

基于概率度分簇的 ad hoc 网络实时多媒体通信方案

吴迪¹⁾ 朱凤仙¹⁾ 陈晓川²⁾

¹⁾ (大连理工大学电子与信息工程学院计算机科学与工程系, 大连 116024)

²⁾ (东华大学机械学院计算机科学与工程系, 上海 200051)

摘要 Ad hoc 网络的移动性、高度动态拓扑使得实时多媒体传输受到严重影响,为了解决多媒体通信中的传输不稳定和丢包问题,应用 Markov 过程提出了基于概率度的分簇算法(PD)。该算法首先在当前时刻预测下一时刻任意两点间链路的连通性,然后选取链路的连通概率较高的节点作为簇头。仿真结果表明,PD 算法成簇数目少于最高连通度算法(HD),而且簇内节点无重叠,从而有效降低了分簇结构的维护开销。由于簇成员数量并不明显多于 HD,因此说明 PD 算法效率较高,而且因分簇数目减少给簇首增加负担。最后在此分簇基础上,结合 UDP 协议,给出了一种基于概率度分簇的 ad hoc 网络实时多媒体通信方案,不仅使得传输稳定,而且解决了数据包失序和丢包问题。

关键词 ad hoc 网络 Markov 过程 概率度分簇 实时多媒体通信 UDP 协议

中图分类号: TN919.85 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)11-1547-05

A Scheme of Real-time Multimedia Communication in ad hoc Networks Based on Probability Degree Clustering

WU Di¹⁾, ZHU Feng-xian¹⁾, CHEN Xiao-chuan²⁾

¹⁾ (Department of Computer Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024)

²⁾ (The Mechanical Engineering College, Donghua University, Shanghai 200051)

Abstract The transmission of real-time multimedia is seriously affected by the mobility and highly dynamic topological of ad hoc networks, a clustering algorithm based on probability degree(PD) is proposed by using Markov process for solving the problem of instability and data losing in multimedia communication. Firstly, the algorithm forecasts the next time connectivity of the link between two random nodes based on that of current time, and then the node of the highest link connectivity probability is selected as the Cluster Head. The simulation results show that the number of clusters of PD is less than that of highest connectivity degree algorithm (HD), without overlapping nodes so that maintenance cost is effectively decreased. The number of cluster members shows minor differences, so it illustrates that PD algorithm has higher efficiency and no increase burden of Cluster Head, although the clustering number decreases. Finally, on the basis of clustering and considering the UDP protocols, a scheme of real-time multimedia communication in Ad hoc networks based on Probability Degree clustering is given. The multimedia communication is stable in ad hoc networks with the scheme and the problem of losing and out-of-sequence of data packet is solved.

Keywords ad hoc networks, Markov process, probability degree clustering, real-time multimedia communication, UDP protocols

1 引言

无线自组网(ad hoc 网络)由于具有节点对等、

多跳、不依赖网络基础设施等特点,因此它的应用领域与普通通信网络有着非常大的区别。ad hoc 网络不仅适用于军事环境(数字战场通信和灾难救助),而且在民用环境中也得到了充分的应用^[1]。ad hoc

收稿日期:2006-06-30;改回日期:2006-08-05

第一作者简介:吴迪(1972~)男,副教授,硕士研究生导师。1999 年获大连理工大学博士学位。主要研究领域为 Ad hoc 网络的组网、路由与网络安全。E-mail:wudi@dlut.edu.cn

网络在战场通信或灾难救助中如何实时传输多媒体信息已成为急需解决的问题。目前 ad hoc 网络通信由于存在拓扑结构变化大、带宽有限、传输速度不高问题,使得数据包在传输中存在大量丢失和失序,从而影响了 ad hoc 网络多媒体传输的应用^[2]。解决数据包的失序与重组的关键问题有:(1)保证 ad hoc 网络拓扑结构相对稳定;(2)改进传输协议。本文应用 Markov 过程,提出了基于概率度的分簇算法(probability degree, PD),其不仅可以长时间使拓扑稳定,而且有效降低了分簇结构的维护开销。基于 PD 分簇算法,通过改进 UDP 协议,提出了 ad hoc 网络的实时多媒体信息通信方案,从而解决了数据包失序和丢包问题。

2 ad hoc 网络基于概率度的分簇算法

根据不同的依据对 ad hoc 网络进行分簇,可有多种算法。文献[3]中提出了对平面型 ad hoc 分簇的算法,由于不需节点的位置信息,从而避免了数学计算。最高连通度成簇算法^[4](highest connectivity degree, HD)是把邻节点数作为成簇标准,节点度是基于节点的距离而定义的,其没考虑时间因素,而下一时刻两点间链路的连通性是可以预测的。选择链路稳定性较高的节点作为簇头,对战场上的实时多媒体通信应用更为重要。

2.1 变量定义

在描述算法思想之前,先给出如下相关定义:

定义 1 无线网络可用一有向无环图 $G = (V, E)$ 表示, V 是非空节点集,代表网络节点的集合,设共有 n 个节点, p_i 表示第 i 个节点; E 为边集,代表网络中存在的节点间链路集合,假设均为双向边。假定节点的传输功率为 r 。设 $d(p_i, p_j)$ 表示节点 p_i 与 p_j 间的物理距离,若 t 时刻 $d(p_i, p_j) < r$,则两节点连通即互为相邻节点,因而可以侦听到对方而直接通信;否则两点不连通。

定义 2 假设 t 时刻,节点 p_i 的位置为 (x_i, y_i) ,节点 p_j 的位置为 (x_j, y_j) 。预测 $t+1$ 时刻 $d(p_i, p_j) < r$ 的概率为 $P(p_i, p_j)$, $d(p_i, p_j) > r$ 的概率为 $Q(p_i, p_j)$,显然 $Q(p_i, p_j) = 1 - P(p_i, p_j)$, $P(p_i, p_i) = 1$ 。

定义 3 对节点 $p_i (p_i \in V)$,满足 $d(p_i, p_j) < r (p_j \in V)$ 的节点集合为节点 p_i 的邻节点集 $N(p_i)$ 。

定义 4 假设图 $G(V, E)$ 中, n 个节点间的相互连通情况用矩阵 P 表示,且 $P = (P(p_i, p_j))_{n \times n}$,其

中 $P(p_i, p_j)$ 表示 p_i 与 p_j 两点间的连通概率。

2.2 算法描述

设 $p_i \in V$,对于给定的概率阈值 Φ ,图 G 中满足与节点 p_i 预测连通概率 P 大于 Φ 的边的数目称为 p_i 的概率度,记作 $D(p_i)$ 。若满足连通概率 $P(p_i, p_j) > \Phi$,则定义为 p_i 与 p_j 两节点连通。边集 $E = \{(p_i, p_j) | \text{若 } P(p_i, p_j) > \Phi\}$ 。 $N(p_i)$ 为节点 p_i 的邻节点集, $p_j \in N(p_i)$ (若 $P(p_i, p_j) > \Phi$); $D(p_i)$ 为节点 p_i 基于概率阈值 Φ 的度,即 p_i 的邻节点个数。 t 时刻连通概率矩阵为 P_t , $t+1$ 时刻为 P_{t+1} 。根据 Markov 过程, $t+1$ 时刻的状态只跟 t 时刻的状态相关。

图 G 的邻接矩阵可由一个 $n \times n$ 方阵 A 来表示:

$$A = (A(p_i, p_j))_{n \times n}$$

$$\text{其中, } A(p_i, p_j) = \begin{cases} 1 & P(p_i, p_j) > \Phi \\ 0 & P(p_i, p_j) < \Phi \end{cases}$$

假设任意 t 时刻邻接矩阵为 A_t ,连通概率矩阵为 P_t ,定义概率阈值 Φ ,因为 ad hoc 网络中节点的运动为随机运动,故可随机生成 m 种网络拓扑,然后分别计算 m 种拓扑下节点间距离 $d(p_i, p_j)$,将 $d(p_i, p_j) < r$ 记为 $N_{in}(p_i)$,将 $d(p_i, p_j) > r$ 记为 $N_{out}(p_i)$,分别表示节点 p_j 移入和移出节点 p_i 功率范围的次数,则 $t+1$ 时刻概率 $P(p_i, p_j) = N_{in}(p_i) / (N_{in}(p_i) + N_{out}(p_i))$,即 m 种情况下保持连通的概率,每个节点基于概率阈值 Φ 的度 $D(p_i) = \sum_{j=1}^n P(p_i, p_j)$,其中 $p_j \in V$ 且 $P(p_i, p_j) > \Phi$ 。若 $D_{max}(k)$ 为 V 中所有节点的最大度,即 $D_{max}(k) = \max(D(1), D(2), \dots, D(n))$,则第 k 个节点就为下一时刻的簇首。若概率度序列 $\{D(1), D(2), \dots, D(j), \dots, D(n), p_j \in V\}$ 相对比较稳定,即得到了稳定的簇结构。

基于伪代码的成簇算法如下:

Probability Degree Clustering Algorithm

{ for ($i = 1; i \leq n; i++$)

{ $D(p_i) = \sum_{j=1}^n P(p_i, p_j)$

$D_{max}(k) = \max(D(1), D(2), \dots, D(n))$

//第 k 个节点为簇中概率度最大的节点

$k.\text{role} = \text{ClusterHead}$; //第 k 个节点为簇首

k send ClusterHead message to j ;

return;

for($j \in N(k)$) { j send JOIN message to j ;

$j.\text{role} = \text{ClusterMember}$; //第 j 个节点为簇成员节点

return; }

2.3 实验与仿真

根据节点随机移动的信息、无线传输功率和节

点数信息,两个节点就能决定一条链路的连通概率。

在一个 2000×2000 大小的正方形场地上模拟一个节点分簇过程,节点数量 n 为 $100 \sim 500$,随机分布在场地上,节点传输功率 r 为 200。 n 每取一个新的值,随机生成 50 个连通的网络拓扑,同时,在每个拓扑上运行概率度(probability degree)、最高连通度(highest connectivity degree)的分簇过程,并比较两种方法在节点数量变化时的分簇数目、分簇规模(簇内平均成员节点数)在 50 个拓扑上的平均值。

如图 1 和图 2 所示,PD 算法分簇数量明显少于最高连通度分簇算法——HD 算法,但每个簇的平均节点数量并不明显大于 HD 算法,这是因为 PD 算法控制分簇的物理范围不重叠,且簇间没有公共节点,因而降低了分簇结构的维护开销,这说明 PD 算法效率较高,也没因分簇数目减少给簇首加重负担。

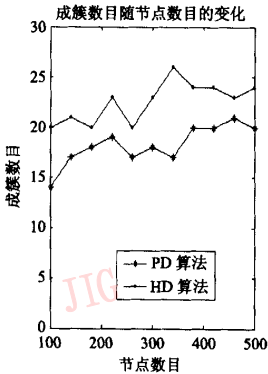


图 1 分簇数目

Fig. 1 Cluster number of PD

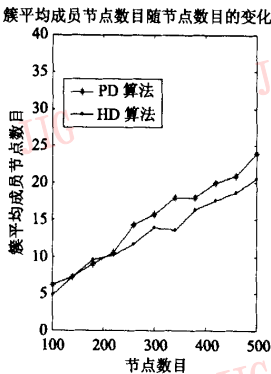


图 2 分簇规模

Fig. 2 Cluster members of PD

3 PD 分簇的 ad hoc 网络多媒体通信

UDP 是一个无连接的数据报协议,由于其冗余信息少、无需建立数据链路,效率高,因此适于实时数据的传输。本文结合 UDP 协议和 ad hoc 网络的特点,给出 ad hoc 网络中多媒体通信的解决方案。

该算法的思想是首先将一个多媒体文件分成若干个片段,且 ad hoc 网络中的每个节点都可充当接收者和发送者;然后发送者向接收者申请发送一定数量的片段,在这些片段发送完成后,接着申请下次需发送的片段,而且可以同时有多个发送者和接收者。同样接收者也可向簇首申请接收文件,再由簇首查找文件源。

ad hoc 网络中多媒体通信最重要的是多媒体文件的存储、传输过程问题。由于 ad hoc 网络的移动性和簇结构的变化带来不稳定性,因此就需簇首协调解决。

3.1 多媒体文件的存储

每个节点维护多媒体文件信息表 TblFile 和多媒体文件片段表 TblFragment,其格式如图 3 所示。

文件名	缓冲区名	总长度	接收结果	接收状态	发送状态
-----	------	-----	------	------	------

(a) TblFile 的表格式

文件名	片段号	片段长度	接收状态	发送状态	剩余大小
-----	-----	------	------	------	------

(b) TblFragment 的表格式

图 3 TblFile 和 TblFragment 的表格式

Fig. 3 Table format of TblFile and TblFragment

TblFile 用于记录各个已收到或可转发的多媒体文件的信息。TblFragment 的文件名和 TblFile 的文件名相对应,TblFragment 中相同文件名的片段长度相加,即为 TblFile 中的总长度。

缓冲池是 ad hoc 网络中节点管理报文的数据结构,其由许多缓冲区组成。每个缓冲区对应存放不同的文件,如果文件相同,则公用一个缓冲区。接收者在收到“请求发送”报文和“数据报”(图 4)时,首先检索多媒体文件信息表 TblFile,如果没有发现此文件的记录,则表明此文件为首次发送,这时就为此数据源在缓冲池中开辟新的缓冲区。如果发现文件已经存在,则表明其他节点正在发送相同的文件或者是断断续续^[5],这时就在原缓冲区中检索多媒体文件片段表 TblFragment,同时分配未发送片段给

这个发送者。

3.2 报文格式

发送者和接收者双方一共有 5 种报文格式,而且所有报文都是以 UDP 协议发送的。

3.2.1 发送者报文

发送者发送的报文包括“请求发送”和“数据报”两种格式^[5](图 4)。

报文类型	发送者	文件长度
------	-----	------

(a) 请求发送

报文类型	发送者	片段号	文件长度
------	-----	-----	------

(b) 数据报

图 4 发送者报文格式
Fig. 4 Message format of sender

“请求发送”是发送者向接收者请求发送片段,而发送者域则指明了发送节点 id 号;文件长度域可使接收者初始化缓冲区中的片段表大小。“数据报”是发送者发送的文件内容,每次只能发送一个片段。

3.2.2 接收者报文

接收者发送的报文包括“允许发送”、“接收发送”、“暂停发送”、“关闭发送”4 种格式(图 5)。

报文类型	报文长度	发送者	已收总片段数	已收片段数	片段号	片段数	片段号	片段数	⋮
------	------	-----	--------	-------	-----	-----	-----	-----	---

(a) 允许发送

文件名	片段号
-----	-----

(b) 接收发送

报文类型	发送者
------	-----

(c) 暂停发送或关闭发送

图 5 接收者报文格式
Fig. 5 Message format of receiver

3.3 传输过程

- 发送者主动发送文件时,其过程为:
- (1)发送者发送一个“请求发送”报文,报文中携带了文件的来源;
 - (2)接收者在收到发送者“请求发送”报文后,即可通过搜索缓冲区中的 TblFile 和 TblFragment 来得到未发送的片段号;
 - (3)接收者应答一个“允许发送”的报文,并告诉发送者可以发送的片段;

(4)发送者发送“数据报”给接收者,但一个“数据报”只能发送一个片段。

由于“允许发送”报文中指明的片段可以是若干个,因此发送者在发送“请求发送”的报文后可以连续发送多个片段。接收者向发送者申请接收文件时,由于不知道目标文件的存放节点,因而基于 ad hoc 网络的成簇结构,可向簇首请求。簇首节点维护一张表 TblAllFile,用于记录每个节点的文件存放情况。当任意成员节点 p_i ,没接收完一个文件,但没收到发送者的“请求发送”报文时,就向簇首询问,并发送一个包括文件名 filename 和片段号 filefragment 的“接收发送”报文。簇首中有个 trans 程序用来管理这些请求,得到请求后就会查找表 TblAllFile,找到后就可以将文件储存节点 p_k 的节点号 k 返回给成员节点 p_i 。然后节点 p_i 和节点 p_k 建立一个连接,用以传送数据包;找不到,则返回空信息。

簇首 trans 程序算法的伪代码如下:
假定节点数为 n
int main(string filename,int filefragment)
{ for ($i = 1; 1 < i < n; i++$)
{ if (filename in i . TblFile)
if (filefragment in i . TblFragment)
{ $k = i$; // k 为 filename. filefragment 的储存节点号
break;
else continue;
if (k NOT null) k transmit filename. filefragment to i
else return null;
}

由于 ad hoc 网络的移动性和簇结构的变化,因此当接收者和发送者不是邻居节点时,就根据簇结构找公共邻居节点进行转发。

3.4 错误处理

在某些特殊情况下(如备份数据、节点接收中断等),接收者可以随时发送“暂停发送”报文,要求发送者暂时停止发送,然后再发送“允许发送”让发送者继续发送。当预测节点间链路将要中断(即 $P(p_i, p_j) < \text{概率阈值 } \Phi$)时,处理过程如下:

- (1)接收方立即停止接收数据,同时将自己的重传队列中的数据进行快速传输,并向对方发送一个“关闭发送”数据包的信息;
- (2)启动一个超时定时器,定时器超时之后立即关闭连接,并释放连接的资源;
- (3)另一方在收到主动关闭的一方发来的关闭请求后,也按照上述的方式关闭自己的连接。连接一旦被关闭之后,只有到下次双方在通信范围

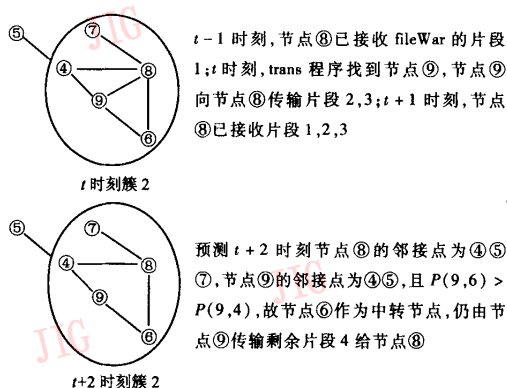


图 6 通信算例

Fig. 6 Example of Communication

内,且要重新进行数据通信之前才再次建立连接。

3.5 算例

如图 6 所示:在 2.3 节环境下分簇后模拟 trans 程序传输过程:(1)假设 $t-1$ 时刻,节点⑧已接收记录战场进展情况的多媒体文件 FileWar 的片段 1,同时向簇首请求接收剩余片段;(2)簇首根据 FileWar 参数和 1 调用 trans 程序得到存储节点 p_k 为⑨,且节点在通信范围之内;(3) t 时刻,节点⑧和节点⑨建立连接,以传输 FileWar 的剩余片段;(4) $t+1$ 时刻,已传输片段为 1, 2, 3; 剩余片段为 4;(5)预测 $t+2$ 时刻,若它们连通的概率 P 小于概率阈值 Φ ,则在 $t+2$ 时刻前中断传输,且节点⑧将其 $t+2$ 时刻邻居节点中连通概率 P 大于 Φ 的节点序列 $N(8)$ 返回给节点⑨;(6) $t+1$ 时刻节点⑨在自己的邻居节点 $N(9)$ 中查找与 $N(8)$ 节点重合,且以 $P(9, p_i)$ 中最大的节点作为中转节点,继续传输 FileWar 剩余片段 4。由于不失序,故当多媒体文件 FileWar 接收完毕时就可按序播放,即使文件没有完全到达,只要片段 3 到达,也可在向簇首申请接收片段 4 的同时播放。

4 结 论

本文应用 Markov 过程提出了基于概率度的分

簇算法。由于 PD 算法考虑了时间和概率因素,因此成簇数目少于最高连通度算法,不但簇内节点无重叠,而且簇成员数量并不明显多于 HD 算法,这说明 PD 算法效率较高。在此分簇基础上,基于 UDP 协议,还给出了 ad hoc 网络的实时多媒体信息通信方案。实验表明此方法传输稳定,还可以解决包失序的问题,只要数据包正确到达,接收者就能接收,而和它到达的次序无关。对于丢包的情况,此方法可保证丢失的数据报能被重新传输,而不会使文件接收错误。

参考文献 (References)

- 1 FENG Yong-xin, WANG Guang-xing, LIU Zhi-guo, et al. A clustering algorithm applied to the management of mobile Ad Hoc network[J]. Journal of Software, 2003, 14(1): 132 ~ 138. [冯永新, 王光兴, 刘治国等. 一个应用于移动 Ad Hoc 网络管理的簇生成方法[J]. 软件学报, 2003, 14(1): 132 ~ 138.]
- 2 WANG Ji-zhi, WANG Ying-long, WANG Mei-qin. A routing protocol for QoS of wireless mobile multimedia based on UWB technology[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(11): 1394 ~ 1397. [王继志, 王英龙, 王美琴. 基于 UWB 技术的无线移动多媒体 QoS 路由协议[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(11): 1394 ~ 1397.]
- 3 CHENG Wei-ming, ZHOU Xin-yun. A clustering algorithm for mobile Ad Hoc network[J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(5): 864 ~ 869. [程伟明, 周新运. 一个用于 Ad Hoc 网络的分簇方法[J]. 计算机学报, 2005, 28(5): 864 ~ 869.]
- 4 Lin C R, Gerla M. Adaptive clustering for mobile wireless networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1997, 15(7): 1265 ~ 1275.
- 5 XU Zhao-hui, QIAN Pu-hui. Scheme for high-speed transmitting of vast information based on UDP protocols[J]. Fire Control and Command Control, 2005, 30(1): 46 ~ 49. [徐朝晖, 钱朴慧. UDP 协议的海量信息快速传输解决方案[J]. 火力与指挥控制, 2005, 30(1): 46 ~ 49.]