

Ad Hoc 网络自定位算法研究 *

王贻民 戴冠中 张 治 慕德俊

(西北工业大学自动化学院 西安 710072)

摘 要 在 Ad Hoc 网络中,许多路由协议都是基于节点的位置信息。但是在一些特殊情况下,Ad Hoc 网络中的定位不能依赖于 GPS,必须进行自定位。本文介绍了 Ad Hoc 网络中自定位算法的性能评价和分类方法,着重阐述了具有代表性的算法及其原理和特点,并提出了未来研究的方向。

关键词 自组网,自定位,距离矢量

The Study of Self-Location Algorithms in Ad Hoc Networks

WANG Yi-Min DAI Guan-Zhong ZHANG Zhi MU De-Jun

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract Many protocols in Ad Hoc networks assume that the positions of nodes are known. But positioning in Ad Hoc networks can't depend on GPS in some special fields. So self-location is indispensable. The evaluation criterion of the performance and the taxonomy of self-location systems for Ad Hoc networks are described in this paper. The principles and characteristics of some typical algorithms are discussed, and the directions of self-location systems are also proposed.

Keywords Ad Hoc network, Self-location, Distance vector

1 引言

随着无线移动通信和移动终端技术的迅速发展,最初只应用于军事领域的 Ad Hoc 网络^[1]不但在军事领域得到了更充分的发展,在民用移动通信领域也掀起了研究的热潮。与其他传统网络相比,Ad Hoc 网络具有以下显著特点:动态变化的拓扑结构、无中心网络的自组性、有限的无线传输带宽、移动终端的主动性和局限性、分布式控制网络、安全性差、可扩展性不强、存在单向的无线信道以及生存时间短等。Ad Hoc 网络的特点既给实际应用带来了很大的方便,也给其路由协议的设计带来了新的挑战,例如特殊的信道共享方式问题、网络拓扑结构的动态变化问题、无线带宽的有限性问题、节能问题、网络管理问题以及安全问题等。为了更好地节省节点的能源,适应网络拓扑动态的变化,人们提出了几种基于节点位置信息的路由算法,以便减少寻找和更新路由过程中的消耗,如 LAR(Location-Aid Routing)^[3,4]、DREAM(Distance Routing Effect Algorithm for Mobility)^[5]以及 Geo-Cast^[6,7]等。这些路由协议都是假设位置信息来源于 GPS(the Global Position System)^[8]。但是在军事通信领域,位置信息不能依赖于 GPS。另外,在某些环境中(如室内、偏远山区等),GPS 信号比较微弱甚至是无法接收到,这就限制了使用 GPS 信号来提供位置信息。另外,为所有网络节点都安装 GPS 接收器,会影响节点的成本、功耗以及体积,因此迫切需要采取一定的方法来实现 Ad Hoc 网络中节点的自定位。

2 自定位算法的分类

根据不同的分类标准,Ad Hoc 网络中的自定位算法有

不同的分类方法。例如,根据节点是否需要测量信息,可分为基于测量的定位法和不需要测量的定位法;根据定位提供的坐标类型,可分为全局定位法、相对定位法和局部定位法;本文根据对定位的效率和应用的影响,将其分为 3 类(如图 1):集中式定位法,包括 convex optimization^[9]、MDS-MAP^[10]等;分布式定位法,包括平均跳距定位法^[14~17](Dv-hop propagation method)、跳距累加法^[14~17](DV-distance propagation method)、欧氏距离定位法^[14~16](“Euclidean” propagation method)、角度定位法^[15](Dv-bearing and Dv-radial propagation methods)以及距离定向定位法^[15](DV-position propagation method)等;局部式定位法,包括局部坐标系法^[15,16,18,19](Dv-coordinate propagation method)等。

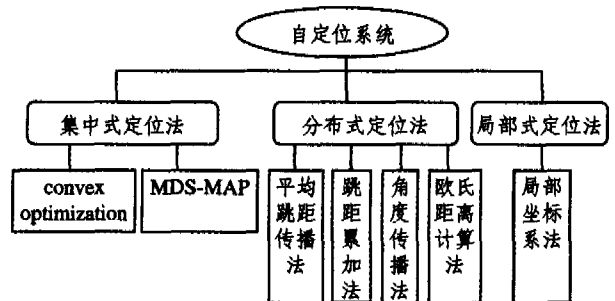


图 1 Ad Hoc 网络自定位系统分类

集中式定位法是将网络中所有信息汇聚到一个中心节点(如一台服务器),中心节点利用这些信息计算出每个节点的位置后,再把位置信息发送给相应的各个节点。这种方法的优点是定位精度较高,但是中心节点及其周围的节点由于

* 基金项目:航空科学基金“无线移动自组网中关键技术研究”(05F53029)、西北工业大学科技创新基金。王贻民 硕士生,主要研究方向为 Ad Hoc 网络;戴冠中 教授、博士生导师,主要研究领域为自动控制、信息安全;张 治 博士生,研究方向为 Ad Hoc 网络技术;慕德俊 教授、博士生导师,主要研究领域为并行计算、信息安全。

通信量过大,电能的消耗过快,当电能耗尽后会导致整个网络与中心节点不能进行信息的交互。另外,中心节点需要处理大量的数据,对一个单一的节点来说这种负担也是很重的。由于 Ad Hoc 网络是一种无基础设施、终端可移动的网络,因此会存在中心节点的选取和更换等问题。如果中心节点更换过于频繁,势必会引起网络的不稳定甚至瘫痪。分布式定位法是利用网络中节点之间的信息交互,由各个节点自行确定各自的位置。这种方法通过控制信息的泛洪把信息控制在一定的范围之内,减少了网络通信量;信息的处理和计算分布到了网络中的每个节点,避免了中心节点的选择,这样就大大提高了定位的效率。局部式定位法是先在一个局部区域中选取一个连接度最高的节点作为原点,建立局部直角坐标系,然后把相邻节点^①定位到此坐标系中。最后通过坐标转换,把网络中的所有节点统一到一个全局坐标系中。这种定位法是在分布式定位法的基础上做出了一定的改进,不但具有分布式定位法的优点,而且更充分地利用了网络中的局部资源。

本文结构安排如下:第 3 部分在介绍了常用的测距和测角方法的基础上,阐述了几种确定位置的计算方法的基本原理;第 4 部分阐述了 Ad Hoc 网络中具有代表性的自定位算法的基本原理及其特点;第 5 部分提出了 Ad Hoc 网络中自定位算法的性能评价指标并在此基础上对本文提到的几种定位算法进行了比较。最后对 Ad Hoc 网络中的自定位算法做出了几点展望。

3 常用的位置算法

在 Ad Hoc 网络中,要确定某个节点的位置,可以根据使用的信息类型不同而采用不同的方法。通常情况下,节点采用的信息类型包括距离信息和角度信息。这些信息的获得常用的方法有 RSSI^[20,21] (received signal strength indicator), TDOA^[22] (time difference on arrival), TOA^[23,24] (time of arrival) 和 AOA^[11,26] (angle of arrival)。RSSI 是通过测定源节点发出的 RF^[27] 信号的强弱来推断目的节点到源节点的距离,这种方法具有低功率、低成本的优点,但测距误差比较大,有时可能产生 ±50% 的误差^[28]; TDOA 是根据光速和超声波速度的不同,源节点同时发出 RF 信号和超声波信号,目的节点通过测定这两种信号到达时间的不同,推断出目的节点到源节点的距离。但是超声波传播距离有限,而且易受 NLOS^[29] (Not line of sight) 问题的影响; TOA 是通过测量从发射信号到接收到信号的时间差来计算距离的。这种测距法具有测距精度高的优点,但是这种方法不但需要额外的硬件辅助,而且要求节点间有精确的时间同步; AOA 基本的原理如下:如图 2,θ 为节点 O 所求的 AOA。A、B 两点分别放置一个超声波接收器,要求节点 O 的参考方向垂直平分于 A、B 两点的连线,且 A、B 两点之间的距离 L 已知, C 处为锚^②的位置。利用测距法得到 x₁ 和 x₂, 当 x₁, x₂ ≫ L 时, x ≈ (x₁ + x₂)/2。在三角形 AOC 中,已知 AO = L/2, AC = x₂, OC = x,

利用余弦公式得: $\cos\alpha = \frac{x_2^2 - x^2 - (\frac{L}{2})^2}{2 * x * \frac{L}{2}}$, 求得 α, 进而求得 θ

= 90° - α。这种方法的测量误差较小,当被测角在 ±30° 之内

时,误差在 3 度之内;当被测角在 ±40° 之内时,误差在 5 度之内。但是此法不足之处是不仅受测量环境影响,而且需要额外的辅助硬件。

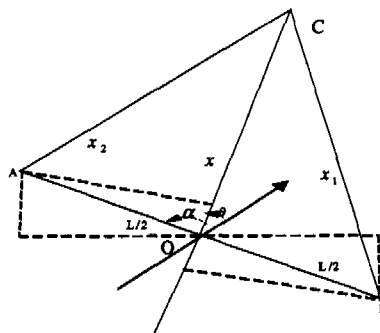


图 2 AOA 基本原理

下面介绍的位置算法中,距离算法和方格算法采用的是距离信息,角度算法和相交直线算法采用的是角度信息。各种位置算法的原理如下述。

3.1 距离算法^[14] (Lateration)

设待定节点^③的坐标为 (x, y), 已知节点 i 的坐标 (x_i, y_i) 及其到待定节点的距离 d_i, 其中 i = 1, 2, 3, ...。根据两点间的距离公式得:

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2$$

$$(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = d_2^2$$

⋮

$$(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 = d_n^2$$

当 n > 2 时,可以线性化上述方程组:

$$x_1^2 - x_n^2 - 2(x_1 - x_n)x + y_1^2 - y_n^2 - 2(y_1 - y_n)y = d_1^2 - d_n^2$$

$$x_2^2 - x_n^2 - 2(x_2 - x_n)x + y_2^2 - y_n^2 - 2(y_2 - y_n)y = d_2^2 - d_n^2$$

⋮

$$x_{n-1}^2 - x_n^2 - 2(x_{n-1} - x_n)x + y_{n-1}^2 - y_n^2 - 2(y_{n-1} - y_n)y = d_{n-1}^2 - d_n^2$$

整理后得: AX = b, 其中

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix},$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix} X = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}, \text{解得: } X$$

$$= (A^T A)^{-1} A^T b$$

当矩阵 A^TA 不可逆时,不能进行上述计算,距离计算方法失效。大多数情况下,都可以利用上述公式求得节点的坐标。文[35]中提到了一种改进的算法;为了提高定位的精度,采取了加权措施: wAX = ub, 其中 w 为各个位置已知的节点根据对自己位置估计精度的不同而各自确定的加权系数,其取值范围为 0~1。

通过下列式子进行误差的计算:

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n (\sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2} - d_i)^2}{n}$$

计算所得的误差和设定的阈值相比较,来决定是否接受估

①相邻节点是指在一个节点通信范围内的可与之直接通信的其它节点。

②锚(Landmark)是位置已知、可协助其它节点定位的节点。

③待定节点是指位置未知、需要定位的节点。

计值 X 。

3.2 方格计算法^[14] (Min-Max)

如图 3, 设位置已知的节点坐标为 (x_i, y_i) 到待定节点的距离为 d_i 。以 (x_i, y_i) 为中心, 以 $2d_i$ 为边长做正方形。在二维空间中, 当存在多个 (至少是三个不在同一条直线上的) 这样的节点时, 它们形成的正方形相交。我们取其中的一块方格区域:

$$[\max(x_i - d_i), \max(y_i - d_i)] \times [\min(x_i + d_i), \min(y_i + d_i)]$$

把这个方格区域的中心作为待定节点的位置估计。这个位置的估计与真实的位置 (三段弧线相交确定的位置) 十分地接近。误差的计算以及位置估计的取舍同距离计算法。

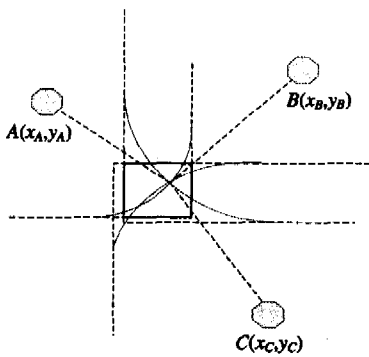


图 3 方格计算法的原理

3.3 角度计算法^[15] (Triangulation)

如图 4, 在三角形 ABC 中, 已知 A、B 和 C 三点的坐标, 以及 $\angle ADC$ 、 $\angle BDC$ 和 $\angle BDA$ 就可以确定节点 D 的位置了。方法如下: 已知节点 A 和节点 B 的坐标、 $\angle BDA$ 以及节点 D 所在 AB 的哪一侧, 就可以确定如图 5 所示的一个圆, 由此就获得节点 D 可能所在的一个位置。同样, 节点 A 和节点 C 以及 $\angle ADC$ 、节点 B 和节点 C 以及 $\angle BDC$ 都可以确定节点 D 可能所在的位置。所有节点 D 可能所在位置的重合点就是节点 D 所在的位置。

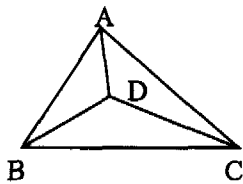


图 4 角度计算法原理(一)

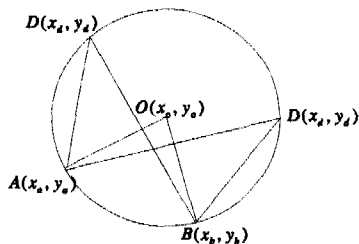


图 5 角度计算法原理(二)

3.4 相交直线计算法^[15] (VOR: VHS Omni-directional Ranging)

位置已知的节点发射出两种不同的信号: 一种是全方位信号, 另一种是单向信号。此信号以发射节点为中心旋转, 向外发射不同方向的信号。每个待定节点都配有能够接收和辨

别这两种信号的设备, 待定节点通过判定单向信号发射来的方向, 计算出自己定义的参考方向逆时针旋转到此方向的角度, 此角度定义为 $\text{radial}^{[15]}$ 。给定已知位置的节点坐标 (x_i, y_i) 和相应的来自此节点的 radial 为 r_i , 待定节点 (x, y) 就可以建立一条通过这两点的直线方程: $a_i x + b_i y = c_i$ 。如果 $\cos(r_i) = 0$, 即 $r_i = 90^\circ$ 时, $a_i = 1, b_i = 0, c_i = x_i$; 当 $r_i \neq 90^\circ$ 时, $a_i = \tan(r_i), b_i = -1, c_i = -y_i + x_i \tan(r_i)$ 。

所有满足上述条件的直线组成下列线性方程组:

$$[A^T | B^T] \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = [C^T]$$

$$\text{其中 } [A^T | B^T] = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 \\ \vdots & \vdots \\ a_n & b_n \end{pmatrix}, [C^T] = \begin{pmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix}$$

解上述方程组得到 x 和 y 的值, 即所有直线的公共交点就是待定节点的位置。

通过上述各种定位法原理的阐述, 可以看出, 前 3 种定位法需要的信息少, 只是需要某种单一信息, 但是定位过程中, 需要的计算量比较大, 而在最后一种定位法中, 需要的信息量多, 却给定位计算带来了方便。

4 Ad Hoc 网络中的自定位算法

由于 Ad Hoc 网络是无中心的网络, 因此 Ad Hoc 网络一般不采用集中式定位算法。基于 Ad Hoc 网络具有多跳的特点, Ad Hoc 网络中自定位算法一般都利用这个特点设计成基于距离矢量的算法。以下介绍的自定位算法都是基于距离矢量的, 本文分分布式定位法和局部式定位法两类分别讨论各类中典型的自定位算法。

4.1 分布式定位法

在这类定位法中, 本文选取了 5 种具有代表性的算法, 前 3 种采用的是距离信息, 第 4 种采用的是角度信息, 而最后一种同时采用了这两种信息。

4.1.1 平均跳距定位法

这是一种基本的方法, 包括以下 3 个步骤: 第一步, 为了使得网络中的所有节点都获得到某个锚的最短距离 (以跳数计), 首先在网络中进行典型的距离矢量交换, 使每个节点都得到一张表, 表中各项为 (x_i, y_i, h_i) (其中 (x_i, y_i) 为锚 i 的坐标, h_i 为该节点到锚 i 的跳数)。并且每个节点仅与自己的相邻节点交换信息来更新自己的这张表。第二步, 当锚得到自己到其他锚的距离 (以 m 计) 后, 就可以估计每跳的距离值 (以 m 计), 并用此值来作为自己相邻节点的修正值。锚 $i(x_i, y_i)$ 产生修正值的计算公式如下:

$$c_i = \frac{\sum \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum h_i} \quad i \neq j$$

此值是通过控制泛洪的方式来传播的, 即一个节点接受和转发了一个修正值后, 就不再接受其他的修正值了, 这就保证大多数节点仅接受一个来自距离自己最近的锚的修正值。如图 6 所示: 锚 B 的修正值为 $\frac{75+45}{5+2} = 17.14$, 节点 L 到锚 A、B、C 的距离估计分别为: 3×17.14 、 2×17.14 、 3×17.14 。

在文[30]中提到, 也可以仅利用锚 i 的连接度 N_i 来估计修正值:

$$\hat{c} = r(1 + e^{-N_i} - \int_{-1}^1 e^{-\frac{N_i}{\pi} (\arccos t - t \sqrt{1+t^2})} dt)$$

文[31]给出了 \hat{c} 的最高精度为 $\frac{1}{4} \frac{\pi r}{N_{\text{avg}}}$ 其中 r 为节点信号的

通信范围, N_i 为锚 i 的连接度, N_{avg} 是锚的平均连接度。第三步, 当一个节点接受来自 3 个不在同一条直线上的锚的修正值后, 就可以利用距离计算法或方格计算法估计自己的位置。

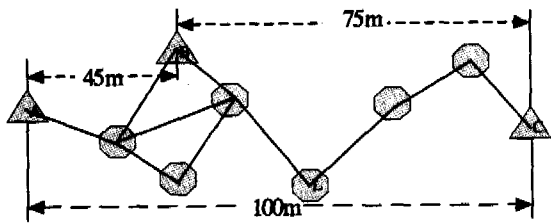


图 6 平均跳距定位法的原理

这种方法简单, 不需要额外的辅助硬件, 锚也可以仅靠其连接度来确定自己的修正值, 受测量误差的影响不大, 但是受通信范围的误差以及锚在网络中的位置影响很大(如果锚的位置不好, 那么实际跳数之间的变化很大, 这种情况下的定位精度很差), 而且只能用于各向同性的高密度的网络中。还有一不足之处是, 此算法使用了典型的分布式的 Bellman-Ford 算法来寻找最短路径, 所以在某些不利情况下, 最短路径的获得需要很长的时间。

4.1.2 跳距累加法

这种方法与平均跳距定位法是相似的, 不同之处在于它是以米为单位来计算相邻节点之间的距离。这种方法使用单跳距离的累加来估计距离, 势必使得在多跳累加后的累加和大于实际的距离, 因此找到的最短距离要大于实际的最短距离, 可以通过增加锚的数量来减少这种误差的积累。与第一种方法相比信息的交换量少, 定位精度高, 但是易受测量误差的影响。

4.1.3 欧氏距离定位法

这种方法与 GPS 定位法十分相似。如图 7 所示, 节点 A 至少有 2 个相邻节点, 而且这 2 个相邻节点都已知各自到锚的距离。对节点 A 来讲, AC 、 AB 以及 BC 是已知的。获得 BC 有 2 种方式: 一种是 B 和 C 互为相邻直接测得, 另一种是 A 通过建立局部坐标系并定位自己所有的相邻节点, 从而算得 BC 的值。

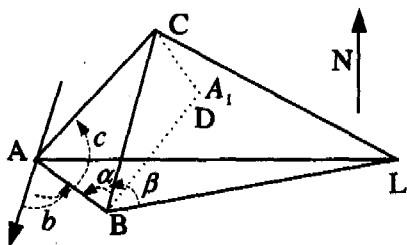


图 7 欧氏距离定位法的原理

对四边形 $ACLB$ 来说, 已知四条边 (AC 、 AB 、 CL 和 BL) 和一条对角线 BC 的长度, 就可以计算出另一条对角线 AL 的长度。还有一种可能是节点 A 和锚 L 在 BC 的同侧(如图 7 中的 A_1), 在这种情况下计算 A 到 L 的距离就不同了。因此要计算 AL 的长度就必须确定 A 点是在 BC 的哪一侧。一般, 节点 A 采用两种方法来确定: 第一, 当 A 还有其他几对相邻节点时, A 就会通过投票的方式做出选择, 选出一对新的相邻节点, 构成凸四边形; 第二, 通过检测与自己十分接近的节

点(如图 7 中的 D)与 BC 的关系来确定自己与 BC 的关系, 这种情况下, 要求节点 D 已知到锚 L 的距离。

当节点 A 明确与锚 L 是在 BC 的同侧还是异侧时, 就可以用解三角形的方法得到 AL 的值。解 $\triangle ACB$ 、 $\triangle ABL$ 和 $\triangle BCL$ 得到 AL :

$$\cos(\alpha) = \frac{AC^2 - AB^2 - BC^2}{2 * AB * BC} \quad (1)$$

$$\cos(\beta) = \frac{CL^2 - BL^2 - BC^2}{2 * BL * BC} \quad (2)$$

$$AL^2 = AB^2 + BL^2 - 2 * AB * BL * \cos(\beta \pm \alpha) \quad (3)$$

$$\sigma_{AL}^2 = \sum \left(\frac{\partial AL}{\partial e} \right)^2 \sigma_e^2 \quad (4)$$

其中 $e = AC, CL, LB, BA, BC$

为了减小误差, 提高定位的精度, 文[14]中提到了选取相邻节点的限制条件: 待定节点和相邻节点构成的三角形(如图 7 中的 $\triangle ACB$)中, 较小的两边之和要大于某个设定值和第三边的乘积, 这个设定值一般取两倍通信范围的误差加 1(即为 $2RangVariance + 1$)。这种方法的优点是通信量比较小, 但却要求网路具有较高的连接度、锚的比例大而且易受测量误差的影响。

4.1.4 角度定位法

在介绍角度方法之前, 先定义几个名词^[15]。bearing: 从发送信号的节点 A 自定义的参考方向逆时针旋转到所发送信号的方向的角度; radial: 从接收信号节点 B 自定义的参考方向逆时针旋转到所接收信号的方向的角度; heading: 节点自定义的参考方向逆时针旋转到正北方的角度。如图 8 所示, 节点 A 到节点 B 的 bearing 为 ab , 节点 B 到节点 A 的 radial 为 ba , 节点 A 的 heading 为 \bar{a} 。

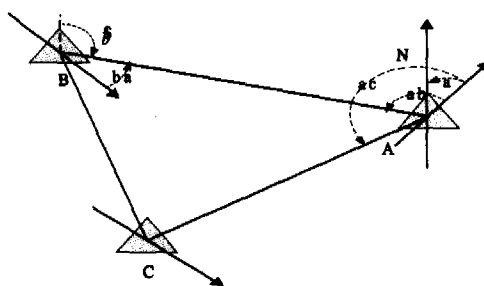


图 8 角度定位法的原理

角度定位法可以细分为 DV-radial 定位法和 DV-bearing 定位法。DV-bearing 定位法的基本原理是: 在图 7 中, 节点 A 已知到节点 B 、 C 的 bearing, 分别为 \hat{b} 、 \hat{c} ; 又已知节点 B 、 C 到锚 L 的 bearing。如果节点 B 、 C 互为相邻, 通过解 $\triangle ABC$ 和 $\triangle BCL$, 进而求得 BAL , 这就可以得到节点 A 到锚 L 的 bearing: $\hat{b} + BAL$ 。假如节点 A 还有一对到锚 L 的距离比节点 B 、 C 到锚 L 的距离更短的节点, 那么节点 A 就用这一对更近的节点来计算自己到锚 L 的 bearing。距离锚 L 较远的节点 A 的相邻节点可以通过节点 A 的帮助得到自己到锚 L 的 bearing。通过这种类似于距离路由矢量算法传播方式来转发到锚的 bearing。节点 A 至少已知到 3 个不在同一条直线上的锚(或是与 A 不在同一个圆上的 3 个锚)的 bearing 之后就可以使用角度计算法或相交直线定位法来推断出自己的位置。

DV-radial 定位法和 DV-bearing 定位法不同之处是除了每个锚都配有一个指南针外, 节点不但知道自己到锚的 bear-

ing,而且知道锚到自己的 radial(如图 7 中的锚 L 到节点 C 的 radial 为 CLN)。在网络中传播这两种角度,每个待定节点都可以得到并利用这两种角度信息来确定自己的位置,从而提高定位的精度。如果每个节点都配有指南针,这种情况下,每个节点都选择同一个方向作为自己的参考方向,那么 bearing = 2π - radial,此时 DV-radial 定位法和 DV-bearing 定位法就相同了,

由上述可知,在角度定位法中,角度的测量误差带有传播性。可以通过采用 TTL(Time To Live)方法控制传输包的泛洪以及避免基于小角度或基于钝角三角形推断位置等措施来减小角度误差的传播。

4.1.5 距离定向定位法

这种方法要求节点的能力比较高,网络中的节点不但具有距离测量能力而且还要具有角度测量能力,并且每个锚还需要配有指南针。具体的原理如下:如图 8 所示,已知锚 A 的 heading \hat{a} ,到节点 B 的 bearing 为 ab 和节点 B 到锚 A 的 radial 为 ba 。由此就可以求得节点 B 的 heading 为 $\hat{b} = 2\pi - (ab + \pi - ba) + \hat{a}$ 。如果 A、B 之间的距离已知,那么就可以确定节点 B 的位置。同样,节点 B 也可以作为其它节点的“锚”来协助其它节点定位,但是定位的精度有所下降。

这种方法的优点是定位需要的计算量小,但是对节点能力的要求高,而且误差具有可传播性。

4.2 局部式定位法

局部式定位法的典型代表是局部坐标系法,该方法分如下 3 个步骤:

第一步,建立局部坐标系。用 ϵ_i 来表示节点 i 建立的直角坐标系。如图 9,如果节点 A 能够测量到自己所有相邻节点的距离,那么节点 A 就可以计算由自己和相邻的一对节点(这对节点也互为相邻)构成的三角形中所有边和角的值。节点 A 任意选择节点 D 所在的方向作为 x 轴的正方向,选择节点 E 所在 x 轴的一侧的方向作为 y 轴的正方向,以自己为原点建立直角坐标系 ϵ_a 。如果节点 A 的相邻节点满足距离计算法的条件,就可以定位到直角坐标系 ϵ_a 中。

如果节点 A 到相邻节点的 bearing 已知,那么就可以选择任意的长度为单位长度,建立自己的坐标系。例如节点 A 选择 AE 做单位长度,节点 A 就可以利用已知的角度信息,以增量的方式把满足角度计算法条件的相邻节点定位到自己的坐标系中。同样地,网络中的其它节点也可以以自己为原点建立自己的坐标系,定位自己的相邻节点。

第二步,求局部坐标系之间的转换矩阵的过程。这个求解过程的输入就是那些在这两个坐标系中相互重叠的节点坐标。节点利用这个转换矩阵就可以把自己的坐标从一个坐标系转换到另一个坐标系中去。

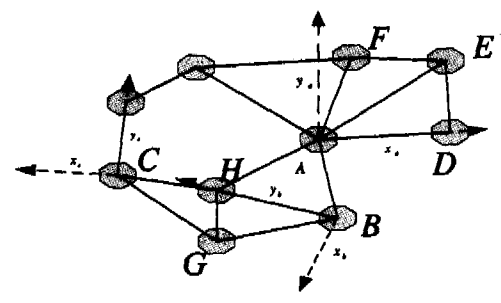


图 9 局部式定位法之原理

如图 9 中,坐标系 ϵ_B 中的节点坐标转化为坐标系 ϵ_A 中的坐标仅通过旋转和转化就可以了,但是坐标系 ϵ_D 中的节点坐标转化到坐标系 ϵ_A 中的坐标时,仅通过旋转和转化是不够的,还要通过镜像转换后才能完成。当使用角度定位法时,还要进行一个尺度的变换。节点所需要的硬件及采用的信息类型和定位所需要的变换方式关系如表 1 所示。

表 1 坐标变换方式与硬件和信息类型

硬件和信息类型	变换方式
距离信息	转化、旋转、镜像
角度信息	转化、旋转、尺度转换(镜像)
角度信息和罗盘	转化、尺度转换(镜像)
角度信息和距离信息	转化、旋转(镜像)
角度信息、距离信息和罗盘	转化(镜像)

如果每个节点都有一个指南针,那么所有的节点都有一平行的坐标轴,因此旋转就不必要了。

表 1 中“(镜像)”表示只有当经过旋转之后,坐标轴的方向相反时,才需要镜像。

第三步,坐标转换,节点 B 到节点 A 的转化矩阵为:

$$M_{b,a} = \begin{pmatrix} sr_1 & sr_2 & t_z \\ sr_3 & sr_4 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

其中 r_i 代表旋转和镜像, s 代表尺度因子, t_i 代表转化。 r_i 是一个正交矩阵,有如下的属性:

$$\begin{cases} |r_1| = |r_4| \\ |r_2| = |r_3| \\ \det\{r_i\} = \begin{cases} -1, \text{发生镜像时} \\ 1, \text{其它情况下} \end{cases} \end{cases}$$

如果求解时不需要某种变换,那么就将其对应的参数值设为 1。例如,采用距离信息定位时,尺度转换是不需要的,此时设 $S=1$ 。 $C_a = [x_c, y_c, 1]^T$ 表示节点 C 在 ϵ_a 中的“坐标”, C_b 表示节点 C 在 ϵ_b 中的“坐标”,那么就有 $C_a = M_{a,b} C_b$ 。这样就可以把所有的节点坐标统一到一个坐标系中。

误差定义为两个坐标系中所有公共节点在转换前后的距离之差的平方和。例如节点 B 有 4 个相邻节点在 ϵ_a 和 ϵ_b 中具有坐标值,那么节点 B 就可以通过最小化 $\sum \|X_a - M_{a,b} X_b\|^2, X=A, B, C, D$ 来计算转换矩阵 $M_{a,b}$ 。

这种方法的优点在于参与通信的节点控制在一定的区域内,而不是网络中的所有节点都参与;不足之处是误差具有可积累性,而且节点坐标的转换需要的计算量比较大。

上面介绍的是几种最基本的定位法,除此之外,文[32]中的 GPS-free 定位法、文[33]中的 GPS-free-free 定位法,都属于局部式定位法,方法的基本原理和局部坐标系法相似;文[35]中的 Robust Positioning 方法以及文[39]中的 An Iterative Approach 定位法同属于分布式定位法,而且都是在初步定位的基础上,通过迭代运算进一步提高定位精度。

小结与展望 在 Ad Hoc 网络中,自定位算法性能的好坏直接影响在实际中的应用,因此找到一套合理的性能评价标准十分重要。下面列出了 5 种常用的评价指标。

(1) 定位精度,这是一个最基本的评价指标,常常采用误差值与节点通信范围之比来表示。

(2) 锚的比例,锚的数量与网络中节点总数之比。锚节点定位通常利用人工部署或 GPS 来实现,人工部署不仅受网络部署环境的限制,还严重影响了网络的可扩展性。而使用

GPS定位,锚的费用会增加,从而也就影响了整个网络的开销。因此,锚的比例也是评价定位算法性能的重要指标。

(3)节点密度又称为网络的平均连接度;节点密度的提高不仅会影响部署网络范围而且会带来节点之间通信的冲突。因此这也是一个评价指标。

(4)功耗:由于移动节点电池能量有限,节点之间通信以及计算都会消耗电量,所以功耗也是评价的指标。

(5)辅助硬件:定位算法需要的信息是否需要通过额外的辅助硬件来获取。辅助硬件不但会影响节点的体积,也会增加节点的费用。

根据文[12,13,34]提供的数据对本文中提到的定位算法从上述的几个评价指标进行了比较,如表2所示。

表2 几个评价指标的比较

	节点密度	锚的比例	定位精度
平均跳距定位法	10	10%	1/3
跳距累加法	9	10%	20%
欧氏距离定位法	9	20%	20%
角度定位法	10.5	20%	40%,25% ⁽¹⁾
局部坐标系法	9	20%	80%

表2中“定位精度”一列中的标注(1)表示DV-bearing定位法的精度为40%,DV-radial定位法的精度是25%。而在跳距累加法和局部坐标系法中指出的定位精度还有一个约束条件:测量的距离误差要求小于10%。在角度定位法中的另一个约束条件是:测量的角度误差要求小于5度。

由上述可知,每种自定位算法都有各自的优缺点以及适用环境。例如平均跳距定位法和跳距累加法只适用于各向同性的网络;欧氏距离定位法要求网络的平均连接度较高;角度定位法、距离定向定位法和局部坐标系法没有良好的误差抑制措施等等。

文[14]的仿真结果显示,很多自定位法的定位精度不高,还具有很大的提高余地。总之,Ad Hoc网络中的自定位问题是一个研究的难点,也是一个热点。

随着Ad Hoc网络的迅速发展,自定位系统越来越受到人们的重视。目前这个领域的研究刚刚起步,还存在很多方面的问题有待于我们去解决。例如实现鲁棒性强、定位精度高的自定位算法、创建一套合理的仿真平台以及完善和量化自定位算法性能的评价指标等等。

参考文献

- Ramanathan R, Redi J. A Brief Overview of Ad Hoc Networks, Challenges and Directions. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(5): 20~22
- Chlamtac I, Conti M, Liu J. Mobile Ad Hoc Networking: Imperatives and Challenges. Elsevier Ad Hoc Networks Journal, 2003, 1(1): 13~64
- Ko Y, Vaidya N H. Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks. Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), 1988
- Ko Y-B, Vaidya N H. Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks. ACM/Baltzer Wireless Networks (WINET) Journal, 2000, 6: 307~312
- Basagni S, Chlamtac I, Syrotiuk V R, et al. A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM). In: Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), 1988

- Imielinski T, Navas J C. Geographic addressing routing and resource discovery with the global positioning system. Communications of the ACM Journal, 1997
- Li J, Jannotti J, DeCouto D, et al. A scalable location service for geographic ad-hoc routing. In: Proc. of ACM Mobile Communications Conference, Boston, Aug. 2000
- Parkinson B, Spilker J. Global Positioning System: Theory and Application. American Institute of Astronautics and Aeronautics, 1996
- Doherty L, Pister K, Ghaoui L E. Convex position estimation in wireless sensor networks. In: Proceedings of IEEE INFOCOM, 2001, 3: 1655~1663
- Shang Y, Ruml W, Zhang Y, et al. Localization from Mere Connectivity. In: Proc. ACM MobiHoc, 2003. 201~212
- Priyantha N B, Miu A K L, Balakrishnan H, et al. The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications. In: Proc. of Sixth ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM, Rome, Italy, July 2001
- Niculescu D, Nath B. Ad hoc positioning system (APS). Proceedings of IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), San Antonio, 2001
- Niculescu D, Nath B. Ad-hoc Positioning System (APS) Using AOA. Proceedings of IEEE Infocom, San Francisco, CA, 2003
- Langendoen K, Reijers N. Distributed localization in wireless sensor networks; a quantitative comparison. Computer Networks, 2003, 43(4): 499~518
- Niculescu D, Nath B. Position and orientation in ad hoc networks. Ad hoc networks, 2004, 2: 133~151
- Niculescu D, Nath B. Localized position in ad hoc networks. Ad hoc Networks, 2003, 1: 247~259
- Shang Yi, Shi Hongchi, Ahmed A A. Performance study of localization methods for ad-hoc sensor networks. the 1st International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS'04), Fort Lauderdale, October 2004
- Niculescu D. Positioning in Ad Hoc Sensor Networks. IEEE Network, 2004, 18(4): 24~29
- Lu G, Edwards R M, Ladas C. Mobile Node Positioning in Mobile Ad Hoc Network. In: Proceeding of the London Communications Symposium 2003, London, 2003
- Girod L, Bychovskiy V, Elson J, et al. Locating tiny sensors in time and space; A case study. In: Proceedings of the International Conference on Computer Design (ICCD 2002), 2002. 214~219
- Hightower J, Boriello G, Want R. SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength. UW CSE 2000-02-02, Univ. Washington, Seattle, Feb. 2000
- Girod L, Estrin D. Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing. Intelligent Robots and Systems, 2001, 3: 1312~1320
- Patwari N, Hero III A O, Perkins M, et al. Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003, 51(8): 2137~2148
- Arias J, Zuloaga A, Jesu's La'zaro, et al. Malguki: an RSSI based ad hoc location algorithm. Microprocessors and Microsystems, 2004, 28 (8): 403~409
- Kitasuka T, Nakanishi T, Fukuda A. Location Estimation System using Wireless Ad-Hoc Network. In: Proceeding of the 5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), Kyushu University, Japan, Oct. 29, 2002
- Gustafsson F, Gunnarsson F. Positioning using time-difference of arrival measurements. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal. Processing, 2003, 6: 6~10

文强制产生独立的确认数量差不多(延迟 ACK 规定,收到两个连续的数据报文必须确认)。另外,由于瓶颈带宽的存在,网络会产生报文丢失现象,加上捎带确认的作用,使 DBA 的 ACK 数量比理论计算的要多。

为了消除改进算法可能抢占带宽资源的影响,设定 R_1 和 R_2 之间带宽为 12Mbps,这样消除了瓶颈带宽的影响,重新重复了上述试验,得到表 2 所示的数据。

表 2

确认类型	10ms		50ms		250ms	
	Tp(s)	N_ack	Tp(s)	N_ack	Tp(s)	N_ack
DBA	1.91	43	4.23	206	10.81	38
0msDACK	1.86	668	4.02	667	10.44	667
50msDACK	2.25	345	4.45	357	11.38	356
200msDACK	2.45	346	4.52	349	11.25	363

表 2 的数据体现了链路带宽足够,传输报文不会丢失的情况下的对比数据。表 2 具有和表 1 相似的统计特性。对比表 1 的数据发现,在链路状态比较好的时候,DBA 的 ACK 报文数量进一步减少。同时 DBA 和其它延迟 ACK 的传输时间保持类似的比例,表明改进的算法和其它 TCP 是兼容的。

瓶颈带宽仅在链路延迟比较小时对数据传输率有影响。当链路延迟比较大的时候,如果要充分利用带宽,不但需要增加发送窗口大小,也需要增加接收窗口大小,从而让发送窗口不受小接收窗口的限制。

结论 本文通过对 TCP 滑动窗口协议的分析,发现在接收方进行确认的时候,或者因为延迟确认影响了数据传输效率,或者会增加确认报文的数量,给系统带来较重的负担。经过认真分析目前 TCP 的应用环境,提出一种基于按需确认的 TCP 协议改进算法。仿真分析发现,该算法在大量减少 TCP ACK 数量的同时,还保持良好的数据传输效率,提高了整体网络性能,并能同传统 TCP 协议友好共存。

参考文献

- 1 Van Jacobson. Congestion avoidance and control. ACM Computer Communication Review, 1988, 18(4): 314~329
- 2 Stevens W. TCP slow start, congestion avoidance, fast retransmit, and fast recovery algorithms. RFC 2001, 1997
- 3 Matthew M, Jamshid M, Sally F, et al. TCP selective acknowledgement option. RFC 2018, 1996
- 4 Brakmo L S, Peterson L L. TCP vegas; End-to-end congestion avoidance on a global Internet. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1995, 13(8): 1465~1480
- 5 Braden R. Requirements for Internet Hosts - Communication Layers. STD 3, RFC 1122, October 1989
- 6 Paxson V, Allman M, Dawson S, et al. Known TCP implementation problems. RFC2525, Internet Engineering Task Force, Mar. 1999
- 7 Singh A K, Kankipati K. TCP-ADA; TCP with Adaptive Delayed Acknowledgement for Mobile Ad Hoc Networks. WCNC 2004 / IEEE Communications Society, 2004. 1685~1690
- 8 Paxson V. Measurements and analysis of end-to-end Internet dynamics; [Ph. D dissertation]. UC Berkeley, 1996

(上接第 31 页)

- 27 Bahl P, Padmanabhan V. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In: Proc of Infocom, 2000, 2: 775~584
- 28 Meguerdichian S, Slijepcevic S, Karayan V, et al. Localized algorithms in wireless ad-hoc networks; Location discovery and sensor exposure. Proceedings of the 2nd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing, 2001
- 29 Wylie M P, Holtzman J. The non-line of sight problem in mobile location estimation. Proc IEEE International Conference on Universal Personal Communications, 1996, 2: 827~831
- 30 Kleinrock L, Silvester J. Optimum transmission radii for packet radio networks or why six is a magic number. IEEE National Telecommunications Conference, Birmingham, Alabama, 1978
- 31 Nagpal R. Organizing a global coordinate system from local information on an amorphous computer; [Technical Report 1666]. MIT AI Lab, 1999
- 32 Capkun S, Hamdi M, Hubaux J-P. GPS-free positioning in mobile ad-hoc networks. Cluster Comput, 2002, 5(2): 157~167
- 33 Benbadis F, Friedman T, de Amorim M D, et al. GPS-Free-Free Positioning System for Wireless Sensor Networks. IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), Dubai, United Arab Emirates, March 2005
- 34 Niculescu D, Nath B. DV based positioning in ad hoc networks. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1/4): 267~280
- 35 Savarese C, Langendoen K, Rabaey J. Robust Positioning Algorithms for Distributed Ad-Hoc Wireless Sensor Networks. In: Proc. Usenix Annual Technical Conference, Monterey, CA, June 2002. 317~328
- 36 Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices. IEEE Personal Communications Magazine, Special Issue on Smart Spaces and Environments, 2000, 7(5): 28~34
- 37 Howard A, Mataric M, Sukhatme G S. Localization for Mobile Robot Teams Using Maximum Likelihood Estimation. Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Lausanne, Switzerland, October 2002
- 38 Niculescu D, Nath B. Error characteristics of ad hoc positioning systems (APS). Proc 5th ACM MobiHoc, Tokyo, May 2004
- 39 Robinson D P, Marshall I W. An Iterative Approach to Locating Simple Devices in an ad-hoc Network. London Communications Symposium, 2002
- 40 Benson J P, Sreenan C J. High-Precision Ad-Hoc Indoor Positioning in Challenging Industrial Environments. Proceedings of the 1st Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC2004), Hanover, Germany, March 2004
- 41 Patwari N, O'Dea R J, Wang Y. Relative location in wireless networks. In: IEEE VTC, May 2001, 2: 1149~1153
- 42 Cong L, Zhuang W. Hybrid TDOA/AOA mobile user location in wideband CDMA systems. IEEE International Conference on Third Generation Wireless Communications, June 2000
- 43 Krishnamachari B, Wicker S, Bejar R. Phase transition phenomena in wireless ad-hoc networks. GLOBECOM, San Antonio, TX, 2001
- 44 Bulusu N, Estrin D, Heidemann J. Tradeoffs in location support systems; The case for quality-expressive location models for applications. Proc of the Ubicomp 2001 Workshop on Location Modeling for Applications, Atlanta, 2001
- 45 Avvides A, Park H, Srivastava MB. The bits and flops of the N-hop multilateration primitive for node localization problems. Proc of the 1st ACM Int'l Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, Atlanta; ACM Press, 2002
- 46 Bergamo P, Mazzini G. Localization in sensor networks with fading and mobility. IEEE PIMRC, 2002. Lisbon, Portugal, September 2002
- 47 Sundaram N, Ramanathan P. Connectivity based location estimation scheme for wireless ad hoc networks. Proceedings of Globecom, 2002, 1: 143~147