

# 资源受限的多 Agent 系统通信研究

赵 杰 杨 柳 李树平

(牡丹江师范学院计算机科学与技术系 牡丹江 157012)

**摘 要** 在部分可观察环境中, Agent 需要知识共享完成分布式合作。在资源受限的条件下, 不加选择的通信会因为消耗有用的带宽产生性能瓶颈。因此, 在资源受限的系统中需要在通信效用和通信代价之间进行适当的折衷。通过对无线网络通信方法的研究, 基于信息冗余的思想讨论了多 Agent 系统的通信问题, 提出了选择性信息交换算法, 保证了 Agent 之间必要时的通信, 以此来提高合作的效率。

**关键词** 选择性通信, 多 Agent 系统, 通信代价, 资源

## Communicating in Resource-constrained Multi-Agent Systems

ZHAO Jie YANG Liu LI Shu-ping

(Department of Computer Science and Technology, Mudanjiang Normal College, Mudanjiang 157012, China)

**Abstract** Agents with partial observability need to share information to achieve decentralized coordination. However, in resource-constrained systems, indiscriminate communication can create performance bottlenecks by consuming valuable bandwidth. Therefore, there is a tradeoff between the utility attained by communication and its cost. Here we addressed this tradeoff by developing a novel strategy to make communication selective based on information redundancy, ensuring communication only occurs when necessary, while maintaining acceptable coordination.

**Keywords** Selective communicate, Multi-Agent system, Communication cost, Resorce

## 1 引言

在无线传感器网络、P2P 等分布式系统中, 通常由 Agent 在不完整的领域知识条件下以分散合作的方式共同完成某项任务。为提高分布式任务的处理能力, Agent 之间要能够实现信息共享<sup>[1,2,4,8]</sup>。因此, 对分布式环境下通信问题的研究具有一定的现实意义。

在分布式环境中, 规划 Agent 之间由于信息交换而产生的通信是一个重要问题, 但已有的研究表明很难为此类问题找到最优的通信策略, 目前研究人员给出了一些非最优化的解决方法<sup>[5,6,9]</sup>。例如, 文献[3]提出了用于提高单个 Agent 效用的通信策略, 但该方法需要以降低整个系统的性能为代价; 文献[9]提出了通过 Agents 所有可能的通信动作来计算整个 Agent 组获得的通信效用, 该方法不具有实用性。文献[7]将分布式通信问题建模为马尔可夫决策过程, 该方法需要离线规划, 难以应用到动态环境中。

Dutta 提出了一种分布式环境下的通信算法。该方法中, 每个节点拥有一张路由表  $RT$ ,  $RT_i(d, n)$  表示节点  $i$  从  $n$  到  $d$  的最佳带宽。其中,  $d$  为目的节点,  $n$  为  $i$  的一个相邻节点。当节点  $i$  产生呼叫请求时, 首先利用麦克斯韦-玻尔兹曼分布从  $RT_i$  表中选择一个相邻节点, 继续下一步的路由, 直到呼叫请求到达目的节点。最后, 从目的节点开始沿着呼叫

路径返回一个应答消息, 表明已建立一个成功的连接。由于应答消息会占用有效的带宽, 因此在带宽资源受限的情况下, 该方法会导致通信性能的下降。本文在文献[2]的基础上, 提出了一种改进的通信方案。

## 2 选择性信息交换策略

在分布式路由通信中, 一个节点在某时刻传送到给定节点的状态值可能与它先前传送到该节点的状态值相同。此时, 再次发送状态信息是多余的。因此, Agent 只需要在状态值变化较大的情况下进行信息传输。基于这种思想, 提出了选择性信息交换策略(SIE)。

### 2.1 节点结构

为了实现状态值的选择性传输, 网络节点具有下面的结构。

发送存储器( $T$ ): 存储发送到每个相邻节点的状态值,  $T_i(n)$  为节点  $i$  传送到节点  $n$  的最新状态值。节点  $i$  需要的内存大小为  $|K_i|$ ,  $K_i$  是节点  $n$  的相邻节点数目。

接收存储器( $R$ ): 存储从其它节点接受到的最新状态值,  $R_i(j)$  为节点  $i$  从节点  $j$  接收到的最新状态值, 节点  $i$  用该值来修改  $RT$  表。节点  $i$  的接收存储器大小为  $|A| - 1$ ,  $A$  为网络中的所有节点数目。

### 2.2 RT 表的更新

到稿日期: 2009-12-17 返修日期: 2010-02-03 本文受黑龙江省智能教育与信息工程重点实验室基于 Sakai 的智能互动教学平台研究项目(IEF2008-02)资助。

赵 杰(1963-), 男, 教授, 主要研究方向为计算机网络、模式识别, E-mail: zhaojie\_1148@163.com; 杨 柳(1969-), 女, 副教授, 主要研究方向为智能规划与规划识别; 李树平(1965-), 女, 教授, 主要研究方向为人工智能。

给定  $T$  和  $R$ ,  $RT$  表的更新动作如下。

状态值的传输: 对任一节点  $i(1 \leq i \leq d)$ , 若  $s_i \neq T_i(i-1)$ , 则节点  $i$  将自身状态  $s_i$  附加在传给上游节点  $(i-1)$  的应答消息上, 然后作以下修改:  $T_i(i-1) = s_i$ ; 否则, 无需将  $s_i$  附加在应答消息上。

$RT$  表的更新: 节点  $i$  通过检验节点  $(i+m)$  的状态值是否出现在应答消息中来确定节点状态的更新度。如果下游节点的状态值出现在了应答消息中, 则节点  $i(1 \leq i < d)$  将按照最新的状态值  $\{s_{i+m} | m=1, \dots, (d-i)\}$  更新自身的  $RT$  表; 否则, 节点  $i$  继续使用  $R_i(i+m)$  更新  $RT$  表。

### 2.3 SIE 策略对不同参数的要求

存储器大小: 每个节点分别需要大小为  $|K_i|+1$  和  $|A_i|-1$  的存储器, 用来存储  $R$  和  $T$  的值。节点所存储的容量随节点数线性增加。

消息尺寸: 如果在消息中附带节点状态, 则消息的尺寸随之增加, 消息尺寸与消耗的网络带宽成正比。在 SIE 策略中, 通过对节点状态的选择性传输, 减少了应答消息的尺寸, 节省了有用的带宽资源。

路由表的质量: 路由表越精确, 呼叫成功率越高。在 SIE 策略中, 对于状态发生了改变的节点, 存储了节点的最新状态值, 因此节点的路由性能保持不变。

为了更好地实现选择性信息传输, 为每个节点设置了反映节点状态变化程度的阈值  $\Delta s_i$ 。当  $|s_i - T_i(j)| \geq \Delta s_i$  时, 节点  $i$  向节点  $j$  传输新的状态值。  $\Delta s$  值越大, 选择性通信的要求越高, 信息的传输量和消息的尺寸越小。

## 3 实验结果与分析

基于本文提出的方法, 分别采用 36 个节点的均匀网络拓扑结构、50 个节点和 100 个节点的随机网络拓扑结构对算法进行模拟实验。在均衡负载的网络环境下, 对 NISE 和 SIE 的呼叫成功率(CRS)和消息尺寸(MS)两个参数进行了对比分析。COP 为呼叫产生率, 实验中 COP 的值分别取自集合  $\{0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$ 。两种策略的对比分析结果如表 1 和表 2 所列。

表 1 NISE 的性能(均衡负载)

COP	Topology1		Topology2		Topology3	
	CSR	MS	CSR	MS	CSR	MS
0.1	0.476	3.84	0.493	3.51	0.287	4.026
0.2	0.328	3.17	0.363	2.95	0.217	3.31
0.3	0.213	2.56	0.247	2.32	0.158	2.676
0.4	0.164	2.25	0.191	1.99	0.128	2.365
0.5	0.134	2.06	0.158	1.80	0.108	2.159

表 2 SIE 的性能( $\Delta s=0.1$ ); 均衡负载

COP	Topology1		Topology2		Topology3	
	CSR	MS	CSR	MS	CSR	MS
0.1	0.484	1.939	0.493	2.456	0.275	1.891
0.2	0.325	1.501	0.364	2.067	0.213	1.602
0.4	0.207	1.099	0.245	1.612	0.158	1.298
0.6	0.157	0.892	0.190	1.353	0.127	1.125
0.8	0.128	0.756	0.156	1.182	0.107	0.986

表 1 给出了 NISE 策略中 3 种拓扑结构的 CSR 和 MS 平均值。表中数据表明, 随着 COP 的增大, CSR 和 MS 的平均值随之减小。这是因为受带宽限制, 当大量节点产生呼叫请求时, 只有距离较短的呼叫请求能够真正建立起连接, 而相当

一部分节点的呼叫请求失败。因此, CSR 和 MS 的值下降。

表 2 中 CSR 和 MS 的变化趋势与表 1 相同。为进一步对比两种策略, 给出下面的定义:

$$CSR_{diff} = (CSR(NISE) - CSR(SIE)) / CSR(NISE)$$

$$MS_{diff} = (MS(NISE) - MS(SIE)) / MS(NISE)$$

通过对拓扑结构 1 中数据的分析, 得到如下结论:

(1)  $\Delta S$  取值较小时, 对任何的 COP, 两种方法的 CSR 值都接近。当  $\Delta S < 0.4$  时,  $CSR_{diff}$  小于 4.0。表明较小的  $\Delta S$  下, SIE 策略允许节点间的频繁通信, 使  $RT$  表得到及时的更新, 因此呼叫成功率较高。

(2)  $\Delta S$  取值较大时, 对于较小的 COP, CSR 明显下降。表明 COP 取值较低时, 产生通信的概率降低,  $RT$  表得不到及时更新, 因此导致了路由质量的下降和 CSR 的减小。而当 COP 取值较高时, 两种方法的 CSR 值接近。

(3) 对所有的 COP 取值,  $MS_{diff}$  随着  $\Delta S$  的增大而增加, 表明  $\Delta S$  较大时, 通信受到一定的限制, SIE 通过对  $\Delta S$  的设置达到节省带宽的目的。

结束语 选择性信息交换策略很好地解决了资源受限的多 Agent 系统中通信的效用和代价问题。与 NISE 策略相比, SIE 策略可以节省 30%~80% 的带宽, 路由质量却只下降了 5%。SIE 带宽使用率的提高弥补了路由质量的下降带来的不足, 得到很好的折衷效果。通过该策略的使用, 可以在节省带宽资源的情况下, 保持高效率的合作。后续的工作中将对该策略继续改进, 使 Agent 能够适应性地选择通信阈值, 进一步提高任务的处理能力和资源的使用效率。

## 参考文献

- [1] Boyan J A, Littman M L. Packet routing in dynamically changing networks; A reinforcement learning approach[J]. NIPS, 1993, 6: 671-678
- [2] Dutta P S, Jennings N R, Moreau L. Cooperative information sharing to improve distributed learning in multi-agent system [J]. JAIR, 2005, 24: 407-463
- [3] Gmytrasiewicz P J, Durfee E H. Rational communication in multi-agent environments[J]. JAAMAS, 2001, 4: 233-272
- [4] Goldman C V, Zilberstein S. Optimizing information exchange in cooperative multi-agent systems[J]. AAMAS, 2003, 9: 137-144
- [5] Goldman C V, Zilberstein S. Decentralized control of cooperative system: Categorization and complexity analysis[J]. JAIR, 2004, 22: 143-174
- [6] Haas Z, Halpern J Y, Li L, et al. A decision-theoretic approach to resource allocation in wireless multimedia networks[C] // Proc. of the 4th DLALM Workshop. 2000: 86-95
- [7] Shen J, Lesser V, Carver N. Minimizing communication cost in a distributed Bayesian network using a decentralized MDP[J]. AAMAS, 2003: 678-685
- [8] Xuan P, Lesser V, Zilberstein S. Communication decisions in multi-agent cooperation: model and experiments[J]. Agents, 2001: 616-623
- [9] Zhang Y, Volz R A, Ioerger T R, et al. A decision-theoretic approach for designing proactive communication in multi-agent teamwork[C] // ACM Symp. on Applied Computing. 2004: 64-71
- [10] Zilberstein S, Russell S. Optimal composition of real-time systems[J]. AIJ, 1996, 82(1/2): 181-213
- [11] 李晓瑜. 一种新型局域网管理系统[J]. 重庆工学院报: 自然科学版, 2009, 23(8): 113-115