

# 超宽带自组网中基于定位辅助的路由

闵 军<sup>1</sup>, 郑相全<sup>2</sup>, 王婷婷<sup>2</sup>

(1. 宜宾学院网络管理中心 四川 宜宾 6644007; 2. 重庆通信学院数字通信与信号处理重点实验室 重庆 400035)

**【摘要】**将超宽带定位技术应用于超宽带自组网路由算法,通过定位得到网络拓扑,以距离作为路由查找的度量标准之一,限制了路由请求的范围,从而降低了网络的洪泛开销。超宽带精确定位的特点以及距离策略的运用使得路由算法的性能很大程度上得以改进,使用OPNET进行仿真实验证明了所提出算法的有效性。

**关键词** 自组网; 定位辅助路由; 到达时间; 测距

中图分类号 TN92; TN915.04 文献标识码 A

## Routing Based on Positioning in UWB AdHoc Network

MIN Jun<sup>1</sup>, ZHENG Xiang-quan<sup>2</sup>, WANG Ting-ting<sup>2</sup>

(1. Network Management Center, Yibin University Sichuan Yibin 644007;

2. Key Lab of DCSP, Chongqing Communication College Chongqing 400035)

**Abstract** This paper shows a new routing strategy for Ad-hoc Network which introduces UWB positioning to routing process. With the topology of whole network obtained from UWB positioning, we treat the distance between nodes as one of the main metrics and thus limit the broadcast scope of the routing request packets while route discovery period, which results in the significant reduction in routing packets flooding. The validity of the algorithm presented in the paper is tested by OPNET at last.

**Key words** ad hoc; location aided routing; time of arrival; range

移动ad hoc网是一种部署灵活、无需固定基础设施支撑的全分布式网络,主要应用于军事、救灾抢险等紧急情况。路由协议是自组网设计、研究的主要技术问题之一。将定位信息引入路由协议可提高网络规模的可扩展性。现有的绝大多数基于定位的路由协议需要额外设备如GPS定位系统的支持,但额外设备会产生较高的功耗,GPS的粗糙定位在小范围网络中无法满足应用要求。

与其他无线通信技术相比,超宽带(Ultra Wide Banel, UWB)无线传输技术具有传输速率高、系统容量大、抗多径能力强、功耗和成本低等许多优点,而且其无线定位精确度能够达到厘米级。基于上述优点,本文介绍一种基于UWB定位的路由算法。

## 1 测距及定位

### 1.1 到达时间(TOA)测距

到达时间(Time of Arrival, TOA)测距技术基于发射机和接收机之间的传播时延进行距离计算。精确度通常与信号带宽及接收机的信噪比(Signal to Noise Ratio, SNR)有关。由于UWB具有非常宽的带宽,所以能够得到估计误差比较小的时延。对于1个 $f_H = 10.6 \text{ GHz}$ ,  $f_L = 3.1 \text{ GHz}$ ,  $2G_0 = 9.86 \times 10^{-24} \text{ Joule/Hz}$ 的UWB脉冲,当噪声功率为 $2 \times 10^{-20} \text{ W/Hz}$ 时,得到的时延估计误差的克拉美罗下限仅为 $s_i^2 = 6.63 \times 10^{-29} \text{ [1]}$ ,可见TOA

估计算法特别适用于UWB无线电。

测距过程使每个节点知道本节点到其他所有节点的距离。各节点将选择 $K$ 个参考节点来形成一个参考系统,然后在该参考系统中确定本节点的位置。

## 1.2 定位

在一个区域范围内,每个节点 $I$ 可通过下述方法建立局部坐标系:1)检测其一跳邻节点 $K_I$ ;2)计算到一跳邻节点的距离 $D$ ;3)发送 $D$ 和 $K_I$ 信息到一跳邻节点。节点 $I$ 必须选择至少两个一跳邻节点 $P$ 和 $Q$ 。 $P$ 和 $Q$ 互为一跳邻节点,并且 $P$ 和 $Q$ 与 $I$ 不在同一条直线上,这样的3个节点定义了一个以 $I$ 为原点、 $IP$ 为 $x$ 轴的坐标系。利用该坐标系, $I$ 能够计算出某些一跳节点的位置。 $P$ 和 $Q$ 的坐标如图1。图中 $g$ 是矢量 $p_{PI}$ 和 $q_{IQ}$ 的夹角 $\angle PIQ$ ,故有:

$$\begin{cases} X_I = 0, Y_I = 0 \\ X_P = d_{ip}, Y_P = 0 \\ X_Q = d_{iq} \cos g, Y_Q = d_{iq} \sin g \\ g = \arccos \frac{d_{ip}^2 + d_{iq}^2 - d_{pq}^2}{2d_{ip}d_{iq}} \end{cases}$$

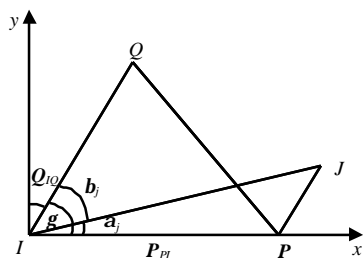


图1 节点I的局部坐标系

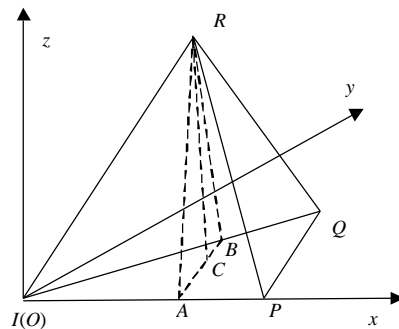


图2 三维局部坐标系

$I$ 在知道了到达 $P$ 和 $Q$ 的距离 $d$ 后,才能计算出其一跳邻节点的某个子集,该子集称为局部观察域 $LVS(LVS_{N_i} \subseteq K_{N_i})$ 。属于该集的节点 $J$ 的位置可以表示如下:

$$\begin{cases} X_j = d_{ij} \cos a_j \\ Y_j = \begin{cases} d_{ij} \sin a_j, & b_j = |a_j - g| \\ -d_{ij} \sin a_j, & b_j = a_j + g \end{cases} \end{cases}$$

式中  $a_j$ 和 $b_j$ 分别是 $\angle PIJ$ 和 $\angle QIJ$ ,且有:

$$\begin{cases} a_j = \arccos \frac{d_{ij}^2 + d_{ip}^2 - d_{pj}^2}{2d_{ij}d_{ip}} \\ b_j = \arccos \frac{d_{ij}^2 + d_{iq}^2 - d_{qj}^2}{2d_{ij}d_{iq}} \end{cases}$$

通过上述方法,建立了一个以 $I$ 为原点的关于其 $LVS$ 域的局部坐标系。可将上述方法扩展到立体空间,用于建立三维局部坐标系。运用TOA方法,获得 $I, R, P, Q$ 节点两两之间的距离,由不共线的3点 $I(0,0,0), P(d_{ip}, 0, 0), Q(d_{iq} \cos g, d_{iq} \sin g, 0)$ 决定的平面定义为水平面,其中 $g$ 是 $\angle PIQ$ ,且 $\angle PIQ = \arccos \frac{d_{ip}^2 + d_{iq}^2 - d_{pq}^2}{2d_{ip}d_{iq}}$ 。知道了 $R$ 到 $I, P, Q$ 的距离后,可以初步判断 $R$ 有两个可能的位置,一个是如图2中所示的位置,另外一个为图2中所示位置关于 $PQI$ 平面的对称点。

作 $RA$ 垂直于 $x$ 轴, $AB$ 垂直于 $x$ 轴,连接 $RB$ ,作 $RC$ 垂直于 $AB$ ,则有:

$$\cos \angle RAB = \frac{\cos \angle RIQ - \cos \angle RIP \cos \angle QIP}{\sin \angle RIP \sin \angle QIP}$$

式中  $\cos \angle RIP$ ;  $\cos \angle RIQ$  和  $\cos \angle QIP$  可以利用已测得的相对距离通过余弦定理计算得到。当  $R$  不在平面  $PQI$  上时,  $I, R, P, Q$  这4个点才可以决定一个局部三维坐标系。对  $R(R_x, R_y, R_z)$  有:

$$\begin{cases} R_x = RI \cos \angle RIA \\ R_y = RA \cos \angle RAB = RI \sin \angle RIA \cos \angle RAB \\ R_z = \pm RA \sin \angle RAB = RI \sin \angle RIA \sin \angle RAB \end{cases}$$

在已经确定的三维空间中, 使用空间双曲面的交集决定某个节点  $N_i$  位置的方式如下:

$$\begin{cases} \sqrt{(X_2 - X_i)^2 + (Y_2 - Y_i)^2 + (Z_2 - Z_i)^2} - \sqrt{(X_1 - X_i)^2 + (Y_1 - Y_i)^2 + (Z_1 - Z_i)^2} \\ \sqrt{(X_3 - X_i)^2 + (Y_3 - Y_i)^2 + (Z_3 - Z_i)^2} - \sqrt{(X_2 - X_i)^2 + (Y_2 - Y_i)^2 + (Z_2 - Z_i)^2} \\ \vdots \\ \sqrt{(X_k - X_i)^2 + (Y_k - Y_i)^2 + (Z_k - Z_i)^2} - \sqrt{(X_{k-1} - X_i)^2 + (Y_{k-1} - Y_i)^2 + (Z_{k-1} - Z_i)^2} \end{cases} = \begin{cases} D_{2i} - D_{1i} \\ D_{3i} - D_{2i} \\ \vdots \\ D_{ki} - D_{(k-1)i} \end{cases}$$

式中  $k \geq 4$ 。将  $I, P, Q, R$  的坐标代入上式, 可以在立体空间中计算出  $I$  的一跳邻节点的局部观察域  $LVS$ , 属于这个集的某个节点  $R'$  的位置可以计算如下:

$$\begin{cases} \sqrt{(I_x - R'_x)^2 + (I_y - R'_y)^2 + (I_z - R'_z)^2} - \sqrt{(P_x - R'_x)^2 + (P_y - R'_y)^2 + (P_z - R'_z)^2} \\ \sqrt{(P_x - R'_x)^2 + (P_y - R'_y)^2 + (P_z - R'_z)^2} - \sqrt{(Q_x - R'_x)^2 + (Q_y - R'_y)^2 + (Q_z - R'_z)^2} \\ \sqrt{(Q_x - R'_x)^2 + (Q_y - R'_y)^2 + (Q_z - R'_z)^2} - \sqrt{(R_x - R'_x)^2 + (R_y - R'_y)^2 + (R_z - R'_z)^2} \\ \sqrt{(R_x - R'_x)^2 + (R_y - R'_y)^2 + (R_z - R'_z)^2} - \sqrt{(I_x - R'_x)^2 + (I_y - R'_y)^2 + (I_z - R'_z)^2} \end{cases} = \begin{cases} d_{ir'} - d_{pr'} \\ d_{pr'} - d_{qr'} \\ d_{qr'} - d_{rr'} \\ d_{rr'} - d_{ir'} \end{cases}$$

双曲面定位需要在参考节点间有一个精确的共同参考时钟, 但不要求参考节点和目的节点间准确同步。此外, 双曲线定位技术需要无错测距信息才能运用, 在有测距误差出现的定位过程中, 可使用一系列冗余测距度量, 即增加参考节点的数量来减少定位误差的方差。

## 2 基于UWB定位的路由算法(UWB\_LAR)

网络初始化时, 每个节点定义一个以它自身为原点的坐标系。所有以节点为原点的局部坐标系之间必须能够进行旋转或影射的线性转换, 最后得到一个共同的方向, 即所有节点的  $x$  和  $y$  轴有相同的方向, 形成全局坐标系, 坐标系内所有节点就知道了其他节点位置的全局网络拓扑。由于 adhoc 网中节点具有移动性, 所以必须定期更新定位信息。如果节点移动速度很快, 更新速度相对较慢, 就会增加延迟和网络开销。此外, 由于最后得到的全局坐标系是以某个节点为原点的坐标系, 如果该节点的移动过于频繁, 所有的终端必须重新计算它们在新的坐标系中的位置, 将导致计算机电池和能量的很大浪费。所以应该选择比较稳定的节点作为参考节点。如果引入定位参照组(Locate Reference Group, LRG)的思想, 参照组包含了网络中最稳定的距离比较近的节点, 可减小了移动对网络的稳定性影响。

查找路由的操作中, 利用位置信息进行有限的洪泛搜索, 只有在请求域内的节点才转发路由请求分组, 其具体操作方法同定位辅助路由(Locate Aided Routing, LAR)。

## 3 仿真分析

使用 OPNET Modeler 进行仿真的结果如图 3~4 所示。仿真过程中, 信道速率为 11 Mbit/s, 采用二进制 PPM 调制方式, 分组到达时间间隔为 0.2s, 媒体接入控制(Medium Access Control, MAC)层采用 IEEE802.11 DCF 获得网络连接, 20 个节点在 800 m × 800 m 区域内随机移动, 移动速度在 0~5 m/s 内随机取值, 每次移动时间为 0.2s。仿真时, 首先通过在测距过程中引入高斯白噪声产生测距误差, 测距误差导致定位产生错误。通过双曲面定位技术得到目的节点位置, 将其与实际位置相比较, 确定估计值和精确值之间的定位误差。其次, 将算法得到的网络负荷、路由平均跳数及网络吞吐量与动态源路由(Dynamic Source Routing, DSR)算法进行比较, 考察算法的性能。

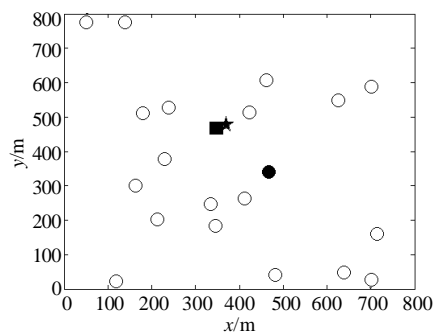


图3 仅考虑3个参考节点时的定位

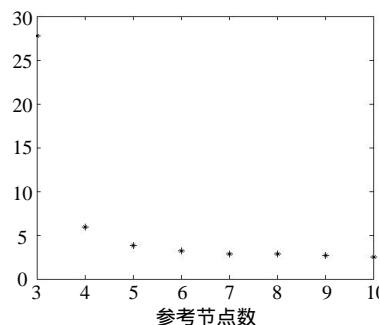


图4 参考节点数量对定位误差的改进

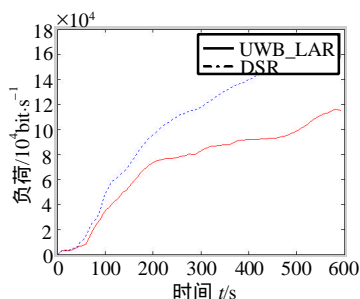


图5 两种算法的网络负荷性能比较

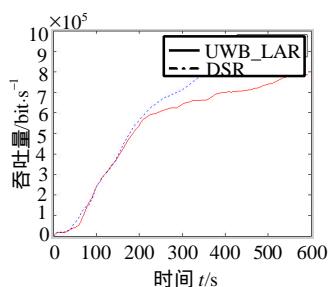


图6 两种算法的吞吐量性能比较

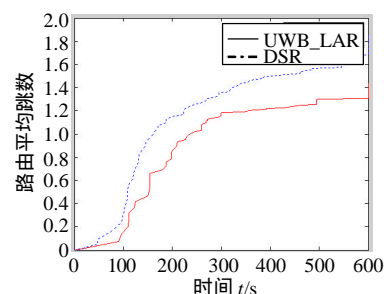


图7 两种算法的平均跳数比较

图3为测距误差方差 $s^2 = 5$ 时目的节点位置的最小二乘估计(Least Square Estimation, LSE)。图中五角星为目的节点估计位置,正方形为目的节点实际位置,实心圆为源参考节点位置,选择的参考节点数为3个(平面定位至少需要3个不共线节点)。采用增加参考节点数的方法减少测距误差带来的定位误差,在 $s^2 = 5$ 、参考节点数从3到10变化时得到的目的节点位置的平均误差变化情况如图4所示,每种情况均为测量1 000次求平均误差。由图4知,增加参考节点的数量可有效降低定位误差,但当节点数增加到某一数值时,性能的改进趋于平缓,最终达到饱和。

在本文中,路由算法与动态源路由(Dynamic Source Routing, DSR)算法的网络负荷及平均跳数比较如图5~7所示。由于DSR路由请求消息采用洪泛方式,相邻节点路由请求消息可能发生传播冲突从而出现重复广播,导致链路上传输的数据分组数量增加。UWB\_LAR算法中只有当下一跳邻节点到目的节点的距离小于当前节点到目的节点的距离时,方可转发请求数据分组对路由查找范围进行限制,有效地解决信息的洪泛问题,限制路由请求信息的传输范围,降低网络负荷,提高网络运行效率;从路由的平均跳数来看,UWB\_LAR的平均跳数比DSR算法小20%左右。在DSR路由请求分组及应答分组中包含着路由中每个节点的地址,跳数的减少无疑会减小路由请求分组和应答分组的大小,降低开销。此外,对洪泛的限制使得本文算法适于网络节点较多的应用场合。

上述讨论基于理想定位的情况,非理想情况下,随着节点移动性的增加,到达目的节点的路由精度会有所降低。

## 4 结 论

本文提出了一种基于UWB定位辅助的路由策略,通过UWB精确定位技术得到网络中各个节点的位置,在路由搜索的过程中,使用距离策略限制搜索范围,仿真结果表明该算法能够有效改善网络的性能。

## 参 考 文 献

- [1] Boleng J. Adaptive location aided mobile Ad Hoc network routing[C]. 2004 IEEE International Conference on Performance, Computing, and Communications, Phoenix, 2004