

一个移动智能体位置管理与可靠通信的算法*

吴刚, 王怀民, 吴泉源

(国防科学技术大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

E-mail: gangwu@nudt.edu.cn

http://www.nudt.edu.cn

摘要: 对于移动智能体应用环境下的可靠通信问题, 已有的支撑系统和相关研究或不能满足要求或存在缺陷, 提出了一个面向移动智能体位置管理与可靠通信的新算法, 它保证在智能体的移动行为不可预测的情况下, 能可靠的完成消息传递, 并承诺消息传递的 exactly-once 语义。

关键词: 智能体; 移动智能体; 可靠通信; 消息传递; 算法

中图法分类号: TP393 **文献标识码:** A

移动智能体(mobile agent, 简称 MA)是当前分布计算领域的研究热点, 作为一个活跃、自主的计算实体, 移动智能体能根据自身的需要及环境的变化自主地改变执行位置, 以完成相应的任务。由于移动智能体的典型应用场景是通过计算实体的迁移实现对资源的本地获取, 便有人认为与一个远程移动智能体的通信并不重要, 支撑平台只需提供对本地资源的获取和与本地智能体通信的支持即可, 如元组空间机制^[1]、Meeting 机制^[2]等。但是, 与远程移动智能体的通信需求是确实存在的, 例如,

(1) 实施对移动智能体的管理。当一个智能体派生了一组子 MA 去完成任务后, 可能因为所需信息已经齐备而要中断其他子 MA 的执行; 也可能需要给子 MA 发送新的参数以指导或改变子 MA 的行为; 或者需要了解子 MA 的执行状态。这都需要移动智能体支撑环境能提供有效的远程通信机制。

(2) 实现主动的信息通告。当移动智能体迁移到一个站点并实施所需的状态检测时, 如果条件不具备, 它可能会注册一个事件通告服务, 并转移到其他站点进行后续操作。那么在条件成熟时, 应该有相应的远程通信机制使得主动的信息通告能够被可靠地传递给移动智能体, 以便其及时调整进一步的操作。通信机制使得主动的信息通告能够被可靠的传递给移动智能体, 以便其及时调整进一步的操作。

目前, 关于智能体的通信问题研究, 主要集中在提供一个公用的语义框架来实现 Agent 之间的信息交互, 如 KQML(knowledge query and manipulation language)^[3]。而由于智能体的自主移动所产生的可靠通信问题仍是一个开放的研究课题。需要说明的是, 这里的可靠性问题并不是针对于底层的通信设施所引起的数据丢失, 而是由于 MA 自主的移动行为不可预测, 使得信息无法被可靠地提交。当允许智能体自由移动时, 与之可靠的通信意味着能有效地定位它的当前位置, 并能成功地将消息传递给它。

1 当前的研究状态与问题

许多移动智能体支撑系统均提供了与 MA 的远程通信机制, 主要可以归纳为广播方式和消息转发方式。第一, 广播方式, 如 Emerald 系统^[4]。将网络看做是以消息发起者为根结点的树型结构, 广播方式使得消息可以按某

* 收稿日期: 2000-03-29; 修改日期: 2000-07-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60103009; 60003002); 国家重点基础研究发展规划 973 资助项目(G1999032703)

作者简介: 吴刚(1973 -), 男, 江苏如皋人, 博士, 讲师, 主要研究领域为 Agent 技术, 分布对象技术; 王怀民(1962 -), 男, 江苏南京人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为分布对象, Agent 技术, 信息安全; 吴泉源(1942 -), 男, 上海人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为分布计算环境, 智能软件技术。

种规则(如深度优先,广度优先)在网络中传递,直到遍历所有的叶结点.但这并不能保证消息的可靠传递.如图 1 所示,当消息从结点 1 向结点 2 传递时,相应的 MA 可能正好按反方向移动,两者在网络中交错,使得消息不能被成功提交.一个简单的解决方法是在每个结点上保留所传递的消息,直到被可靠提交为止.这显然是不可取的,因为每个结点可能会无限期、无止境的存储网络信息.第二,消息转发方式.根据 MA 的定位机制,消息转发方式又可细分为 HomeAgent 转发模式(如 Aglets^[5], Voyager^[6])和按路径转发模式(如 Mole^[7]).在 HomeAgent 转发模式中,每个 MA 对应一个驻留在初始化结点上的 HomeAgent,用于定位 MA 的当前位置.一旦 MA 发生迁移,它必须向 HomeAgent 汇报新的运行位置,而所有需要传递给 MA 的消息均通过对应的 HomeAgent 转发.在按路径转发模式中,MA 途经的每个结点都保留有其下一目标结点的位置信息,实际上它们共同维护了一个 MA 的迁移路径.所有需要传递给 MA 的消息从初始结点开始按这条路径传递下去,直到 MA 能真正接收到这些信息.但消息转发方式也不能保证消息的可靠传递.如图 2 所示,当 HomeAgent 按照它记录的当前位置向 MA 发送信息时,MA 可能正处于迁移状态而新位置的更新操作还没有进行.那么消息将不能被成功提交.即使按照路径转发模式可以将消息进一步地发往新位置,MA 很可能在消息到达之前又发生了迁移.因此,并不能保证 MA 是否能或何时能收到信息.另外,还有一些移动智能体支撑系统(如 AgentTCL^[8])只提供了通用的消息传递机制,而将由 MA 移动所引发的问题留给应用开发者处理.

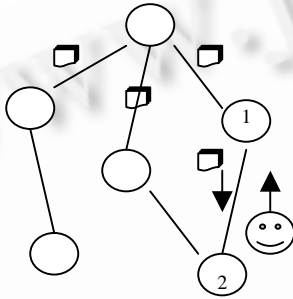
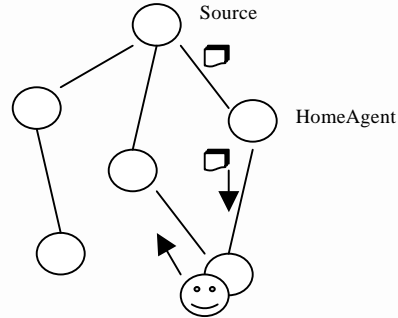


Fig.1 Broadcasting method

图 1 广播方式



消息源, 宿主地代理

Fig.2 Forwarding method

图 2 消息转发方式

因此,已有的移动智能体支撑系统都没有考虑本文所提出的与远程 MA 可靠通信的问题. Murphy 等人在文献[9]中也有相同的认识,并提出了一个支持移动智能体可靠通信的算法,但实用性较差.第 1,此算法是广播方式的变种,需要所有结点保留所传递的消息,直到有条件表明该消息已被 MA 成功接收;第 2,它承诺的 at-least-once 消息传递语义使得 MA 可能多次接收到同一信息;第 3,它假定网络中某一时刻的消息均来源于同一结点.

2 算法

根据上述的需求,本文提出了一个用于移动智能体位置管理与可靠通信的新算法.基本的假设有两个.第 1,假定底层的网络处于理想的通信状态,不存在数据包丢失或拥塞延时;第 2,与 MA 的远程通信集中表现为消息传递方式,不考虑远程方法调用.因为在移动智能体应用环境下,一般意义的远程方法调用将被 MA 的迁移和本地方法调用取代.本算法的基本策略是利用 HomeAgent 作为消息传递的中介并提供对 MA 的位置管理,所有需要传递给 MA 的消息都先发送给相应的 HomeAgent 暂存,由 MA 与 HomeAgent 的交互实现消息的提交,同时将提交方式从由 HomeAgent 主动发送改为由 MA 主动地来取,并通过消息通告与主动查询的结合保证 MA 能及时、可靠的获取每个消息.

具体的算法如下:

HomeAgent 由 3 个可并发的线程构成.其中,Queue 为消息队列;HaveMessage 表示消息队列的状态;Loc_A 记录 MA 的当前位置;inTouch 记录 MA 与 HomeAgent 之间的交互状态,如果正在读取消息则为真,反之则为假;T_{threshold} 为等待 MA 响应的时间阈值,取 MA 迁移过程所需时间的最大值.线程 ReceiveMessage 负责接收消息,

并根据 MA 当前的交互状态决定是否发出消息到达的事件通告,Inform 线程每隔 T_{wait} 时间向 Loc_A 记录的当前位置发送消息通告,直到等待时间超过阈值或 inTouch 被置为真.线程 Request 负责更新 MA 的当前位置,并提供队列 Queue 的状态信息.

```

ReceiveMessage ( Message ) {
    将 Message 存入队列 Queue;
    If ( inTouch =false )
        Inform ();
};

Inform () {
     $T_{sum} = 0$ ;
    Do {
        发送“消息到达”消息给位置  $Loc_A$  的 MA;
        Sleep ( $T_{wait}$ ); /* 等待  $T_{wait}$  时间 */
         $T_{sum} = T_{sum} + T_{wait}$ ;
    } While ( $T_{sum} < T_{threshold} \& \& !inTouch$ );
    If ( $T_{sum} \geq T_{threshold}$ )
        { /* 认为 Agent 已经意外死亡 */
            清空 Queue;
            exit (); /* 随之消亡 */
        };
};

Request ( in Location, out HaveMessage ) {
     $Loc_A = Location$ ; /* 更新 MA 的运行位置 */
    If ( Queue )
        HaveMessage = True
    Else
        HaveMessage = False;
};

```

Mobile Agent 中包含两个与消息通信相关的操作. AtArrive 在每次到达新位置时被自动触发,与 HomeAgent 交互以更新当前的运行位置,并查询消息队列的状态.如果队列不为空即发出“消息到达”的消息. GetMessage 操作由“消息到达”的消息触发,并负责取回队列中的所有消息.

```

AtArrive () { /* 到达新位置时,自动触发其执行 */
    Request ( CurrentLoc,haveMessage );
    If ( haveMessage = True )
        发送“消息到达”消息给 GetMessage ();
};

GetMessage () { /* 由“消息到达”消息触发 */
    置 HomeAgent->inTouch 为 True;
    Do
        从 HomeAgent->Queue 中取消息
    While (HomeAgent->Queue );
    置 HomeAgent->inTouch 为 False;
};

```

3 算法分析

性质 1. 如果不存在 MA 的意外死亡,本算法能保证消息的可靠提交.

讨论说明:任何需要传递给 MA 的消息,都会首先被送到其对应的 HomeAgent.当某一消息到达 HomeAgent 后,将被存入消息队列 Queue.按照当时 MA 与 HomeAgent 的交互状态,后续将可能有两种情形.第 1,inTouch 为真,即 MA 处于消息获取状态.那么,Queue 中的消息一定可以被 MA 取得;第 2,inTouch 为假,即 MA 不处于消息获取状态.此时,根据 MA 的移动状态,又可分成两种情况.

(1) MA 处于移动状态.由 HomeAgent 发出的“消息到达”消息将被丢弃,而 MA 将在 $T_{threshold}$ 时限之内完成迁移,激活 AtArrive 操作,以主动查询消息队列的状态.由于此时 Queue 中有消息存在,它会通过发送“消息到达”消息激活 GetMessage 操作,并取走队列中的所有消息.

(2) MA 不处于移动状态.此时 HomeAgent 发出的“消息到达”消息将被可靠地传递给 MA, GetMessage 操作会被激活,以取走 Queue 队列中的所有消息.

综上所述,如果不存在 MA 的意外死亡,本算法能保证消息的可靠提交.

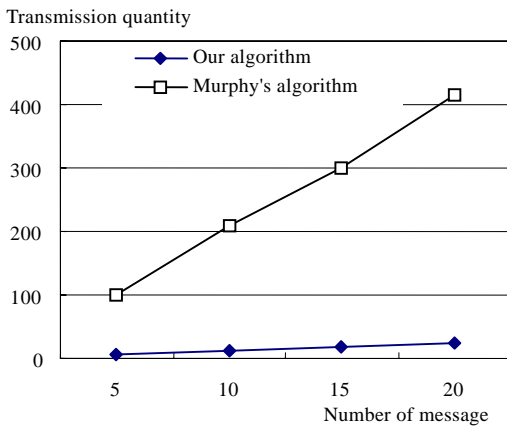
性质 2. 如果不存在 MA 的意外死亡,本算法承诺消息可靠提交的 exactly-once 语义.

讨论说明:每个传递给 MA 的消息在网络中只有一个副本,且存在于目标 MA 所对应的 HomeAgent 消息队列中.

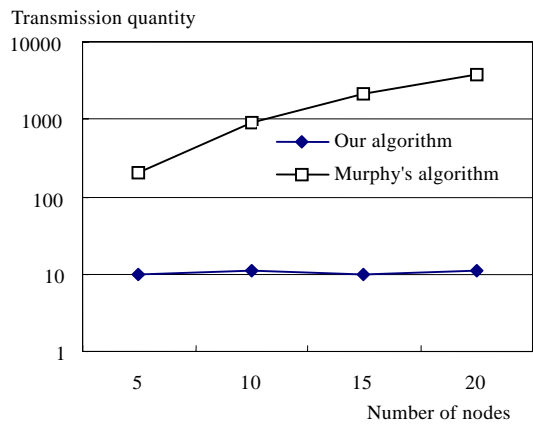
根据性质,如果不存在 MA 的意外死亡,本算法能保证消息的可靠提交.那么,在某一消息被可靠提交之后,由于没有其他的副本,该消息在整个网络中都不再存在.因而保证了该消息只能被提交一次.综上所述,如果不存在 MA 的意外死亡,本算法承诺消息可靠提交的 exactly-once 语义.

4 性能比较

与 Murphy 的算法比较,本算法的优势在于并不限制消息的来源,它可以来自网络中的任何结点、任何移动或固定的计算实体;承诺 exactly-once 消息传递语义,保证消息被一次且仅有一次的可靠提交;另外,本算法的网络传输量较之 Murphy 的算法有明显的降低.下述的实验结果对此有定量的证实.本文作者在 IBM 日本实验室的 Aglets 系统之上用 Java 语言实现了本算法与 Murphy 的算法,并就其产生的网络传输量作了比较.在模拟实验中,每个运行的移动智能体支撑系统即代表一个结点,每个消息的大小均为 1KB.图 3(a)为网络结点固定时,最大网络传输量随消息数目变化的趋势,图 3(b)为消息数目固定时,最大网络传输量随结点数变化的情况.



(a) Number of nodes is 5
(a) 网络结点数为 5



(b) Number of message is 10
(b) 消息数目为 10

网络传输量, 消息数目, 结点数目.
Fig. 3 Performance comparison
图 3 性能比较

从理论分析和实验结果可知,本算法要优于 Murphy 的算法.

5 结 论

本文分析了移动智能体应用环境下的可靠通信问题,及已有研究的不足.进而提出了一个面向移动智能体的位置管理与可靠通信的新算法,保证在智能体的移动行为不可预测的情况下,能可靠的完成消息传递,并承诺消息传递的 exactly-once 语义.本算法有助于完善移动智能体支撑环境,为开发基于 MA 的分布式应用提供基础.

References:

- [1] Cabri, G., Leonardi, L., Zambonelli, F. Reactive tuple spaces for mobile agent coordination. In: Rothermel, K., Hohl, F., eds. Proceedings of the 2nd Mobile Agents International Workshop. LNCS1477, Stuttgart: Springer-Verlag, 1998. 237~248.
- [2] Whire, J. E. Telescript technology :mobile agents .In :Bradshaw, eds .Software Agent. Cambridge: AAAT Press/MIT Press, 1997. 230~242.
- [3] Finin, T., Labrou, Y., Mayfield, J . KQML as an agent communication language . In : Bradshaw, eds . Software Agent. Cambridge: AAAT Press/MIT Press, 1997. 152~168.
- [4] Jul, E., Levy, H., Hutchinson, N., *et al.* Fine-Grained mobility in the emerald system. ACM Transactions on Computer Systems, 1988,6(2):109~133.
- [5] Lange, D., Oshima, M. Programming and Deploying Mobile Agents with Aglets. Reading, MA: Addison-Wesley, 1998.
- [6] ObjectSpace Inc. Voyager ORB 3.0 Developer Guide, 1999. <http://www.objectspace.com>.
- [7] Baumann, J., Hohl, F., Radouniklis, N. Communication concepts for mobile agent systems. In: Rothermel, K., Zeletin, R., eds. Proceedings of the 1st Mobile Agents Int. Workshop. LNCS 1219, Berlin: Springer-Verlag, 1997. 123~135.
- [8] Kotz, D., Gray, R., Nog, S., *et al.* AgentTcl : targeting the needs of mobile computers. IEEE Internet Computing, 1997,1(4):58~67.
- [9] Murphy, A.L., Picco, G.P. Reliable communication for highly mobile agents. In: Spring, P., Milojicic, D., eds. Proceedings of the 1st International Symposium on Agent Systems and Applications. New York: IEEE Computer Society, 1999. 141~150.

An Algorithm on Location Management and Reliable Communication for Mobile Agents*

WU Gang, WANG Huai-min, WU Quan-yuan

(School of Computer, National University of Defence Technology, Changsha 410073, China)

E-mail: gangwu@nudt.edu.cn

<http://www.nudt.edu.cn>

Abstract: The reliable communication problem in mobile agents environment hasn't been satisfactorily addressed in currently available systems and research. In this paper, a novel algorithm is presented on location management and reliable communication for mobile agents. In virtue of the algorithm, the messages for remote mobile agents can be trustworthily accepted. And the exactly-once semantics for message delivery is guaranteed.

Key words: agent; mobile agent; reliable communication; message delivery; algorithm

* Received March 29, 2000; accepted July 18, 2000

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.60103009, 60003002; the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.G1999032703