

# CAER: 一种基于内容的自适应事件路由算法

郑力明<sup>1,2</sup> 王意洁<sup>1</sup> 郑 重<sup>1</sup> 李小勇<sup>1</sup> 陶 克<sup>1</sup>

(国防科技大学计算机学院并行与分布处理国家重点实验室 长沙 410073)<sup>1</sup>

(武警成都指挥学院信息技术教研室 成都 610213)<sup>2</sup>

**摘 要** 基于内容的发布/订阅模式正受到日益广泛的重视,为构建大规模分布式系统提供了一个很好的选择。在基于内容的事件分发中,事件发布节点无需指定分发的目标地址,事件在转发的过程中根据其内容逐步路由到对事件感兴趣的目标节点。针对已有的基于内容的路由算法不能适应订阅动态变化、网络通讯开销较大的问题,提出了一种基于内容的自适应事件路由算法 CAER。通过在基于内容的路由表中将订阅与订阅源结点相绑定的方式,来实现路由表的构建和维护,使得路由算法适应订阅的动态变化。实验结果表明,该算法不仅提高了事件分发的准确率,而且降低了网络的通讯开销。

**关键词** 发布/订阅,基于内容,事件路由

**中图法分类号** TP393 **文献标识码** A

## CAER: A Content-based Adaptive Event Routing Algorithm

ZHENG Li-ming<sup>1,2</sup> WANG Yi-jie<sup>1</sup> ZHENG Zhong<sup>1</sup> LI Xiao-yong<sup>1</sup> TAO Ke<sup>1</sup>

(National Key Laboratory for Parallel and Distributed Processing, School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)<sup>1</sup>

(Information & Technology Teaching and Researching Section, Chengdu Commanding College of the CAPF, Chengdu 610213, China)<sup>2</sup>

**Abstract** The content-based publish/subscribe paradigm has received emerging attention due to providing efficient loosely communication channels for large-scale distributed systems. Event publishing nodes don't specify the destination addresses of events; in contrast, events are progressively routed to the nodes which have subscribed them. However, existing content-based event routing algorithms can't efficiently adapt to the dynamics of subscriptions and incur higher network communication costs. A content-based adaptive event routing algorithm (CAER) was proposed. The subscription was bound with the corresponding subscribers' addresses in the routing tables, and then the routing tables were efficiently constructed and maintained. Simulation results show that the accuracy of the event publishing is improved, and the network communication costs are significantly reduced.

**Keywords** Publish/subscribe, Content-based, Event routing

## 1 引言

发布/订阅 (publish/subscribe, 简称 pub/sub)<sup>[1]</sup> 作为实现数据分发的一种有效模式,在电子商务<sup>[2,3]</sup>、交通控制<sup>[4]</sup>、电子拍卖<sup>[5]</sup>、网格计算<sup>[6]</sup>等领域有着非常广泛的应用。在发布/订阅模式中,数据的生产者(数据源,又称为发布者)向消费者(目标结点,又称为订阅者)传输的数据称为事件。订阅者通过发出订阅来声明自己对事件的兴趣,发布者则根据订阅条件将其产生的事件经由一些中间结点分发给相应的订阅者。发布/订阅的这种动态、松耦合、异步、多点通讯的特点能够很好地满足 Internet 上大型应用系统松散通讯的需要,从

而有效地支持大规模分布式数据分发系统的构建。

发布/订阅模式大致可分为基于通道、基于主题、基于内容和基于类型 4 种。目前基于内容的发布/订阅系统已成为研究热点,典型的原型系统包括 Elvin<sup>[7]</sup>, Gryphon<sup>[8]</sup>, Siena<sup>[9]</sup>, JEDI<sup>[10]</sup> 等。在基于内容的发布/订阅系统中,订阅者可以根据事件属性的值来自由设置订阅信息,使订阅更精确、更灵活,避免了订阅者对无关信息的获取,提高了网络的利用率和传输效率。

基于内容的发布/订阅系统提高了订阅的灵活性,同时增加了系统的复杂性。要使系统保持良好的性能,必须解决的一个关键问题是:在订阅动态变化的环境中,如何制定路由算

到稿日期:2009-03-02 返修日期:2009-05-08 本文受国家重点基础研究发展规划 973 项目(2005CB321801),国家自然科学基金项目(60873215,60621003),高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(200899980003),高等学校全国优秀博士学位论文作者专项资金项目(200141)资助。

郑力明(1978-),男,硕士生,讲师,主要研究方向为网络计算,E-mail:ygusun@163.com;王意洁(1971-),女,教授,博士生导师,主要研究方向为网络计算、数据库技术、移动计算;郑 重(1982-),男,博士生,主要研究方向为网络计算;李小勇(1982-),男,博士生,主要研究方向为网络计算;陶 克(1988-),男,硕士生,主要研究方向为网络计算。

法来实现事件的高效传输,即系统中产生的事件按照何种路径才能快速准确地从源结点转发到目标结点。

现有的基于内容的路由算法缺少对订阅动态变化的支持,主要问题是:路由表中过时的订阅信息不能被及时更新,从而导致错误的事件分发;用以定时更新路由表的控制信息会产生较大的通讯开销。针对这些问题,在已有的工作基础上提出了一种基于内容的自适应事件路由算法 CAER(Content-based Adaptive Event Routing algorithm):通过在基于内容的路由表中将订阅与订阅源结点相绑定的方式,来实现路由表的构建和维护,使得路由算法既能适应订阅的动态变化,又能提高事件分发的准确性,降低通讯开销。

## 2 相关研究

事件路由算法解决事件如何高效、可靠地被递送到相应的订阅者,是发布/订阅系统的核心机制之一。事件路由的特点在于事件发布时并没有指定接收者,而是根据事件的内容以及网络中分布的订阅条件来决定事件的转发路径,因此也被称为基于内容的事件路由。事件路由算法对发布/订阅系统的性能、可靠性和扩展性有着重要的影响。

基于内容的发布/订阅系统的路由算法主要可以分为两种<sup>[12]</sup>:泛洪式的路由算法和匹配优先的路由算法。在泛洪式的路由算法中,事件在网络中传输,每个结点首先利用匹配算法把收到的事件与本地订阅进行匹配,接收匹配上的事件,然后无论邻居结点是否需要此事件,均将该事件向所有的邻居结点转发(发送事件的结点除外);在匹配优先的路由算法中,每一个订阅者的订阅信息在网络中泛洪,这样每一个结点都拥有所有订阅者的订阅信息,当结点接收到事件时,将事件和所有订阅信息进行匹配并转发给所有匹配成功的订阅者。

这两种基本算法都不是理想的解决方案:泛洪式算法造成了大量不必要的信息在结点之间进行传递,极大地浪费了网络带宽,降低了网络的传输效率;匹配优先算法要求每个结点都记录所有的订阅信息,导致路由表非常大,如果一个订阅信息发生变化,那么每个结点的路由表都要相应地进行修改,当订阅信息频繁发生变化时,及时更新路由表信息的代价很大。

显然这两种算法都只适用于小型系统,对于拥有成千上万的订阅者的大规模系统是不实际的。为此,有一些优化路由的算法思想陆续被提出<sup>[12-14]</sup>。Ganguly 等提出的 Sieve<sup>[12]</sup>系统通过为每个订阅属性构建一棵过滤树来实现事件的并行匹配,从而加快事件分发的速度。但是该算法的拓扑结构和路由信息的维护依赖协调结点,这使得该算法尽管可以响应结点的订阅变化,但同时可能产生热点效应和单点失效的问题。Carzaniga 等提出的基于覆盖(Covering)的 CBCB<sup>[13]</sup>路由算法并不需要每个结点都要知道所有的订阅信息,而是利用对订阅信息的覆盖测试有选择地转发订阅信息,从而避免了在网络中广播所有的订阅信息。但是该算法在结点订阅动态变化时会导致中间结点上的路由约束不断放宽;而为了缓解此问题,CBCB 算法通过由事件发布结点发出控制信息的方式来淘汰中间结点上的过时订阅信息,然而它易引入较大的通讯开销和响应订阅变化的延迟。Castelli 等提出的 Hyper-CBR<sup>[14]</sup>算法在保证订阅与事件传播范围重叠的条件下,通过调整两者的大小来减少通讯开销,然而该算法在适应订阅动

态变化方面仍存在着与 CBCB 算法类似的问题。

## 3 基于内容的自适应事件路由算法

### 3.1 基本思想

为了能够适应结点订阅的动态变化,提出了一种基于内容的自适应事件路由算法 CAER。

CAER 算法工作在教育层的覆盖网之上,并基于广播树广播订阅和事件。通过广播订阅在每个中间结点构建和维护路由表;在广播事件时实际上并不向广播树中所有的结点转发,而是根据每个中间结点的路由表剪除对事件内容不感兴趣的广播树枝,如图 1 所示。本算法包括 3 个部分:一是订阅与事件广播,它构成了基于内容的事件路由的基础;二是路由表的构建与维护,即通过在中间结点路由表中将订阅与订阅源结点绑定的方式,使得在订阅产生及变化时能及时更新路由表的相应表项,避免结点向订阅已过时的下游方向转发事件,该部分是路由算法适应订阅动态变化的关键;三是事件路由,即根据路由表信息对事件的广播发送进行匹配过滤,使之逐步转发到相应的目标结点。

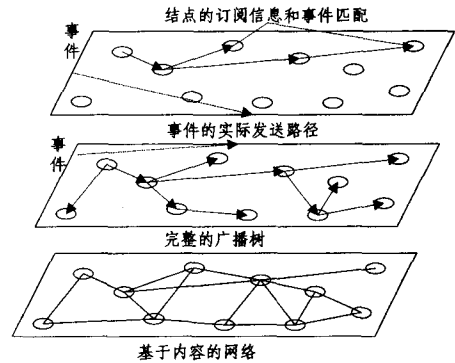


图 1 CAER 算法的基本思想

### 3.2 订阅与事件广播

在 CAER 算法中,订阅通过广播树在网络中传播,而事件的路由也以广播树为基础。广播树的构建算法可以定义为一个具有两个输入参数的函数  $B(s, i)$ , 两个输入参数分别是事件的源结点地址  $s$  以及事件进入中间结点的接口号  $i$  (如果该结点为事件源结点,则  $i$  为 NULL), 其返回结果则为一个事件广播转发接口集合  $I$ 。事件  $e$  在中间结点的转发即可通过向  $I$  中需要该事件的接口集合转发来实现。对订阅来说,该广播函数同样适用。

广播函数  $B$  可以用全局生成树(例如最小生成树)、per-source 树(例如最短路径树)或者其他的广播算法实现。但是无论使用哪种实现,广播函数  $B$  必须满足 all-pairs path symmetry 性质(即以任意一对结点  $u$  和  $v$  为根的两个广播树  $T_u$  和  $T_v$  中,连接  $u$  和  $v$  的路径是重合的)。因为只有满足这个性质,CAER 算法才能保证结点会尽力将事件沿订阅传输的反向路径转发,进而利用订阅所建立的路由信息来决定是否真正转发。

### 3.3 路由表构建与维护

本算法的关键就是路由表的构建与维护。它是通过订阅者“推”的过程,即订阅者广播其兴趣(Subscriber Interest, 简称 SI, 如图 2 所示)来实现的。网络中的每个结点产生及改变兴趣时发出 SI。每个 SI 都带有该结点的订阅(即谓词 Predicate)以及该结点的标识(ID),其目的是将结点的兴趣传

递给所有潜在的事件发送者。SI 沿着以发送者结点为根的广播树传播,并在每个中间结点构建维护路由表,从而建立一个反向的事件转发路径。

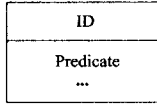


图 2 SI 的结构示意图

结点路由表由 3 部分组成,分别为接口、谓词和结点 ID。其中,接口对应结点的邻居连接,谓词是订阅者兴趣的表达(即 SI 中 Predicate),结点 ID 则为订阅者标识(即 SI 中 ID)。每个接口对应一个由一系列子谓词的析取构成的谓词,其中各个子谓词源自不同结点发来的 SI,并且这种对应关系通过保存相应结点 ID 的形式保存在路由表中。图 3 显示了 CAER 算法的路由表示例结构。

接口	谓词	结点 ID
1	$P_{1,1}$	A
	$P_{1,2}$	B
	$P_{1,3}$	C
	$P_{1,4}$	D
2	$P_{2,1}$	E
	$P_{2,2}$	F

图 3 CAER 算法的路由表

在图 3 中,  $p_{i,j}$  表示  $i$  号接口对应的第  $j$  个子谓词,后面的结点列出了这些子谓词对应的结点 ID,即相应的谓词所属的 SI 的发出结点。例如  $p_{1,2}$  就是源自结点 B 所发出的 SI。只有事件匹配路由表中某个接口对应的所有子谓词被析取时,结点才可能向该接口转发该事件。

在 SI 沿着以发送者  $r$  为根的广播树传播时,广播树中的每个中间结点检查路由表中 SI 的进入接口对应的表项,并按照如下的原则构建和维护路由表。

1) 如果路由表相应表项中非  $r$  结点对应的所有子谓词的析取无法覆盖该 SI 中的谓词(即  $r$  的兴趣无法由其它的结点代表)且不包含来自  $r$  结点的子谓词,则简单地将该 SI 中的谓词作为一个子谓词添加到路由表中(即取析取),并保存其对应的结点 ID,SI 继续沿广播树向下游结点转发;

2) 如果路由表相应表项中非  $r$  结点对应的所有子谓词的析取无法覆盖该 SI 中的谓词(即  $r$  的兴趣无法由其它的结点代表)且包含来自同一结点  $r$  的子谓词,则用该 SI 中的谓词替换原子谓词,SI 继续沿广播树向下游结点转发;

3) 如果路由表相应表项中非  $r$  结点对应的所有子谓词的析取覆盖了该 SI 中的谓词(即  $r$  的兴趣可以完全由其它的结点代表),则丢弃该 SI,并删除路由表相应表项中  $r$  结点对应的子项。

初始订阅者通过广播订阅来构建路由表。如图 4(a)所示,  $SI_b$  沿着以 B 为根的广播树传播,当进入结点 D 时,检查其进入接口 1 对应的路由表表项,该表项中无信息(即非 B 结点对应的所有子谓词的析取无法覆盖  $P_b$ )且不包含来自 B 结点的子谓词,则简单地将  $P_b$  作为一个子谓词添加到路由表中,并保存其对应的结点 ID(即  $b$ ),  $SI_b$  继续沿广播树向下游结点转发。图 4(b)显示了在结点 B 发送  $SI_b$  后,结点 A 发送  $SI_a$  且  $P_b$  不覆盖  $P_a$  时在结点 D 形成路由信息的情况。

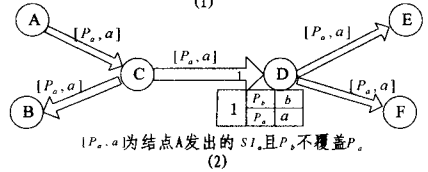
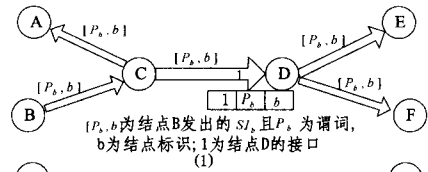


图 4 路由表构建

当结点订阅动态变化时,CAER 算法通过将其新订阅迅速反映在路由表中来适应这种变化。结点 A 发出新的订阅  $SI_a'$ ,当进入结点 D 时,检查其进入接口 1 对应的路由表表项。该表项中非 A 结点对应的所有子谓词的析取无法覆盖  $P_a'$ (即  $P_b$  不覆盖  $P_a'$ )且包含来自 A 结点的子谓词,则用  $P_a'$  替换  $P_a$ 。  $SI_a'$  继续沿广播树向下游结点转发,如图 5(a)所示。

之后结点 B 发出新的订阅  $SI_b'$ ,当进入结点 D 时,检查其进入接口 1 对应的路由表表项,该表项中非 B 结点对应的所有子谓词的析取覆盖  $P_b'$ (即  $P_a'$  覆盖  $P_b'$ ),则丢弃  $SI_b'$  并删除路由表相应表项中结点 B 对应的子项,如图 5(b)所示。

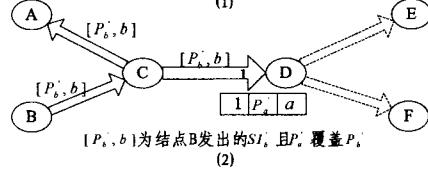
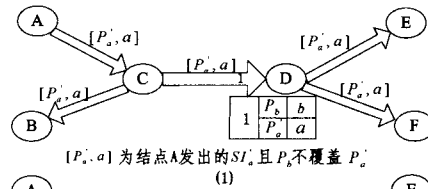


图 5 路由表维护

在 CAER 算法中,初始的订阅者通过广播其 SI 来建立整个网络的路由信息,以后只有当结点的兴趣发生变化时,才广播 SI 来更新网络的路由信息。该算法相比 CBCB 算法不会产生接口谓词条件不断“放宽”的情况,也就无须 SR 和 UR 来平衡之,降低了系统的通讯开销,并且能够在结点的订阅发生变化的情况下迅速地把订阅的变化反映到路由信息中。

### 3.4 事件路由

当结点产生或收到事件时,首先利用广播函数  $B$  计算出结点的事件广播转发接口集合  $I$ ,然后将事件依次与  $I$  中每个接口在该结点路由表中对应表项的所有子谓词的析取进行匹配,进而向匹配上的接口转发该事件。

当结点 A 从接口 4 收到事件 Event(Event=[int price=20])时,首先利用广播函数  $B$  计算出结点 A 的事件广播转发接口集合  $I = \{1, 2\}$ ,如图 6(a)所示;然后将事件 Event 依次与  $I$  中每个接口(即 1, 2)在结点 A 的路由表中对应表项(分别是 1, 2)的所有子谓词的析取进行匹配,容易得出事件 Event 匹配结点 A 的路由表中接口 1 的所有子谓词的析取,而不匹配接口 2 的所有子谓词的析取,故向匹配上的接口 1(结点 B)转发该事件,完成事件路由,如图 6(b)所示。

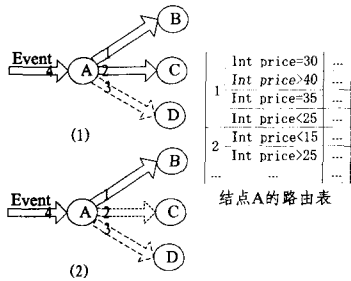


图6 事件路由

## 4 实验及评价

实验中采用 PeerSim 模拟器<sup>[15]</sup>,并以离散事件驱动(Event Driven)的方式模拟在 P2P 环境中基于内容的事件路由过程。在 PeerSim 模拟器中实现了 CAER 算法,并且为评价算法的性能,完全实现了 CBCB 算法。在模拟实验中,首先订阅由一组对属性的约束表示;每个属性都是整型变量,约束则以区间表示;属性的数目由一个服从 Zipf 分布的随机数产生器生成。其次,每个属性约束范围的下界由服从 Zipf 分布的随机数产生器生成,而区间长度由配置文件指定。最后,事件以一组属性表示,属性数目以及属性值仍由服从 Zipf 分布的随机数产生器生成。

对于订阅中的每个属性值,事件中若有对应的属性位于订阅的区间范围内,则称为事件订阅匹配。为了检验所提出的 CAER 算法的性能,从以下 3 个方面进行了模拟测试。

1)事件传输准确性对比:评估该路由算法能否将订阅者感兴趣的信息正确发送至相应的结点。对于事件传输的准确性对比测试包括两个方面,即假阴性和假阳性比较。

2)网络通讯开销对比:评估该路由算法能否避免不必要的网络数据的传送,能否减少网络通讯的开销,从而提高事件路由的效率。

3)算法的可扩展性对比:评估该路由算法在网络规模逐步增大的情况下所产生的控制报文(CAER 算法中的 SI 以及 CBCB 算法中的 RA,SR/UR)的流量是否稳定、可控。

### 4.1 事件传输准确性对比

#### 4.1.1 假阴性比率对比

假阴性(False Negative)是指结点在匹配订阅条件后,丢弃了不应该丢弃的事件;假阴性比率是指发生假阴性的事件数占总的事件数的比率。实验中考察了在不同的结点数目下路由算法的事件传输性能。图 7 显示了在 50,100,200 个结点数下,CAER 算法和 CBCB 算法的假阴性比率的对比测试结果。通过图 7 可以看出,在前 5s 之内,对于同一时刻在不同结点数目的情况下,两种算法的假阴性比率相差很小;而在 5s 之后,假阴性比率几乎为 0。可见,CAER 算法与 CBCB 算法的假阴性比率相当,它保持了 CBCB 算法的快速收敛、稳定的特性。

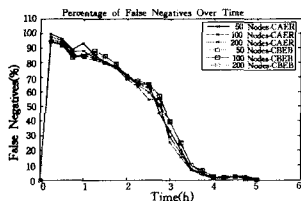


图7 假阴性比率对比

#### 4.1.2 假阳性比率对比

假阳性(False Positive)是指结点在匹配订阅条件后收到了错误的或虚假的事件;假阳性比率是指发生假阳性的事件数占总的事件数的比率。实验中 CBCB 算法每 15min 发送一次 SR/UR,而 CAER 算法只在结点订阅变化时才发送 SI。实验中对比了在 6h 内 CAER 算法和 CBCB 算法中的假阳性比率,其结果如图 8 所示。通过图 8 可以看出,虽然 CAER 算法与 CBCB 算法的假阳性比率均在 20% 以下,并且变化相对较小,但是 CBCB 算法的假阳性比率平均值约为 10%,而 CAER 算法平均值约为 6%。可见,CAER 算法较 CBCB 算法从总体上降低了事件传输的假阳性比率。

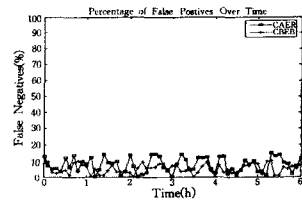


图8 假阳性比率对比

### 4.2 网络通讯的开销对比

对于网络通讯开销的测试,主要通过对比 CAER 算法与 CBCB 算法中控制报文数占总传输报文数(包括事件与控制报文)的比率加以验证。实验中对比了在 40min 内 CAER 算法与 CBCB 算法中控制报文数占总传输报文数的比率,其实验结果如图 9 所示。由图 9 可知,在 3min 时,由于总的传输报文较少,控制报文数相对较多,所以二者的比率都相对较高,CAER 算法约为 50%,而 CBCB 算法约为 80%。然而,随着时间的不断推移,网络中总的传输报文数不断增加,而控制报文的比率相对下降,在 9min 时,CBCB 算法约为 20%,而 CAER 算法约为 17%;在 24min 时,CBCB 算法约为 8%,而 CAER 算法约为 5%;虽然有时 CBCB 算法的比率较 CAER 算法小,但是从总体上比较二者的比率,则 CAER 算法更小。可见,提出的 CAER 算法通过取消 SR/UR 控制报文,减少了控制报文在总传输报文中的比率,提高了路由算法的传输效率。

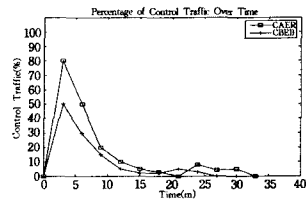


图9 网络通讯开销对比

### 4.3 算法的可扩展性对比

对于算法的可扩展性测试,主要通过对比 CAER 算法与 CBCB 算法中随着网络结点数目不断增大其控制报文的趋势来加以验证。实验中考察了路由算法在网络规模逐步增大的情况下产生的控制报文的数量。为了实验的可靠性和正确性,研究了 100 至 800 个结点数下的实验结果,其具体结果如图 10 所示。由图 10 可知,随着结点数目的不断增加,CBCB 算法中控制报文的增加速度明显大于 CAER 算法中控制报文的增加速度,尤其是当结点数目相对较大的时候。究其原因在于,在 CAER 路由算法中完全取消了 SR/UR 控制报文,使得控制报文中只存在订阅信息。由此可见,CAER 算法能

够适用于大规模的网络,其可扩展性较 CBCB 算法明显增强。

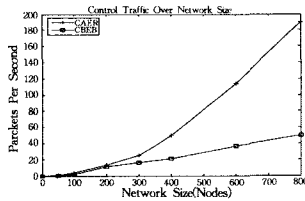


图 10 可扩展性对比

**结束语** 在基于内容的发布/订阅研究领域中,现有的路由算法缺少对订阅动态变化的支持。针对以上缺陷提出了基于内容的自适应事件路由算法 CAER。该算法通过在基于内容的路由表中将订阅与订阅源结点相绑定的方式来支持订阅的更新,提高事件的分发效率。实验证明该算法既减少了假阳性(即传给结点其并不感兴趣的事件数)的比率,又提高了事件分发的准确性,而且相对于已有的路由算法显著减少了控制信息的通讯开销,具有良好的可扩展性。

### 参考文献

[1] Eugster P T, Felber P A, Guerraoui R, et al. The Many Faces of Publish/Subscribe[J]. ACM Computing Surveys, 2003, 35(2): 114-131

[2] Fiege L, Muhl G, Buchmann A. An Architectural Framework for Electronic Commerce Applications[C]// Annual Conference of the German Computer Society, New York; IEEE, 2001

[3] Fiege L, Muhl G. Rebeca: Event-Based Electronic Commerce Architecture[EB/OL]. <http://www.gkec.informatik.tu-darmstadt.de/rebeca>

[4] Perry T S. In Search of the Future of Air Traffic Control[J]. IEEE Spectrum, 1997, 34(8): 18-35

[5] Bornhovd C, Cilia M, Liebig C, et al. An infrastructure for meta-auctions[C]// Second International Workshop on Advance Is-

ssues of E-Commerce and Web-based Information Systems (WECWIS'00). New York; IEEE, 2000: 21-30

[6] Casanova H. Distributed Computing Research Issues in Grid Computing[J]. ACM SIGACT News, 2002, 33(3)

[7] Segall B, Arnold D. Elvin Has Left the Building; A Publish/Subscribe Notification Service with Quenching[C]// Proceedings of the Australian UNIX and Open Systems User Group Conference (AUUG'97), 1997

[8] Gryphon. [Http://www.research.ibm.com/gryphon/](http://www.research.ibm.com/gryphon/)

[9] SIENA. [Http://www.cs.colorado.edu/users/carzanig/siena/](http://www.cs.colorado.edu/users/carzanig/siena/)

[10] Cugola G, Nitto E D, Fuggetta A. The JEDI event-based infrastructure and its application to the development of the OPSS WFMS[J]. IEEE Trans. on Software Engineering, 2001, 27(9): 827-850

[11] Banavar G, Chandra T, Mukherjee B, et al. An Efficient Multicast Protocol for Content-based Publish-Subscribe Systems[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Distributed Computing Systems'99. New York; IEEE, 1999: 262-272

[12] Ganguly S, Bhatnagar S, Saxena A, et al. A Fast Content-based Data Distribution Infrastructure[C]// Proceedings of IEEE INFOCOM'06. New York; IEEE, 2006: 1-13

[13] Carzaniga A, Rutherford M J, Wolf A L. A routing scheme for content-based networking[C]// Proceedings of IEEE INFOCOM'04. New York; IEEE, 2004

[14] Castelli S, Costa P, Picco G P. HyperCBR: Large-scale Content-based Routing in a Multidimensional Space[C]// Proceedings of IEEE INFOCOM'08. Phoenix, AZ, USA; IEEE, 2008

[15] PeerSim. <http://lists.sourceforge.net/lists/listinfo/peersim>

(上接第 54 页)

角色访问控制机制,在解决网格社区中访问控制动态性问题的同时也有效地避免了网格实体欺骗行为的发生。下一步的工作是在网格社区访问控制的基础上提出域间访问控制的解决方案。

### 参考文献

[1] Clark D D, Wilson D R. A Comparison of Commercial and Military Computer Security Policies[C]// IEEE Symposium on Security and Privacy. Oakland, April 1987: 184-194

[2] Sandhu R S, Coyne E J, Feinstein H L, et al. Role-based access control models[J]. Computer, 1996, 29(2): 38-47

[3] Hildmann T, Barholdt J. Managing Trust between Collaborating Companies Using Outsourced Role Based Access Control[C]// Proceedings of the Fourth ACM Workshop on Role-based Access Control: 105-111

[4] 徐京京,代红雷,查礼,等. 基于社区的服务网格多粒度授权与访问控制研究[J]. 计算机应用研究, 2006, 7: 199-203

[5] 王莉苹,杨寿保. 网格环境中的一种信任模型[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(23): 50-53

[6] 高承实,张栋,田磊. 网格环境下基于实体行为的动态信任评估模型[J]. 微计算机信息(管控一体化), 2006, 22(8-3): 199-201

[7] 郑彦,王汝传,张奇,等. 复合模式的网格系统信任授权模型[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(13): 2311-2313