

Ad Hoc 网络中 QoS 路由协议算法的研究^{*}

施荣华 崔奕芳 江 玲

(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)

摘 要 Ad Hoc 网络是一种由移动节点组成、拓扑结构动态变化的自组织网络,在 Ad Hoc 网络中实现带有 QoS 约束的路由是当今研究的重要问题。QoS 路由协议算法中最主要的三个方面是:QoS 参数的选取,对单向链路的支持和路由协议的多播功能。本文首先介绍了应用较广的几类 QoS 路由协议的算法,接着选取了以上三个方面中几个典型的 QoS 路由协议,详细介绍了它们的特点以及算法思想,并对协议的性能进行了具体分析,分析结果对研究 QoS 路由协议有一定的指导意义。

关键词 Ad Hoc 网络, QoS, 路由协议算法

Study of QoS Routing Protocol Algorithm Based on Ad Hoc Network

SHI Rong-hua CUI Yi-fang JIANG Ling

(Dept. of Information and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract Ad Hoc network consists of a collection of mobile nodes, dynamically creating a self-organizing network. In Ad Hoc network research, it is an important problem that how to make routing with QoS constrained. Three main aspects of QoS routing protocol algorithm are QoS preference, support of unidirectional link and multicast functions. This paper introduces the algorithm of some QoS routing protocols which are applied widely, then itemizes the trait as well as the algorithm of the mentioned kinds of protocols, and analyzes the protocols' performance concretely, so the conclusion will have an instructional meaning to the research in QoS routing protocol.

Keywords Ad Hoc network, Quality of service, Routing protocol algorithm

移动自组网是由一组带有无线收发装置的移动节点所组成的一个临时性多跳自治系统。作为没有基础设施的网络,移动自组网在军事和民用方面具有广阔的应用前景,是目前网络研究中的热点问题。随着多媒体应用的日益普及,在移动自组网中提供 QoS 已经成为自组网中一个重要的研究领域。然而,由于移动自组网的无线多跳性,网络带宽资源有限和网络拓扑结构动态变化,使得在移动自组网中提供 QoS 变得非常复杂,给路由协议的研究带来了新的挑战。

1 Ad Hoc 网的特点及应用

1.1 Ad Hoc 网络的特点^[1]

(1)网络中的移动节点都是通过无线信道连接,每个节点都具有路由功能,整个网络就是由无线路由器组成的自治系统。

(2)自组网不需要基站等核心通信设施的支持,可以快速布设,临时建立。

(3)动态拓扑结构,这是自组网最显著的特点。由于自组网中的节点可以随意移动,导致网络的拓扑结构也随之变化,另外节点发送和接收特性(如功率)的变化也会影响拓扑结构的变化。

(4)链路带宽有限,容量可变,自组网工作在一个带宽与延迟不断变化且通信链路不可靠的环境中。

(5)单向信道的存在,节点的发射功率,电池能量和地理位置的影响等可能导致单向链路的存在。

(6)自组网中的节点是依靠电池来供电,在通信过程中有可能出现电能耗尽的情况。

1.2 Ad Hoc 网络的应用

由于 Ad Hoc 网络具有以上的特点,其应用领域与普通的通信网有很大的不同,主要有以下几类:

(1)军事应用。在现代化战场上,为了完成对军事设备和士兵之间的集中统一指挥和协调作战,需要这样一种可以随意移动的通信网络。

(2)移动会议。在临时环境中,工作团体的所有成员可以通过 Ad Hoc 网络的方式组成一个临时网络来协同完成某个任务。

(3)紧急服务。由于某些自然灾害的出现,网络的基础设施遭到破坏时,组建一个 Ad Hoc 网络可以帮助紧急救援人员完成必要的通信工作。

(4)传感器网络。传感器可以工作在危险的环境,通过在传感器上装备位置指示器、Ad Hoc 收发器等,将传感器所在现场的信息传送到危险现场以外,供救援人员收集和辨别事故信息。传感器网络主要用于环境污染监测、地震的早期预报、生产监控等领域。

2 Ad Hoc 网络中的 QoS 路由协议

2.1 Ad Hoc 网络中的路由协议

目前,国内外的许多科研机构都在从事自组网路由协议的改进和应用^[2-5],而现在的路由协议按照路由表的维护特点

^{*} 基金项目:国家自然科学基金项目(编号:60773013);湖南省自然科学基金项目(编号:02JJY2094)。施荣华 教授,研究方向为计算机网络与通信保密;崔奕芳 硕士,研究方向为移动自组网与信息安全;江 玲 硕士,研究方向为通信保密与信息安全。

大体可以分为:路由表驱动型(Table Driven)和需求驱动型(On Demand-driven),前者主要有 DSDV,WRP,STARA 等,后者有 DSR,AODV,TORA 等。基于路由表驱动型的路由的最大优点是随时可以知道到目的节点的路由,减少了路由寻找的时间;基于需求驱动的路由只有在有数据通信的时候才建立路由,节省了网络平常的负载,它的缺点在于算法的实时性较差,但是正因为这类型的协议能够节省电源和带宽,所以受到了比较大的关注。

2.2 QoS 路由协议的分类

QoS 路由是一种考虑通信流的 QoS 要求的路由机制^[3],根据网络状态,每个链路的可用资源和其它相关信息,寻找满足用户约束和最优化请求的可行路径。基于 QoS 的自组网路由协议有 LS-QoS,STARA,ABGR,LBRM 以及 QRME 协议等。已有的 QoS 的路由协议主要可以分为两类:

1) 在原有路由协议基础上改进的 QoS 路由协议

QoS-OLSR 通过对 OLSR 进行改进提供 QoS 支持,考虑了带宽和时延两种度量。OLSR 是应用于自组网的一种先应式路由协议,它针对自组网特性对传统链路状态协议进行了优化,既继承了链路状态算法的稳定特性,也具备了寻径延迟短的特点。

Q-AODV 协议。AODV 协议是在 DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) 协议的基础上,结合类似 DSR (Dynamic Source Routing) 中的按需路由机制进行改进后提出的一种经典的自组网路由协议。Chenxi Zhu 等人在 AODV 协议的基础上设计了一种 QoS 路由协议^[6],称之为 Q-AODV。

算法基本思想:该算法为每个路由条目定义五种状态:空闲(NONE)、接收路由请求(REQ)、已经预约(RESV)、上游断路(BRK-U)和下游断路(BRK-D)。采用软状态方便地保证了 QoS 的有效性,即为每个状态设置计时器,当计时器超时或者收到路由控制消息时,节点转移到另外一个状态。Q-AODV 的实现分成两步,即节点按需进行路由发现和协议按需进行路由维护。

2) 第二类型的路由协议如 TBP^[7] (Ticket-Based Probing) 协议

由于 Ad hoc 网络拓扑是随时变化的,因此获得和维护准确的链路状态信息十分困难,一般的做法是增加链路状态信息的更新频率,而 TBP 协议的策略则是允许链路状态信息的不准确性,在路由算法中消除它的影响。

算法的基本思想:首先假设网络中每个节点都保存有输出链路状态和本节点到网络中其他节点的端到端路径状态的最新信息。源节点根据业务流的 QoS 要求发放一定数量的标签,这些标签由探索包携带,根据输出链路的状态信息和相邻节点到目的节点的端到端路径状态信息决定是否应该分离收到的探索包,每个探索包应携带的标签数量以及应该将探索包转发到哪些相邻节点。

3 典型 QoS 路由协议算法分析

3.1 QoS 路由协议中对 QoS 参数的选择

不同的 QoS 参数反映了应用所要求的网络特性。衡量 QoS 的参数主要有带宽、时延、分组丢失率和网络吞吐量等。由于寻找一条满足多个约束条件的 QoS 路由通常是 NP 完全问题,因此一般会根据实际情况选择一两个合适的指标。

带宽保证的路由算法 ABGR^[8,9] (Advanced Bandwidth

Guaranteed Routing)

特点:采用了多种限制扩散的机制来解决 Ad Hoc 网络中盲目扩散而导致的带宽损耗问题,并充分考虑了节点的电能受限问题。

算法的基本思想:在此算法中,源节点根据目的节点的物理方位、邻居节点的移动速度、邻居节点的电能剩余来进行有限制的扩散,即发送探测帧,当目的节点收到探测帧后,向源节点发送一个确认帧并向满足一定带宽条件的邻居节点扩散一个停止指令帧,要求它们停止扩散源节点发送的指令帧。定义节点 x 的邻居节点集合

$$N_x = \{n_j \mid d(x, n_j) \leq r, x \neq n_j, j \in N, j \leq |V|\}.$$

定义从源节点到目的节点的有限扩散条件如下:

$$C_{x \rightarrow i}^r = \{n_j \mid D_i \wedge (B(x, n_j) \geq B_{threshold}) \wedge (V_{n_j} \leq V_{threshold}) \wedge (C_{n_j} \geq C_{threshold}), n_j \in N_s\}$$

x 代表从源节点到目的节点进行路由选择过程中的中间节点; D_i 代表指向目的节点的方向; $B(x, n_j)$ 代表链路 $x \rightarrow n_j$ 上的空闲带宽; V_{n_j} 代表节点 n_j 的移动速度; C_{n_j} 代表节点 n_j 上的电能剩余量。

协议分析:将电能剩余作为 QoS 的条件,一定程度上控制了由于电能变化而引起的网络拓扑变化的问题,每个节点需要周期性地与相邻节点交换移动速度、电能信息,所以会消耗一定的网络带宽和电能。由于协议中需要节点的移动速度信息,因此系统需要 GPS 等硬件的支持;提高了被选路径的稳定性,并控制了路由建立的开销,避免路由环路。

3.2 QoS 路由协议中对单向链路的支持

支持单向链路的 QoS 路由协议 QUR^[10] (QoS-support Unidirectional-link Routing)

特点:QUR 在路由选择时综合考虑路径的带宽因素和跳数因素,并为实时业务预约资源,提高了网络的整体效率。

算法的基本思想:首先,算法需要先对单向链路进行检测。存在单向链路的网络拓扑可以用有向图 $G=(V, E)$ 来表示。其中 V 是顶点集合, E 是链路集合。链路 $\langle u, v \rangle \in E$ 表示网络中存在一条从 u 到 v 的链路。定义 $UN_v = \{u \mid \langle u, v \rangle \in E, \langle v, u \rangle \notin E\}$, 其中 UN_v 表示 v 节点的单向邻居节点集合。QUR 协议中,每个节点 i 维护 UN_i , 以实现单向链路的检测。单向邻居列表的建立和维护通过周期交互的路由更新分组完成,不需要增加其他的控制消息。 V 接收到 u 的路由更新分组后,查看该更新分组中是否有从 u 到 v 的一跳路由。如果有,则说明 u 也能够接收到 v 的分组, $\langle v, u \rangle \in E$, 否则 $u \in UN_v$ 。其次,对路由度量值的选择。数据业务和实时业务的性能与分组所经路径的带宽和跳数都有直接关系。带宽过低,冲突加大,分组传送率低;跳数过多,时延增大,通信无法正常进行,如果在带宽满足业务需求时,缩短路径跳数可以扩大网络的吞吐量,提高网络性能。算法给出了新的带宽函数和跳数函数如下:

带宽函数:

(1) 如果 $bw < BW_MIN$, 则 $\theta_{bw} = 0$ 。

(2) 如果 $BW_MIN \leq bw < BW_MAX$, 则 $\theta_{bw} =$

$$\frac{bw}{BW_MAX}.$$

(3) 如果 $bw \geq BW_MAX$, 则 $\theta_{bw} = 1$ 。

跳数函数:

(下转第 291 页)

的前提下用模糊逻辑模拟人的思维方面作了尝试,将模糊逻辑引入股票投资决策过程,并给出一个粗略的基本的股票投资模拟模型,有兴趣的朋友可以基于这个基本的模型进一步设计出复杂的模糊逻辑,总体上来看,通过模糊逻辑实现股票投资模拟是可行的。如果股市能够较大幅度地受到这种计算机模拟的控制,可以避免股市的大幅度波动甚至股灾,有利于形成一个良性发展的股市。

由于建立本模拟模型的目的在于探索模糊数学在证券投资中的应用,在设计中遇到神经网络的部分没有细化,事实

上,即使在模糊控制的设计中,关键的部分仍然需要用到神经网络和遗传算法,本文旨在抛砖引玉,具体工作需要进一步钻研。

参考文献

- [1] 谢季坚,刘承平.模糊数学方法及其应用(第三版).华中科技大学出版社,2006
- [2] Markowitz H. 资产选择:投资的有效分散化[M].首都经济贸易大学出版社,2000

(上接第56页)

(1) 如果 $hop < Hop_Tr$, 则 $\theta_{hop} = \frac{-hop}{Hop_Tr-1} + \frac{Hop_Tr}{Hop_Tr-1}$, 其中 $Hop_Tr > 1$

(2) 如果 $hop \geq Hop_Tr$, 则 $\theta_{hop} = 0$ 。

路径选择度量指标如下: $metric = \alpha \times \theta_{bw} + \beta \times \theta_{hop}$, 其中 α 和 β 分别是带宽系数和跳数系数的加权因子。显然 $metric$ 值越大, 路径越好。

协议分析: QUR 协议是一种先应式路由协议, 节点间通过周期性的广播路由更新分组来保证路由表的正确性; 利用新的单向链路检测算法能够检测出单向链路避免了路由错误, 同时在路由选择时综合考虑带宽和跳数因素, 有效地扩大了网络的吞吐量; 利用资源预约机制增加了控制分组个数, 相对降低了控制开销。

3.3 支持多播路由功能的 QoS 路由协议

QoS 约束的多播路由协议 MRPQoS^[11] (Multicast Routing Protocol with QoS constraints)

特点: 完全分布式运行, 将局部搜索与全局搜索、单分支搜索与多分支搜索有机地结合在一起, 较好地解决了现有的 QoS 多播路由协议消息复杂度高, 寻路成功率低以及连接建立时间比较长等问题。

算法的基本思想: (1) 采用单分支搜索与多分支搜索的自适应切换。从候选路由器搜索一条满足 QoS 需求的路径的过程中, 首先沿着单播路径进行搜索, 某个中间节点收到搜索消息时, 在将搜索消息发送到下一个节点之前首先进行 QoS 预测。(2) 局部搜索阶段。在局部搜索阶段, 当一个接收成员想要加入多播树时, 它向周围的邻居发送请求广播消息 (BIDREQ), 收到该请求的树上节点成为候选节点, 从该候选节点寻找一条到新成员的满足 QoS 需求的路径作为候选路径。(3) 网络搜索阶段。如果新成员在限定的时间内没有收到 BID 消息或收到的 BID 消息不满足 QoS 要求, 则新成员向源节点发送网络搜索消息 (N-BID-REQ), 源节点收到后便强制成为一个多分支搜索点, 向周围邻居发出 BID 消息, 重复局部搜索阶段的工作。(4) 多播树的维护。为了适应网络状态的动态变化, 为每个树上节点维护一个软状态, 包括子树的带宽信息和输入、输出接口以及定时器的信息。

协议分析: MRPQoS 协议中, 使用了一种按需进行多条路径搜索的网络全局搜索方法, 从而可以减少搜索消息的数量, 由于采用了自适应的候选路径搜索方法, 使得只有在单播路径有可能不满足 QoS 约束的情况下才进行多分支搜索, 有效减少了控制消息的数量; 在局部搜索阶段采用 QoS 预测来进行单分支与多分支的自适应切换, 使得在局部搜索阶段找到合适路径的可能性增加, 从而缩小了寻路的时间。MRPQoS 具有比较好的扩展性, 并且能在较短的时间内建立合适的路由, 可以根据目标条件寻找出较好的次优解, 所以适合

网络状态变化比较频繁的环境和实时多媒体应用。

结束语 现有的 QoS 路由协议除了主要考虑以上三个方面外, 越来越多地向其他各方面扩展, 比如说利用位置信息的基于局部状态已知的分布式路由算法 LILAGR^[12]; 更考虑到利用分散链路的分散链路状态多路 QoS 路由选择^[13], 这些都逐步完善了 QoS 路由协议。

通过对以上协议算法的分析和比较, 一个理想的 QoS 路由协议通常要全面考虑以下方面:

(1) QoS 路由协议的健壮性。Ad Hoc 网络采用的是无线传输技术, 并且由于多路访问、多径衰减、噪声和信号干扰等多种因素的影响使网络状态很不稳定, 因此使 QoS 路由协议在实际的网络环境中表现出最好的性能需要进一步的研究。

(2) 分布式控制是 Ad Hoc 网络的一个重要特点, 因此所需的相应的 QoS 路由协议应是一种完全分布式的路由协议, 可以仅仅依靠局部信息来选择路由, 不需要维持某些全局状态。

(3) 路由多播功能的支持。Ad Hoc 网络中的用户通常是一组协同工作的群体, 一对多或多对多通信是其应用的主体, 并且在多播通信中, 可以有效地利用带宽并能节约节点的电池能量, 所以对多播的支持有非常重要的意义。

参考文献

- [1] 英春, 史美林. 自组网环境下基于 QoS 路由协议[J]. 计算机学报, 2001, 24(10): 1026-1033
- [2] Wang Bin, Hou J C. Multicast routing and its QoS extension: Problems, algorithms, and protocols[J]. IEEE Network, 2000, 14(1): 22-36
- [3] 于宏毅. 无线移动自组织网. 北京: 人民邮电出版社, 2005: 249-258
- [4] 邓曙光, 王建新, 陈建二. 移动自组网中一种基于最稳路径的 QoS 路由[J]. 计算机工程, 2002, 28(9): 45-47
- [5] 肖小玲, 李腊元, 张翔. 基于 Ad hoc 网络的 QoS 路由协议研究[J]. 计算机应用研究, 2006, 23(9): 216-218
- [6] Chenxi Zhu, Scott Corson M. QoS Routing for Mobile Ad hoc Networks[J]. INFOCOM, 2002, 6(2): 958-967
- [7] Chen S, Nahrstedt K. Distributed Quality of Service Routing in Ad hoc Networks[J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1999, 17(8): 1488-1505
- [8] Toh C K. Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad hoc Networks[J]. IEEE Communication Magazine, 2001, 39(6): 138-147
- [9] 吴小兵, 黄传河, 等. 一种新的移动 Ad hoc 网络中带宽保证的路由算法[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(2): 177-180
- [10] 齐卫宁, 于宏毅. 一种支持单向链路的 QoS 路由协议[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(24): 128-131
- [11] 高茜, 李勇, 罗军舟. 一种新的 QoS 约束的多播路由协议[J]. 计算机学报, 2003, 26(11): 1441-1449
- [12] 沈晖, 石冰心, 邹玲. 一个自组网中基于局部状态位置已知的分布式 QoS 路由算法[J]. 通信学报, 2004, 25(10): 58-66
- [13] 李媛, 陈莘萌. Ad Hoc 网络中分散链路状态多路 QoS 路由选择[J]. 计算机工程, 2006, 32(24): 13-15