

# 面向移动多媒体的无线光网络路由算法

吴迪<sup>1,2)</sup> 孟庆雷<sup>1)</sup> 殷福亮<sup>1)</sup> 李明<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(大连理工大学电子与信息工程学院, 大连 116024) <sup>2)</sup>(中航一集团沈阳飞机设计研究所, 沈阳 110035)

**摘要** 为了提供具有一定 QoS 保证的高速率宽带多媒体通信, 提出一种 MMWO 模型。该模型采用了自由空间激光通信(FSO)技术, 充分考虑了实际应用中多媒体通信自身的特殊要求, 给出了一种具有一定 QoS 保证的路由算法。仿真实验结果表明, 该算法的性能较好, 能更好地适应节点快速移动、高带宽、高数据传输率的无线多媒体通信。

**关键词** 无线多媒体通信 光网络 FSO 技术 QoS 路由

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)10-1710-05

## Mobile Multimedia Routing Algorithm in Wireless Optical Networks

WU Di<sup>1,2)</sup>, MENG Qing-lei<sup>1)</sup>, YIN Fu-liang<sup>1)</sup>, LI Ming<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(School of Electronic and Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024)

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

**Abstract** In order to provide high-speed broadband multimedia communications with QoS, an MMWO (Mobile Multimedia communication in Wireless Optical networks) model is advanced. In this model, FSO technology is used, the practical application of multimedia communication with special requirements is fully considered and a quality-of-service (QoS) routing algorithm is provided. Results of simulations show that the algorithm has better performance and adapt to requests for fast movement of nodes, bandwidth and high speed in wireless multimedia communication.

**Keywords** mobile multimedia communication, wireless optical networks, FSO technology, QoS routing

## 1 前言

对于实现高速率、高质量无线移动多媒体业务需求的迫切性, 设计无线多媒体通信系统, 必须考虑以下因素<sup>[1]</sup>:

(1) 数据容量 多媒体通信的数据量远远大于语音通信。

(2) 实时性 多媒体通信往往对实时性的要求比较高, 比如视频电话, 要求延迟小、实时性好。

(3) QoS 保证 由于多媒体自身的特点, 必须提供一定的 QoS (quality of service) 保证。主要包括带宽、延迟与吞吐量等。

但是多媒体信息大多是音频、视频, 数字化的数

据量较大<sup>[2]</sup>, 相应的就要求足够高的传输带宽及数据传输率。而现有的无限多媒体通信存在带宽有限, 传输速度低等问题, 大大限制了对于多媒体业务的传输<sup>[3]</sup>。采用自由空间激光通信(FSO)技术的新的多媒体通信系统将具有更高的频谱利用率和良好的抗干扰能力, 它不仅可以增加系统容量, 而且能更好地满足多媒体通信要求, 包括语音、数据、影像等大量信息的多媒体业务通过宽频信道高品质地传送出去。悉尼奥运会上, Terabeam 公司成功地使用 FSO 设备进行图像传送, 并在西雅图的四季饭店成功地实现了利用 FSO 设备向客户提供 100Mb/s 的数据连接。

最近几年, FSO 技术引起了人们极大的关注<sup>[4]</sup>。FSO 具有以下显著优势。

基金项目: 航空基金项目(2006ZC01006)

收稿日期: 2007-07-05; 改回日期: 2007-07-16

第一作者简介: 吴迪(1972~), 男, 副教授, 博士后。主要研究方向为无线 ad hoc 网络、信息安全、智能和优化计算。E-mail: wudi@

dlut.edu.cn

(1) 与传统无线电通信相比,具有信息容量大、传输信道多特点。

(2) 与光纤通信相比,FSO 建设快、设备维修费用低、运行安全、成本低、可移动、易推广升级、机动灵活。FSO 设备体积小、便携,可方便地安装在通信设备上。此外,因为不需要埋设光纤和等待各种手续上问题,FSO 可以在短短的时间内完成连接,还可以随意地移动到任何地点以实现沟通。

(3) 与微波通信相比,具有调制速度快、频带宽、不占用频谱等特点。

(4) 由于激光单色性好、强度高、相干性与方向性好,因此激光束的发散角度小,能量集中在窄小的范围内,接收器可获得比微波高几个数量级的功率密度。具有高度的保密性,可有效提高抗干扰与防窃听的能力且不存在电磁干扰问题。

为了能有效地运用在需要 QoS 保障的移动多媒体应用中。QoS 路由不仅要找到一条从源节点到目的节点的路由,而且还要满足点到点的 QoS 需求,通常指带宽或延迟<sup>[5]</sup>。

FSO 中链路是点到点的,数据传输方向性较强。在无线激光通信网络中,每个节点具有有限的发射机和接收机,这就使得节点只能与位于它传输范围之内有限的节点建立链路。因此,在路由过程中必须满足收发设备数目限制以及带宽约束。此外,在接收端解调之后还要加上一个判选模块,其主要功能就是将接收到的码流进行同步和组包处理。

## 2 MMWO 模型

由于 FSO 中节点的传输距离取决于节点的能量,节点间的链路因节点传输范围的不同而属于双向的。即如果节点  $i$  与节点  $j$  之间存在链路的话,节点  $i$  到节点  $j$  的链路容量或带宽与节点  $j$  到节点  $i$  的容量或带宽有可能不同。

假设每个节点都装有点到点无线光学接口(发射机与接收机)以及 GPS(global position system)设备;每个节点既是移动终端又是路由器,可以转发数据包;网络中每个节点都可以是源节点或目的节点;节点可以跟它传输范围之内的任意方向的节点建立链路。网络中由一个专门的运算能力较强的中心服务器节点统计整个网络的信息,包括节点的位置信息、动态拓扑、路由表等。服务器节点可通过 GPS 获取网络中任意节点的地理位置<sup>[6]</sup>,从而获取节点

的动态拓扑。此外,假设该服务器节点与网络中其他所有节点之间存在可利用的通信信道。在实际应用中,可根据激光传输速度以及节点的移动速度,给该中心节点设置一个合理的更新周期。尽量使得既能保证路由信息的实时性,又能保证当前链路的有效性。

算法根据两节点间的距离来确定邻接矩阵,故只考虑 2 维情况,3 维情况同理。MMWO (mobile multimedia communication in wireless optical networks) 模型可用一个五元组:  $(V, W, TR, RR, TA)$  来描述。

其中,  $V$  为节点的位置表,是一个  $N$  行 3 列的 2 维数组,可记为  $V_{N \times 3}$ ,每行存放一个节点的信息。 $V_{i1}$  表示节点  $i$  的  $x$  坐标,  $V_{i2}$  表示节点  $i$  的  $y$  坐标,  $V_{i3}$  表示节点  $i$  的标识号,网络中的每个节点都有唯一的标识号;  $W$  是带宽矩阵。 $W_{ij}$  代表节点  $i$  与节点  $j$  之间链路上可利用的带宽值;  $TR, RR$  分别代表节点发射机与接收机的数目矩阵,如  $TR(i)$  代表节点  $i$  的发射机数目;  $TA$  则为节点的传输范围。

算法中用到的其他变量及函数如下:

函数  $dist(i, j)$  用来计算节点  $i$  与节点  $j$  之间的距离,通过 GPS 获得节点的位置信息,从而能够计算网络中任意两节点间的距离。

邻接矩阵  $G$  被定义为

$$G_{i,j} = \begin{cases} 1 & dist(i, j) \leq TA(i), i \neq j \\ \infty & dist(i, j) > TA(i), i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases} \quad (1)$$

$T: \{t_1, t_2, \dots, t_M\}$  是传输需求数组,传输需求数为  $M$ 。数组中每个元素包含 3 个域:  $\{s, d, t_{sd}\}$ 。 $s$  是源节点,  $d$  是目的节点,  $t_{sd}$  表示从源节点  $s$  到目的节点  $d$  的传输需求(如最小带宽值)。布尔变量  $\beta_{sd}$  标识源节点  $s$  到目的节点  $d$  的路由是否成功建立,如果成功建立,则  $\beta_{sd} = 1$ , 否则  $\beta_{sd} = 0$ 。

算法最终计算整个系统的吞吐量。吞吐量  $Q$  等于所有成功建立路由的传输需求总和,定义如下:

$$Q = \sum_{i=1}^M \beta_{s,d_i} \times t_{s,d_i} \quad (2)$$

## 3 路由算法

QoS 路由算法的流程如图 1 所示。

网络中的节点进行通信时,节点首先要查看现有路由表,如果现有路由表中存在路由,则按照路由

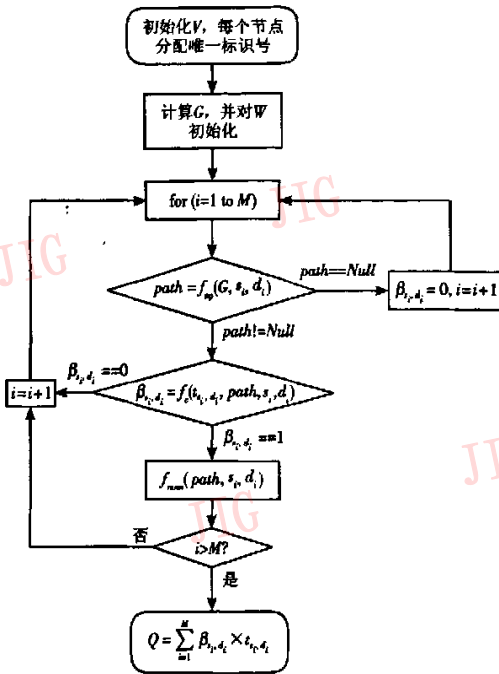


图 1 路由算法流程图  
Fig. 1 Flow chart of the routing algorithm

表发送数据。如果不存在,源节点向服务器节点发送路由请求信息。请求信息数据包由 3 部分组成:源节点、目的节点和传输需求。服务器节点接收到请求信息之后马上执行路由算法,然后将计算得到的路由信息发送给源节点,源节点同时会更新现有路由表。

函数  $f_p(G, s, d)$  是利用 Dijkstra 算法计算节点  $s$  到节点  $d$  的最短路径,该路径不一定是最终要求得的路由,还要判断最短路径上每一条链路上可利用的带宽值是否能够满足  $s$  到  $d$  的传输需求。函数  $f_b(t_{i,d}, path, s, d)$  用来判断函数  $f_p(G, s, d)$  求得的最短路径  $path$  是否能满足实际传输需求。其中,  $t_{i,d}$  是源节点  $s$  到目的节点  $d$  的传输需求。对于  $path$  上任意两相邻节点  $i, j$ , 如果有  $W_{i,j} \geq t_{i,d}$ , 则  $path$  为实际的路由; 否则, 将  $G_{i,j}$  暂时阻滞, 即更改为不可达。重复执行函数  $f_p(G, s, d)$ , 直到求得  $path$  能满足实际路由需求或不能求得满足实际路由的  $path$ , 并将函数返回值  $\beta_{i,d_i}$  置为相应的 1 或 0, 最后还原此前暂时阻滞的  $G_{i,j}$ 。如果节点  $s$  到节点  $d$  之间的路由成功建立, 则修改路由上任意一段链路的可利用带宽。对于路由上任意两相邻节点  $i, j$ , 令  $W_{i,j} = W_{i,j} - t_{i,d}$ 。

此外, 函数  $f_{sum}(path, s, d)$  用来判断节点接收机与发射机数目的限制。  $path$  为最终确定的节点  $s$  到节点  $d$  的路由, 对于  $path$  上端点  $s$  与  $d$  以及任意中间节点  $i$  进行以下处理:  $TR(i) = TR(i) - 1, RR(i) = RR(i) - 1, TR(s) = TR(s) - 1, RR(d) = RR(d) - 1$ 。

当节点  $i$  的接收机数目减为 0 时, 将不再接收数据包。此时, 应将邻接矩阵  $G$  中第  $i$  列的值修改为  $\infty$ 。即节点  $i$  不能作为网络中其他任意结点的下一跳节点。同理, 当节点  $i$  的发射机数目减为 0 时, 将不再发送数据包。应修改邻接矩阵  $G$  中第  $i$  行的值为  $\infty$ 。

上述为一对节点的路由过程, 完成所有节点对路由之后, 计算整个网络的吞吐量。

### 4 仿真结果与分析

表 1 是仿真实验用到的具体参数。

表 1 仿真参数表

Tab. 1 Parameters of the simulation

参数	参数值
节点数目 $N$	10, 15, ..., 50
仿真区域	80 × 80
传输范围 $R$	30
移动速度	Random(0, $V_{max}$ )
移动方向	Random(0, $2\pi$ )
链路带宽	100
传输需求	$U(20, 50)$
接收机/发射机数目	2
传输需求数 $M$	4, 5, ..., 8

其中, Random( $x, y$ ) 表示随机分布在  $x$  与  $y$  之间,  $U(x, y)$  表示均匀分布。现对节点数目为 20, 源目的节点对数目为 6 时的仿真结果分析如下。

仿真实验中节点运动方向在  $0 \sim 2\pi$  随机选择, 移动速度在  $0 \sim V_{max} = 10$  随机选择, 这里的移动速度是相对于仿真区域来说的。当节点移动到仿真区域的边界时, 选择相反的方向移动。

路由算法执行前, 网络的拓扑结构如图 2 所示。

图 2 示例了如果两节点间的距离小于节点的传输范围, 则网络拓扑中两节点是直接相连的, 即在一跳范围内。现有如下传输需求:  $t_{2,15} = 20, t_{11,18} = 30, t_{1,8} = 40, t_{19,14} = 35, t_{16,7} = 35, t_{20,5} = 30$ 。

算法执行后路由为:  $2 \rightarrow 11 \rightarrow 15, 11 \rightarrow 1 \rightarrow 18, 1 \rightarrow 20$

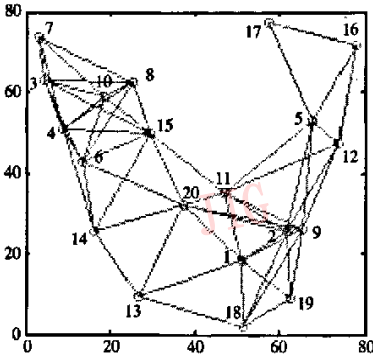


图 2 路由算法执行前的网络拓扑

Fig. 2 The topology before operation of routing algorithm

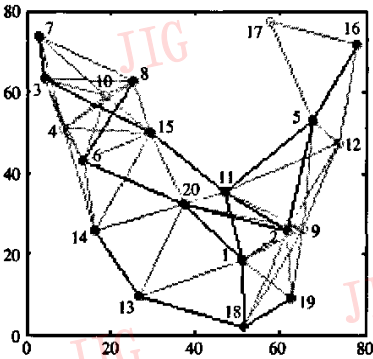


图 3 执行路由算法之后的网络拓扑

Fig. 3 The topology after operation of routing algorithm

→6→8, 19→18→13→14, 16→5→11→15→3→7, 20→2→5。

图 4 是节点移动一段时间后,路由随网络拓扑的变化而动态改变后的结果。其中,节点 1 到节点 8 的路由随拓扑的变化而动态更新。

由于节点移动而使得拓扑动态变化,变化之后

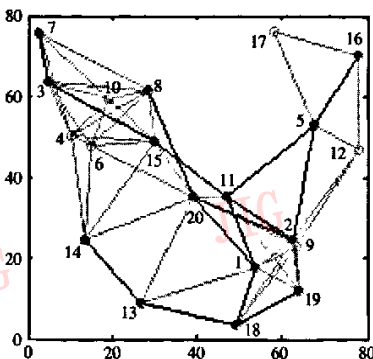


图 4 动态变化的路由

Fig. 4 Dynamic route

的路由为 2→11→15, 11→1→18, 1→20→8, 19→18→13→14, 16→5→11→15→3→7, 20→2→5。

在从节点 1 到节点 8 传输数据包的过程中,与图 3 相比,图 4 中节点 8 已经移进了节点 20 的一跳传输范围之内,系统动态地改变路由。即节点 20 直接发送数据到节点 8,而不再需要节点 6 的转发。

由图 3、图 4 可以看出,成功建立的路由上的节点所使用的接收机与发射机数目均没有超过预设值。虽然网络中节点的发射机与接收机数目是有限的,由于激光链路的带宽较大,可以通过链路的复用来提高路由的成功率。例如,节点 11 到 15 的链路带宽已被节点 2 到节点 15 的路由占用,而该条链路上剩余的可利用带宽  $W_{11,15}$  为  $100 - 20 = 80$ 。当节点 16 向节点 7 传输数据时,由于  $t_{16,7} < W_{11,15}$ ,所以数据仍可通过链路 11 到 15 进行传输。其他同理。

此外,针对网络中节点数目的不同,仿真实验还对服务器节点的计算时延做了比较。计算时延反映了对路由请求的响应时间,比较结果如图 5 所示。

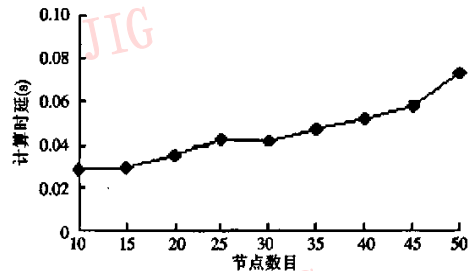


图 5 计算时延在不同节点数目下的变化曲线

Fig. 5 Computing delay for different number of nodes

由图 5 可看出,在其余参数固定的情况下,计算时延随网络规模的增大而呈递增趋势。

对于不同传输需求对数(源、目的节点对数),计算时延变化曲线如图 6 所示。

此外,FSO 技术虽然具有高带宽、高数据传输率

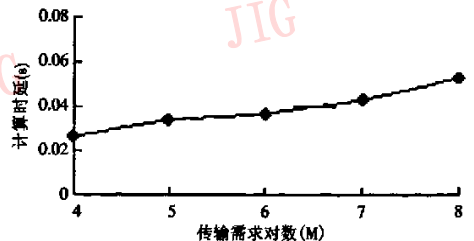


图 6 计算时延在传输需求对数目不同下的变化曲线

Fig. 6 Computing delay for different number of traffic demands

以及安全保密等优势,但容易受雨雪天气的影响。RF(radio frequency)链路虽然容量跟安全性较低,但比 FSO 可靠,不易受天气影响。RF/FSO 框架就是结合了两者的优势,在接收机与发射机上安装了支持两种技术的通用天线<sup>[7]</sup>。因此,可将 RF/FSO 框架应用于 MMWO 模型中来减少天气等环境因素对该模型的影响。

## 5 结 论

在充分考虑了具有一定 QoS 保证的移动多媒体业务要求的基础上,设计了一种 MMWO 模型,通过采用 FSO 技术来实现高数据传输率、高带宽、高质量多媒体服务。针对移动多媒体通信中节点移动的特点,提出了一种具有 QoS 保证的路由算法。仿真实验结果表明,算法性能较好,能更好地适应网络拓扑的动态变化,并具有较低的计算时延。此外,该算法对于在无线激光通信网络中实现实时动态多媒体业务的传输具有一定的现实意义。

### 参考文献 (References)

- 1 Norihiko Morinaga, Masao Nakagawa, Ryuji Kohno. New concepts and technologies for achieving highly reliable and high-capacity multimedia wireless communications systems [ J ]. IEEE Communications Magazine, 1997, 35(1): 34 ~ 40.
- 2 Koutssakis P, Paterakis M. A bandwidth reservation mechanism for prioritized multimedia integrated access with very high channel throughput in beyond 3G TDMA-based wireless networks [ J ]. Performance Evaluation, 2006, 63(2): 61 ~ 78.
- 3 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. ]
- 4 Kiasaleh K. Performance of APD-based PPM free-space optical communication systems in atmospheric turbulence [ J ]. IEEE Journal on Communications, 2005, 53(9): 1455 ~ 1461.
- 5 Badis H, Gawedzki I, Al Aqha K. QoS routing in ad hoc networks using QOLSR with no need of explicit reservation [ A ]. In: Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference 2004-Fall [ C ], Orsay, France, 2004, 4: 2654 ~ 2658.
- 6 Navas J C, Imelinaki T. GeoCast-Geographic addressing and routing [ A ]. In: Proceedings of the Third Annual ALM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking [ C ], Budapest, Hungary, 1997, 3: 66 ~ 76.
- 7 Abhishek Kaahyap, Mark Shayman. Routing and Traffic Engineering in Hybrid RF/FSO Networks [ A ]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Communications [ C ], Maryland University, Collegepark, MD, USA, 2005, 1: 3427 ~ 3433.