

文章编号 :1001 - 2486(2006)03 - 0064 - 07

MANET 多路径路由中最大可靠性路径选择算法*

安辉耀, 彭伟, 卢锡城

(国防科技大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 :如何选择路径的数量和质量对多路径路由机制的性能有着重要的影响。已有的多路径算法没有深入研究如何选择多路径的问题。对目前存在的两个典型问题进行了分析,在此基础上研究了路径可靠性模型和虚拟完全非交叉多路径模型,然后提出一个最大可靠性多路径选择算法。算法利用路径权重作为路径可靠性的近似解决方案,以此克服路径可靠性度量问题(NP 难题)研究的复杂性,根据路径可靠性模型和完全非交叉多路径模型来选择可靠的路径集,使用这组路径集并行分布流量。应用 OPNET 模拟平台实现了算法,结果表明,本算法能增加聚合带宽,优化网络带宽的应用,提高网络的吞吐率和多路径路由的性能。

关键词 :移动自组网络;多路径路由;路径选择;最大可靠性

中图分类号 :TP393.4 文献标识码 :A

Maximally Reliable Pathset Selection for Multipath Routing in MANET

AN Hui-yao, PENG Wei, LU Xi-cheng

(College of Computer, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :The number and the quality of the paths dictate the performance of a multipath routing scheme, a problem which has not been sufficiently dealt with before. With an analysis of two current problems and a discussion of the routing reliability model and the virtual non-crossing multiple path routing model, a pathset selection algorithm called Maximal Reliability Pathset Selection for Multipath Routing is proposed in this paper, which selects the pathset according to the reliability of the paths and distributes traffic into multiple paths to optimize bandwidth usage and improve the throughput. By implementing this algorithm on the OPNET environment, the result shows that the scheme can balance the network load and improve the stability and reliability with minimal additional exchange overhead and with minimal additional storage requirements. Therefore it can be beneficial for mobile ad hoc networks.

Key words :mobile ad hoc networks; multipath routing; pathset selection; maximal reliability

MANET(mobile ad hoc networks)^[1]网络是由若干无线移动节点组成、不依赖于建设好的基础设施、不存在集中式的网络管理的新型网络系统,其广泛的应用前景使得它成为目前网络领域的研究热点,也将是未来商业和军事领域不可或缺的通讯手段。国内外的专家学者就 MANET 网络的多路径技术的研究提出了不少的方案^[2-8],其目标是在源-目的对之间建立多条路径,将网络流量分布到多条路径上,来实现网络负载均衡,充分利用网络资源。但以往的多路径路由协议所做的工作主要集中在快速路由恢复和负载均衡方面,没有仔细研究如何有效地选择多路径,也没有提供一个度量机制或者模型来判断一个特定的路由选择机制。

人们对网络可靠性已经进行了大量的研究^[6,9-10],但将可靠性作为路由度量机制的路径选择算法还没有提出,一些协议已经说明了路由决定与路径可用性的相关性^[11-12]。部分协议^[1,13-15]集中于使用概率的方法来评估链路稳定性。但试图找到一个有效的精确的算法是非常困难的,因为它属于 NP-完全难题^[6,9,16]。文献^[1,14]已经提出一个可选择的、近似的解决方案,它集中研究在链路可靠性值相等的特定情况中。虽然这些近似的算法有效,但所有链路同样有效的假想使它们不适于实际应用。

* 收稿日期 2005-12-01

基金项目 :湖南省教育厅高等学校科研项目“移动自组网络中路由算法与协议研究”;国家重大基础研究发展规划 973 资助项目(G2005CB321800,2003CB314802);国家自然科学基金资助项目(60433040,90104001)

作者简介 :安辉耀(1972-),男,博士生。

因此,如何选定路径可靠性的度量机制,并根据可靠性为多路径路由选择更多的可靠路径,以满足MANET中多路径传输在路径的数量和质量方面的需求,是多路径路由技术中的一个重要研究课题。

1 问题的提出

定义1 如果路径 p_1 与路径 p_2 有共享结点,则两者互称共享结点的交叉路径;如果两者之间有共享链路,则互称共享链路的交叉路径。若路径 p_i 与其它任何路径既没有共享结点又没有共享链路,则称该路径为完全—非交叉路径(图1)。

针对非交叉路径的选择问题,有两个问题值得进一步探讨。

问题一:一般认为在多路径选择使用非交叉路径集会提高网络的可靠性。事实上,这不是绝对的。显然,如果使用图1(a)中的完全—非交叉路径会提高可靠性。以图1(b)为例来说明,图中存在4条路径 $\{S, a, b, D\}$, $\{S, a, d, D\}$, $\{S, c, b, D\}$, $\{S, c, d, D\}$ 。其中路径 $\{S, a, b, D\}$ 和 $\{S, c, d, D\}$ 是完全—非交叉路径,路径 $\{S, a, b, D\}$ 和 $\{S, c, b, D\}$ 是共享链路的交叉路径,它们共享了链路 (b, D) 。路径 $\{S, a, d, D\}$ 和 $\{S, c, d, D\}$ 也是共享链路的交叉路径,共享了链路 (d, D) 。如果共享链路与其它链路质量相同,那么选择使用非交叉路径集显然会提高网络的整体可靠性。但是如果共享链路的可靠性远比其它链路大,那么使用4条交叉路径显然比2条非交叉路径可靠性要高。同样,图1(c)中的结点e如果具有较高的可靠性,那么使用两条路径比使用一条路径的可靠性高。如果在大流量传输过程中,为了遵循非交叉路径的原则,只选择使用其中一条路径,那么就会出现一条路径拥塞,而另外一条路径及结点e“饥饿”的情况。

问题二:在多路径路由中,一般都认为,一条长的路径比一条短的路径可靠性差,即路径可靠性与路径长度成反比;增加非交叉路径的数量会增加网络的整体可靠性,即网络的可靠性与非交叉路径数成正比。事实上是否一定如此呢?

如图2所示,可能找到两条非交叉路径 $\{1, 2, 5, 6\}$ 和 $\{1, 3, 4, 6\}$,另外可能找到长一点的路径 $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。如果网络中所有结点和链路状态都相同,显然两条非交叉路径 $\{1, 2, 5, 6\}$ 和 $\{1, 3, 4, 6\}$ 中任何一条都比路径 $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 的可靠性强,显然使用两条非交叉路径网络整体可靠性比使用一条路径时的可靠性更强。但是,如果链路状况不相同,结果就会出现变化。假设路径 $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 中的链路(黑实线)的权重都大于2,而其余的链路权重都小于1。这时,路径 $\{1, 2, 5, 6\}$ 和 $\{1, 3, 4, 6\}$ 尽管比路径 $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 长度短,但前者的可靠性可能都比后者的差,而网络同时使用前两条路径的可靠性也可能比单独使用后一条路径时的差。

在实际工作中,由于移动结点的状况是千变万化的,路径质量的多样性、路径开销及多路径之间相互干扰等原因,使得多路径的使用情况变得十分复杂。如果不能合理选择路径,使用多路径方案就会得不偿失。因此,可靠路径集的选择在多路径路由中具有举足轻重的作用。

2 路径可靠性模型

用 $G=(V, E)$ 代表一个MANET模型,其中 V 是非空结点集,代表网络结点集合; E 是连接结点的边集,代表网络中存在的结点间链路集合。

定义2 在一个特定的MANET网络 $G=(V, E)$ 中, $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 结点 $v_i \in V, E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 链路 $e_i \in E$, 一条路径 r_k 可以定义为从源结点到目的结点的队列 $(sv_1 v_2 \dots v_i d)$,也可以定义为从源结点到目的结点间链路的队列 $(e_1 e_2 \dots e_j)$ 。

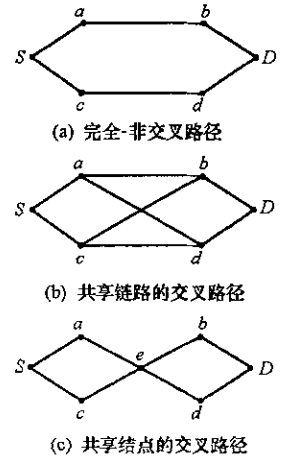


图1 典型交叉/非交叉路径模型
Fig.1 Disjoint multipath

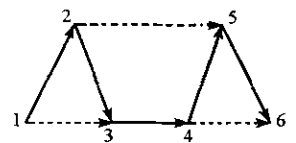


图2 多路径典型例子
Fig.2 Model of multipath

由于路径质量的优劣最终反映在分组传输的端到端平均时延上,也就是说如果带宽比较大,那么就会减少传输延时;另一方面,如果报文丢失引起分组重传,就会增加延时。因此,本文利用端到端延时作为衡量路径可靠性的一个重要参数。

本文把源结点 s 到目标结点 d 之间第 k 条路径的传输延时定义为该路径的长度,其大小为源结点收到的路由回答(RREP)消息中记录的累计延时的一半,记为 $l(p_k) = \frac{1}{2} \sum_{i=s}^d D(i, j)$,其中 $D(i, j)$ 为路由查找消息报文在源结点和目的结点之间往返传输所需的累计传输时间。

定义3 如果把源结点 s 到目标结点 d 的最短延时称为最短长度,记为 $l_{\min}(s, d)$,结点 i 和结点 j 之间的链路用 (i, j) 表示,若 $l_{\min}(j, d) \leq l_{\min}(i, d)$,则称它为有效链路。把通过链路 (i, j) 到目标结点的最短长度称为有效链路长度,即

$$al(i, j) = l(i, j) + l_{\min}(j, d) \tag{1}$$

定义4 若记 \bar{l}_i 为与结点 i 相接的所有有效路径的平均长度,则有效链路 (i, j) 的权重为

$$w_a(i, j) = \exp\left[-\frac{k \cdot al(i, j)}{\bar{l}_i}\right] \tag{2}$$

那么,结点 i 的权重为与结点 i 所邻接的各有效链路的权重之和:

$$w_n(i) = \sum_j w_a(i, j) \tag{3}$$

式中 k 为关联参数,根据与结点相连的下游链路数来确定取值,一般取 3.0~3.5。

定义5 对于任意路径 r_k ,其路径可靠性为其所有链路及所有结点的权重之积,即

$$w_{r_k} = \prod_{i=1}^n w_a(i) \cdot \prod_{j=s}^d w_n(j) \tag{4}$$

显然,路径权重值越大的路径,其路径可靠性就会越大。

3 最大可靠性多路径选择算法

3.1 虚拟多路径模型

假定源和目的间所有路径都是非交叉的,然而,实际上源和目的间的路径具有共享链路或者共享结点。这些路径可能和其它源-目的对间的路径也具有共享链路。而且,与通信模型交叉网络变化一样,路径的瓶颈链路和可靠性也可能发生改变。为了解决这些问题,这里引入了虚拟非交叉多路径(vdmp)的概念。

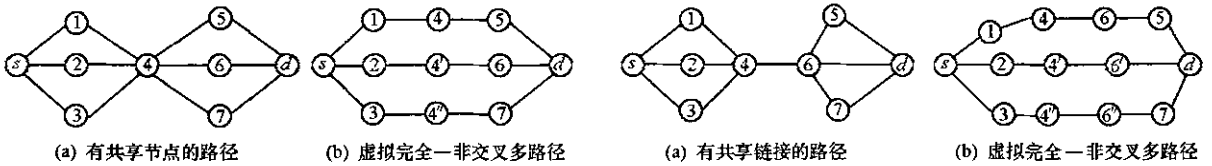


图3 具有共享结点的虚拟完全-非交叉多路径图解
Fig.3 Virtual disjoint multipath model with node-disjoint

图4 具有共享链路的虚拟完全-非交叉多路径图解
Fig.4 Virtual disjoint multipath model with link-disjoint

假设 m 条路径 r_1, r_2, \dots, r_m 共享一个结点(链路),且共享结点(链路)的可靠性足够大,那么将该结点(链路)复制 $m-1$ 份,形成 m 条完全-非交叉路径,这些路径称之为虚拟非交叉多路径,如图3为具有共享结点的虚拟多路径图解,结点4的可靠性足够大,如果只用其中一条路径,显然结点4就会出现“饥饿”状态,其它路径也会闲置,极大地浪费网络资源,充分利用多条虚拟路径会有利于提高网络的利用率;同样,图4为具有共享链路的虚拟多路径图解。

3.2 多路径查找

源 s 向目标 d 以泛洪方式发起路径请求消息(RREQ),RREQ 包括如下域{源地址 s ,目的地址 d ,会话 ID, QoS 需求 $P_{lower}(D, B, C)$,链路状态参数 $P_{e_i}(D_{e_i}^j, BW_{e_i}^j, C_{e_i}^j)$,虚拟路径 vr ,跳数 H } 其中 $P_{lower}(D,$

B, C 表示路径的最低服务质量要求, D 表示延时要求, B 表示带宽要求, C 表示代价要求; $D_{e_i}^j, BWe_{e_i}^j, Ce_{e_i}^j$ 分别表示RREQ消息经历的链路 e_i^j 的质量参数——延时、带宽和代价;虚拟路径 vr 为路径中的IP地址序列。在接收端,设置端到端的可靠性保证持续的时间窗口 t_w ,目标结点将收到许多个RREQ消息(如果收到的RREQ消息是重复的则丢弃),从RREQ携带的消息中选择出所有的路径。

3.3 多路径选择

前面选中的原始路径十分复杂,不一定满足要求,必须经过选择才能满足需要,应该根据可靠性来进行必要的路径选择,选择过程如下:

- (1)根据公式(4),计算出各路径的可靠性值 P_{ri} ;
- (2)根据最低可靠性要求,如果路径的可靠性值 $P_{ri} < P_{lower}(D, B, C)$,则将该路径从候选路径集(R)中删除;
- (3)从 R 中选出其中的完全—非交叉路径,加入到合格路径集 R_{elg} 中;
- (4)选出其中的具有共享链路的路径集 R_{ei} ,比较该链路的可靠性 P_{ei} 与路径集 R_{ei} 的可靠性之和 $P_{R_{ei}}$ 的大小:如果 $P_{ei} > P_{R_{ei}}$,则将路径集 R_{ei} 加到合格路径集 R_{elg} 中;如果 $P_{ei} \leq P_{R_{ei}}$,则转到步骤(6)处理;
- (5)选出其中的具有共享结点的路径集 R_{ni} ,比较该链路的可靠性 P_{ni} 与路径集 R_{ni} 的可靠性之和 $P_{R_{ni}}$ 的大小:如果 $P_{ni} > P_{R_{ni}}$,则将路径集 R_{ni} 加到合格路径集 R_{elg} 中;如果 $P_{ni} \leq P_{R_{ni}}$,则转到步骤(6)处理;
- (6)从具有共享结点(链路)的路径集中选择可靠性值最低的路径,将其从路径集中减去,判断路径集可靠性与共享结点(链路)的可靠性值的大小:如果其和小于共享结点(链路)的可靠性值,则将路径集加到合格路径集 R_{elg} 中;如果仍小于共享结点(链路)的可靠性值,则重复步骤(6)处理。

4 模拟与性能评估

4.1 模拟模型及参数配置

应用OPNET模拟器来实现我们提出的算法。在模拟中,采用具有一定阈值的自由传播模型作为信道模型。在自由空间模型中,信号天线的能量为 $1/r^2$, r 为移动主机之间的距离。在无线模型中采用无线局域网802.11的DCF作为MAC层协议,它能够向网络层报告连接中断。具体实验参数设置见表1。

表1 实验参数及其配置

Tab.1 Experimental parameter and configuration

参数	值	意义
N	50 ~ 500	网络结点数
DIM	1500m × 500m	区域大小
BW	10Mbps	邻居结点的共享带宽
Td	10ms	物理层和传播延时
v_{max}/v_{min}	30/(m/s)	结点移动最大/最小速度
t_{max}/t_{min}	250/(ms)	发送报文的时间间隔

在模拟中,所有结点在0~900s范围内改变暂停时间值来分析不同移动性的性能影响,0s的停留时间代表持续移动性,900s的停留时间代表不移动。为了给结点足够的时间来完成初始化处理,模拟启动30s后开始收集统计数据、产生流量,仿真时间是每个会话为4h。对于每个情节,采用不同的随机种子操作运行10次,取其平均结果。

4.2 性能评价标准

模拟用两种方法来研究MP-MRPS的性能。一种方法是选择一个同时使用主辅多路径路由算法-SMR与它进行比较;另一种方法是将其与MP-MRPS与非交叉路径选择协议(DPSP)^[8]进行比较。主要根据

以下的评价标准来进行性能评估：

- 平均端到端延时 :从源到目的所有生存下来的数据报文端到端延时的平均值；
- 吞吐率 :单位时间传输报文流量的大小；
- 成功传输率(SDR) : $SDR = \text{收到的报文数} / \text{原始报文数}$ ；

负载平衡 :对于一个 MANET 面 $G = (V, E)$,这里使用状态函数 $Cov(f) = f(v_i) / [\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(v_i)]$ 作为负载平衡的评价标准 ,这里 $f(v_i)$ 为结点 v_i 转发的数据分组数 , $Cov(f)$ 越小 ,负载平衡性能越好。

4.3 比较结果

首先比较端到端平均延时的情况 ,图 5 显示了结果。端到端延时包括每个队列延时及传播延时。多路径路由将减少队列延时 ,因为流量在多条路径中并行发布。另一方面 ,它将增加传播延时 ,因为某些数据分组可能沿着次优路径来转发。但总体上来说多路径的延时比单路径小 ,从图 5 可见 ,相对于 SMR 和 DPSP ,MP-MRPS 的平均端到端延时稍微低一点 ,DPSP 的平均端到端延时比 SMR 又稍微低一点。这是因为 SMR 和 DPSP 只使用主路径或者主辅两条路径传输流量 ,证明了使用多路径路由可以并行发布流量 ,减少端到端延时时间。

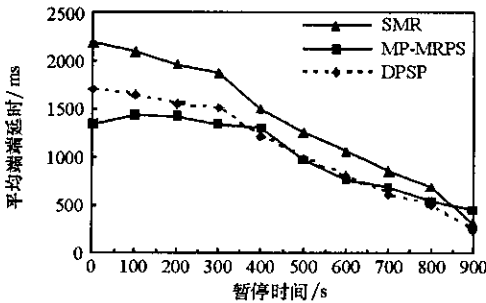


图 5 不同速度的端到端延时

Fig.5 Average end-to-end delay with varying speed

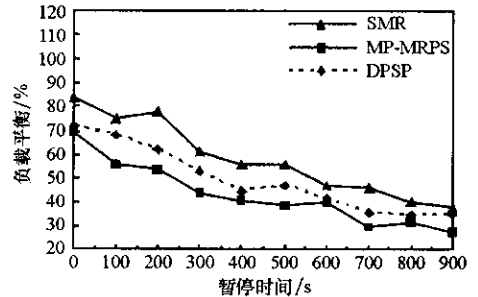


图 6 不同速度的网络负载平衡 Cov

Fig.6 The Cov of the network load with varying speed

图 6 给出了负载平衡的结果。SMR 的网络负载平衡参数 Cov 比 DPSP 的高 ,这是因为虽然两者都使用了主辅路径 ,但 DPSP 进行了路径选择的优化 ,有利于网络负载的平衡 ;MP-MRPS 的负载平衡比前两者好 ,这是因为 MP-MRPS 利用了路径选择算法使用所有可靠的多路径集来发布流量 ,并根据路径质量状况动态地实时分配流量 ,可以充分利用网络资源、平衡网络负载、消除“瓶颈”影响。随着暂停时间减少 ,三者的网络负载 Cov 都减少。这表明移动性增加可能导致结点流量的负载平衡性好。

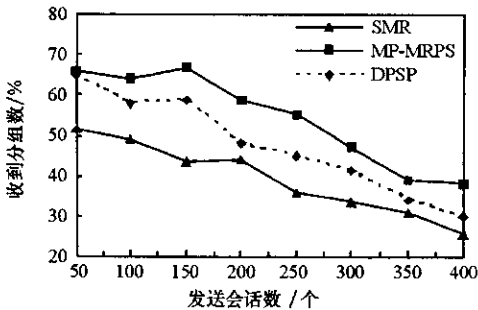


图 7 移动速度为 0 的吞吐率

Fig.7 Throughput at the speed of 0

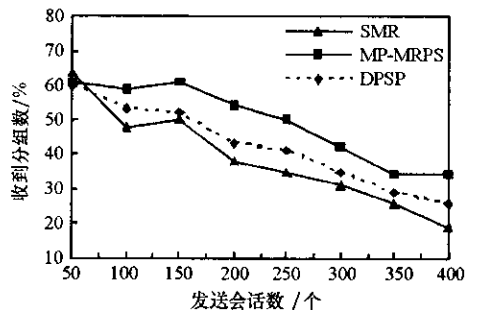


图 8 移动速度为 10m/s 的吞吐率

Fig.8 Fig.7 Throughput at the speed of 10m/s

图 7 和图 8 显示了结点在移动速度为 0 和 10m/s 两种情况下的吞吐率 ,显然 ,在移动速度为 0 的情况下 ,吞吐率相对要大一些 ,这是因为移动速度增加 ,网络拓扑改变频率增大 ,网络开销增大 ,吞吐率就会减少 ;图中显示了 MP-MRPS 的吞吐率相对于 SMR 和 DPSP 要大得多 ,这是因为一方面 MP-MRPS 采用了可靠路径选择算法 ,对路径可靠性进行评估、选择、排队 ,为多路径选择算法确定一组可靠的路径集 ,算法优化了网络带宽的应用 ,减少了拥塞的可能性、提高了网络的吞吐率 ;另一方面 ,MP-MRPS 使用多

条路径同时传输流量,而 SMR 和 DPSP 只使用最优路径或者主辅两条路径来传输流量。

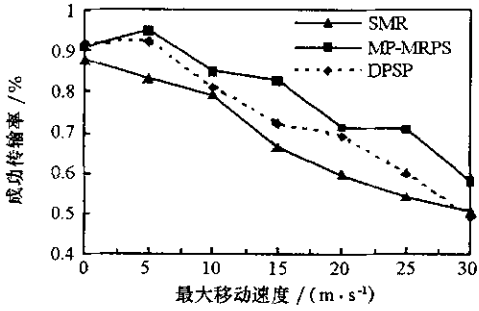


图9 不同移动速度的报文成功传输率

Fig.9 Success delivery rate with varying max mobility speed

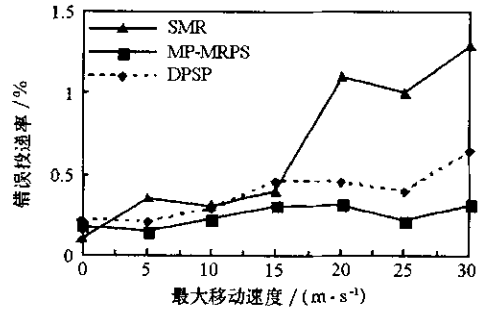


图10 不同移动速度的报文差错率

Fig.10 Error ratio with varying max mobility speed

图9说明了三者的成功传输率。它说明了移动速率设置为0~30m/s之间的任何值时,MP-MRPS都比SMR和DPSP强。注意到在低速率(如1m/s)时,三者的性能相接近,这是由于结点的移动相对稳定。另外,模拟结果证明了不论结点移动速率如何改变,三者都能够得到相对稳定的成功传输率。相比而言,当最大移动速度增加时,SMR成功传输率将受到很大影响。图10证明了在不同的结点移动速度的报文错误率,相对于SMR和DPSP相比,MP-MRPS具有更低的错误率。

5 结束语

本文对目前存在的两个典型问题进行了研究分析,提出一个最大可靠性多路径选择算法来选择可靠的路径集,它能为多路径传输提供更多可靠的路径来并发传输流量,直接的优点包括较少频率的路径发现、显著降低的路径开销、更多的聚合带宽和更好的负载平衡。但是路径选择中还涉及到路径质量的许多具体问题,如带宽的获取、延时抖动的减轻和评估模型的选取等,如何正确获取这些状态参数、选取评估模型,对于正确、合理选择路径,进一步提高多路径的性能具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] Jubin J, Tomrow J D. The DARPA Packet Radio Network Protocols[J]. Proceedings of the IEEE, 1987, 75(1): 21-32.
- [2] Nasipuri A, Das S R. On Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks[A]. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN '99) [C], Boston MA, Oct. 1999.
- [3] Pearlman M R, Haas Z J, Sholander P, et al. On the Impact of Alternate Path Routing for Load Balancing in Mobile Ad Hoc Networks[A]. Proceedings of the First Workshop on Mobile and Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc 2000) [C], Boston, MA, Aug. 2000.
- [4] Tsigros A, Haas Z J. Multipath Routing in the Presence of Frequent Topological Changes[J]. IEEE Communications Magazine, 2001(11): 132-138.
- [5] Tsigros A, Haas Z J. Multipath Routing in Mobile Ad Hoc Networks or How to Route in the Presence of Frequent Topology Changes[A]. In Proceedings of IEEE MILCOM [C], 2001, 2: 878-883.
- [6] Lee S J, Gerla M. AODV-BR: Backup Routing in Ad Hoc Networks[A]. IEEE WCNC 2000 [C], Chicago IL, 2000: 1311-1316.
- [7] Lee S J, Gerla M. Split Multi-path Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad Hoc Networks[A]. ICC2001 [C], Helsinki, Finland, June 12, 2001.
- [8] Papadimitratos P, Haas Z J, Sirer E G. Path Set Selection in Mobile Ad Hoc Networks[A]. In: Proceedings of the Third ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing (MobiHoc 2002) [C], Lausanne, Switzerland, June 2002.
- [9] Rosenthal A. Computing the Reliability of Complex Networks[J]. SIAM Journal of Applied Mathematics, 1977(32): 384.
- [10] Provan J S. The Complexity of Reliability Computations in Planar and Acyclic Graphs[J]. SIAM Journal on Computing, 1986, 15: 694-702.
- [11] McDonald A B, Znati T F. A Mobility-based Framework for Adaptive Clustering in Wireless Ad Hoc Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(8).
- [12] An H, Lu X, Peng W. A Cluster-based Multipath Routing for MANET[A]. Proc. of Med-Hoc-Net 2004 [C], Bordum, 2004: 405-413.
- [13] Dube R, Rais C D, Wang K Y, et al. Signal Stability-based Adaptive Routing (SSA) for Ad Hoc Mobile Networks[J]. IEEE Personal Communications, 1997(2): 36-45.
- [14] Kruskal J B. The Number of Simplices in a Complex[J]. Mathematical Optimization Techniques, UC Press, 1963(10): 251-278.
- [15] Toh C K. Associativity-based Routing for Ad Hoc Mobile Networks[J]. International Journal on Wireless Personal Communications, 1997(2):

201 - 214.

[16] Valiant L G. The Complexity of Enumeration and Reliability Problems[J]. SIAM Journal of Computing , 1979(8) :410 - 421 .

(上接第 39 页)

2.2.3 CSBM 的元素分析

产物的元素分析结果如表 1 所示。由于采用 CHN 元素分析仪 , 所以 , 表中氧的数据为计算所得。实测值与理论值稍有偏差 , 可能是由于产物不是纯净物 , 核上连接的 mPEG 链不完全是三条 , 而是几种链数的混合物。

2.2.4 CSBM 的分子量测定

本文应用凝固点降低法测定 CSBM 的分子量。以水作溶剂 ΔT_f 值为 0.017°C , 计算出平均分子量为 2188。

理论计算 CSBM 含三条链的分子量为 2591 , 含两条链的分子量为 1801 , 含一条链的分子量为 1011 , 实测值为 2188 , 可以推断所得产物是含三条链和两条链的混合物 , 可能还含有少量一条链的。

3 结 论

以 Tris 为核 , 以酰氯化的 mPEG 为外层分子 , 通过官能团反应 , 合成出一种具有核—壳结构的枝化 PEG 衍生物 , 并通过 Boc 保护 Tris 的氨基 , 使产物分子保留了活性官能团 , 为其进一步的修饰反应提供了保障。产物分子通过红外光谱分析、元素分析及分子量测定 , 结果表明产物为目标分子。

参 考 文 献 :

- [1] Zalipsky S. Functionalized Poly(Ethylene Glycol) for Preparation of Biologically Relevant Conjugates[J]. Bioconjugate Chem. , 1995 , 6 :150 - 165 .
- [2] Roberts M J , Bentley M D , Harris J M. Chemistry for Peptide and Protein PEGylation [J]. Advanced Drug Delivery Reviews , 2002 , 54 : 459 - 476 .
- [3] Palaparthi R , Wang H , Gulati A. Current Aspects in Pharmacology of Modified Hemoglobins[J]. Adv. Drug Deliv. Rev. , 2000 , 40(2) :185 - 198 .
- [4] Zalipsky S. Alkyl Succinimidyl Carbonates Undergo Lossen Rearrangement in Basic Buffers [J]. Chem. Commun. , 1998 , 1(1) :69 - 70 .
- [5] Lee K C , Tak K K , Park M O , et al. Preparation and Characterization of Polyethylene Glycol Modified Salmon Calcitonins [J]. Pharm. Dev. Technol. , 1999 , 4(4) :269 - 275 .
- [6] Hinds K , Koh J J , Joss L et al. Synthesis and Characterization of Poly(Ethylene Glycol)-insulin Conjugates[J]. Bioconjugate Chem. , 2000 , 11(3) : 195 - 201 .

