

通用的移动 Agent 通信框架设计*

冯新宇^{1,2+}, 吕建^{1,2}, 曹建农³

¹(南京大学 计算机软件新技术国家重点实验室,江苏 南京 210093)

²(南京大学 计算机软件研究所,江苏 南京 210093)

³(香港理工大学 电子计算学系 Internet 计算和电子商务实验室,香港)

Design of a Generic Framework for Mobile Agent Communication

FENG Xin-Yu^{1,2+}, LÜ Jian^{1,2}, CAO Jian-Nong³

¹(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

²(Institute of Computer Software, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

³(Internet Computing and E-Commerce Laboratory, Department of Computing, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

+ Corresponding author: Phn: 86-25-3593694, Fax: 86-25-3593670, E-mail: fxy@softlab.nju.edu.cn

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

Received 2002-04-27; Accepted 2002-08-14

Feng XY, Lü J, Cao JN. Design of a generic framework for mobile Agent communication. *Journal of Software*, 2003,14(5):984-990.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/984.htm>

Abstract: Message delivery protocols are among the most important mechanisms in a mobile Agent system since cooperating mobile Agents need to communicate with each other. In this paper, a generic framework is presented for designing mobile Agent message delivery protocols. The framework uses a flexible and adaptive mailbox-based scheme, which associates each mobile Agent with a mailbox while allowing the decoupling between them, i.e., a mobile Agent can migrate to a new site without bringing its mailbox. By separating the concerns of locating the mailbox of a mobile Agent and delivering a message to the Agent, a large space of protocol design with flexibility is obtained. Using a three-dimensional model based on the scheme, the generic framework not only covers, as particular cases, several known protocols, but also allows for the design of new ones suited for various application requirements. By extensive simulation experiments, trade-offs between design parameter selection and their impact on the performance of derived protocol are analyzed. The conclusion of analysis can be used to guide applications of the framework.

Key words: mobile Agent; communication; protocol; mailbox; generic framework

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60273034 (国家自然科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant Nos.2001AA113110, 2002AA116010 (国家高技术研究发展计划); the Natural Science Foundation of Jiangsu Province of China under Grant Nos.BG2001012, BK2002203, BK2002409 (江苏省自然科学基金)

第一作者简介: 冯新宇(1975—),男,山东嘉祥人,硕士,主要研究领域为分布对象技术,移动 Agent 技术.

摘要: 移动 Agent 的通信机制应满足位置透明性、可靠性、高效性、异步性、自适应性等需求,提出一种通用的移动 Agent 通信框架,以支持在各种应用需求下的移动 Agent 通信协议的设计。该框架基于一种灵活的信箱机制,为每个移动 Agent 分配一个信箱作为消息缓冲,同时允许 Agent 及其信箱相互分离,独立迁移。在此基础上提出的三维通信框架不仅涵盖了现有的常用通信机制,还支持新的通信协议的设计。通过实验分析了框架的设计参数选择对协议性能的影响,分析结果对框架的应用有一定的指导意义。

关键词: 移动 Agent;通信;协议;信箱;通用框架

中图法分类号: TP393 **文献标识码:** A

移动 Agent 是一个可以在异构网络上的主机之间自主迁移和独立运行的计算机程序。它寻找合适的计算资源、信息资源或软件资源,利用与这些资源同处一台主机或子网的优势,处理或使用这些资源,代表用户完成特定的任务^[1]。移动 Agent 的运行环境称为移动 Agent 平台,通信是移动 Agent 平台中必须具备的基础设施之一。但是,由于移动 Agent 特有的移动性,使得情况不再像传统的分布式进程通信那样简单。我们认为,移动 Agent 通信机制应满足以下要求:(1) 位置透明性,是指系统应该提供寻址机制动态地定位目标 Agent,从而对用户屏蔽 Agent 的移动性;(2) 可靠性,是指消息经过有限次发送或者转发后能够到达目标 Agent;(3) 高效性,是指寻求适当的平衡,使得 Agent 迁移和消息发送的开销之和变得最小;(4) 异步性,是指通信机制的设计不应该影响 Agent 的异步运行能力,应尽量减少对 Agent 迁移的限制,支持 Agent 的异步迁移;(5) 自适应性,是指不同的应用会对移动 Agent 通信和迁移有不同的要求,从而需要通信机制能够相应地进行调整。通信机制如何能够适应各种应用需求,以便在不同的应用中均能获得最佳效果,是我们要解决的另一个问题。

虽然在移动 Agent 通信、移动计算及移动电话通信等领域已有大量同类工作来解决某些上述问题,但目前尚未见到能够同时满足以上各项要求的通信机制,尤其是在自适应性方面的工作较少。

本文提出一种基于信箱机制的通用的移动 Agent 通信框架。使用该框架,通过设置不同的参数,用户可以定制满足自己通信需求的通信协议。该框架不仅涵盖了现有的一些移动通信机制,如基于 Agent Home 的通信机制和基于迁移路径上的消息转发机制,还允许用户设计全新的通信协议。从该框架中可以导出支持 Agent 的透明寻址和可靠消息传输的移动 Agent 通信协议。将信箱和 Agent 体分离的信箱机制则为 Agent 通信引入了巨大的灵活性,不仅降低了对 Agent 迁移的束缚,而且还可以针对应用中不同的迁移和通信模式配置适当的信箱迁移频率,使得网络开销降到最小。

本文第 1 节介绍了现有的各类移动通信机制及其不足。第 2 节介绍系统模型、信箱机制及其通用移动 Agent 通信框架。第 3 节通过实验反映框架设计参数的选择对通信性能的影响,从而对不同通信和迁移模式下的框架参数选择给出指导。第 4 节是结论。

1 相关工作分析

目前移动 Agent 通信的研究归结起来大致分为 4 类,即基于 Home 的寻址机制、迁移路径上的消息转发机制、层次式通信机制以及广播机制。

(1) 基于 Home 的寻址机制。该机制最典型的代表协议是 Mobile IP^[2]协议。基于该思想,文献[3,4]介绍了基于 Home 的 Agent 通信机制,其实现简单,迁移和消息发送的开销都不大。缺点在于对 Home 有依赖性,不支持 Agent 的异步运行,Home 瓶颈问题,三角路由问题^[5],消息的不可靠传输问题。

(2) 迁移路径上的消息转发机制。在 Agent 迁移路径上的每一台主机上都留有指向 Agent 下一目的地的地址,发往 Agent 的消息可以沿着路径上的主机链表转发到目标 Agent 的当前位置^[6]。这种机制实现简单,可以在一定程度上加强消息发送的可靠性,但尚有消息追击现象。

(3) 层次式寻址机制。系统中的寻址或消息转发服务器被按区域组织成层次式树状结构(类似于 DNS 结构),这样从根结点到移动 Agent 所对应的叶节点之间有一条指向该 Agent 的惟一路径,沿着该路径可以实现 Agent 的寻址和消息转发^[7,8]。该机制缩短了路径长度,但缺点在于根结点负载过大,仍然无法避免消息追逐目标 Agent。

(4) 广播机制.即向系统中的所有主机广播实现寻址和通信.在 Emerald 系统^[9]中,如果沿着移动对象的迁移路径寻址失败,则使用广播方式实现寻址.广播机制是一种纯分布式的机制,在局域网内部不失为一种简单的寻址方式.但在广域网范围内是无法接受的.且 Murphy^[10]曾论证,仅仅是简单的广播无法实现 Agent 消息的可靠传输,为此,Murphy 给出了一种基于分布式快照算法的广播机制来解决这个问题.

综上所述,以上 4 种目前常用的移动 Agent 寻址机制各有其优缺点.其中广播机制不适于广域网内的移动 Agent 应用,而层次式寻址需要将网络中的地址服务器组织成树状结构.

2 通用通信框架

2.1 系统模型和基本前提

移动 Agent 平台是移动 Agent 的运行支撑环境,它提供对移动 Agent 迁移和通信的支持,并通过安全机制保证所在主机及运行于其上的 Agent 的安全.系统中的每台主机上都运行着一个移动 Agent 平台,主机之间通过网络相连,任意两台主机之间都可以通过消息发送的方式进行通信.移动 Agent 在不同主机上的移动 Agent 平台之间迁移.移动 Agent 之间不能直接通信,只能通过其所在 Agent 平台及主机进行消息传递.

为了实现移动 Agent 的命名惟一性,我们用二元组(HomelD, AgentTitle)来标识一个移动 Agent,其中 HomelD 是 Agent Home 的标识,AgentTitle 是用户赋予该 Agent 的一个字符串.在移动 Agent 的生命周期,它的标识保持不变.一个 Agent 要和其他 Agent 通信,不必知道目标 Agent 的当前位置,但必须首先获得它的标识.目标 Agent 的标识信息既可以在编写发送者 Agent 时刻在程序中给出,也可以由发送者 Agent 在运行过程中通过查找目录服务来获得.后者在开放系统的 Agent 交互中使用较为普遍,在此不对其进行详细探讨.

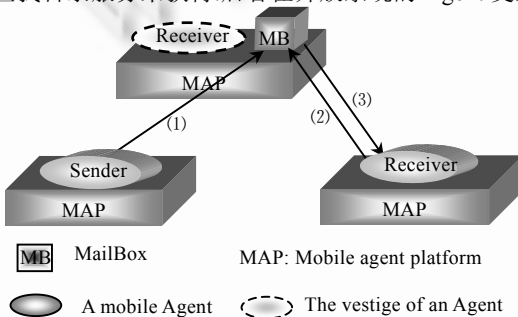


Fig.1 Separation of mailbox and mobile Agent
图 1 移动 Agent 及其信箱分离

系统中,每个移动 Agent 都被赋予一个信箱(mailbox)作为消息缓冲区.发往 Agent 的消息先被存放在其信箱中,Agent 从信箱中取得消息进行处理.信箱可以与相应的 Agent 分离,它们可以分处于两台不同的主机,如图 1 所示.移动 Agent 每次迁移,既可以把信箱留在原地,独自迁移到目标主机,也可以带信箱一起迁移至目标主机.由于 Agent 迁移时信箱可以留在原地,信箱的迁移频率可以远远低于其 Agent,从而减小地址注册开销.

为方便表述,我们在此先给出移动 Agent 及其信箱的迁移路径以及两者位置之间映射关系的定义.

定义 1. $Path_a(A)=(h_{a0},h_{a1},\dots,h_{an})$ 是移动 Agent A 迁移过程中所经过的主机的有序列表.集合 $S_a(A)$ 是 $Path_a(A)$ 中所有主机的集合,即 $S_a(A)=\{h_{ai}|h_{ai} \text{ 在 } Path_a(A) \text{ 上}\}$.

定义 2. $Path_m(A)=(h_{m0},h_{m1},\dots,h_{mn})$ 是 Agent A 的信箱迁移过程中所经过的主机的有序列表.集合 $S_m(A)$ 是 $Path_m(A)$ 中所有主机的集合,即 $S_m(A)=\{h_{mi}|h_{mi} \text{ 在 } Path_m(A) \text{ 上}\}$.

根据定义,我们有 $S_m(A) \subseteq S_a(A)$ 且 $h_{a0}=h_{m0}$.主机 h_{a0} 是 Agent A 被创建后所在的主机,即它的 Home.

定义 3. 函数 $f_A: S_a(A) \rightarrow S_m(A)$ 定义如下:

$$\forall h_{ai} \in S_a(A), f_A(h_{ai}) \begin{cases} h_{ai}, & i=0 \text{ 或者移动 Agent A 携带其信箱一起迁移至 } h_{ai} \\ f_A(h_{a(i-1)}), & i>0 \text{ 且移动 Agent A 独自迁移至 } h_{ai} \text{ (不携带信箱)} \end{cases}$$

函数 f_A 定义了移动 Agent A 的位置到其信箱位置的映射.

在讨论中,我们假设 Agent 之间主要采用异步通信方式进行通信.此外,本文不探讨因网络或主机出错所导致的消息发送失败,我们假设主机之间的网络链接始终保持畅通;主机之间的消息传输在可靠的传输层上进行,消息不会在传输过程中丢失;另外,主机本身不会出错,消息不会因为主机的出错而丢失.

2.2 通用框架设计

我们在信箱机制中将信箱和 Agent 分离,为移动 Agent 通信协议的设计提供了巨大的灵活性.经过对信箱机制设计空间的分析,我们提出了一个三维的通用框架,用以支持不同的应用需求.使用该框架,用户可以从 3 个角度设计移动 Agent 通信协议,即信箱迁移频率、Agent 及其信箱交互方式以及消息发送和目标迁移的同步.

2.2.1 信箱迁移频率

信箱机制中信箱和 Agent 分离,Agent 每次迁移前决定是否携带信箱至目标主机,即决定函数 f_A 的取值.根据函数 f_A 的取值情况,信箱的迁移频率可以分为以下 3 种情况.

(1) 无迁移(no migration,简称 NM).对任何 $h_{ai} \in S_a$,我们令 $f_A(h_{ai})=h_{a0}$,即 $S_m=\{h_{a0}\}$.在这种方式下,信箱始终保留在 Agent Home 上,所有发往该 Agent 的消息都发往其 Home,Agent 从 Home 中获得消息.使用 NM 方式寻址开销小,但消息传递开销却较大,因为 Agent 每次必须从远程信箱(位于其 Home)中获取消息.三角路由增加了通信的额外开销.

(2) 全迁移(full migration,简称 FM).对任何 $h_{ai} \in S_a$,我们令 $f_A(h_{ai})=h_{ai}$,即 $S_m=S_a$.在这种方式下,信箱可以看成是 Agent 数据的一部分,每次都伴随 Agent 一起迁移,因而 Agent 及其信箱之间交互的通信开销为 0,但是由于信箱迁移较频繁,实现寻址需要较大的额外开销.

(3) 跳跃迁移(jumping migration,简称 JM).介于上面两种信箱迁移的极端情况,我们有 $|S_m|>1$ 且 $S_m \subset S_a$ (其中, $|S_m|$ 表示集合 S_m 中元素的个数).在移动 Agent 的第 i 次迁移之前,由 Agent 来决定 $f_A(h_{ai})$ 的取值(见定义 3).决定的因素可以包括 Agent 在目标主机 h_{ai} 要接收消息的数目、主机 h_{ai} 到信箱当前位置 $f_A(h_{a(i-1)})$ 的距离以及 Agent 对消息实时处理的需求等.如果 Agent 在目标主机 h_{ai} 几乎不会收到来自其他 Agent 的消息,那么就不必携带信箱一起迁移,从而令 $f_A(h_{ai})=f_A(h_{a(i-1)})$.反之,如果 Agent 在 h_{ai} 会频繁收到其他 Agent 的消息,且主机 h_{ai} 到信箱当前位置 $f_A(h_{a(i-1)})$ 的距离较远,那么如果 Agent 独自迁移,每次从远程信箱中获取信息的通信开销就会较大.在这种情况下,Agent 应该携带其信箱一起迁移至目标主机,即令 $f_A(h_{ai})=h_{ai}$.在跳跃迁移方式下,通信协议可以根据具体应用中移动 Agent 的迁移和通信模式灵活地决定 $f_A(h_{ai})$ 的取值,从而在寻址开销和消息传递开销中取得最佳折衷,使得总的开销最小.

2.2.2 Agent 及其信箱交互方式

信箱机制的引入将移动 Agent 通信分为两步,即消息发送者到接收者信箱的消息传输及接收者及其信箱之间的交互.后者根据 Agent 从其信箱中取得消息的方式的不同,可以分为 Push 和 Pull 两种.

Push(PS):信箱保存其相应 Agent 的当前地址,把所收到的消息直接转发给该 Agent.这种方式下消息处理的延迟较小,利于实现消息的实时处理.但移动 Agent 的每次迁移必须向其信箱注册新的地址,增加了通信的额外开销.

Pull(PL):移动 Agent 记录其信箱的位置,当需要处理消息时,从信箱中取出消息.在这种方式下,信箱无须知道相应 Agent 的当前位置,因而 Agent 迁移时无须进行地址注册.然而从另外一个角度来看,在 Pull 方式下,Agent 每次从信箱中获取消息时都需要通知其信箱,不仅增加了通信的额外开销,而且消息处理延迟较大.

2.2.3 消息发送和目标迁移的同步

以信箱和主机之间的同步为例,同步机制可以通过以下方式实现.信箱在迁移之前,向所有可能发送消息给它的主机注销(deregister)其当前地址.主机收到地址注销的消息后,向该信箱发送确认(ACK)消息.当收到与注销消息相对应的所有确认消息之后,信箱迁移至目标主机,到达后向所有可能发送消息给它的主机进行地址注册(register).这样,同步机制中移动对象的状态就被划分为静止(stationary)、等待(waiting)和迁移(moving)这 3 种,消息发送者只有在移动对象处于静止态和等待态的时候才向其发送消息,在迁移态没有消息发送,从而实现了消息发送和目标迁移的同步.该机制的有效性已在文献[11,12]中加以论证,在此不再赘述.在我们的信箱模型中,消息发送和目标迁移的同步可能发生在两个环节上,即主机的消息发送和目标 Agent 的信箱迁移之间的同步以及信箱的消息发送和相应 Agent 的迁移之间的同步.用户可以通过设置同步模式来选择对消息传递可靠性的要求.如果用户对消息可靠性的要求较高,在相应的通信协议中可以选择较强的同步模式.可供用户选择的模式

有:无同步(简称 NS)、主机消息发送和信箱迁移的同步(简称 SHM)、信箱消息发送和 Agent 迁移的同步(简称 SMA)以及全同步,即 SHM 和 SMA 两种同步同时使用,简称 FS.

上述的 3 个方面构成了我们通用框架的三维设计空间,如图 2 所示.每一方面表示为空间中的一维.空间中的三维是相互正交的,亦即上述 3 个方面是相互独立的 3 个因素,每个方面的一种情况从逻辑上都可以和其他方面的各种情况进行组合,从而得到不同的移动 Agent 通信协议.用户可以针对不同应用中的移动 Agent 通信和迁移模式,选择不同的参数组合,从而最大限度地满足应用需求.

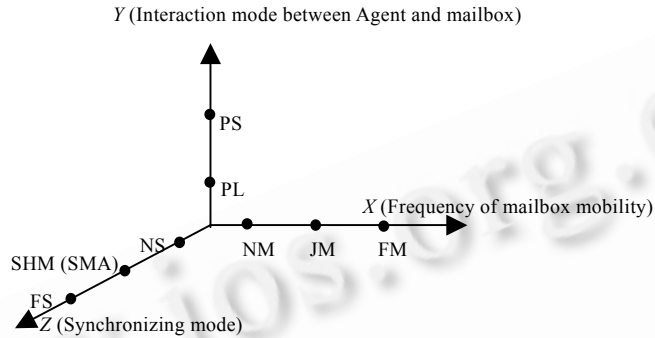


Fig.2 Design of communication framework

图 2 框架的三维设计空间

2.3 框架的应用

我们以 XX-YY-ZZ 的方式来表示协议,其中 XX 代表 X 方向上的 NM, JM 或 FM; YY 代表 Y 方向上的 PL 或 PS; ZZ 代表 Z 方向上的 NS, SHM, SMA 或 FS.三个方向参数的各种组合所得到的协议大部分都有合理的应用.

(1) 基于 Home 的协议. NM-PS-NS 协议与 Mobile IP 的思想完全相同. 移动 Agent 每次迁移都向位于 Home 的信箱进行注册. 所有发往该 Agent 的消息都被发到位于 Home 的信箱中. 信箱收到消息后将其 Push 到相应的 Agent. 该协议不保证消息的可靠传递. 如果在信箱转发消息的过程中移动 Agent 发生迁移, 那么该消息将会被丢失. 为了保证消息的可靠传输, NM-PS-SMA 协议中采用了信箱消息转发和 Agent 迁移的同步机制, 它可以看成是 Mobile IP 协议加上同步机制的改进版本. 在 NM-PL-NS 协议中移动 Agent 每次从位于 Home 的信箱中 Pull 消息, 因而无须同步机制也能够保证消息的可靠传输.

(2) 基于迁移路径上的转发机制的协议. FM-*-NS, JM-PL-NS 和 JM-PS-NS 都是基于迁移路径上消息转发机制的协议. 在转发机制中, 当 Agent A 的信箱离开主机 h_{mi} 迁移至 $h_{m(i+1)}$ 时在 h_{mi} 上留下指向 $h_{m(i+1)}$ 的地址. 这样, 所有 $Path_m(A)$ 上的主机就被组织成一条链表. 如果一台主机上的 Agent 首次向 Agent A 发送消息, 该消息被直接发送到 Agent A 的 Home, 即 h_{m0} . 如果信箱已经离开 h_{m0} , 消息将由 h_{m0} 沿着 $Path_m(A)$ 上的主机链表发送到信箱的当前位置. 如果信箱收到消息后发现消息是经过转发得到的, 则通知消息发主机当前所在位置, 例如 h_{mk} , 发送者所在主机将该地址信息保存在本地缓冲区中. 下次位于该主机上的 Agent 向 Agent A 发送消息时, 消息将会被直接发送到 h_{mk} . 尽管这个地址可能会过时, 但消息沿着主机链表仍然可以到达目标信箱, 且发送主机缓冲区的地址会被再次更新.

转发机制的优点在于实现简单, 信箱迁移时无须进行地址注册, 因而不会增加额外的网络开销. 主机上的 Agent 第 1 次和目标 Agent 通信后, 后续的消息就会被直接发送到缓冲地址而不再发给 Agent Home, 从而在一定程度上降低了 Agent Home 的负载. 但这类基于转发机制的协议也具有如本文第 2 节所述的各项缺点, 尽管在后两种协议中, 信箱的迁移频率可以比相应的 Agent 小很多, 缩短了消息转发路径并减少了消息追逐目标的可能性. 基于转发机制的协议适用于 Agent 迁移频繁但通信不是太多的应用, 特别是针对需要 Agent 的实时迁移, 但又对消息处理的可靠性和实时性要求不高时.

(3) 分布式地址注册协议. 消息转发机制不能保证消息传输的可靠性. 在分布式地址注册协议中使用同步机制来解决这个问题. FM-*-SHM, JM-PL-SHM 和 JM-PS-FS 协议都属于分布式地址注册协议. 在 Agent 迁移到

h_{mi} 之前,信箱向 $Path_m(A)$ 上的主机 $h_{m0}, h_{m1}, \dots, h_{m(i-1)}$ 注销其当前地址,收到所有的确认后迁移至 h_{mi} ,然后向路径上的所有主机注册新的地址。

与转发机制一样,发送者将消息直接发送到所在主机缓冲区中,保存的目标 Agent 信箱的地址 h_{mk} 或 Agent Home.主机 h_{mk} 或 Agent Home 收到消息后,如果目标 Agent 信箱不在本地,则将消息发送到信箱的当前地址,并通知发送主机该信箱的新地址,发送主机将缓冲中的相应地址更新.同步机制可以保证在消息转发过程中,目标 Agent 的信箱不会迁移至其他主机.这种分布式地址注册机制与使用同步的基于 Home 的协议(NM-PS-SMA)类似,只是把 Agent Home 扮演的地址服务和消息转发服务分布到信箱迁移路径上的所有主机上,并与地址缓冲技术结合,减轻了 Agent Home 的负载.这类协议也可以看成是消息转发机制与路径压缩相结合的产物,即信箱每迁移一次,通知路径上所有主机更新地址指针,从而完成一次路径压缩.这类协议可以保证消息的可靠传输,适用于 Agent 通信频繁,对消息处理的可靠性要求较高,且系统中 Agent 数目较多,Home 负载较重的应用,尤其是在 Agent 迁移频繁,但仅在迁移路径上的少数几台主机上才与其他 Agent 通信的情况下,后两种协议(JM-PL-SHM 和 JM-PS-FS 协议)可以有效地减小迁移的额外开销。

3 性能分析

本节通过实验,以信箱迁移率为例来考察框架设计参数的选择对通信性能的影响,实验结果的分析 and 结论可以对不同通信和迁移模式下的框架参数选择给予指导。

图 3 给出了 JM-PL-SHM 协议在不同移动 Agent 通信频率下总的通信开销.在实验中,我们随机设定移动 Agent 在每个站点上将要接收的消息,并与预先设定的阈值 T 相比较.如果消息数大于阈值,则 Agent 携带信箱迁移,否则 Agent 独自迁移.横坐标表示阈值 T ,它的取值范围是 $[-1, 1000]$.显然,当 $T=-1$ 时,Agent 每次均携带信箱迁移,此时协议等同于 FM-*-SHM 协议.而当 T 的取值足够大时,Agent 几乎每次都独自迁移,将信箱留在 home,此时协议等同于 NM-PL-NS 协议.处于两个极端之间的阈值对应于不同的信箱迁移频率.为了更清楚地表达实验结果,横坐标采用了对数坐标(因为 T 的取值从 -1 开始,将图像左移两个单位,因此横坐标标识的是 $\lg(T+2)$).其中 η 表示通信迁移率,即移动 Agent 在每个站点平均收到的消息条数; n 表示实验中 Agent 迁移的次数,取值为 100; α 表示 Agent 从信箱中 Pull 消息的次数和从信箱中收到的消息条数的比值,反映了 Pull 消息的频率。

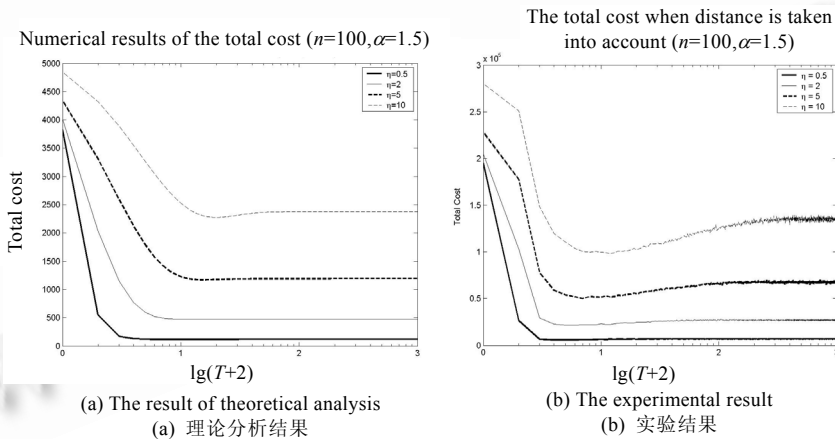


Fig.3

图 3

图 3(a)给出了通信开销的理论值,在理论值分析中我们没有考虑通信距离对网络开销的影响.图中不同的曲线表示在不同的移动和通信模式下(对应于不同的 η 取值)的通信开销.可以看出,随着信箱迁移频率的调节,我们可以使得通信开销达到最小,小于两种极端情况(即 FM-*-SHM 协议和 NM-PL-NS 协议).由于没有考虑通信距离的影响,数据没有反映出 NM 方式下三角路由导致的开销增加,因而曲线的最低点相对于最右端点(对应于 NM-PL-NS 协议)优势并不明显.实验中,我们规定除了数据量以外,通信开销与通信距离也成正比,从而反映

出了三角路由的影响.可以看出,通过适当选取信箱迁移频率,可以使通信开销大大减小.而移动 Agent 通信相对于迁移越频繁(η 越大),信箱机制的优势就越大.虽然实验中以 JM-PL-SHM 协议为例,比较了该协议与两种极端情况(即 FM-*-SHM 协议和 NM-PL-NS 协议)下的通信开销,但实验结果反映了信箱机制的灵活性和适应性.该结论适用于所有使用跳跃迁移(JM)方式的协议.

4 结论及进一步工作

移动 Agent 通信机制应满足位置透明性、可靠性、高效性、异步性和自适应性.基于对以上设计需求的分析,我们提出了一种通用的移动 Agent 通信框架,以支持满足各类应用需求的通信协议的设计.该框架基于一种高度灵活的信箱机制,其中每个移动 Agent 都被赋予一个信箱作为消息缓冲,其灵活性来自于 Agent 及其信箱的分离,即信箱可以和相应的 Agent 分处于不同的主机并分别迁移.经过对信箱机制设计空间的分析,我们的通用框架从信箱迁移频率、移动 Agent 及其信箱的交互方式以及消息发送和目标迁移的同步 3 个方面来描绘和刻画移动 Agent 通信协议的特征,并对每个方面的各种可能选择及其优缺点进行了详细分析.

使用该框架,用户可以通过设置 3 个方向上的设计参数来定制满足具体应用需求的移动 Agent 通信协议.框架不仅涵盖了传统的移动 Agent 通信机制,如基于 Agent Home 的机制、迁移路径上的转发机制以及上面两种机制的变形,还支持用户设计全新的移动 Agent 通信协议.本文描述了几种典型参数组合所对应的通信协议及其实现思想、优缺点以及适用范围.最后我们通过实验考察了框架设计参数的选择对通信性能的影响,其中包括信箱迁移频率对通信开销的影响以及 Push 和 Pull 方式下的通信开销和消息处理延迟.实验结果的分析 and 结论可以对不同通信和迁移模式下的框架参数选择给出指导.

References:

- [1] Tao XP, Lü J. Mobile Agent: One of the main paradigms of future distributed computing. *Computer Science*, 1999,26(20):1~6 (in Chinese with English abstract).
- [2] Perkins C. IP mobility support. RFC2002. IETF, 1996. <http://www.ietf.org/rfc.html>.
- [3] Lange DB, Oshima M. Programming and Deploying Java Mobile Agents with Aglets. MA: Addison-Wesley, 1998.
- [4] Milojevic D, Breugst M, Busse I. MASIF: The OMG mobile Agent system interoperability facility. In: Rothermel K, Hohl F, eds. Proceedings of the MA'98. LNCS1477, Berlin: Springer-Verlag, 1998. 50~67.
- [5] Perkins C, Myles A, Johnson DB. IMHP: A mobile host protocol for the Internet. *Computer Networks and ISDN Systems*, Elsevier Science, 1994,27(3):479~491.
- [6] Objectspace. Objectspace voyager core technology. 1997. <http://www.objectspace.com>.
- [7] Belle WV, Verelst K, D'Hondt T. Location transparent routing in mobile Agent systems-merging name lookups with routing. In: Drobnik O, ed. Proceedings of the 7th IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems. Tunisia: IEEE Computer Society Press, 1999. 207~212.
- [8] Lazar S, Weerakoon I, Sidhu D. A scalable location tracking and message delivery scheme for mobile Agents. In: Venkatesan S, ed. Proceedings of the 7th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WET ICE'98). Stanford, CA: IEEE Computer Society Press, 1998. 243~248.
- [9] Jul E, Levy H, Hutchinson N, Black A. Fine-Grained mobility in the emerald system. *ACM Transactions on Computer Systems*, 1988,6(1):109~133.
- [10] Murphy A, Picco, GP. Reliable communication for highly mobile Agents. In: Lange DB, ed. Proceedings of the Agent Systems and Architectures/Mobile Agents (ASA/MA)'99. Palm Springs, CA: IEEE Computer Society Press, 1999. 141~150.
- [11] Tao XP, Feng XY, Li X, Zhang GQ, Lü J. Communication mechanism in Mogent system. *Journal of Software*, 2000,11(8):1060~1065 (in Chinese with English abstract).
- [12] Feng XY, Cao JN, Lü J, Chan H. An efficient mailbox-based algorithm for message delivery in mobile Agent systems. In: Picco JP, ed. Proceedings of the MA 2001. LNCS2240, Berlin: Springer-Verlag, 2001. 135~151.

附中文参考文献:

- [1] 陶先平,吕建.流动 Agent:一种未来的分布计算模式. *计算机科学*,1999,26(2):1~6.
- [11] 陶先平,冯新宇,李新,张冠群,吕建. Mogent 系统的通信机制. *软件学报*,2000,11(8):1060~1065.