

周期终止探测算法研究

顾国昌, 刘文捷

(哈尔滨工程大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

(wenjieliu3@yahoo.com.cn)

摘 要: 针对以管理域为单元的集中式通信方案, 提出了利用通信子树进行周期终止探测的算法。通过向各安全节点分配连续的、唯一的节点标识, 并将标识嵌入到消息中, 该算法可以利用求和公式实现通信终止判定。该算法简单而有效, 算法复杂度达到最优。

关键词: 周期终止探测; 节点标识; 启动节点

中图分类号: TP393.04 **文献标识码:** A

Algorithm of period termination detection

GU Guo-chang, LIU Wen-jie

(Department of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin Heilongjiang 150001, China)

Abstract: In distributed environment, periodical communication is effective to exchange information of secure nodes. According to the centralized communication mode between administrative domains, an algorithm based on message-passing trees was developed to detect the period termination. On the message-passing trees, a continuously and unique identifier was allocated to every secure node, and these IDs were embedded into messages when nodes sending information. And then by comparing the sum of receiving messages' ID with the standard value, the root nodes that are also called starter nodes can determine whether or not once communication is terminated. The algorithm is simple and effective, and achieves the lowest complexity.

Key words: period termination detection; node's ID; starter node

0 引言

在分布式环境下, 周期性通信是具有安全保护功能的安全节点进行信息交换的一种有效方式。尤其是在分布式异构条件下, 利用周期性消息传递方式, 可以在同一管理域的安全节点间建立定时的信息交换机制; 在多个管理域间通过建立周期性通信模式, 整个系统可以建立起一个层次化的通信模型。本文提出的周期终止探测 (Period Termination Detection, PTD) 算法就是为了解决周期性通信中的终止判断问题。

在分布式系统中, 消息是以异步方式传送的。如何定义周期的起止是非常重要的问题, 直接影响系统的通信性能。它的重要性在于: 1) 只有正确判定消息传递是否终止, 才能确定一次周期性通信是否正常终止; 2) 一次周期性通信可能会出现异常情况, 系统需要对终止状态作出判断, 并能找到异常节点, 才能进行容错处理。因此在分布式环境下, 能否正确地判断一个周期内节点间的消息传递是否结束, 对通信机制的容错性、可用性会有直接影响。

1 相关研究

1980 年 Dijkstra 和 Schotlen 提出了第一个分布式终止探测算法。由最初的针对集中式计算到现在的非集中式计算环境, 研究人员提出了许多算法。按照消息传送方式, 这些算法可分为波动算法和非波动算法两类。而波动算法虽然是主流, 但是其特性就是具有重复性, 因此消息无法达到最优。

1989 年 Mattern 提出了 Credit-Recovery 算法^[1], 该算法是

一种非波动算法, 被认为是聪明的算法^[2]。虽然后来有许多学者提出了各种改进算法, 包括针对分布式并行计算即非集中式计算而设计的算法, 但是其思想核心还是基于集中式计算的探测方法。如文献[3]中的分布式终止探测算法就是在整个分布式系统中建立令牌环, 对得到令牌的子树应用 Credit-Recovery 算法, 实际上就是将单层次、单个分支的集中式探测扩展到多个层次、多个分支的分布式探测。Credit-Recovery 算法的一个突出问题就是对每个活动进程, 必须分配标记值。如果采用一分为二的方法, 这样就会存在一个最小正数的标记值无法再一分为二。为了处理这个边界值, 也有科学家提出了编码解决方案, 见文献[4], 随着节点数的增多, 其算法的空间复杂度会大大增加。

2000 年提出的 Do-ALL^[5] 算法广泛应用于各种分布式系统的资源调度、通信等领域。当某一请求的所有条件被满足后, 该算法对其进行终止判断。这种方法本身决定了其时间复杂度和空间复杂度随着问题规模而不断增加, 在每个通信周期进行条件匹配的资源消耗不可避免, 其平均时间复杂度为 $O(n^2)$ 。而本文提出了一种实用的节点标记赋值方法, 可以利用简单的计算公式实现周期终止探测, 算法的复杂度也达到最低。

2 周期终止探测算法

在层次化的分布式系统环境中, 在任意一个层次的一个管理域内, 一次周期性通信包含两个方面: 1) 启动节点向同一域内的其他节点发送信息; 2) 各节点向启动节点回复信

息。可以看到,信息交换是双向的:首先启动节点采用广播或多播方式向其他节点发送信息,使得所有的节点可以共享整个域内的安全信息;反之,非启动节点采用一对一的方式向启动节点发送最新的更新信息。在这个过程中,周期终止探测算法就要判断在一个周期内,一次信息交换是否完成。而启动节点作为信息中转节点,既是周期性通信的启动者,又是负责通信终止判断的节点。

用树型结构来表示这种层次化模型,则有如下定义:

定义 1 用 D 表示管理域,则管理域的规模 $S(D)$ 表示该管理域中有效节点的个数。

定义 2 在管理域 $D_i (i = 1 \cdots m)$ 内,安全节点间的关系图就是一棵子树,该子树的根结点就是周期性通信的启动节点 p_{i0} 。

定义 3 分布式系统的通信图是一个森林,其通信的启动节点集合 $S = \{p_{i0} | p_{i0} \in D_i\}$ 分别对应每棵子树的根结点。

这样,在分布式系统中,多个管理域对应多棵子树,组成了一个森林。而子树间的信息交换就是子树根结点间的信息交换;选择某个根结点作为通信的启动者,与其他根结点就构建了一棵新的通信子树。而周期终止探测就是在同一周期内对每棵子树进行通信终止判断,具体思路如下:

对任意一棵子树,将每个参与消息回送的安全节点,都分配一个 credit 值(以下缩写为 cred);每个启动者都拥有一个 Return 值(以下缩写为 Ret),是其非根结点向根结点返回的 cred 值之和,它的初始值为 0。

算法中对 cred 的分配要保证以下断言:

A1 每个传送的基本消息的 cred 值等于发送该消息的安全节点的 cred 值。

A2 所有的 cred 值都为正数。

为了简化 cred 的分配及相应的计算,PTD 算法引入了节点标识的概念。将数值型的节点标识嵌入到消息中,不但可以作为消息的标识,还可以直接参与周期终止计算,见下面的定义。

定义 4 假设某一个管理域 D 的规模为 N , 其节点标识 $ID_i \in \{0, 1, 2, \cdots, N-1\}$ 是连续的非负整数,那么标准值 $SRet$ 满足公式:

$$SRet = \sum_{i=1}^{N-1} ID_i = \frac{N(N-1)}{2} \quad (1)$$

由定义 3 和断言 A1 可以分析得出:对于一棵子树,在同一周期内,如果所有的非根结点都向根结点返回消息,且消息的 cred 值用节点标识 ID_i 来表示,那么当根结点的 Ret 值满足公式(1)时,表示一次通信正常终止。

对任意一棵子树,周期终止判断的主要程序如下:

```

Var statep : (0, 1) init if p ∈ S then 0;
  IDi : integer id of pi;
  Tk : integer period number;
  Ret : integer for p0 only;
  m : integer init 0
Sp : {statep = 0 at the beginning of a period}
  Begin send < msg, IDi, Tk >;
    statep := 1
  End
Rp : {A message < msg, 0, Tk > has arrived}
  Begin receive < msg, 0, Tk >;
    k := k + 1;
    statep := 0
  End
Sp0 : {statep = 0 at the beginning of a period}
  Begin k := k + 1; j := 0;

```

```

  send < msg, 0, Tk >;
  statep0 := 1;
End
Ap0 : {activate when statep0 = 1}
  Begin while receive < msg, IDi, Tk > do
    j := j + IDi;
    m := m + 1
    Until m = N - 1 or beyond period;
    If j = SRet and m = N - 1
    then Announce(termination)
    else Faultp(SRet - j, N - m - 1)
  End

```

通信子树采用了集中式通信方式,在每个周期内,所有结点的初始状态为 0;根结点向其他结点发送消息,当非根结点收到根结点的消息后,它们的状态为 1,表示消息已收到;然后非根结点向根结点回复周期性信息,并且状态恢复为 0;而根结点在发送消息后,不断询问并接收回复消息,当消息个数等于非根节点数、并且已回复消息的标识之和等于标准值时,可以判断此次信息交换已经完成,即本周期内的通信正常终止。

可以看到,在进行终止判断的过程中,仅有根结点重复进行简单的累加和比较操作,因此平均时间复杂度为 $O(n)$,其中 n 与结点数相对应,而空间复杂度仅是一个常量。

3 分析

3.1 节点标识

由上文可以看到,通信的启动和终止都是由子树上的根结点来控制的。周期终止探测算法利用一个简单的求和公式,就可以判断一个周期是否正常结束。这个算法的实现基础就是消息都具有唯一的节点标识,而且这些标识是连续的。在分布式系统中,不同的域可以用连续的编号来区分;而在同一个管理域中,活动的节点则用节点标识来区分。

由于分布式系统中节点状态是动态变化的,每个管理域都需要动态维护节点标识的连续性,规则如下:

规则 1 在同一管理域内,节点标识是连续的非负整数;

规则 2 启动节点的标识为 0;

规则 3 任意一个节点加入到规模为 N 的管理域 D 时,分配给该节点的标识为 N ,此时 $S(D) = N + 1$;

规则 4 当某个节点 ID_i 退出规模为 N 的管理域 D 时,如果 $ID_i < N - 1$ 则将标识为 $N - 1$ 的节点重新赋予标识 ID_i ,然后释放标识 $N - 1$,此时 $S(D) = N - 1$ 。

由规则 1 和 2 可以得到,如果 $S(D) = N$,则管理域中最大的节点标识为 $N - 1$ 。规则 3 规定,对新加入的节点直接分配连续的最大标识 N ;而当某节点退出管理域时,规则 4 规定总是将退出节点的标识值再分配给最后一个节点,然后释放最大的标识值 $N - 1$,以保证节点标识的连续性。

对于连续的节点标识,系统采用了顺序的存储方式。当管理域的状态变化时,节点标识依据上述规则进行分配和更新,每次节点标识的更新最多涉及 2 个节点,其时间复杂度为 $O(n)$ 。

3.2 容错

在周期终止算法中,每棵子树以根结点作为启动者,在每一次通信过程中,都要不断记录来自非根结点的反馈值(即各节点的 ID 号)。如果一个结点没有及时反馈信息,那么已返回消息的 ID 值之和必然小于标准值。对分布式系统而言,实际返回值与标准值之间的差值就是所有出现通信异常的节点的标识和。在一般情况下,当仅有一个节点的通信失效时

(下转第 278 页)

息共享的要求,实体对应的 Agent 之间采用黑板机制实现重要数据共享,并通过消息传递的方式进行交互、协商。在 IRP 问题的 MAS 模型中,

1) 配送中心 Agent 从客户 Agent 提交的库存信息制定客户补货计划,并将之细化,在每个配送周期内生成若干个配送任务 Agent。每一个配送任务 Agent 包含客户属性、时间属性和产品数量属性,代表周期内需要配送的客户及其需求的产品量。

2) 补货任务 Agent 扮演招标者,在招标信息公告板中并发向所有的车辆 Agent 公布招标信息,车辆 Agent,即投标者,根据标书内容和自身的能力和已有限制条件决定是否投标。任务 Agent 通过对投标者的标书进行评价,选出其中一个作为中标者,对其发出中标通知,把补货配送任务分配给它,于是一个合同就在招标者和投标者间建立起来了。车辆 Agent 更新自身知识库,执行配送任务并返回结果,向补货任务 Agent 发出终止合同信文,宣告合同结束。

3) 最后,补货任务 Agent 再把配送任务综合,将其完成情况提交给配送中心 Agent,并注销该补货任务 Agent。

通过上述多 Agent 间协调得到最终策略仅仅是可行解,不一定是优化解。最优补货策略的制定受到多方面因素的影响,客户补货计划的细化、补货任务的分配等都制约着最有策略的形成。

4 结语

本文将分布式人工智能领域中 Agent 概念应用于 IRP 问题分析求解中,将实体功能映射成具有自治性的 Agent,构建 MAS 模型,并简要概述了该模型处理 IRP 问题的流程。这项利用智能化方法求解 NP 难题的研究尚处于初步阶段,许多实现细节有待进一步完善,这些工作包括:

1) 客户补货计划的细化与协调。根据客户需求的变化制定合适、合理的补货计划,平衡与协调多个客户对供应商资源的需求。

2) 补货任务的具体分配。选择合理的分配机制,将补货任务安排适合的车辆进行补货。

(上接第 266 页)

(即 $N - m = 2$ 时),标准值与反馈值的和之间的差值就是失效节点的标识值。

利用简单的差值计算可以很容易地确定失效节点的标识,因此本算法具有良好的容错性。这样,如果发现某一节点通信不正常,并且在系统定义的延迟阈值内没有收到任何回复消息,则可以认为该节点失效,将失效节点从通信链表中删除。

在最坏的情况下,如果在同一个周期内有多个节点失效(即 $N - m > 2$ 时),那么系统就需要逐个排查所有反馈消息所对应的节点标识,这时所要消耗的系统时间会大大增加,其算法的复杂度为 $O(n^2)$ 。

3.3 网络效率

由于 ZSS 系统将节点标识、更新信息、控制信息都嵌入到消息中,所以每个周期内管理域中 N 个节点传递的消息数量为 $2(N - 1)$ 。对于短消息传递方式,这种周期通信方式对网络负载的影响是有限的。

4 结语

在分布式异构环境中,周期性通信是分布式资源进行信

3) 补货计划与运输调度的协调。前两个问题是对局部问题的研究,针对 IRP 问题,需要协调库存控制与运输调度,满足系统总目标。

4) 动态环境的适应。现有的研究大多假设环境处于静态的,而对变化的环境没有涉及,MAS 模型具备的松散结构型非常适合环境频繁的变化,因而有待深入研究。

该研究引入 MAS 建模理论与技术,开展基于 Agent 的库存控制与运输调度研究,解决了 IRP 这类 NP 难题的智能化求解、优化及其协调冲突等问题,为复杂系统的分析、决策与控制提供一条可行的途径。

参考文献:

- [1] ANILY S, FEDERGRUEN A. A Class of Euclidean Routing Problems with General Route Cost Function[J]. Mathematics of Operations Research, 1990, 15(2): 268 - 285.
- [2] BARD JF, HUANG L, JAILLET P, *et al.* A Decomposition Approach to the Inventory Routing Problem with Satellite Facilities[J]. Transportation Science, 1998, 32(2): 189 - 203.
- [3] BRAMEL J, SIMCHI-LEVI D. A Location Based Heuristic for General Routing Problems[J]. Operation Research, 1995, 43(4): 649 - 660.
- [4] BURNS LD, HALL RW, BLUMENFELD DE, *et al.* Distribution Strategies that Minimize Transportation Inventory Cost[J]. Operation Research, 1985, 33(3): 469 - 490.
- [5] CHIEN TW, BALAKRISHNAN A, WONG RT. An Integrated Inventory Allocation and Vehicle Routing Problem[J]. Transportation Science, 1989, 23(2): 67 - 76.
- [6] SCHWARZ LB. A Simple Continuous Review Deterministic One-Ware N-Retailer Inventory Problem [J]. Management Science, 1973, 19(5): 555 - 566.
- [7] 李军, 刘建新. 第三方存贮—路径问题研究综述[J]. 科学技术与工程, 2004, 4(4): 325 - 328.
- [8] 杨帆, 萧德云. 基于 Agent 的流程工业制造执行系统结构研究[J]. 计算机集成制造系统——CIMS, 2003, 9(2): 23 - 27.

息交换的有效方式。本文提出的周期终止算法实际上是对分布式通信的终止判断。该算法采用了连续的节点标识,既作为消息的标识又作为终止判断的计算数据,是一个实用、高效而简单的终止判断算法。

参考文献:

- [1] MATTERN F. Global quiescence detection based on credit distribution and recovery[J]. Information Processing Letters, 1989, 30(4): 195 - 200.
- [2] TEL G. Introduction to Distributed Algorithm[M]. 2nd ed., Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 270 - 276.
- [3] 刘旭民, 苏运霖. 对一个分布式终止探测算法的改进[J]. 软件学报, 2003, 14(1): 49 - 53.
- [4] TSENG Y. Detecting termination by weight-throwing in a faulty distributed system[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 1995, 25(1): 7 - 15.
- [5] MANABEA Y, TAJIMAB N. (h; k) -Arbiters for h-out-of-k mutual exclusion problem [J]. Theoretical Computer Science, 2004, 310(1 - 3): 379 - 392.