学习者 Agent  $a$  的所有同学的集合  $\text{Classmate}(a)$  以及信任度阈值  $\mu$ , 计算 Agent  $a$  的初始同学联盟  $I(a)$ ;

② 根据初始同学联盟  $I(a)$  中各个 Agent 在学习  $T$  中各项学习任务时所具有的学习能力, 计算出所有包含 Agent  $a$

的基本同学联盟  $X_1, \dots, X_s$ , 其中每个  $X_i$  都必须具有学习  $T$  中所有学习任务的能力, 并且  $X_i$  所包含的元素个数尽可能少,  $1 \leq i \leq s$ . 如果找不到这样的基本同学联盟, 则转到步骤 (3), 执行下一次循环;

③ 计算包含 Agent  $a$  的每个基本同学联盟  $X_i$  在学习  $T$  时的性能  $V(X_i)$ ,  $1 \leq i \leq s$ , 由此得到包含 Agent  $a$  的最终同学联盟  $C$ , 使得  $C$  满足  $V(C) = \underset{i=1}{\text{Max}} V(X_i)$ ;

④ 返回最终同学联盟  $C$ . 将学习任务  $T$  委托给联盟  $C$ ,  $C$  中的所有学习者 Agent 共同合作完成学习任务  $T$ ;

⑤ 根据学习任务  $T$  的完成情况, 修改同学联盟  $C$  中的所有学习者 Agent 的同学通讯录. 如果任务  $T$  被完成, 则联盟  $C$  中的所有 Agent 对于  $C$  中其他 Agent 的信任度增加一个单位值, 否则联盟  $C$  中的所有 Agent 对于  $C$  中其他 Agent 的信任度减少一个单位值;

⑥  $E = E - C$

(4) 如果还有新任务, 则转到步骤 (2), 否则算法结束.

**结束语** 为了在协作学习中实现学习者 Agent 之间的有效合作, 本文通过引入同学关系网模型来构建学习系统中学习者 Agent 之间的同学联盟, 再基于这种 Agent 的同学联盟来实现多个学习者 Agent 之间的协作学习. 由于同学关系网模型可以解决多 Agent 系统中普遍存在的通信开销和资源开销等问题, 从而使得在 Agent 同学联盟中实现的协作学习更加可行和有效, 很好地弥补了现有协作学习系统这方面存在的不足. 针对特定的协作学习系统, 我们还提出了同学联盟的形成策略, 并提出一种同学联盟的形成算法. 下一步的研究工作包括如何将我们的同学联盟形成策略和算法应用于实

际的远程教育和网络教学中.

## 参考文献

- [1] B S 布卢姆. 教育评价[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1987
- [2] 黄荣怀. CSCL 的理论与方法[J]. 电化教育研究, 1999(6): 25-30
- [3] 徐林, 伍顺比. 基于网络环境下的协作学习教学设计研究[J]. 计算机教育, 2007(8): 37-39
- [4] Dorneich M C. A system design framework-driven implementation of a learning collaboratory[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans, 2002, 32(2): 200-213
- [5] Florea A M. An Agent-based collaborative learning[J]. ICCE 99, 1999, 1(3): 161-164
- [6] Lowyck J, Poysa J. Design of collaborative learning environments[J]. Computers in Human Behavior, 2001, 17(5/6): 507-516
- [7] Smith R G. The Contact Net Protocol: High-level Communication and Control in a Distributed Problem Solver[J]. IEEE Trans. on Computer, 1980, 29(12): 1104-1113
- [8] 陈刚, 陆汝钫. 关系网模型——基于社会合作机制的多 Agent 协作组织方法[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(1): 108-109
- [9] 兰少华, 叶东海, 吴慧中. 一种 Agent 任务求解联盟形成策略[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(5): 941-942
- [10] 魏巍, 刘弘. 基于关系网模型的 Agent 联盟形成策略[J]. 计算机应用研究, 2006, 23(10): 41-43
- [11] Ngolah C F. A Tutorial on Agent Communication and Knowledge Sharing. 2002[OL]. [http://www.enel.ucalgary.ca/People/far/Lectures/SENG60922/PDF/tutorials/2002/Agent\\_Communication\\_and\\_Knowledge\\_Sharing.pdf](http://www.enel.ucalgary.ca/People/far/Lectures/SENG60922/PDF/tutorials/2002/Agent_Communication_and_Knowledge_Sharing.pdf)
- [12] 叶斌, 马忠贵, 曾广平, 等. 多 Agent 系统的联盟框架及形成机制[J]. 北京理工大学学报, 2005, 25(10): 864-867

(上接第 96 页)

说明用户 2 获得了约 2dB 的增益(用户 2 的上行信噪比固定为 30dB); 当用户 1 的上行信道信噪比达到 30dB 以上时, 其性能已经好于用户 2 的上行信道性能, 用户 1 从协作中获益减小, 而用户 2 的获益增加并超过用户 1. 仿真结果表明, 通过编码协作通信模式, 上行信道信噪比好的用户会显著地帮助信噪比差的用户提高性能, 同时在高信噪比下自身也能通过协作通信获得收益, 从而使整个协作系统的性能得到有效改善.

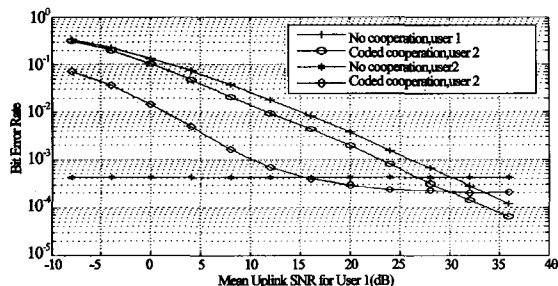


图 5 编码协作通信性能(用户 2 的上行信道信噪比固定为 30dB)

**结束语** 协作通信被证明是一种有效的抵抗无线信道衰落影响的技术. 将信道编码和协作通信有效地结合, 在获得传输分集增益的同时可获得相应的编码增益. 本文提出的基于 Turbo 乘积码的协作通信可以有效地提高系统的性能, 而无需增加整个系统的系统带宽和发送功率. 下一步我们将针对当前的研究做进一步的研究, 可将二维 Turbo 乘积码扩展

到多维 Turbo 乘积码以及依据信道状态的自适应编码协作通信. 此外, 还将研究功率分配对编码协作系统的影响.

## 参考文献

- [1] Nosratinia A, Hunter T E, Hedayat A. Cooperative Communication in Wireless Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(10): 74-80
- [2] Hunter T E, Nosratinia A. Diversity through Coded Cooperation[J]. IEEE Trans. Wireless Commun., 2006, 5(2): 283-289
- [3] Hunter T E, Sanayei S, Nosratinia A. Outage analysis of coded cooperation[J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 2006, 50(12): 3062-3080
- [4] Janani M, Hedayat A, Hunter T E, et al. Coded Cooperation in Wireless Communications: Space-time Transmission and Iterative Decoding[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 2004, 52(2): 362-371
- [5] Cao Yang, Vojcic B. Cooperative Coding using Serial Concatenated Convolutional Codes[J]. IEEE Communications Society, 2005, 2: 1001-1006
- [6] Razaghi P, Yu W. Bilayer Low-density Parity-check Codes for Decode-and-Forward in Relay Channels[J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 2007, 53(10): 3723-2739
- [7] Xiao L, Fuja T E, Klierer J, et al. A Network Coding Approach to Cooperative Diversity[J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 2007, 53(10): 3714-3722
- [8] Pyndiah R M. Near-optimum Decoding of Product Code: Block Turbo Code[J]. IEEE Trans. Commun., 1998, 46(8): 1003-1010
- [9] 雷维嘉, 谢显中, 李广军. 一种基于 LDPC 编码的协作通信方式[J]. 电子学报, 2007, 35(4): 712-715