

自由光通信网络的多媒体路由算法

佟宁¹⁾ 吴迪^{1),2)} 王秀坤¹⁾

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⁾(中航一集团沈阳飞机设计研究所, 沈阳 110035)

摘要 自由光通信网络作为一种新兴的宽带无线网络,适用于多媒体通信的要求。针对多媒体业务在FSO网络中的传输进行了研究,考虑FSO网络的特点,提出了适用于多媒体任务的FSO网络模型。利用该模型,设计了基于拓扑控制算法的路由算法TCR。TCR改进三角剖分算法进行拓扑控制,形成虚拟拓扑图,使得节点的平均吞吐量;同时,TCR是基于位置的、按需和主动混合的路由,适用于数据量大,实时性要求高的多媒体通信需求。

关键词 移动多媒体通信 自由光通信网络 拓扑控制 路由算法

中图分类号: TN919.85 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)10-1715-05

Multimedia Routing Algorithm in Free-space Optical Network

TONG Ning¹⁾, WU Di^{1),2)}, WANG Xiu-kun¹⁾

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

²⁾(Shenyang Aircraft Design & Research Institute, China Aviation Industry Corporation I, Shenyang 110035)

Abstract To meet the requirement of multimedia communication, the paper presents a new mobility model(FSOM). FSOM takes special requirements of mobile multimedia services into consideration, and is fit for the characteristics of Free-space Optical Networks. A routing algorithm, using FSOM, is proposed for multimedia services in Free-space Optical Networks. This routing algorithm called TCR is based on topology control algorithm(TTC). TTC controls topology using improved triangulation algorithm. After executing TTC, we acquire Virtual Graph, which increases the average throughput. For mass data and real-time requirement of multimedia communication, TCR combines the proactive and reactive routing, which is based on Virtual Graph.

Keywords mobile multimedia communication, Free-space Optical network, topology control, routing algorithm

1 引言

近年来,随着移动通信及多媒体业务的迅速发展,移动电话、移动电视等业务引起了极大关注,移动多媒体通信将成为未来通信的发展趋势。多媒体通信具有数据量大、实时性要求高及对终端要求较高等特点^[1]。一些传统的移动网络,如蜂窝移动通信网络、无线局域网、移动 Ad hoc 网络等,由于其通信带宽相对较窄、节点计算资源有限等问题,对多媒体业务的传输具有一定的限制性。自由空间光通信

(FSO)是以激光作为信息载体。它结合了光纤通信与微波通信的优势,既具有通信容量大的优点,又不需要铺设光纤,因此,FSO作为一种新兴的宽带无线接入方式,适用于多媒体通信的要求^[2]。

目前,对FSO的研究主要集中于网络拓扑控制、路由协议等方面,没有针对FSO网络中多媒体业务传输的相关研究^[3,4]。本文针对多媒体业务在FSO网络中的传输进行了研究。考虑到FSO网络的特点,提出了适用于多媒体任务的FSO网络模型。同时利用改进的三角剖分,对网络进行拓扑控制,形成虚拟拓扑图;最后提出一种基于位置的、按

收稿日期:2007-07-05;改回日期:2007-07-13

第一作者简介:佟宁(1981~),女。现为大连理工大学计算机应用技术专业博士研究生。主要研究方向为移动 Ad hoc 网络的成簇算法及路由算法,自由光通信网络的路由算法。E-mail:china_tongning@hotmail.com

需和主动混合的路由算法,以满足多媒体任务传输的需要。

2 适用于多媒体任务的 FSO 网络模型

空间激光通信网络与传统的光纤网络和 Ad hoc 网络都有明显的不同,考虑到其不能进行广播、通信链路的数量受发射装置限制等特性,本文给出一种适用于空间激光通信网络的模型 (FSOM)。

2.1 模型的建立

n 个节点随机分布在 $(x \times x) \text{ m}^2$ 的仿真区域内。每个节点都具有获得自己位置信息的能力,并且装有端对端的无线激光通信接口。发射器和接收器均可在任意方向建立链路。对于节点 i , 发射器和接收器的数量分别为 N_i^T 和 N_i^R , 发射角和接受角分别表示为 θ_i^T 和 θ_i^R 。节点 i 的通信半径表示为 r_i 。

用 $G(V, E_{vir})$ 表示 FSO 网络。其中, $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ 是有限节点集, 代表网络中移动节点和集合。 E_{vir} 表示连接节点的虚拟边集合, 所谓虚拟边指的是模型中节点可以用来建立通信链路的边。边 $e_{i,j} \in E_{vir}$ (其中, $i, j \in V$) 表示节点 i 到 j 存在一条虚拟边。在 FSOM 中, 规定节点 i 到 j 已经建立通信链路时 $e_{i,j} = 1$, 否则 $e_{i,j} = 0$ 。 i 到 j 的链路容量表示为 $\beta_{i,j}$ 。对于 $e_{i,j} = 1$, 通信消耗记为 $\alpha_{i,j}$ 。

2.2 约束条件

根据空间激光通信网络的特点, 给出了以下约束条件:

$$\text{若 } e_{i,j} \in E_{vir}, \text{ 则 } \text{dist}(i, j) \leq r_i \quad (1)$$

$$\text{若 } e_{i,j} \in E_{vir}, \theta_i^T = \alpha \text{ 则 } \theta_i^R = \pi + \alpha \quad (2)$$

$$\sum_i e_{i,j} \leq N_j^R, \forall j \quad (3)$$

$$\sum_j e_{i,j} \leq N_i^T, \forall i \quad (4)$$

$$\sum \alpha_{i,j} \leq \beta_{i,j} \quad (5)$$

2.3 运动模式

在本模型中, 网络中的节点具有两种状态: 工作状态和非工作状态。

处于非工作状态下的节点没有通信任务, 采用类似于随机运动点移动模型中节点运动的方式。节点 i 在仿真区域内随机选择一个点作为目的点, 并且给出一个执行移动任务紧急程度的权值 w_i 。根据给定的权值在 $[V_{min}, V_{max}]$ 之间计算出移动速度。

$$\frac{w_i}{w_{max}} \times V_{max} + \frac{w_{max} - w_i}{w_{max}} \times V_{min} \quad (6)$$

w_{max} 为权值的最大值。 $w_i \in (0, w_{max})$, $w_i, w_{max} \in Z^+$

处于工作状态下的节点有通信任务。考虑到 FSO 通信方向性强的特点, 规定处于工作状态下的节点处于相对静止状态。完成任务后, 才可以运动。

3 基于拓扑控制的路由算法

在 FSO 网络中, 如何根据用户的需求提供具有服务质量保证的路由是移动多媒体通信需要面临的首要问题。一方面, 多媒体通信的数据量大, 实时性要求高; 另一方面, FSO 网络中的节点建立的通信链路数量受到通信装置数量的限制, 同时网络拓扑结构呈动态变化。文中针对多媒体通信和 FSO 网络的这些特性, 提出了基于拓扑控制的路由算法 (TCR)。利用改进的三角剖分进行拓扑控制, 提出相关节点的概念, 有效的控制了节点间链路的数量。然后, 利用拓扑控制得到的虚拟拓扑图, 进行路由。该路由算法是按需和主动混合路由算法, 能够快速发现满足通信需求的备用路径。并在由于节点移动而导致链路中断后, 能够迅速的切换到备用路径, 保证了多媒体信息中大量数量的实时传输, 为多媒体通信提供了具有服务质量保障的路由算法。

3.1 相关定义和假设

定义 1 虚拟拓扑图 利用基于三角剖分拓扑控制 (TTC) 算法得到的图为虚拟拓扑图 (VG)。

定义 2 相关节点 虚拟拓扑图中, 直接相连的节点互为相关节点。

假定网络中各节点的传输半径相同。此外, 提出的路由算法还需要以下前提条件:

(1) 节点发送的报文, 在规定的时间内一定能被邻居节点正确接收;

(2) 节点具有实时获知自己位置的能力;

(3) 网络中存在一个处理能力较高的节点作为管理节点, 定期收集其他节点的位置信息;

(4) 网络是联通的。

3.2 基于三角剖分的拓扑控制

FSO 网络中节点的通信装置数量有限, 而满足建立通信链路条件的节点相对数量较多, 这个矛盾将增大路由过程中路径选择的难度。因此, 适用于其他无线通信网络的路由协议不适用于 FSO 网络, 需要根据 FSO 网络自身的特点, 进行拓扑控制, 以

便使得路由算法顺利有效的执行。

计算几何中三角剖分具有以适用于网络控制的特性:对于 n 个顶点的平面图,三角剖分图最多有 $3n-6$ 条边;中平均节点度数不会超过 6;图中无相交边^[5]。本文对三角剖分算法进行了修改,给出了基于三角剖分的拓扑控制算法。

输入: $G(V, E)$, E 代表网络中可以建立通信路经边的集合。

输出: 每个节点的相关节点。

(1) 节点位置的确定。根据前提条件,节点可以获知自己的位置。

(2) 管理节点收集其他节点的位置信息。

(3) 求点集 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ 的凸壳,设凸壳顶点为 p_1, p_2, \dots, p_m , 凸壳的边为 e_1, e_2, \dots, e_m 。凸壳内的点集表示为 $S_1 = \{p_{m+1}, p_{m+2}, \dots, p_n\}$ 。通信消耗表示为 $\alpha(e_i) = 0, i \in (1, m)$ 。

if $e_i \leq r$ then $\alpha(e_i) = 50$, 并将 e_i 加入到 T , T 为三角剖分边的集合。

(4) 从 S_1 中任取一点 p_i , 求与 p_i 距离最近的点, 设为 p_j 。由于网络是连通的, 因此 $p_i p_j \leq r$, 将 $p_i p_j$ 加入 T 。

(5) 分别求与 p_j, p_i 距离最近的点(除点 p_j, p_i 外) 设为 p_{k_1}, p_{k_2} 。

求 $p_j p_{k_1}, p_j p_{k_2}, p_i p_{k_1}, p_i p_{k_2}$

if $p_j p_{k_1} \leq r, p_i p_{k_1} \leq r$

then $k \leftarrow k_1, p_j p_{k_1}, p_i p_{k_1}$ 加入 $T, \alpha(p_j p_{k_1}), \alpha(p_i p_{k_1}), \alpha(p_j p_{k_2})$ 均被赋值为 50。

else if $p_j p_{k_2} \leq r, p_i p_{k_2} \leq r$

then $k \leftarrow k_2, p_j p_{k_2}, p_i p_{k_2}$ 加入 $T, \alpha(p_j p_{k_2}), \alpha(p_i p_{k_2}), \alpha(p_j p_{k_1})$ 均被赋值为 50。

else if $p_i p_{k_1} > r$

then $k \leftarrow k_2, p_i p_{k_1}$ 加入 $T, \alpha(p_j p_{k_1}), \alpha(p_i p_{k_1})$ 被赋值为 50。

else $k \leftarrow k_1$

$p_j p_{k_1}$ 加入 $T, \alpha(p_j p_{k_1}), \alpha(p_i p_{k_1})$ 被赋值为 50。

(6) 分别求 p_j, p_i, p_k 距离最近的点(除点 p_j, p_i, p_k 外), 设为 p'_j, p'_i, p'_k 。

$p_j p'_i, p'_i p_k, p_j p'_k, p'_j p_i, p_i p'_k, p'_k p_j$ 中不大于 r 的边加入 T , 并且将这些边的通信消耗加 50。

(7) 对通信消耗为 50 的边(凸壳上的边除外)的两个端点分别求与其距离最近的节点, 并将其连线距离不大于 r 的边加入 T , 边的通信消耗加 50。

(8) 对通信消耗为 50 的边重复步骤(7), 直至

所有边的通信消耗为 100(凸壳上的边除外)。

通过上面的三角剖分拓扑控制算法, 可以得到如图 1 所示的 VG, TCR 算法正是运行在该虚拟拓扑结构之上的。未经拓扑控制算法处理的单位圆图(unit disk graph, UDG)如图 2 所示。

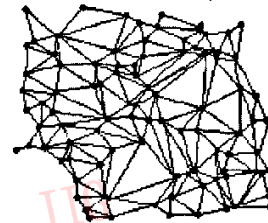


图 1 虚拟拓扑图

Fig. 1 Virtual graph

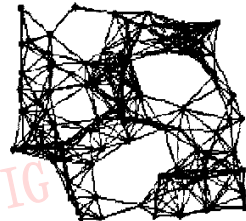


图 2 单位圆图

Fig. 2 Unit disk graph

3.3 路由算法描述

TCR 是一种基于位置的按需和主动的混合路由算法。算法中每个节点保存两跳相关节点信息以及到达所有一跳和两跳相关节点的局部路由表(RT)。

假设有一组数据从源节点 s 发往目的节点 d , 令 $Track(s, d) = \{s, d\}$ 。

查询 s 的局部路由表, d 在 RT 中, 采用主动路由模式; 否则, 采用按需路由模式。

主动路由模式: 根据 RT 寻找下一跳节点 x (x 是 d 或者 x 为除 s 和 d 以外的其他节点)。检查 x 是否满足约束式(3)、式(4), s 是否满足式(4), d 是否满足式(3), sx 和 xd 满足约束式(5)。如果满足上述条件, $Track(s, d) = \{s, x, d\}$ 为所求路径。否则, 转入按需路由模式。

按需路由模式:

(1) 获得 d 的位置信息

源节点 s 通过管理节点提供的某种位置服务机制获得目的节点 d 的位置信息。

(2) 建立路由轨迹

第 1 步 连接节点 s 和 d ;

第 2 步 确定数据包传递的方向;

查找距离直线 sd 最近的节点;判断这个节点在直线 sd 的哪一侧,将分组沿着相同方向转发。

(3) 决定下一跳

如果节点 s 的相关节点列表中存在一个满足约束式(3)、式(4)的节点 x ,并且 sx 满足约束式(5),则 x 作为下一跳节点。如果存在多个满足条件的节点,则在位于第 2 步中所选方向上,选择在 sd 上投影最大的节点作为转发路由请求包的下一跳节点。 $Track(s, d) = \{s, x, d\}$ 。

对于中间节点 x ,如果找不到满足约束条件的下一跳节点,则数据包回退到上一跳节点。直到中间节点为 d 的满足约束的相关节点,路由结束。

4 性能分析

建立仿真环境:网络中节点个数 $n \in (10, 50)$;节点随机分布在 $5000m \times 5000m$ 的范围内;节点通信距离 $r \in (75, 300) m$;每条通信链路的容量 $\beta = 100$ 。

为了准确分析 TCR 算法的性能,对下面参数进行评价:

(1) 平均节点度数 网络中所有节点度数的算术平均值。

(2) 数据包传输成功率 目的节点接收的数据包由源节点所产生的数据包的比率。

通信距离 $r = 100$,平均节点度数随节点数量的变化关系如图 3 所示。可以看出,TTC 算法执行后所得到的拓扑为稀疏拓扑。三角剖分中的平均节点度数不会超过 6,仿真结果也证实了虚拟拓扑图的这一性质。随着网络中节点数目的增多,VG 中平均节点个数变化缓慢,逐渐接近 6。UDG 中,平均节点度数数值大,并且变化较快。可见,执行 TTC 算法后的拓扑结构,节点的平均吞吐量。

图 4 显示了 30 个节点的网络中平均节点度数

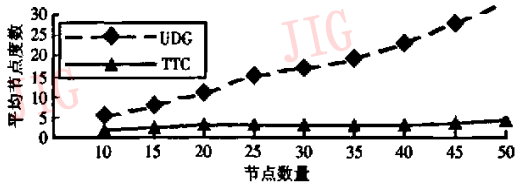


图 3 平均节点度数与节点数量的关系

Fig. 3 The average degree with varying number of nodes

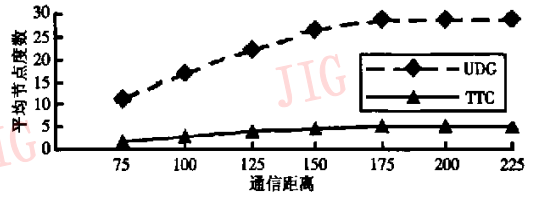


图 4 平均节点度数与节点通信距离的关系

Fig. 4 The average degree with varying transmission range

随着节点通信距离的增大的变化趋势。TTC 中平均节点度数随着节点通信距离的增大呈现平稳的变化趋势,仿真结构充分说明了 TTC 对简化网络拓扑结构有着重要意义,体现了 VG 的优越性。

对 TCR、贪婪算法 (GR)^[6] 以及 Compass 算法 (CR)^[7] 进行了性能比较。图 5 显示了在不同节点数量情况的包传输成功率曲线。从图中可以看出,包传送成功率随着平均节点数量的增加而增大。由于 TCR 充分考虑了 FSO 网络的特点,因此,与 GR 和 CR 相比,能取得更高的分组传输比率。

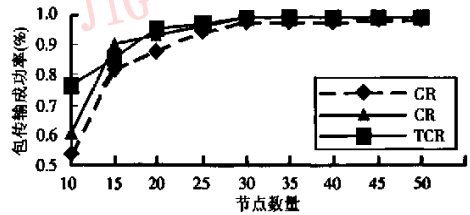


图 5 包传输成功率与节点数量的关系

Fig. 5 Delivery success rate with varying number of nodes

5 结论

考虑到 FSO 网络不能进行广播、通信链路的数量受接受发射装置限制等特性,给出一种适用于空间激光通信网络的模型 FSOM。

利用 FSOM,提出适用于多媒体通信的路由算法。该算法集成拓扑控制和路由为一体。首先,利用改进的三角剖分进行拓扑控制,有效的控制了节点间链路的数量,增大了节点的平均吞吐量。然后,利用拓扑控制算法得到的虚拟拓扑图进行路由。该路由算法是按需和主动混合路由算法,能够快速发现满足通信需求的备用路径,能够保证多媒体信息中大量数量的实时传输,为多媒体通信提供了具有服务质量保障的路由算法。

参考文献 (References)

- 1 Krishnasamy NKK, Palanisamy PN. Bandwidth allocation scheme for multimedia mobile networks using optimization techniques [A]. In: Proceedings of IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems [C], Bangkok, Thailand, 2006: 666 ~ 670.
- 2 Nagarajan R, Parekh S, Atkinson G, *et al.* Architectural enhancements for improving TCP performance over FSO networks [A]. In: Proceedings of Military Communications Conference [C], Atlantic, N J, USA, 2005: 3111 ~ 3116.
- 3 Zhuang J F, Casey M J, Milner S D. Multi-objective optimization techniques in topology control of free space optical networks [A]. In: Proceedings of Military Communications Conference [C], Monterey CA, USA, 2004: 430 ~ 435.
- 4 Kashyap A, Shayman M. Routing and traffic engineering in hybrid RF/FSO networks [A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Communications [C], Seoul, South Korea, 2005: 3427 ~ 3433.
- 5 Zhou Pei-de. Computational Geometry [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 162 ~ 181. [周培德. 计算几何 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 162 ~ 181.]
- 6 Stojmenovic I, Lin X. Loop-free hybrid single-path/flooding routing algorithms with guaranteed delivery for wireless networks [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2001, 12 (10): 1023 ~ 1032.
- 7 Kranakis E, Singh H, Urrutia J. Compass routing on geometric networks [A]. In: The 11th Canadian Conference on Computational Geometry [C], Vancouver, Canada, 1999: 51 ~ 54.