

一种基于多主体模糊知识交换的动态网络路由方法¹

王敏毅* 周明天* 姚绍文***

*(电子科技大学计算机学院 成都 610054)

** (昆明理工大学通信与电子工程系 昆明 650051)

摘要 路由是通信网络中重要的研究课题,但对于高度动态网络环境,现有的许多路由方法仍存在一些局限性.本文将多 Agent(主体)迁移合作系统应用于解决动态网络路由问题,提出了基于模糊知识的多 Agent 合作模型和用于计算路由的基础合作算法,并讨论了影响系统的几个关键因素.通过对动态网络仿真的试验研究,分析了系统的性能——开销特性和合作策略.研究结果表明,所提出理论模型和算法适合于解决动态网络的路由问题,并且能提高路由系统的响应性能.

关键词 路由,多 Agent 系统,迁移 Agent,模糊知识,动态网络

中图分类号 TN913.2

1 引言

路由是通信网络中被密切关注的研究课题,不同的方法对网络整体性能影响极大.反过来,不同类型的网络需要与之相适应的路由方法.从经典的短路径优先协议 SPF、路由信息协议 RIP 等 IP 层路由协议,到现在各种动态、自适应的路由方法,目的都是保证:路由最短、开销最小,或网络吞吐量最大,尽量避免拥塞等等.在对各种方法的探索中,研究者主要考虑网络负荷分布、链路变化等网络特征.

现代网络环境的主要特点是体系结构、设备和应用更加复杂多变.随着越来越多的移动设备和相关应用不断加入传统互联网,网络的动态性和不确定性大大提高.这种环境中,对网络的动态感知是做出即时路由选择的必要前提;而即时路由往往不需要最佳优化,但总是在短时间比较合理.许多研究表明^[1-3]:自适应的系统一般更加适合时刻变化的通信网络.其中多 Agent 系统^[4,5]就比较有代表性,由于其灵活性和统一性,一些研究者采用它来解决动态路由问题^[1,2,6].

针对多 Agent 系统在动态路由中的应用,我们在文中首次提出了基于模糊知识的迁移 Agent 合作模型及用于计算路由的基础合作算法,其中借鉴了人类交流的主观倾向特点,从而使相应的路由方法能针对动态网络在不确定的环境中寻求比较合理的优化.通过对动态网络仿真的试验研究,我们验证了本文所提出的理论模型和算法不仅适合于解决动态网络环境中的路由问题,并且能获得较好的性能.

下面我们首先分析了动态路由所面对的一些问题,在此基础上介绍和提出了一些系统模型和算法.基于第 4 节所介绍的动态网络仿真环境和试验方法,我们进行了仿真试验研究,并给出了典型的试验结果及其分析.第 6 节是对全文的总结.

2 问题分析

路由方法可以分为集中式或分布式的,或者换个角度,可以是静态或自适应的.和多数研究^[1,2,6]一样,本文针对分布自适应的方法.路由方法主要面临的问题包括信息交换、网络动态性等,另外针对多 Agent 系统也存在特定的问题,本节对这些问题做简要的分析.

¹ 2001-06-27 收到, 2002-09-13 改回
国防科研基金资助课题

首先, 任何路由方法都必须在网络节点间直接或间接进行信息的交换, 信息可以与整体网络相关, 或代表局部拓扑结构, 甚至是移动的计算实体。影响交换的关键因素包括: 广播或传递机制、数据包大小、信息发生交换的时机等。问题在于这些因素往往彼此制约, 例如小数据包交换往往需借助广播才能将本地信息传播到远处; 但为了保证分布信息的一致性, 局部变化所导致的刷新则容易造成广播雪崩。因此如何权衡这些因素是很重要的。另外, 从对交换的信息利用角度, 如果仅仅供接收节点刷新其路由表, 难免不充分。

其次, 针对动态网络环境, 不同的研究其内涵也不一样。例如, 有些研究所指的动态性是网络负荷变化幅度大或局部存在不确定拥塞^[2,6], 解决思路基本是在自学习的基础上逐步趋向优化或根据历史经验预测, 这类研究的方法适合于拥塞控制, 但对网络的拓扑的无规律动荡就显得反应速度较慢或不够灵活。类似地, 也有针对链路特性变化的动态网络的研究^[1], 其机制并不适合于拓扑变化的网络, 容易造成算法的结果振荡。

目前多 Agent 系统 (或类似系统) 在解决动态路由等问题的研究中还存在一些局限性。首先, Agent 在主动发现网络负载状况后, 一般不直接影响其他 Agent, 或者只进行分布式的信息交互, 因此合作往往不是直接的, 效率也比较低; 其次, 多数 Agent 的知识并不适合动态的网络, 彼此合作不能充分反映出客观的动态效果; 另外, 合作机制的量化在自适应路由的实现中也显得比较重要, 而目前的研究还不够深入; 针对动态网络环境, Agent 间容易存在不一致的知识, 在合作中会导致矛盾, 进而造成合作的障碍, 这个问题在目前相关研究中并没有涉及或解决。

此外, 链路及节点状态的检测、算法的复杂性、系统可管理性等也是影响路由的几个重要问题。篇幅所限, 我们不再逐个分析。

基于对上述问题的考虑, 我们认为: 广播方式不容易控制, 而以 Agent 为载体的主动信息交换是有益而高效的; 一般意义上的动态网络环境可能同时具有负荷、链路特性或拓扑结构的变化, 这些变化在环境建模和 Agent 认识中不应当被特别限定; 基于 Agent 的解决方法是主动、简洁而可伸缩的。因此, 下面我们提出了基于模糊知识的迁移 Agent 合作模型, 并将其应用于动态网络的自适应路由。

3 系统模型

3.1 迁移模型

图 1 为多 Agent 迁移合作系统模型, 其中有两类关键实体: 迁移节点 (Mobile node) 和迁移 Agent。

迁移节点, 又称为 Agent 迁移环境, 为 Agent 提供迁入、送出、激活等基本行为保证的必要条件。在本文系统中, 每个网络节点都对应一个迁移节点。在节点上有一个“黑板”, 通过它多个 Agent 可以进行间接的交互^[4]。经过节点的所有 Agent 都会刷新黑板上的信息, 同时也受这些信息的影响。这些信息构成综合映像, 代表了 Agent 群体知识的局部表现, 反映出整个网络的状况。从某种意义上讲, 黑板就是一个固定在节点中的 Agent。利用黑板上的信息, 可以计算出相应的路由表。

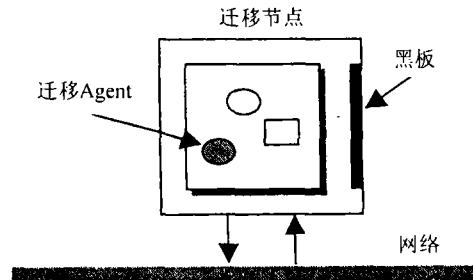


图 1 多 Agent 迁移合作系统模型

Agent 是系统中有充分活性、自主能力和知识的计算实体。运行体代码、信念、迁移参数和记忆轨迹是 Agent 的基本元素。通过网络中巡游, Agent 收集现场的节点和链路信息,并在逗留期间与其它 Agent 交换知识,进而间接完成路由表的调整。

Agent 迁移行为包括主动迁移和被动迁移两种。主动迁移指 Agent 在合适的条件下主动做出决定并触发自己的迁移,一些常见的主动迁移策略包括:随机^[1,2]、启发式、蚂蚁行为^[2]、贪婪,及复合策略等等;而被动迁移是指 Agent 的迁移总是受其它实体(通常是迁移节点)的操纵。考虑到网络环境的动态性,本文系统中采取 Agent 主动迁移机制。

事实上,上述迁移模型是通用的,即适用于多种分布问题的求解,这点从其它许多研究中不难看出^[4,7]。迁移 Agent 系统一个显著的优点是:尽管问题差别非常大,但迁移模型是基本类似的,所不同的只是 Agent 的知识和能力。因此,相应系统的体系结构比较统一而同时具有灵活性。同样,我们的路由方法中采用了这种迁移模型,因而整个系统也就具有很好的扩展性,例如可以增加更多的拥塞控制、网络元素监控等功能^[8]。

3.2 基于模糊知识的多 Agent 合作模型

知识表达及合作是多 Agent 系统的关键因素,对于动态网络,由于网络动态事件发生的分布性,处于不同位置的 Agent 对网络的认识与了解就有所差别,合作中必须考虑到知识的不一致和不确定性。每个 Agent 如何更加有效地进行信息交流,尤其需要合适的机制。

从人类交流中得到启发,我们认为 Agent 的知识应该具有两个基本特点:首先,代表对环境的一种主观认识,也许不一定能反映真实情况,但至少不会无中生有;其次,这种主观认识具有一定的影响力,进而可以动摇其他 Agent 的信念。因此,我们提出了一种基于模糊知识的 Agent 信念,这种拟人化的信念可以在 Agent 迁移过程中逐步建立、彼此影响及随时间退化。值得注意的是,由于模糊性的引入,知识和信念在本文中已不象传统 Agent 模型中有明确的区分^[4]。

3.2.1 Agent 的信念与自信心 若将动态网络看作一个问题领域 F , 其中的元素包括节点和链路,我们可以将某个元素客观处于正常工作(或标识为 UP)状态抽象为一个事实 f 。显然,从客观角度,事实只有成立和不成立两种状态,量化后对应 1 和 0。

事实在一定条件下可能被 Agent 所感知, Agent 在迁移中亲身感受到的为直接事实,而通过交换得到的为间接事实。前者清晰而真实,而后者模糊、甚至可能是错误的。同时,网络的动态变化、时间的推移及事件发生在网络上的分布性造成了 Agent 对事实认识的模糊性。显然,是或否、1 或 0 已经不足以表达 Agent 的主观感受。这种情况下,有必要引入模糊的机制表达 Agent 的信念。

定义 1 模糊信念 $b_a^t(f)$, 定义为某时刻 t , $agent_a$ 对某个事实 f 的信仰或认可程度,表示为事实 f 对模糊事实集 \tilde{F} 的隶属度,即: $b_a^t(f) = \mu_{\tilde{F}}(f)$, $a \in \Lambda$, $f \in F$, 其中 Λ 为所有 Agent 的集合。而模糊事实集 \tilde{F} 可定义为 F 上的隶属函数^[9]: $\mu_{\tilde{F}}(f): F \rightarrow [0, 1]$, $f \in F$ 。

基于上面的定义, Agent 的信念可以得到较好的量化表达。例如,对网络中的一条链路,没有引入模糊机制时, Agent 只能认为链路 UP(1) 或 DOWN(0);但模糊的表达则更加丰富,如:绝对是 UP -1(自己才经过),绝对 DOWN 了 -0(自己刚检测到),多半还能通 -0.8(因为才从其他 Agent 那里听说),也许仍然不通 -0.2(几分钟前自己曾检测过),或不知道 -0.5(很久没去过了),等等。

由于下文变量多与 $b_a^t(f)$ 相关,因此均为瞬态变量。简便起见,以下均用 $b_a(f)$ 代替 $b_a^t(f)$ 。

与人类一样, Agent 对某个事实会有一定程度的自信,无论是肯定的自信或否定的自信。但显然如果信念是很模糊的,自信心一定很低。因此,可引入自信度的概念来衡量这种自信。

定义 2 自信度 $CF_a(f)$, 即 a 对事实 f 的自信程度, $CF_a(f)$ 越大则 a 对事实的确信程度越高, 否则越低。本文简单定义为: $CF_a(f) = 2 \cdot |b_a(f) - 0.5|$ 。显然, 信念越模糊 (接近 0.5), 自信程度越低 (接近 0)。若 $CF_i(f) > CF_j(f)$ 则称 $agent_i$ 对事实的信念强于 $agent_j$ 。

不同于信念可以表达 Agent 对事实认可或不认可的程度, 自信度只是用于衡量自信, 因此可能包括认可的自信或不认可的自信。例如对某网络节点, Agent 持有信念 0.9 和 0.1, 虽然分别对应“比较肯定节点 UP”及“比较肯定节点 DOWN”, 但都可以说是“信心十足”的。

3.2.2 Agent 对动态网络的认识 按照一般的定义, 动态网络可表示为 $G(V, E)$, V 为节点集合, E 为链路集合。Agent 对动态网络的信念则可相应表示为模糊信念图 $\tilde{B} = \{V, \tilde{V}, \tilde{E}\}^{[9]}$, 其中 \tilde{V} 是论域 V 上的一个模糊集, 表示对节点的信念向量, 其隶属函数 $\mu_{\tilde{V}}(v_i), i = 1, 2, \dots, n$ 表示节点 v_i 的模糊信念 $b(f_{v_i})$ 。而 $\tilde{E} = (\mu_{ij})_{n \times n}$ 是 $V \times V$ 上的模糊关系, 其中 μ_{ij} 表示对链路 (v_i, v_j) 的信念 $b(f_{e_{ij}})$ 。

3.2.3 合作思想 在动态系统中, Agent 的合作主要需处理彼此信念的差异、不一致性甚至矛盾。对此本文提出如下思想:

(1) Agent 的信念所形成的主观倾向会动摇甚至改变其他 Agent 信念。

(2) Agent 的自信心驱使自己对信念的坚持, 但信念会受外界的影响而发生动摇, 这种改变程度取决于 Agent 自身的自信度。

(3) 不同 Agent 的认识之间允许存在差异和矛盾。在合作中遵循求同存异的原则, 即 Agent 彼此之间互相影响, 但并不需要统一意见。

基于上述思想, 作者引入了力学中的一些概念表达 Agent 间合作中的交互, 进一步可得到相应的合作算法。

3.2.4 基于力学概念的量化

定义 3 信念影响力 $\tau_a(f)$, $\tau_a(f) = \psi(b_a(f))$, 定义为 a 对某事实 f 的信念对其它 Agent 造成影响的能力。显然, $|\tau_a(f)| \propto CF_a(f)$, 表明 Agent 对事实 f 的自信度越高, 态度越明朗, 对其他 Agent 也具有更大的影响力。若对事实的认识含糊不清, 则别的 Agent 对这种态度将置若罔闻, 因而其影响力自然很小。

$\tau_a(f)$ 存在方向, 表示 $agent_a$ 对事实的态度: 若 $\tau_a(f) > 0$ 则倾向于事实的存在; $\tau_a(f) < 0$ 则否认事实的存在; $\tau_a(f) = 0$ 对事实是完全模糊的, 没什么概念。因此, 对于 $agent_i$ 和 $agent_j$ 而言, 若 $\tau_i(f) \cdot \tau_j(f) < 0$ 则说明 i 与 j 对事实 f 的认识是矛盾的; 若 $\tau_i(f) \cdot \tau_j(f) > 0$ 则说明 i 与 j 对事实 f 的认识是协调的; 若 $\tau_i(f) + \tau_j(f) = 0$ 则彼此信念完全矛盾。事实上, 在动态网络中巡游的 Agents 存在矛盾的认识是很正常的。

Agent 受到外界影响会改变其信念, 就类似于物体受外力后形状或尺寸发生变化。因此, 我们引入以下概念。

定义 4 信念弹性系数 $k_a(f)$, 定义为 $agent_a$ 对某事实 f 的信念在受其他 Agent 影响时的被改变的相对幅度, 与 Agent 的自信度直接相关。 $agent_a$ 对事实 f 越自信, 则它受到其他 Agent 影响时信念动摇程度越低, 相应的 $k_a(f)$ 越小。显然, 信念的模糊度为 0 时弹性系数最小, 根本不会受到动摇。

由于多个 Agent 在同一个节点时需要一起交换知识, 或互相施加影响。因此, 类似于力的合成, 可以将综合影响进行量化。

定义 5 信念合力 $\Gamma_\Lambda(f)$ 及合信念 $\bar{b}_\Lambda(f) : \Gamma_\Lambda(f) = \sum_{j \in \Lambda} w_j \cdot \tau_j(f)$, 定义为 Agent 集合 Λ 对 f 的信念所产生的综合影响力。其中 $w_j = |\tau_i(f)| / \sum_{i \in \Lambda} |\tau_i(f)|$, 表示 $agent_j$ 在群体中所占的权重。 $\bar{b}_\Lambda(f) = \psi^{-1}(\Gamma_\Lambda(f))$, 代表群体 Λ 的整体合成信念。

多 Agent 在一起交换知识时,可能会出现不一致性甚至矛盾,交换后可以完全统一或各自做不同程度让步。在计算时可以引入一致性调整系数 λ , 用于控制信念统一的程度。 $\lambda \in (0, 1]$, 上下界分别表明完全不统一及完全统一。事实上,完全统一就表示不允许有矛盾的存在,而 λ 为 0 则代表合作方根本不统一意见,一般在合作中并不采用。具体使用见下面算法描述。

3.2.5 合作算法 假设在一个节点上,有 m 个 Agent 相遇,它们均对某个网络事实 f 有自己的信念,分别为 $b_1(f), b_2(f), \dots, b_m(f)$, 设这些 Agent 构成集合 Λ 。一次合作的过程可描述如下:

$$(1) \text{ 计算总的信念合力, } \Gamma_{\Lambda} = \sum_{j \in \Lambda} w_j \cdot \tau_j = \left(\sum_{i \in \Lambda} |\tau_i| \right)^{-1} \sum_{j \in \Lambda} (|\tau_j| \cdot \tau_j);$$

$$(2) \text{ 计算每个 agent}_i \text{ 所受的外界影响: } \Gamma_i = \Gamma_{\Lambda} - w_i \tau_i = \sum_{j \in \Lambda} w_j \tau_j - w_i \tau_i;$$

$$(3) \text{ agent}_i \text{ 的信念因此而改变: } \delta b_i = b'_i - b_i = [\lambda k_i / (k_i + \bar{k}_i)] \cdot (\psi^{-1}(\sum_{j \in \Lambda} w_j \tau_j - w_i \tau_i)).$$

于是,经过交换,这些 Agent 拥有了新的信念,分别为 b'_1, b'_2, \dots, b'_m 。

上述算法符合 3.2.3 节中提出的 3 点合作思想。

在各个节点发生的合作过程中,总存在一个特殊的 Agent,即固定在节点上的 Agent,它也拥有对网络的模糊知识,但全部是间接事实。通过这个固定的 Agent 可以间接促成没有相遇的迁移 Agent 的合作。更重要的是,这些模糊知识可以直接用于计算路由,具体可以采用最短路径算法。

3.3 系统的关键因素

根据上面提出的模型,我们认为在系统中对整体性能影响较大的关键因素包括:多 Agent 间合作的根本机制、Agent 信念的消退和迁移系统的参数等,下面进行简单的介绍。

3.3.1 合作机制 本文模型适合以下几种类型的 Agent 合作机制:(1)无模糊知识的合作、(2)有模糊知识的间接合作、(3)有模糊知识的直接合作。具体实现时只需增加一些约束条件或修改参数即可。文献 [1] 的研究相当于第一种情况,由于网络是动态的,如果 Agent 知识非常明确,反而不能代表网络的真实特征,因此,如同多数算法一样,容易发生振荡和严重的不一致现象;而文献 [2] 中的蚁群系统实际采用的是间接合作机制,移动的多 Agent 间不进行直接交互,显然知识传播的速度要慢些,因为它们聚集在一个节点时,这种模式会失去很多合作机会。所以我们最终选择第 3 种合作机制。

合作中是否允许 Agent 间认识存在不一致也是至关重要的,而 3.2.4 节提出的调整系数 λ 可以起到相应的控制作用。我们认为,由于不同的 Agent 可能在不同的时刻感受不同的网络状态,因此允许认识存在不一致之处从某种意义上对反映动态网络更有效。

3.3.2 信念消退规律

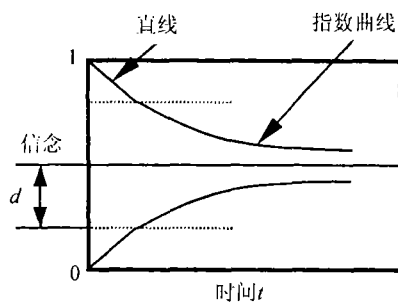


图 2 Agent 信念的消退规律

3.2.1 节中提出的信念是与时间相关的变量,即具有时效性,但我们并没有限定其变化规律。事实上,这个规律对系统有重要影响。我们认为 Agent 的信念应当随时间发展而逐渐消退,即使无任何外界影响,这正是 Agent 知识具有模糊性的根本原因之一。模仿人的记忆规律,可以简单定义图 2 所示的消退规律。显然,该曲线比较符合现实情况。

3.3.3 与迁移系统相关的设置 如何设置整个 Agent 迁移系统也是需要考虑的重要因素。首先, 迁移应当限制在一定区域内, 正如 Internet 路由体系一样, 此区域可形成一个自治系统, Agent 应当只在骨干线路和节点上迁移。其次, 针对每个区域可以优化设置一些特定的参数, 例如: Agent 数目、迁移策略等。

在相关文献 [10] 中, 我们讨论了上面介绍的认识的不一致性、信念消退、Agent 数目和迁移策略等因素; 而在第 5.2 节的试验中我们比较分析了 3 种合作机制。

按照上面介绍的模型和算法, 在高度动态变化的网络中每个节点可以建立对网络模糊的认识, 虽然这种认识可能并不精确, 但在某个时刻瞬间比非模糊的认识反而更加合理。该理论模型适用于解决动态环境许多分布式的问题, 如智能网络管理、分布协同工作等 [8]。本文采用仿真试验研究的方法, 将合作模型和算法用于仿真的路由系统中, 讨论整体性能和合作机制等关键问题。

4 试验环境和方法

依照本文提出的系统模型, 我们用 Java 语言开发了动态网络环境下的多 Agent 迁移合作系统的仿真环境, 并在此基础上进行了一系列模拟, 进而对路由系统的基本性能和关键的合作机制进行了比较分析研究。

4.1 仿真模型

仿真环境所基于的物理模型是一个动态网络, 其拓扑如图 3 所示 [2]。网络节点 (用图中带数字的圆圈表示) 由全双工链路连接, 链路容量均为 1.6Mbps, 模拟时间采用仿真钟计时, 单位为毫秒。数据包在通过中间节点时符合通常的存储-转发模式。对这个仿真网络, 我们做如下假设:

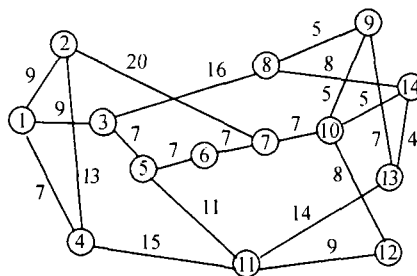


图 3 动态网络拓扑

- (1) 链路特征: 延迟 (图中连接线上标注的数字)、差错率 (10^{-7})、可复用;
- (2) 节点能力: 有足够的计算资源和处理能力, 在节点上的计算延迟可以被忽略;
- (3) 流量模式: 数据包产生符合泊松分布规律 (平均 10 个 / 秒), 包大小符合指数分布规律 (平均 1024 字节);
- (4) 事件模式: 网络中的突发事件按照试验需要在事件表中指定, 并在模拟中产生;
- (5) 动态属性: 节点 / 链路的加入、崩溃、节点迁移、性能震荡等。

4.2 系统参数及函数假设

具体实现时, 我们定义的理论模型中还有一些参数或函数还需要确定。由于本文旨在研究路由方法中基于模糊知识的合作模型, 因此不专门针对如何确定和优化这些参数做深入讨论。这里我们选取了一组符合模型特性的函数定义和参数, 如表 1 所示。

表 1 模糊知识交换模型中几个函数 / 参数的定义 / 取值

Agent 逗留时间	自进入节点开始至迁移成功, 如果没有合作, Agent 不逗留	
消退参数	$d = 0.3$, 默认消退速度 $-0.1/200\text{ms}$	
影响力	$\tau_a(f) = \psi(b_a(f))$	$1000(b_a(f) - 0.5)^3$
弹性系数	$k_a(f)$	$(0.5 - CF_a(f)) / CF_a(f)$

4.3 仿真试验内容

后面的试验中, 我们选用的动态事件是: 链路 1-4 周期性连通及失败, 周期是 1000ms。而在仿真网络中, 除一般性统计外, 特定采样点为节点 10。具体考察内容包括: 节点 10 上的固定 Agent 对链路 1-4 的信念 b_{10f} ; 全网 Agent 迁移累计流量开销; 节点 10 对事件 f 的感应延迟。基于这些工作, 我们得到第 5 节所介绍的结果。

5 结果及分析

5.1 系统基本性能: 延迟-开销

对通过计算生成路由表的算法而言, 两个主要评价总体性能的因素是: 动态事件响应延迟 δ 和占用带宽 Q 。前者直接影响到算法的收敛性和网络分布一致性, 后者可用于评价算法开销。

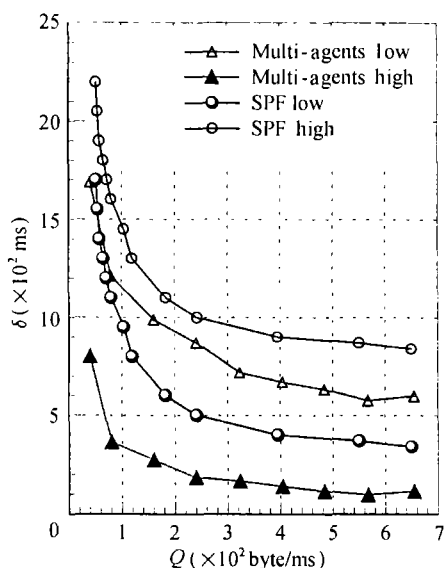


图 4 延迟-开销特性比较

图 4 为基于本文理论模型的路由方法和 Internet 标准路由协议 SPF 的延迟-开销性能比较。其中, 横坐标代表协议/方法的网络通信开销, 改变广播周期或 Agent 数目将产生不同的通信开销; 纵坐标则是某种开销时对应的动态事件响应延迟, 由于不同网络事件 (UP 和 DOWN) 的传播特性不同, 因此延迟有一定的范围, 相应曲线也就存在高限和低限。

图中的曲线对比显示: 以同样的开销, 基于多 Agent 合作系统的方法对事件响应的平均延迟要比 SPF 协议低。这点对于动态网络路由的快速自适应和计算非常有利。

5.2 不同合作策略的比较

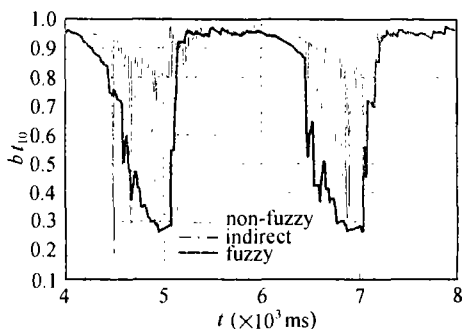


图 5 合作策略对系统动态响应性能的影响

通过对节点 10 的采样, 我们比较了应用第 3.3.1 节中所介绍的 3 种合作机制对事件响应特性的影响, 结果如图 5 所示。在图中, 横坐标是仿真时间, 纵坐标是节点 10 对链路 1-4 持有的信念。从图 5 中可以看出, 节点 10 对链路 1-4 恢复工作的响应非常及时, 表现为曲线上升比较陡; 而链路失效这类事件的传播较慢些, 即曲线下降相对平缓, 但显然我们希望下降沿尽量陡。

需要说明的是, 由于非模糊合作机制对网络元素状态定义只有 UP(1) 和 DOWN(0), 如果简单实现, 将与本文引入的模糊机制不易比较。因此, 我们对这种机制的算法做了简单优化, 即

各个 Agent 合作时, 简单对各自持有信念的值进行平均, 并约定在合作后全部强制取平均值。

从图中我们可以看出:

- (1) 对 3 种合作机制而言, Line-UP 事件在网络中传播的特性差别不大;
- (2) 非模糊合作方式对快速动荡几乎不能正确反映;
- (3) 同样是基于模糊知识, 直接合作方式比间接合作方式对动态事件的响应性更好。

6 结 论

针对动态网络环境, 现有的许多动态路由方法在解决由于网络动态变化引起的振荡、不收敛、不一致、过度广播等问题时还存在一定的局限性。本文提出一种拟人化的模糊知识合作模型, 并引入到迁移 Agent 系统中, 进而用于解决动态网络环境的自适应路由问题。在我们的模型中, Agent 可以建立符合变化的和不确定的网络环境的信念; 信念可以影响其它 Agent 或被动摇, 而影响程度则由 Agent 对事实的自信度决定; 合作中 Agent 间不需要完全统一认识, 甚至允许存在矛盾。我们对上述思想进行了量化建模, 并在此基础上提出了路由计算至关重要的合作算法。同时, 还应指出: 合作机制、信念消退规律和迁移系统设置是影响整个系统的关键因素。

通过建立动态网络环境下多 Agent 迁移合作系统的仿真环境, 我们把上述思想和模型应用到模拟的路由系统中, 进而比较研究了系统基本性能, 即延迟 - 开销性能以及不同合作机制对动态事件响应特性的影响。试验结果表明: 基于模糊知识合作机制的多 Agent 系统具有良好的延迟 - 开销性能, 并且这种机制较非模糊合作及间接合作能更好地适应动态网络环境。

本文将所提出的理论模型用于解决动态路由问题。事实上, 只要是针对动态网络环境的, 许多分布问题同样也适用, 如: 智能网络管理、分布协同工作等。对实现而言, 需要变化的只是 Agent 的知识和能力, 系统的整体结构可保持不变。除了应用领域的扩展外, 在本文的基础上, 还可以进行自治系统边界 Agent、系统参数的优化选取、合作算法的机制和效率上的优化、Agent 知识优化等研究工作。

参 考 文 献

- [1] N. Minar, K. H. Kramer, P. Maes, Cooperating mobile agents for dynamic network routing, In *Software Agents for Future Communications Systems*, Heidelberg, Springer-Verlag, 1999, Chapter 12.
- [2] G. Di Caro, M. Dorigo, Mobile agents for adaptive routing, In *Proceedings of the 31st Hawaii International Conference on Systems*, Los Alamitos, CA, IEEE CS Press, 1998, 74-83.
- [3] D. B. Lange, M. Oshima, Seven good reasons for mobile agents, *Communications of the ACM*, 1999, 42(3), 88-89.
- [4] 史忠植, 智能主体及其应用, 北京, 科学出版社, 2000, 20-50.
- [5] D. Milojicic, Mobile agent applications, *IEEE Concurrency Magazine*, 1999, 7(3), 80-90.
- [6] 董军, 潘云鹤, 路由选择的多 Agent 系统模型, *计算机学报*, 2000, 23(2), 221-225.
- [7] A. Fuggetta, G. Vigna, Understanding code mobility, *IEEE Trans. on Software Engineering*, 1998, 24(5), 342-361.
- [8] A. Bieszczad, T. White, B. Pagurek, Mobile agents for network management, *IEEE Communications Surveys*, 1998, 1(1), 2-9.
- [9] 何新贵, 模糊知识处理的理论与技术 (第 2 版), 北京, 国防工业出版社, 1998, 第 1, 5 章.

- [10] Wang Minyi, Yao Shaowen, Zhou Mingtian, Cooperative mobile agents in dynamic network environment, In Proc. of the TOOLS-Asia 2000 Conference, Xi'an, China, IEEE CS Press, 2000, 162-167.

DYNAMIC NETWORK ROUTING BASED ON THE FUZZY KNOWLEDGE EXCHANGE AMONG MULTI-AGENTS

Wang Minyi* Zhou Mingtian* Yao Shaowen* **

**(Computer Sci. and Eng. College, Univ. of Electron. Sci. and Tech., Chengdu 610054, China)*

*** (Dept. of Communications and Electrical Engineering,
Kunming Univ. of Sci. and Tech., Kunming 650051, China)*

Abstract Routing is an important topic in communication network research. But many existing routing mechanisms are awkward to highly dynamic network environment. With a proposed cooperative model of multi-agents based on fuzzy knowledge and a basic algorithm for routing computation, a multiple mobile agents cooperating system is applied to the problem of dynamic network routing. Some key factors of the system are discussed in the context. With the help of a simulative dynamic network and the experiments on it, the performance-overhead characteristic of the system is analyzed and the comparison among some cooperation strategies is made. The results show that the proposed theoretic model and algorithm are suitable to the routing of dynamic network and able to improve the responsibility of the routing system.

Key words Routing, Multi-agent system, Mobile agent, Fuzzy knowledge, Dynamic network

王敏毅: 男, 1973 年生, 博士生, 主要研究方向为分布对象技术、智能 Agent、网络管理等.

周明天: 男, 1939 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为计算机网络、分布对象技术、并行分布处理等.

姚绍文: 男, 1966 年生, 博士生, 主要研究方向为协议工程、Web 技术和 CPN 建模等.