

位置信息辅助的机间自组网路由协议研究

The Location Aided Routing Protocol in an Aircraft MANET

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 01-0046-004

摘要: 提出了一种适用于机间自组网的路由协议算法,该算法使用位置信息辅助计算节点间的链路持续时间,并以此链路持续时间作为拓扑稳定情况的预测。各节点则依据跳数最小原则和链路持续时间最长原则进行路由计算,并在条件允许的情况下,为网络中的节点建立两条路由。仿真结果表明,该算法能够满足机间自组网的高动态拓扑变化,提供良好的网络性能。

关键词: 自组织网络; 链路持续时间; 表驱动路由; 多路径路由

Abstract: In this paper, an aircraft mobile ad hoc network (MANET) routing protocol is proposed. In this routing protocol, a new link parameter called link duration is computed according to the locations of aircraft and is used to forecast the stability of a wireless link. With the link duration, path duration can be obtained between any two nodes. A node computes each routing entry, satisfying both the least hops and longest path duration and finds another point disjoint path if possible. The simulation results show the routing protocol can adapt to network topology and improve network performance.

Keywords: ad-hoc networks; link duration; table driven routing; multi-path routing

史琰/SHI Yan
杨鹏/YANG Peng

(西安电子科技大学, 陕西 西安 710071)
(Xidian University, Xi'an 710071, China)

机间自组织网络是移动 Ad Hoc 网络 (MANET) 在航空通信领域的应用,其基本思想是:在一定范围内的飞行节点通过互相发送控制信息、感知信息等自动地建立起一个 MANET^[1]。在机间自组网中,飞行节点不但作为消息的收发节点,同时还在网络中担当路由器的功能,这使得机间自组网可以采用多跳的方式传输数据,扩大网络的覆盖范围。

机间自组网应用于民航通信可为空中交通管理提供新的技术^[2],为航班提供通信保障^[3];应用于军航通信可发挥抗毁、协同等优势,提升平台的战术效能^[4]。与一般的自组织网

络相比,机间自组网不但具有多跳、自组织、无中心等固有的特点,同时还具有节点分布场景广密度低^[5]、网络拓扑的高动态性^[6]、信道质量的不稳定性^[7]、网络的异构性和临时性。

1 位置信息辅助的机间自组网路由

1.1 机间自组网路由存在的问题

由于机间自组织网络具有节点快速移动、拓扑变化迅速的特点。在使用以往的基于最短路径的路由时,路由计算时只考虑了路径的长度。这在节点静止或节点低速移动的场景中能够适用,但是在机间自组织网络中,节点的快速移动会导致节点间

的无线链路频繁通断。节点间链路的持续时间已成为影响路由的重要因素:距离最短的路径其链路持续时间可能很短,其在通信过程中的失效则会导致丢包率上升从而降低网络性能;链路持续时间长的路径可能增加路由的距离,加重网络中节点的负载,同时会增大信息传输的端到端时延。为了使所设计的路由协议适应节点的移动并能够使网络具有良好的性能,在路由算法中将采用最短路径原则和最长链路持续时间原则相结合。

1.2 位置信息辅助的链路持续时间计算

如图 1 所示,假设两节点 A 和 B,其中节点 A 的经纬度分别为 (ϕ_A, θ_A) ,速度为 v_A ,航向为 C_A ,飞行高度为 H_A ;节点 B 的经纬度分别为 (ϕ_B, θ_B) ,速度为 v_B ,航向为 C_B ,飞行高度为 H_B 。以下关于角度的计算均是以正北方向为基准方向,节点 B 对于节点 A 的方位角为 γ ,两节点间的航向夹角为 α ,节点 A 的航向与两节点间连线的夹角为 β ,两节点 A、B 与地球球心形成的球心角为 δ_{AB} ,

收稿日期: 2015-11-20
网络出版时间: 2015-12-02

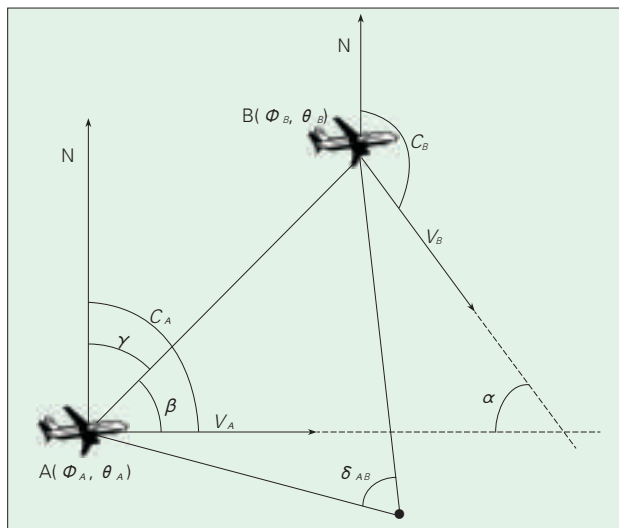


图1 节点间链路持续时间计算

节点间的最大通信距离为 R 。

根据两节点的经纬度信息,我们可以计算出两节点以地球球心为顶点形成的角距离:

$$\delta_{AB} = \cos^{-1}(\sin \theta_A \sin \theta_B + \cos \theta_A \cos \theta_B \cos(\phi_A - \phi_B)) \quad (1)$$

在计算两节点间的直线距离时,考虑到机间自组织网络中节点的飞行高度 H (约 10 km) 相比地球半径 L (6 400 km) 要小很多,故在计算两节点间的直线距离时忽略了节点的高度 (高度所带来的距离误差在 1‰)。这样两节点 A、B 与地球球心近似形成一个等腰三角形,依照三角形中的边角关系可以计算出两节点间的直线距离:

$$S_{AB} = 2 \times L \times \sin \frac{\delta_{AB}}{2} \quad (2)$$

在计算出两节点 A、B 的直线距离后,再计算节点 B 对于节点 A 的方位角:

$$\gamma = \frac{\sin^{-1}(\cos \theta_B \times \sin(\phi_A - \phi_B))}{\sin(\cos^{-1}(\sin \theta_A \times \sin \theta_B + \cos \theta_A \times \cos \theta_B \times \cos(\phi_A - \phi_B)))} \quad (3)$$

节点 A 与节点 B 航向的夹角 α :

$$\alpha = |C_A - C_B| \quad (4)$$

节点 A 的航向与两节点间连线

的夹角 β :

$$\beta = |C_A - \gamma| \quad (5)$$

在这里构造两个辅助变量 $C(v_A, v_B, \alpha, \beta)$ 和 $D(v_A, v_B, \alpha)$, 其中:

$$C(v_A, v_B, \alpha, \beta) = 2 \times S \times [v_A \cos \beta - v_B \cos(\beta - \alpha)] \quad (6)$$

$$D(v_A, v_B, \alpha) = v_A^2 + v_B^2 - 2v_A v_B \cos \alpha \quad (7)$$

最后,通过上述计算可以得到节点 A、B 间的链路持续时间:

(1) 当时 $v_A = v_B$ 且 $\alpha = 0$ 时,如果 $S < R$, 节点 A 和节点 B 在通信范围内,且保持相对静止,其链路持续时间可以认为是无穷;如果 $S > R$, 节点 A 和节点 B 无法通信,链路持续时间为 0。

(2) 当 $v_A \neq v_B$ 或 $\alpha \neq 0$ 时,节点 A 和节点 B 间链路持续时间为:

$$T(v_A, v_B, \theta, \phi) = \frac{\sqrt{[C(v_A, v_B, \alpha, \beta)]^2 - 4(S - R)^2 D(v_A, v_B, \alpha)} + C(v_A, v_B, \alpha, \beta)}{2D(v_A, v_B, \alpha)} \quad (8)$$

1.3 位置信息辅助的路由算法步骤

在本算法中,节点内部包含有 2 种类型结构表:网络拓扑表 TE 和节点路由表 RT。

每个机间自组网节点在本地存

储一张拓扑表 TE,用于存储网络中各节点的位置信息。该拓扑表包含参数 LINK_TIME 以表明相邻节点之间的链路持续时间。如果节点 i 与节点 j 为邻节点, $TE[i][j].IS_VALID_FLAG = 1$ 可以表明两节点的邻居关系,并且 $TE[i][j].LINK_TIME$ 可以表示节点 i 与节点 j 之间的链路持续时间。节点通过周期性地发送 HELLO 包的方式来进行拓扑表的建立和维护。HELLO 包中会携带目前本节点已知的拓扑关系及链路信息。

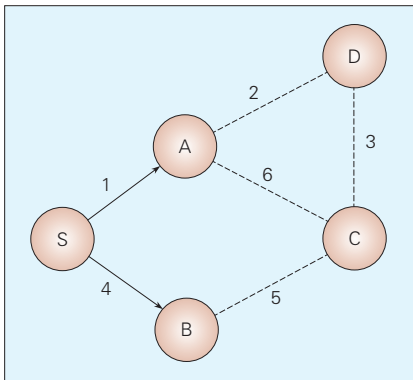
节点内部使用节点路由表 RT 记录到达其他节点的路由,并且在条件允许的情况下,为网络中的节点建立两条路由: $RT[i][0]$ 和 $RT[i][1]$, 其中 i 为目的节点 ($i = 1, 2, \dots, N$, N 为网络中节点数量), 标志 0 为优先路由, 标志 1 为备份路由。与网络拓扑表 TE 类似, $RT[i][0].IS_VALID_FLAG = 1$ 表明该路由由表项有效, $RT[i][0].PATH_TIME$ 记录该路由路径的持续时间。

机间自组网节点通过上文所述的方法获取网络拓扑信息并更新相应的拓扑表项,然后各节点根据本地存储的拓扑表来计算路由生成表驱动路由表。

(1) 假设本地节点为 S, 节点 S 首先初始化本地路由表 $RT[i][j].IS_VALID_FLAG = 0$ ($i = 1, 2, \dots, N$, $j = 0, 1$); 然后节点 S 再查找拓扑表 TE 内所有与自己为邻居的节点, 即 $TE[S][j].IS_VALID_FLAG = 1$, ($j = 1, 2, \dots, N$), 如果存在就更新节点 j 对应的路由表表项, 并记录其与节点 j 之间的链路持续时间、距离、下一跳。如图 2 所示, 节点 S 根据本地的拓扑表为相邻的节点生成路由表, 图中节点 S 首先生成到节点 A 和节点 B 的路由。

(2) 节点 S 根据各一跳节点的拓扑关系计算两跳范围内的路由, 如图 3 所示。

(3) 节点 S 根据两跳节点的拓扑关系继续计算, 并按照跳数的增加逐步扩散出去, 直至到所有节点的路由都被计算出来。如图 4 所示, 节点 S



▲图2 节点表驱动路由的计算

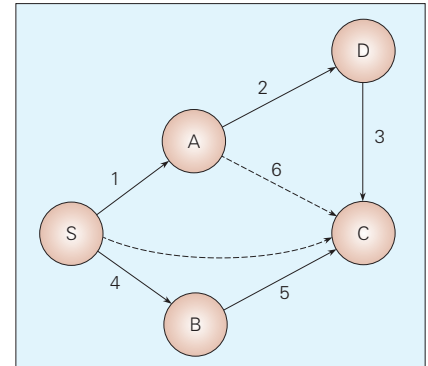
点C的跳数为两跳的路由。由图中还可以看出节点S为节点C建立了两条路由，S到C的路由：优先路由为S→B→C，备份路由为S→A→D→C。

(4)在节点S计算路由表时，可能会出现节点S到某一节点j有多条路由，此时节点S依照图5所示原则对计算出的多条路由进行处理：

首先，节点S从计算出到节点j的多条路由中选择跳数最短的路由，当同时存在多条跳数最短的路由时，选

路由时间长的路由时，将这条路由作为备份路由并更新路由表项RT[j][1]，同样当存在多条跳数次短的路由时，选择其中持续时间最长的路由作为备份路由。

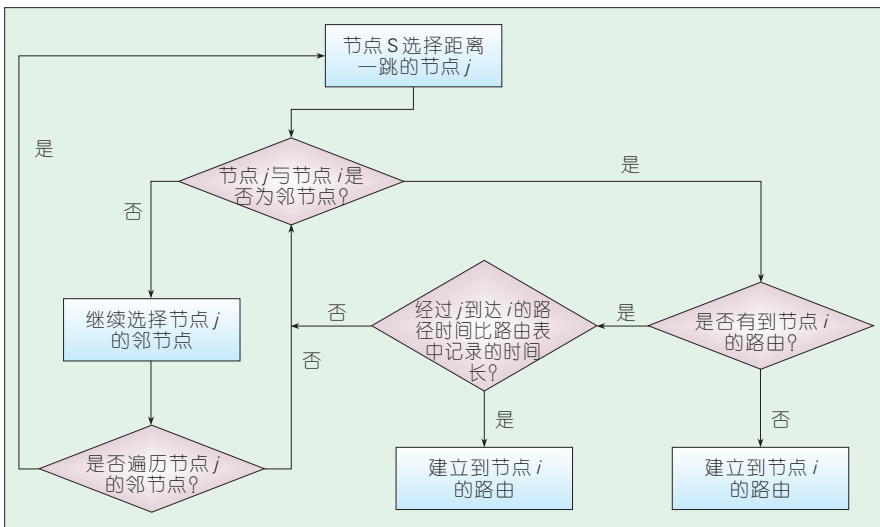
如图6所示，假设图中的链路持续时间按其链路编号由大到小排列



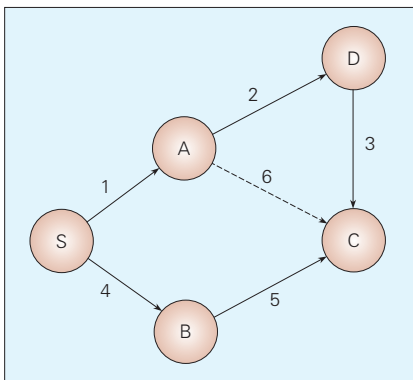
▲图6 节点多路由选择策略示意

(链路1持续时间最长)，节点S到节点A的链路持续时间最长且跳数最短，则节点S只为节点A建立一条优先路由：S→A。节点S到节点C的两条路由分别为：优先路由为S→B→C，备份路由为S→A→D→C。如图中所示，虽然链路S→A→C同样是两跳，但是由于其与链路S→B→C跳数相同且链路持续时间比S→B→C短，所以舍弃链路S→A→C。

总而言之，优先路由为节点S到节点j最短且持续时间最长的路由，备份路由为节点S到节点j次短但持



▲图3 节点两跳范围内路由计算流程



▲图4 节点表驱动路由的计算

根据本地的拓扑表中节点A和节点B的邻居关系生成两跳范围内的路由表，图中节点S通过节点A可以计算出两条跳数为两跳的路由，其中一条到节点C，另一条到节点D，同理节点S根据节点B的邻居关系计算到节

择其中持续时间最长的路由作为优先路由，并将路由表项RT[j][0]按照上文所述方法更新；其次，当到节点j存在其他跳数次短但持续时间比优先

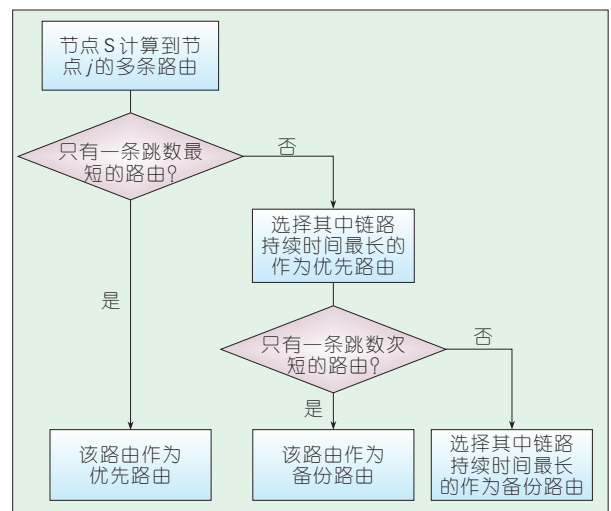


图5 节点多路由选择策略

续时间比优先路由时间长的路由。当节点S使用优先路由与节点j进行通信时发现链路即将断开时,节点S切换备份路由进行通信,以此来保障节点间通信的连续性。

2 位置信息辅助的路由算法仿真结果

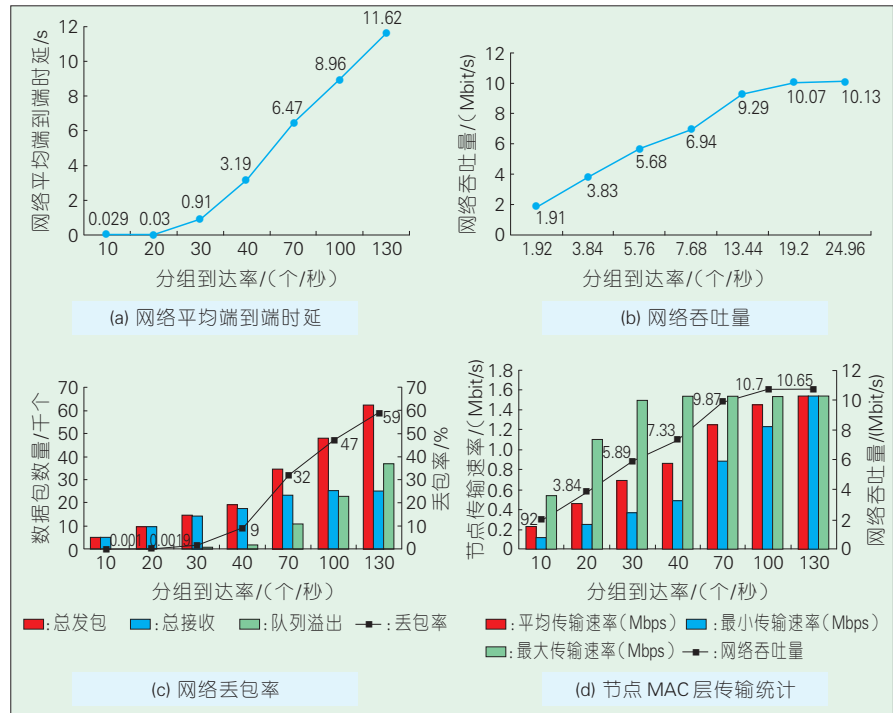
仿真软件使用 OPNET14.5, 其中各参数设置如表 1 所示。

▼表 1 仿真参数设置

| 参数名 | 值 |
|-------------------|---------------|
| 网络范围/km | 1 000 * 1 000 |
| 移动节点数目/个 | 16 |
| 节点最大通信距离/km | 200 |
| 仿真时间/s | 3 600 |
| MAC层时隙大小/ms | 2 |
| 数据分组长度/bit | 1 200 |
| 收发信机信道速率/(Mbit/s) | 50 |

仿真中媒体接入控制层(MAC)采用时分多址(TDMA)的形式。时隙长度为 2 ms, 其中 1 ms 为发送数据, 1 ms 为保护间隔。时隙没有空间上的复用, 节点发送周期为 32 ms。物理层采用全向天线, 信道速率为 50 Mbit/s。节点每时隙内发送数据量上限为 50 kbit, 发送周期为 32 ms。MAC层的发送速率上限为 1.5625 Mbit/s。

图 7 仿真结果是在节点的移动速度固定为 220 m/s, 分组产生速率分别为 10、20、30、40、70、100、130 个/秒/节点, 而 MAC 层缓存队列长度为 1 000 pk 下进行的。图 7(a)为网络平均端到端时延, 随着网络负载的增加, 分组平均端到端时延由 0.03 s 增加到 11.62 s; 图 7(b)为网络吞吐量与网络负载之间的关系, 图 7(c)为网络丢包率与网络负载的关系, 由这两幅图可以看出随着负载的增加网络吞吐量逐渐增加并趋于稳定在 10 Mbit/s, 而网络丢包率增加到 59%; 由图 7(d)为节点 MAC 层的传输能力统计曲线, 可以看出网络中每个节点的 MAC 层均达到了其传输能力的上限,



▲图 7 位置信息辅助的路由算法性能仿真

因此限制了网络性能的提升。

3 结束语

机间自组织网络具有节点快速移动、拓扑变化迅速的特点, 机间自组织网络中的路由很大程度上受到这些特点的影响。位置信息辅助的最短路径原则和最长链路持续时间原则相结合的路由算法, 可以降低高动态变化的网络拓扑对路由的影响。在网络拓扑允许的情况下, 通过使用优先路由和备份路由的方法, 保障了数据信息在节点间传输时不受链路通断的影响。

参考文献

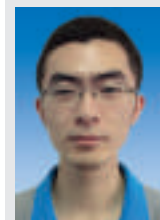
- [1] EHSSAN S., ABBAS J. The Global in-Flight Internet [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(9): 1748-1757
- [2] MAGGIE X C. Connectivity of Ad Hoc Networks for Advanced Air Traffic Management [J]. Journal of Aerospace Computing, Information and Communication, 2004, 1(5): 225-238
- [3] HU D T., SHIGERU S. A Proposal of Relaying Data in Aeronautical Communication for Oceanic Flight Routes Employing Mobile Ad Hoc Network[C]// 2009 First Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems, Washington DC, USA, 2009

- [4] 韩勇, 陈强, 王建新. 机载网络技术综述[J]. 电讯技术, 2008, 48(8): 111-114
- [5] YANG W. Fundamental Issues in Systematic Design of Airborne Networks for Aviation[C]// IEEE Aerospace Conference, 2006
- [6] JUSTIN P R., ABDUL J., EGEMEN K C., et al. High-Dynamic Cross-Layered Aeronautical Network Architecture [J]. Aerospace & Electronic Systems IEEE Transactions on, 2011, 47(4): 2742-2765
- [7] ERIK H. Aeronautical channel modeling [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2002, 51(2): 254-264. doi: 10.1109/25.994803

作者简介



史琰, 西安电子科技大学副教授, 综合业务网理论及关键技术国家重点实验室专职研究人员; 研究方向为认知网络、无线分布式组网与技术; 近五年获省部级奖 2 项; 授权发明专利 10 余项, 发表学术论文 20 余篇。



杨鹏, 西安电子科技大学硕士生, 研究方向为无线自组织网络, 申请发明专利 1 项。