

Pub/Sub 系统中基于免疫的新型路由算法

王泽洪, 闵妍妮, 刘名扬, 谭韵天

(同济大学电子与信息工程学院, 上海 200092)

摘要:为减少 Pub/Sub 系统中因遍历节点而产生的广播负载, 在无标度网络的 Pub/Sub 系统遍历路由的基础上, 提出了基于免疫思想的新型路由算法。第一阶段, 通过设置阈值 δ , 选择初始免疫节点; 第二阶段, 通过投票机制进一步甄选核心代理节点和免疫节点。仿真实验表明所提出的方法与 Pub/Sub 系统中传统的 Gossip 算法及洪泛算法相比较, 能够限制消息在确定的范围内传播并且降低消息遍历的时间和广播开销的负载。基于免疫的新型路由算法可加快消息的传播速度、降低网络开销。

关键词:复杂网络; BA 模型; 免疫; 路由

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2012)02-0006-04

A New Immunity-Based Routing Strategy in Pub/Sub System

WANG Ze-hong, MIN Yan-ni, LIU Ming-yang, TAN Yun-tian

(School of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to reduce the overhead on the networks by traverse broadcast in the Pub/Sub systems, introduced a new routing algorithm based on immunity. The first stage, select the initial immunity nodes based on the degree threshold δ . The second stage, select core agent nodes and immunity nodes by voting mechanism further. Simulation shows that the immunity routing can reduce the network load and increase the system's scalability compared with flooding and epidemic and enhance network expansibility. The new immunity-based routing strategy can speed up the message transform, and reduce load.

Key words: complex network; BA model; immunity; routing

0 引言

发布/订阅系统是一种使分布式系统中的各参与者能以发布/订阅的方式进行松耦合交互的中间件系统。在 Pub/Sub 系统中, 信息发布者以“事件”的形式将信息发布到 Pub/Sub 系统^[1]中的事件代理网络; 订阅者定义一个订阅条件, 表示对系统中的某一特定类型的事件感兴趣, 同样发布到事件代理网络中; 而 Pub/Sub 系统事件代理网络则保证将发布者所发布的事件及时、可靠地传送到所有感兴趣的订阅者。

尽管 Pub/Sub 系统的数据分发机制具有很多优势, 但由于其通信对象的匿名性^[2], 为寻找合适的通信对象通常需遍历整个网络, 增加了网络负载, 降低了通信效率, 限制了 Pub/Sub 系统的可扩展性。

针对 Pub/Sub 系统的可扩展性问题, 文中引入了复杂网络及其传播动力学的概念, 并提出一种新型的免疫算法。通过限制 Pub/Sub 系统中的通告或订阅的

传播范围, 减少网络中需要遍历的代理数, 在简化网络传播图的基础上减少网络负载, 增强 Pub/Sub 系统的可扩展性。

文中的主要工作如下:

(1) 针对 Pub/Sub 系统中的 Broker 网络, 基于 BA 模型构建 Broker 的复杂网络结构。

(2) 在构建好的 Broker 网络上, 采用基于病毒免疫机制的路由方案, 利用节点度大的节点转发通告或订阅消息, 以快速遍历网络中 Broker。

(3) 对提出的病毒免疫算法进行仿真实验, 并与传统的 Pub/Sub 系统路由方法进行比较。

1 相关工作

针对 Pub/Sub 系统中的消息路由问题, 研究者们已提出了洪泛法^[3]、Gossip 算法^[4]、基于组播机制的算法^[5]、生成树转发算法^[6]和基于反向路径转发算法^[7]等遍历路由算法。

文献[3]所述的洪泛法, 其源节点通过广播的方式将消息转发给它的每个邻居节点, 每个邻居节点再以同样的方式将消息转发给各自的除发送数据来的节

收稿日期: 2011-06-29; 修回日期: 2011-09-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60972036)

作者简介: 王泽洪 (1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为 Pub/Sub 数据分发系统、Pub/Sub 系统路由。

点之外的节点。重复以上步骤,直到消息遍历全网。显然,洪泛法会造成网络很大负载量。文献[4]所述 Gossip 算法有很多改进的算法变种。Gossip 算法机制类似于病毒或谣言的传播,当源节点要发送消息时,会将消息随机地、有选择性地发送给它的邻居节点,而每个节点收到消息后重复同样的过程。显然,Gossip 机制可以在一定程度上限制负载,但在大规模数据传输时性能会急剧下降。

文献[8]研究了基于度免疫的免疫遍历算法,通过将度小的代理设置为免疫代理,限制免疫代理上的通告转发,相比于洪泛法和 Epidemic 算法,很好地减少了 Pub/Sub 系统路由遍历阶段中的网络负载。

但该算法存在以下不足:

(1) 免疫信息报文在网络中的传播,会增加一定的开销;

(2) 由于无标度网络的集群系数高,这表明代理的邻居之间存在着较大比例的共同邻居,即便是应用基于度免疫的遍历算法,也会有部分冗余通告存在,即一个免疫代理会同时收到几个非免疫代理发送的通告。

针对文献[8]的缺陷,文中提出了一种新型的免疫算法。

2 系统模型

以往研究人员多基于随机网络来研究路由算法。但近年来,科学家们发现大量的真实网络既不是规则网络^[9],也不是随机网络,是一种顶点度服从指数分布的复杂网络^[10]。无标度网络(BA 模型)是一种典型的复杂网络,其集群系数高^[11],易于选取核心节点,并且消息传播、扩散速度很快,因此文中基于 BA 模型研究 Pub/Sub 系统路由,并且假设:

(1) Pub/Sub 系统是由一系列相互通信的代理 B 和直接与代理通信的客户 C 组成,如图 1 所示,代理的

拓扑可构造成一个图 $G(V, E)$, 其节点集 $G_B = (B_1, \dots, B_n)$ 组成的 Broker 代理网络转发事件^[12]。 $C_1 \sim C_7$ 为客户端,客户端分为发布方和订阅方,发布方利用 Broker 网络向订阅方传播事件。

(2) B 与其直接相连的邻居 Broker 直接通信,通过在 Broker 间利用基于内容的路由算法实现通告和控制消息的交换,实现分布式通告功能。

(3) G_B 构造为无尺度 (Scale Free) 的复杂网络^[13],基于免疫学的思想以快速、轻负载地实现通告消息的遍历。

3 Pub/Sub 系统的新型免疫路由

3.1 Pub/Sub 系统新型免疫路由

在由 Broker 构成的复杂网络中,存在两种代理,免疫代理和非免疫代理。

定义 1: 免疫代理是指接收到信息,对其具有免疫能力,即它不再向其它代理扩散所接收到信息的代理。

定义 2: 非免疫代理,称为可感染其它代理的代理,即在接收到信息后,可将信息转发给其它免疫或非免疫代理。

免疫路由实质上是免疫网络构造的过程,即确定网络中的免疫代理和非免疫代理。

定义 3: 下代理,每个免疫代理依附于一个非免疫代理,即需要此非免疫代理转发通告给它,则此免疫代理为它所依附的非免疫代理的下代理。为了避免重复接收到同一通告,每个免疫代理只能成为一个非免疫代理的下代理。

定义 4: 上代理,与定义 3 中的下代理相对,每个非免疫代理都被一群免疫代理依附。

定义 5: 选举机制,免疫代理的邻居代理中可能有几个非免疫代理。每个免疫代理可以根据其邻居代理中非免疫代理的属性(文中指代理度),选择想要与之

建立链接的上代理(即选择其邻居代理中度最大的代理)。选举机制的结果是,使部分的非免疫代理拥有更多的下代理;使部分的非免疫代理失去下代理,并且最终变为免疫代理。

3.2 算法过程

以下三个步骤用以构造免疫网络。

Step 1: 根据阈值 δ , 将网络中的所有代理归入两个集合: 非免疫集合 A , 免疫集合 B , $A = \{x \in N \mid x > \delta\}$; $B = \{x \in N \mid x \leq \delta\}$ 。

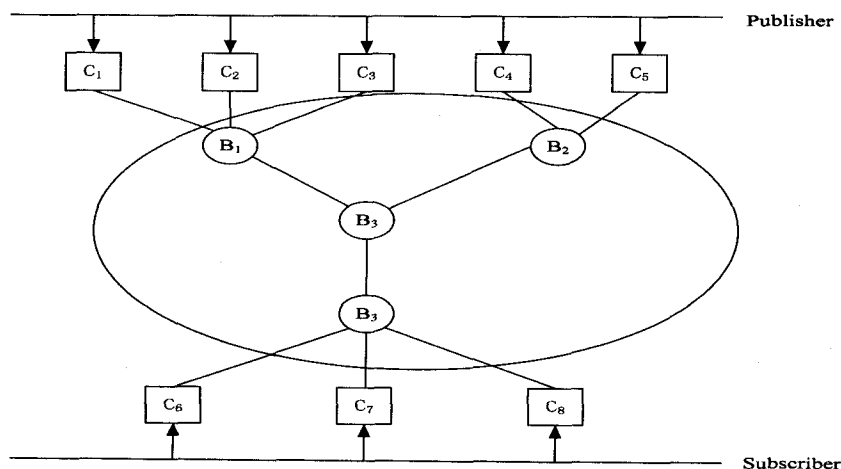


图 1 Pub/Sub 系统的结构

Step 2: 采用选举机制, 即集合 B 中的代理根据定义 5 从集合 A 中有且仅选择一个代理为其上代理, 并向其发送请求消息, 上代理将其加入转发集中, 为此非免疫代理的下代理。免疫代理选择好自己的上代理后, 断开与其它代理的链接, 即它只需要从其上代理接收通告, 其它的非免疫代理不会转发通告给它, 这就避免了不必要的通告传播。

Step 3: 从集合 A 中剔除的一部分没有被免疫代理选择的代理, 放至集合 B 中, 即没有下代理的非免疫代理将要变为免疫代理。新加入的免疫代理根据定义 5 在集合 A 中选择其上代理。并断开和其它代理的链接, 只保留与其上代理的链接。

经过 Step1 ~ Step3, 边集中有些链接已经在图中删除, 网络拓扑已经被简化。

3.3 仿真实验

(1) 免疫网络构造仿真。

采用 BA 模型构造无标度网络, 参数设为 $m_0 = 20$, $m = 3$, $N = 100$ 。图 2 为构造的最初的无标度网络拓扑图。

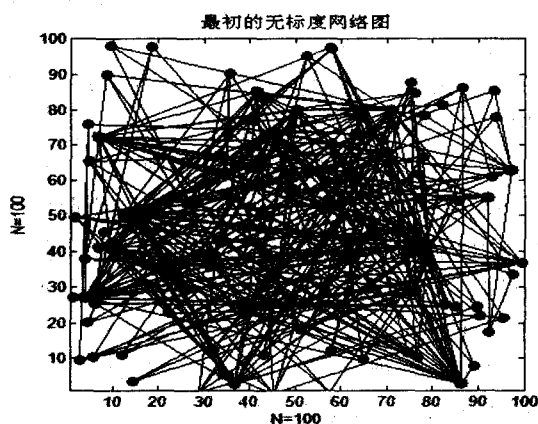


图2 最初的无标度网络图

选择阈值 $\delta = 3$, 并且以新型的免疫网络构造算法, 在图 2 基础上构造初始免疫网络, 并通过选举核心代理网络最终简化成如图 3 所示的最终网络图。

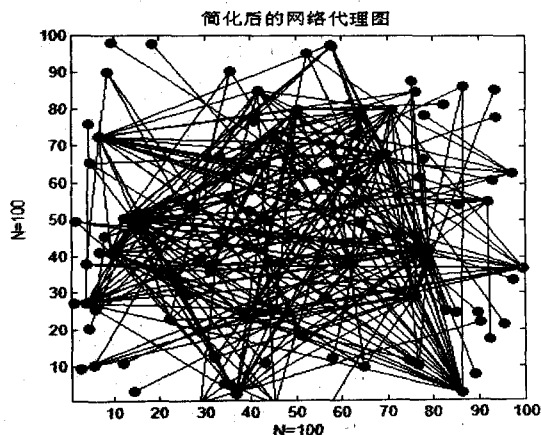


图3 简化后的网络代理图

(2) 实验仿真结果及分析。

假设 $N = 100$ 的无标度网络中有 10 个代理对此通告感兴趣, 采用如下性能指标来对 Pub/Sub 系统路由的第一阶段, 通告遍历进行性能分析:

① 通告的覆盖率: 指当网络一个通告发布后, 对此通告感兴趣的代理接收到此通告的概率。对于 Pub/Sub 系统而言, 只有当 $P_{\text{covering}} \approx 100\%$ 时, 算法才是合适的, 否则将破坏 Pub/Sub 系统的生存性原则。

$$P_{\text{covering}} = \frac{D_{\text{receive}}}{D_{\text{all}}} \quad (1)$$

式中, D_{receive} 表示收到通告的代理数目, D_{all} 表示对此通告感兴趣的代理总数目。

② 通告的平均负载: 指网络中某个代理发布一个通告后, 其它代理重复收到此通告的比率。平均负载反映了网络的负载。平均负载越低越好, 平均负载少反映系统为满足一定的覆盖率所花费的开销小、网络负载小。

$$P_{\text{repeating}} = \frac{g_{\text{repeating}}}{g_{\text{new}}} \quad (2)$$

式中, $g_{\text{repeating}}$ 表示单个代理重复收到某通告的数目, g_{new} 表示单个代理收到新通告的数目。

③ 通告转发的平均速率: 指当一个通告被发布后, 系统需要经过多少次消息转发, 才能到达网络中所有的代理, 用消息转发的跳数来表示。

图 4 显示了在 $N = 100$ 下传统遍历算法及文中提出的免疫遍历算法的通告覆盖率, 其中洪泛 (Flooding) 和免疫遍历算法的覆盖率接近 100%, Gossip 算法的覆盖率较差, 且非常不稳定 (为了尽量接近真实效果, 以上操作都运行 100 次后, 再求出平均结果)。

图 5 显示了在不同网络规模下遍历算法 Flooding、Gossip 和免疫遍历算法的网络平均负载, 可以看出 Flooding 算法的平均负载为 4.5 个通告左右, Gossip 算法的平均负载为 4 个通告左右, 而免疫遍历算法的平均负载则只有 1.2 个通告左右。

为尽量接近真实效果, 以上操作都是用 Matlab 程序运行 100 次后的结果。从中可以更清晰地看出, 文中提出的新型免疫算法无论是在覆盖率还是平均负载上较传统的洪泛算法和 Gossip 算法都有明显的优势。

4 结束语

文中引入无标度网络和传播动力学概念, 构造了大规模的 Pub/Sub 系统网络结构和提出了基于度免疫的新型遍历路由算法, 在进一步的工作中可以应用加权复杂网络和具有社团结构的复杂网络构造 Pub/Sub 系统, 使之更具有能反映真实社会的真实性。文中研究的网络拓扑结构是静止的, 在进一步工作中还可以

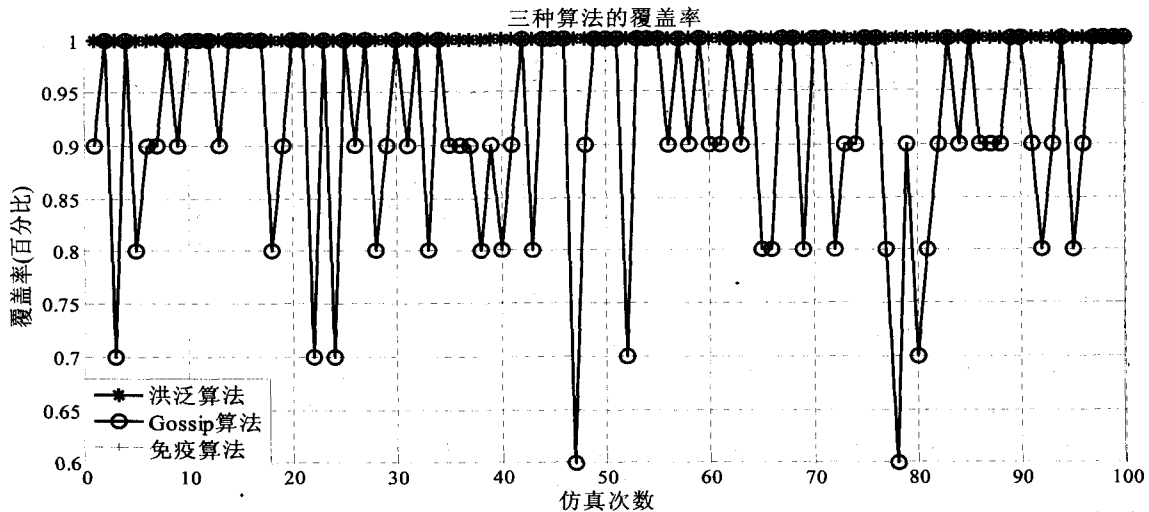


图4 运行100次的网络覆盖率比较图

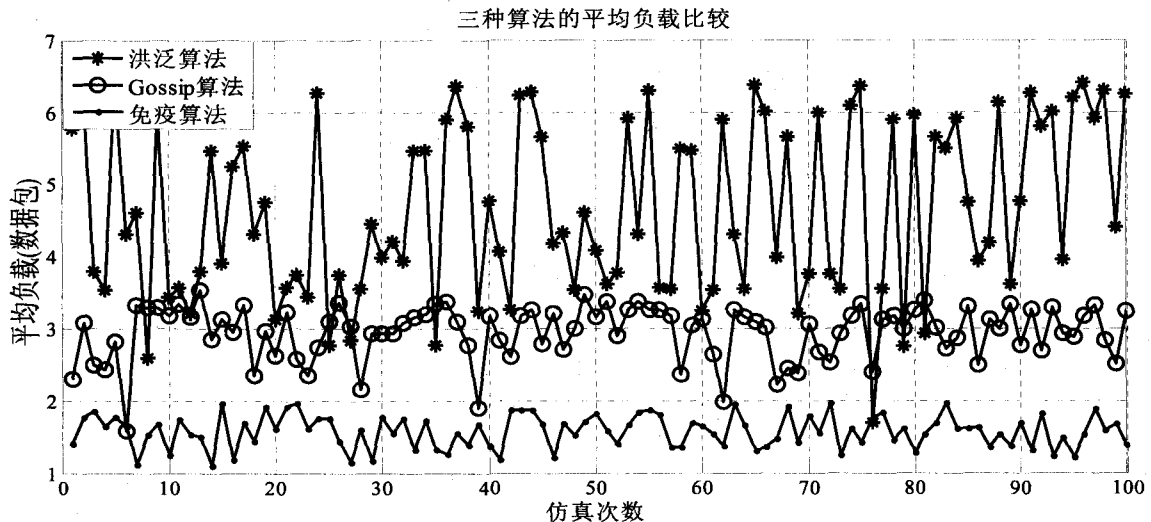


图5 运行100次的平均负载比较图

研究移动网络中的动态路由问题。

参考文献:

- [1] Oki B, Pfluegl M, Siegel A, et al. The information bus: an architecture for extensible distributed systems[J]. ACM SIGOPS Operating Systems Review, 1993, 27(5): 58-68.
- [2] Barabasi A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999, 28(54): 509-512.
- [3] Albert R, Jeong H, Barabási A L. Error and attack tolerance in complex networks[J]. Nature, 2000, 406(3): 387-482.
- [4] Kephart J O, White S R. Measuring and Modeling Computer Virus Prevalence[C]//Proc of 1993 IEEE Computer Society Symposium on Security and Privacy. [s. l.]: [s. n.], 1993: 2-15.
- [5] Hethcote H W, van Ark J W. Epidemic ecological models for heterogeneous populations: proportionate mixing, parameter estimation and immunization programs[J]. Math. Biosci., 1987, 84(15): 85-118.
- [6] 张丹荣, 张宁. 复杂网络下引入时间参数的病毒传播[J]. 微计算机信息, 2007(36): 204-206.
- [7] Mundur P, Seligman M, Lee G. Epidemic routing with immunity in delay tolerant networks[C]//Military Communications Conference, MILCOM 2008. [s. l.]: IEEE, 2008: 1-7.
- [8] 闵妍妮, 薛小平, 王泽洪, 等. 基于无标度网络的 Pub/Sub 免疫路由[J]. 计算机工程, 2011, 37(3): 102-104.
- [9] Pastor-Satorras R, Vespignani A. Immunization of complex networks[J]. Physical Review E, 2002, 65(4): 36-44.
- [10] Cohen R, Havlin S, Ben-Avraham D. Immunization Strategies for Computer Networks and Populations[J]. Physical review letters, 2003, 91(24): 247901.
- [11] Fu Xinchu, Michael S, David M W, et al. Epidemic dynamics on scale-free networks with piecewise linear infectivity and immunization[J]. Physical Review E, 2008, 77(3): 036113.
- [12] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of 'small-world' networks[J]. Nature, 1998, 393(6): 440-442.
- [13] Crucitti P, Latora V, Marchiori M. Model for cascading failures in complex networks[J]. Phys. Rev. E, 2004, 69(7): 45-64.