

基于溢出性原理的联盟结构生成算法

张利凯,王黎明

(郑州大学 信息工程学院,河南 郑州 450001)

摘要:联盟结构的生成问题中由于搜索空间的联盟结构数目太大,因而搜索联盟结构的最底两层建立一个最坏情况下的边界值是必要的,边界值将最优的联盟结构限制在某个界限内,通过进一步的搜索可以在任意时间内得到一个较优值。根据联盟的溢出性质,文中提出了一种新的建立边界值的方法,即对任意不相交的联盟集合计算其上下边界的值,通过搜索特定的联盟结构集合建立最坏情况下的边界值。联盟的边界值建立以后,可以在任意时间内得到一个较优值,通过搜索剩余的联盟结构集合,可以对边界值和返回的联盟结构进一步优化。在此基础上文中提出了基于溢出性质的任意时间算法。实验结果表明,采用新的方法建立边界值,使得算法的收敛速度更快,效率更高。

关键词:联盟;联盟结构;溢出性;划分搜索;边界值

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)02-0115-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.02.028

Algorithm of Coalition Structure Generation Based on Externalities

ZHANG Li-kai, WANG Li-ming

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The search space of coalition structure graph is so big in characteristic function games that it is necessary to build a worst-case bound to bound the best coalition structure by searching the last two levels of coalition structure graph, and it can finally get a better coalition structure from it. In partition function games, one coalition may be affected by the formation of other distinct coalitions, so a new method of building the worst-case bound is proposed. Build the worst-case bound by computing the upper and lower bounds on the values of any set of coalitions and searching the set of the coalition structure. So anytime algorithm based on externalities is proposed. It is able to get a good result after building the worst-case bound, and the result could be optimized through further search. The efficiency of algorithm is improved and a satisfactory value is able to be gained at any time.

Key words: coalition; coalition structure; externalities; distribution search; bound

0 引言

在多 agent 系统中,联盟形成是多 agent 交互的一种重要形式。由于单个 agent 能力有限,无法独立完成某一任务或者通过多个 agent 协作提高求解效率,agent 之间经常需要协作来完成任务求解。在划分函数论中的溢出性质使得联盟结构的生成问题变得更加复杂。

文献[1]证明了对联盟结构图搜索完最底2层和最顶层以后,可得到收益不低于最优收益的 $1/\lceil n/2 \rceil$ 的 agent 联盟结构。文献[2-3]给出了一种满足某种质量要求的算法,可以在任意时间得出较优值,但要得到最优值仍要搜索 $O(n^n)$ 的空间。文献

[4]提出一种随机算法,该算法能够在 $O(2^n)$ 的八分之一的时间内建立最坏情况下的边界值,而以前的算法建立最坏边界值需要的时间为 $O(2^n)$ 。文献[5]的算法解决了联盟结构空间的大量重复搜索的问题,空间复杂度是动态规划算法空间复杂度的三分之一,但是此算法只能得到近似最优的联盟结构。文献[6]根据联盟的溢出性质将划分函数论中的联盟结构生成划分为超加、超减、子加和子减四类,缺点是算法的效率仍然偏低。文献[7]将特征函数论中的动态规划算法应用到划分函数论中,此算法能够在程序运行结束时得到一个最优值,但是不能在任意时间内返回一个临时值。文献[8]通过搜索具有溢出性质的联盟结构的

收稿日期:2013-03-22

修回日期:2013-06-27

网络出版时间:2013-11-12

基金项目:河南省教育基金项目(2009A520025)

作者简介:张利凯(1985-),男,河南郑州人,硕士研究生,研究方向为机器学习与数据挖掘;王黎明,博士,教授,研究方向为现代软件工程、分布式智能系统、机器学习、分布式数据挖掘。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20131112.1639.039.html>

最底 2 层建立一个最坏情况下的边界值,在此边界值的约束下算法的收敛速度仍然缓慢。张新良^[9]等人基于联盟合作收益的独立性,利用联盟结构的同构性质提出了快速动态生成算法,此算法大大降低了联盟结构空间的搜索量。文献[10]提出了一种基于局部最优的联盟结构生成算法。文献[11]对联盟结构图的代数性质进行了描述。文献[12]设计了一种 EOCS 算法,无论联盟值满足何种概率分布都能在 $O(2.983^n)$ 的时间内找到最优联盟结构。

文中首先给出了溢出性质的相关概念,然后利用联盟的上下界和最坏情况下的边界值,提出了基于溢出性质的联盟结构生成算法。最后选用文献[6]中的快速预处理方法和剪枝方法为基础算法,按溢出特性将联盟结构的生成问题划分为正溢出(PF⁺)和负溢出(PF⁻)两种情况进行分析。实验结果表明使用新的方法建立最坏情况下的边界值使得算法的收敛速度更快,运行的效率更高。

1 相关概念

1.1 问题描述

由于联盟结构的数量太大,在搜索联盟结构图中的联盟结构时,建立一个最坏情况下的边界值,可以减少搜索空间,在任意时间内得到一个较优值。特征函数论中联盟的值是相互独立的,算法^[1]证明了通过搜索联盟结构图的最底两层可以建立最坏情况下的边界值。然而,在联盟具有溢出性质的联盟结构生成中,仅仅搜索联盟结构图的最底两层是不够的,因为在不同的联盟结构中联盟的值是不同的,随着联盟的合并联盟值可能增大或减小。

1.2 概念定义

定义 1(联盟): $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 为 agent 集合,表示该集合中包含 n 个 agent。联盟 C 是集合 A 的非空子集,形式化定义为 $C = \{C: C \subseteq A, C \neq \emptyset\}$ 。联盟的个数 $|C| = 2^n - 1$ 。

定义 2(联盟结构):联盟结构是 agent 集合的一个划分, $CS = \{C_1, C_2, \dots, C_{|CS|}\}$, 其中 $i, j \in \{1, 2, \dots, |CS|\}$, $C_i \cap C_j = \emptyset$ 。所有联盟结构的集合表示为 P^A , 包含 s 个联盟的联盟结构的集合表示为 P_s^A :

$$P_s^A = \frac{1}{i!} \sum_{i=0}^{s-1} (-1)^i \binom{s}{i} (s-i)^n$$

agent 的所有联盟结构可以由一个 n 层 agent 联盟结构图 G^A 表示,联盟结构的生成过程可被看作是对联盟结构图的搜索过程,图中自下而上依次是 L_1, L_2, \dots, L_n 层,节点代表联盟结构, L_k 代表联盟结构图中第 k 层的所有节点,第 k 层的节点表示该层的联盟结构由 k 个联盟组成,如图 1 所示。

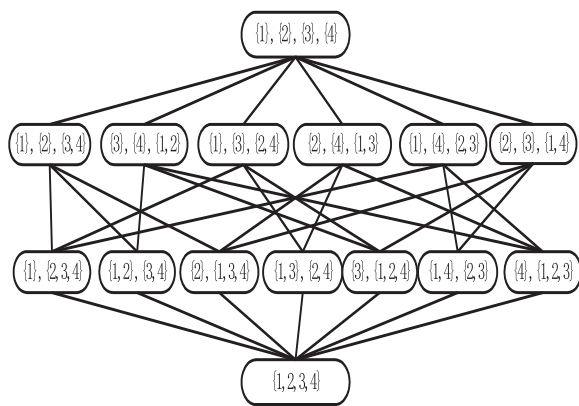


图 1 CFG 中 agent 联盟结构图

定义 3(基数划分图):假定联盟结构 $P = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, 联盟 C 的个数为 $|C|$, $|CS_k| = k$ 。不失一般性,令 $|C_1| \geq |C_2| \geq \dots \geq |C_k|$, 其中 $n_1 = |C_1|, n_2 = |C_2|, \dots, n_k = |C_k|$, 联盟结构 P 的基数划分为 $I = \{n_1, n_2, \dots, n_k\}$ 。联盟结构图中每个联盟结构都对应一个基数划分,它们的基数划分图 P^n , 如图 2 所示。

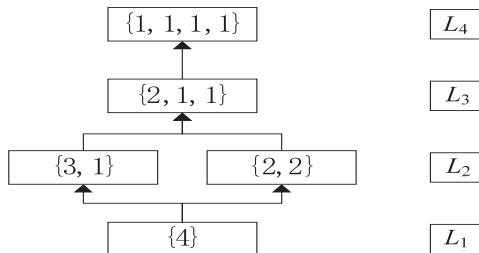


图 2 联盟结构基数划分图

定义 4(溢出性):令 $CS_1, CS_2 \in P^A$, 且存在 $C, C', C'' \in CS'$, 则 $CS = \{C' \cup C''\} \cup CS' \setminus \{C' \cup C''\}$, CS 是 CS' 通过合并 C', C'' 而来,合并以后 CS 中的联盟 C 的值发生了变化,即为溢出性。 $T(C, CS, CS') = v(C, CS) - v(C, CS')$ 。

定义 5(正负溢出):PFG 具有性质正溢出(PF⁺)当且仅当 $T(C, CS, CS') \geq 0$;具有性质负溢出(PF⁻)当且仅当 $T(C, CS, CS') \leq 0$ 。

联盟 $\{a_1\}$ 的值在联盟结构中是不断变化的,随着联盟的合并而减小。CFG 是 PFG 的一个特例,即 CFG 中的溢出恒等于 0。

2 算法描述

2.1 联盟的上界和下界

对于任意联盟 C , I 是 C 的一个基数划分, P_I^C 为联盟 C 的一个划分空间,可以计算联盟 C 的上界和下界。联盟 C 的划分空间如图 3 所示。

$C = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$, 由定义 3 可知, C 的一个基数划分为 $I = [1, 1, 2]$, 则联盟 C 的划分空间为 P_I^C 为:

给定联盟结构 $CS \in P^A$, CS 的值定义为 $W(CS) =$

$\sum_{C \in CS} w(C, CS)$ 。令 $C \cup \bar{C} = A$, P 是 C 的划分, 其中 $P \subseteq CS$, 则划分 P 的值为 $W(P, CS) = \sum_{p \in P} w(p, CS)$ 。

$\{\{a_1\}, \{a_2\}, \{a_3, a_4\}\}, \{\{a_2\}, \{a_3\}, \{a_1, a_4\}\},$
 $\{\{a_1\}, \{a_3\}, \{a_2, a_4\}\}, \{\{a_2\}, \{a_4\}, \{a_1, a_3\}\},$
 $\{\{a_1\}, \{a_4\}, \{a_2, a_3\}\}, \{\{a_3\}, \{a_4\}, \{a_1, a_2\}\},$

图3 联盟 C 的划分空间

根据溢出性, 由文献[8]中定理1可得如下推论:

推论1: $PF^-(PF^+)$ 中, 给定联盟 C 和联盟结构 M

$\subseteq CS$, $\bar{C} = \{b_1, b_2, \dots, b_s\}$, $C \cap \bar{C} = A$, 则:

$$W(M, \{\bar{C}\} \cup M) \leq (\geq) W(M, CS) \leq (\geq) W(M, \{\{b_1\}, \{b_2\}, \dots, \{b_s\}\} \cup M)$$

证明: 为简化符号, 令 $CS' = \{\bar{C}\} \cup M$, $CS'' = \{\{b_1\}, \{b_2\}, \dots, \{b_s\}\} \cup M$, 不失一般性, 假定 $CS \neq CS'$, $CS \neq CS''$ 。在 $PF^-(PF^+)$ 中, 只要证明 $W(M, CS') \leq (\geq) W(M, CS) \leq (\geq) W(M, CS'')$ 即可。

从联盟结构 CS 开始, 总能找到某个联盟结构经过若干次联盟的合并形成 CS' , 在合并的过程中联盟 M 保持不变。在 $PF^-(PF^+)$ 中, 随着联盟的合并, M 的值是一直减小(增大)的, 因而可得 $W(M, CS') \leq (\geq) W(M, CS)$, 同理可得 $W(M, CS) \leq (\geq) W(M, CS'')$, 所以 $W(M, CS') \leq (\geq) W(M, CS) \leq (\geq) W(M, CS'')$ 得证。

根据推论1, 可以为任意联盟 C 的划分划定边界, 联盟结构 $M = \{C\}$, 在 $PF^-(PF^+)$ 中, 联盟的上界 UB 和下界 LB 的计算公式如下:

$$LB(UB) = \sum_{m \in M} w(m, M \cup \{\bar{C}\}) \quad (1)$$

$$UB(LB) = \sum_{m \in M} w(m, M \cup \{\{b_1\}, \dots, \{b_s\}\}) \quad (2)$$

根据以上公式, 可以计算出任意联盟的上界和下界。若联盟的大小为 s , 则大小为 s 的联盟的最大值和平均值的计算公式为: C 的划分空间 I^C 的上界 $UB_I^C = \max UB^{P_I}$, 下界为 $LB_I^C = \max LB^{P_I}$ 。

2.2 建立最坏情况下的边界 β

最坏情况下的边界 β 最早由 Sandholm et al^[1] 提出, 用来保证在最坏情况下得到的联盟结构值与最优联盟结构值限定在一个范围内, 边界值定义为:

$$\frac{\max_{CS \in P^A} \sum w(C, CS)}{\max_{CS \in P^A} \sum w(C, CS)} \leq \beta \quad (3)$$

定理1: 在 PF^+ 中为了建立一个边界 β , 每个子空间 $P_I^A: I \in I^n, |I| \leq 2$ 必须被搜索, 搜索的联盟结构数目是 2^{n-1} , 边界 $\beta = n$ 。在 PF^- 中每个子空间 $P_I^A, I \in \{[n], [n-1, 1], [n-2, 1, 1], \dots, [1, 1, \dots, 1]\}$ 都必须被搜索, 搜索的联盟结构数目是 $2^n - n + 1$, 边界 $\beta =$

$\lceil n/2 \rceil$ 。

证明: 为了建立边界 β , 联盟 C 的每个可能最大值都必须被搜索, 在 PF^+ 中, 包含 C 的最大值的联盟结构是 $\{C, A \setminus C\}$, 而联盟的个数为 2^n 个, 又因为每个联盟结构刚好包含 2 个联盟, 则搜索的联盟结构个数为联盟个数的一半即为 2^{n-1} 。

为证明 $\beta = n$, 根据文献[8]中定理2, 令 X 是联盟的集合, Y 是联盟结构的集合 P^A , $Y' = P_I^A$, $Z = \{c \mid c \in C\}$, 因为具有最大值的 Z 是在 Y' 的联盟结构中, 那么在 Y' 中的最优联盟结构是 Y 中具有边界 β 的最优联盟结构, $\beta = \max_{y \in Y} \|y\|^Z$, 因为 $\|\{a_1\}, \{a_2\}, \dots, \{a_n\}\|^Z = n$, 所以 $\beta = n$ 。

在 PF^- 中, 联盟具有最大值的联盟结构为 $\{C, \{b_1\}, \{b_2\}, \dots, \{b_s\}\}$, 其中 $\bar{C} = \{b_1\} \cup \{b_2\} \cup \dots \cup \{b_s\}$ 。那么对每个子空间 $P_I^A, I \in \{[n], [n-1, 1], [n-2, 1, 1], \dots, [1, 1, \dots, 1]\}$ 都必须搜索。则搜索的联盟结构数目为联盟的个数, 其中重复的所有 agent 单独在同一联盟的联盟机构为 $n-1$ 个, 而联盟的数目为 2^n , 可得要搜索的联盟结构个数为 $2^n - n + 1$ 。

由文献[8]定理2证明 $\beta = \lceil n/2 \rceil$, 令 X 是联盟的集合, Y 是联盟结构的集合 P^A , $Y' = P_{[n]}^A \cup P_{[n-1, 1]}^A \cup P_{[n-2, 1, 1]}^A \dots \cup P_{[1, 1, \dots, 1]}^A$ 。

令 $Z = \{ \{c\} : c \in C \} \cup \{ \{c, c\} : c \in C, |c| = 1 \}$, Z 要么包含一个单独的联盟 c , 要么是 c 与单个 agent 组成的联盟的并。因为具有最大值的 Z 是在 Y' 的联盟结构中, 那么在 Y' 中的最优联盟结构是 Y 中具有边界 β 的最优联盟结构, 单独 agent 形成的联盟的并集是 Z 的子集, 联盟结构 CS 通过合并所有的单独 agent 形成联盟生成 CS' , 从而可得 $\|CS\|^Z = \|CS'\|^Z$, 根据定理2, 最优联盟结构全部是 $P_{[2, 2, \dots, 2, 1]}^A$ 和 $P_{[2, 2, \dots, 2]}^A$ 的子集, 对于 $P_{[2, 2, \dots, 2, 1]}^A$, agent 的个数是奇数, 对于 $P_{[2, 2, \dots, 2]}^A$, agent 的个数是偶数, 则 $\max_{y \in Y} \|y\|^Z = \lceil n/2 \rceil$ 。

在特征函数论模型^[1]中, 为了建立一个边界 β , 需要搜索联盟结构图的最底两层, 对于具有溢出性质的划分函数论模型, 需要搜索特定的联盟结构集合, 只要保证每个联盟在集合中至少出现一次。例如 PF^- 的搜索空间为 $P_I^A, I \in \{[n], [n-1, 1], [n-2, 1, 1], \dots, [1, 1, \dots, 1]\}$, PF^+ 搜索空间为 $P_I^A, I \in I^n, |I| \leq 2$ 。

定理1给出了建立最坏情况下边界值的新方法, 由定理可知, 相对于搜索联盟结构图的最底两层, 新方法需要搜索更多的联盟结构, 数目在 2^n 数量级。由公式(3)可得, 搜索特定联盟结构集合计算联盟的上下界建立边界值 β 以后, 可以进一步搜索剩余的联盟结构, 对 β 进行优化, 使得返回的联盟结构更优。

根据推论1和定理1, 可以得到负溢出 PF^- 算法策

略如下:

(1) 建立最坏情况下边界 β , 从 $\lceil n/2 \rceil$ 一直降低到 2, 搜索划分空间 P_I^A 内的联盟结构集合, $I \in \{[n], [n-1, 1], [n-2, 1, 1], \dots, [1, 1, \dots, 1]\}$, 删除已经搜索的联盟结构。

(2) 按照联盟从小到大的顺序依次搜索其划分空间 $I \in I^n$ 。依次计算 P_I^C 的上界和下界, 上界 $UB_I^C = \max UB^{P_I}$, 下界 $LB_I^C = \max LB^{P_I}$ 。如果存在另一个划分 I' , $\forall i \in I, \exists J \subseteq I': \sum_{j \in J} i$ 且 $UB_I \leq LB_{I'}$, 则搜索空间 I 可以被剪掉。

(3) 更新上界 UB 和下界 LB, 令 LB 为当前最优联盟结构值 CS^* 。

(4) 若当前最优联盟结构 CS^* 在边界 β 内, 则程序终止, 返回当前最优联盟结构值。

正溢出 PF⁺ 算法策略如下:

(1) 建立边界 β , 从 n 一直降低到 2, 搜索划分空间 P_I^A 内的联盟结构集合 $I \in I^n, |I| \leq 2$, 每个联盟要在集合中至少出现一次, 删除已经搜索的联盟结构。

(2) 按照联盟从小到大的顺序依次搜索其划分空间 $I \in I^n$ 。依次计算 P_I^C 的上界和下界, 上界 $UB_I^C = \max UB^{P_I}$, 下界 $LB_I^C = \max LB^{P_I}$ 。如果存在另一个划分 I' , $\forall i \in I, \exists J \subseteq I': \sum_{j \in J} i$, 且 $UB_I \leq LB_{I'}$, 则搜索空间 I 可以被剪掉。

(3) 更新上界 UB 和下界 LB, 令 LB 为当前最优联盟结构值 CS^* 。

(4) 若当前最优联盟结构 CS^* 在边界 β 内, 则程序终止, 返回当前最优联盟结构值。

2.3 算法复杂度分析

首先, 对时间复杂度进行分析。对于联盟结构生成算法, 数据的初始化不计入时间, 程序的运行主要计算最坏情况下的边界值, 以及对边界值的进一步优化, 由定理 2 可得, 对于正溢出来说, 得到最坏情况下的边界值需要搜索的联盟结构数目是 $2^n - 1$, 对于负溢出是 $2^n - n + 1$, 因而算法在任意时间得到一个较优的联盟结构的时间复杂度是 $O(2^n)$; 如果要得到最优联盟结构, 需要搜索所有的联盟结构, 因而要到的最优联盟结构的时间复杂度是 $O(n^n)$ 。

其次对于空间复杂度进行分析。对于联盟结构生成算法, 空间的消耗主要是存储联盟 C 在联盟结构 CS 中的值, 给定 n 个 agent 可得联盟的个数为 2^n , 则空间消耗为 $O(n * 2^n)$ 。

3 实验结果分析

要建立一个边界 β , 需要两个步骤:

(1) 将搜索空间划分为子空间;

(2) 这些子空间按照一个序列依次被搜索, 随着这些子空间的搜索, 边界值被逐步优化。

Sandholm^[1] 和 Dang^[2] 提供了两种算法, 但是他们的算法适用于特征函数论, 不能直接应用到划分函数论, 因为划分函数论中的联盟值具有溢出性。具体来说, 特征函数论算法的优势是联盟值在联盟结构中保持不变, 而划分函数论中联盟值随着联盟结构的变化而变化。

要达到相应的边界值, 基于溢出性质的算法搜索的联盟结构数要少于现有的特征函数论算法。例如, β 要达到 6, Sandholm 的算法要搜索 47%, Dang 的算法要搜索 38%, 正溢出只要搜索 32%, 负溢出是 30%。基于溢出性质的算法建立最坏情况下的边界值 β 要搜索的联盟结构是一个特定的集合: 对于负溢出, 要求搜索空间 $P_I^A, I \in \{[n], [n-1, 1], [n-2, 1, 1], \dots, [1, 1, \dots, 1]\}$ 中的所有联盟结构; 对于正溢出, 要求搜索空间 $P_I^A, I \in I^n, |I| \leq 2$ 中的所有联盟结构; 而且所有的联盟都要在联盟结构中出现至少一次, 搜索的联盟结构数目明显减少。

当最坏情况下的边界值 β 比较大时, 搜索出的联盟结构较优值与最优联盟结构相差很大, 但是仍然在边界之内。要取得收益值更优的联盟结构, 则需要进一步搜索剩余的联盟结构。因而, 随着边界值 β 的进一步优化 (减小), 需要搜索更多的联盟结构, 搜索空间进一步增大。当边界值 β 大于等于 12 时, 两种算法建立的边界值所要搜索的空间相差不大, 都在 25% 左右。给定 24 个 agent, 空间搜索的百分比作为边界值的函数, 如图 4 所示。

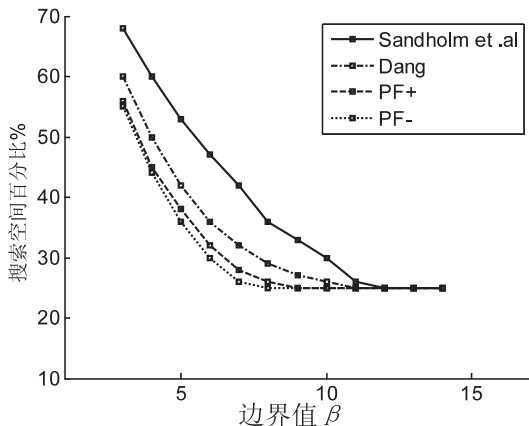


图 4 搜索空间百分比作为边界值 β 的函数

随着 β 的减小, 程序运行的时间逐渐加长。 β 越大, 需要搜索的联盟结构数目越少, 搜索到的联盟结构精度越高; 随着边界值 β 的降低, 需要搜索的联盟结构数目增加, 收敛的速度相对较慢, 相应的运行时间就增长。正溢出和负溢出类型在不同边界值情况下的运行时间如图 5 和图 6 所示。

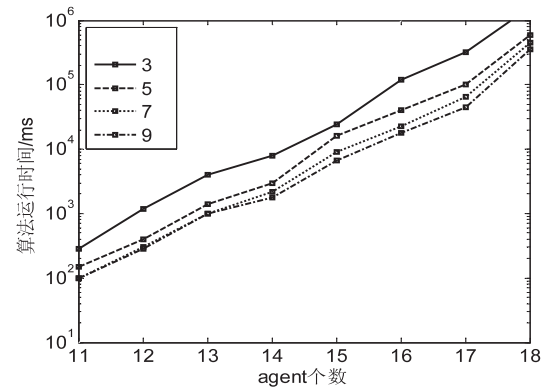


图5 正溢出在不同边界值情况下的运行时间

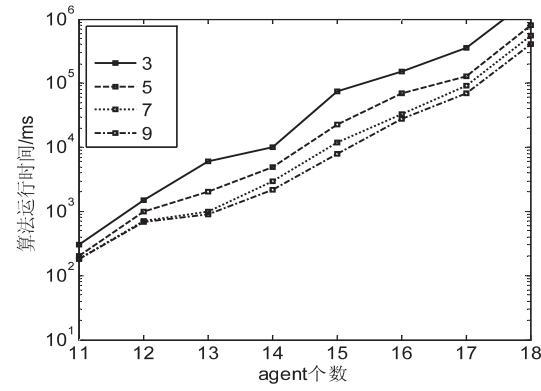


图6 负溢出在不同边界值情况下的运行时间

4 结束语

文中首先提出了正负溢出类型的任意联盟上界和下界的计算方法,然后证明了为建立最坏情况下的边界值所要搜索的联盟结构集合是可以确定的,在此基础上,提出了一种基于溢出性质的任意时间算法。算法建立最坏情况下边界值 β 以后,通过联盟的搜索空间上界和下界对不符合条件联盟结构集合进行剪枝,在任意时间内返回一个较优的结果。随着进一步搜索,可以对 β 值进行优化,所得的结果将会更加精确。实验结果表明建立最坏情况下边界值 β 的新方法使得在 β 值相同的条件下,搜索的联盟结构数目更少,算法的运行效率更高。但是该方法的研究还刚开始,对算法的稳定性和框架的完整性还有待研究。

参考文献:

[1] Sandholm T W, Larson K, Andersson M. Coalition structure generation with worst case guarantees [J]. Artificial intelligence, 1999, 111 (122) : 209-238.

[2] Rahwan T, Jennings N R. An algorithm for distributing coalitional value calculations among cooperating agents [J]. Artificial intelligence, 2007, 171 (8-9) : 535-567.

[3] Rahwan T, Ramchurn S D, Jennings N R. An anytime algorithm for optimal coalition structure generation [J]. Journal of artificial intelligence research, 2009, 34 (1) : 521-567.

[4] Sevice T, Adams J. Randomized coalition structure generation [J]. Artificial intelligence, 2011, 175 (16) : 2061-2074.

[5] Rahwan T, Michalak T, Jennings N R, et al. Near-optimal anytime coalition structure generation [C]//Proceedings of the 20th international joint conference on artificial intelligence. [s. l.]: Morgan Kaufmann Publishers Inc. , 2007: 2365 - 2371.

[6] Michalak T, Dowell A, McBurney P, et al. Optimal coalition structure generation in partition function games [C]//Proceeding of the 2008 conference on ECAI. [s. l.]: [s. n.], 2008: 388-392.

[7] Rahwan T, Michalak T, Jennings N R, et al. Coalition structure generation in multi-agent systems with positive and negative externalities [C]//Proceedings of the 21st international joint conference on artificial intelligence. [s. l.]: Morgan Kaufmann Publishers Inc. , 2009: 257-263.

[8] Wu Haiyan, Hu Shanli. A coalition structure generation algorithm based on partition cardinality structure [C]//Proc of 2010 IEEE international conference on IEEE. [s. l.]: [s. n.], 2010: 75-78.

[9] 张新良, 石纯一. 多 Agent 联盟结构动态生成算法 [J]. 软件学报, 2007, 18 (3) : 574-581.

[10] 苏射雄, 胡山立, 林超峰, 等. 基于局部最优的联盟结构生成算法 [J]. 计算机研究与发展, 2007, 44 (2) : 277-281.

[11] 刘惊雷, 张伟, 王玲玲. 联盟结构图的代数性质及应用 [J]. 模式识别与人工智能, 2009, 22 (6) : 841-847.

[12] 刘惊雷, 张伟, 童向荣, 等. 一种 $O(2.983^n)$ 时间复杂度的最优联盟结构生成算法 [J]. 软件学报, 2011, 22 (5) : 938-950.

(上接第 114 页)

[11] 裴杭萍, 肖登海, 连向磊, 等. 一种新的基于 Agent 的体系结构 [J]. 计算机技术与发展, 2010, 20 (1) : 50-53.

[12] 邵景峰, 李永刚, 任克俭, 等. 整理车间多 Agent 生产管理系统建模与过程优化 [J]. 信息与控制, 2011, 40 (2) : 248-253.

[13] 赖如洁, 曹健, 李明禄, 等. 服务 Agent 的设计与实现 [J]. 计算机工程与科学, 2010, 32 (5) : 113-117.

[14] Jiang Guorui, Hu Xiaoyu. Research on the Bayesian learning

model for selecting arguments on argumentation based negotiation of agent [C]//Proc of ICAART. [s. l.]: [s. n.], 2010: 317-322.

[15] Zhang Ge, Jiang Guorui. Design of argumentation based multi-agent negotiation system oriented to E-commerce [C]//Proc of international conference on internet technology and applications. New York: IEEE Press, 2010: 1-6.

基于溢出性原理的联盟结构生成算法

作者：[张利凯](#)，[王黎明](#)，[ZHANG Li-kai](#)，[WANG Li-ming](#)
作者单位：[郑州大学 信息工程学院, 河南 郑州, 450001](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(2)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201402029.aspx