

无线传感器网络中一种基于多跳导标的分布式节点定位算法^{*})

刘克中 王 殊 胡富平 许昌春 袁 勇

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

摘 要 针对无线传感器网络内在特点及经典 Beacon-based 定位方法的局限性,提出了一种新的基于多跳导标节点的分布式节点定位策略。其主要原理在于应用距离矢量路由法获得邻近导标节点的同时,在选择参与定位的导标节点集时考虑了导标节点共线性及未知节点与导标节点的位置关系,并在此基础上提出了不依赖于复杂优化计算的基于权值的位置估算策略。仿真研究表明,提出的算法具有很好的自适应性、分布性、可扩展性和鲁棒性,特别是算法在计算复杂度及定位结果鲁棒性等方面表现出了很好的性能,适合应用于大规模无线传感器网络。

关键词 定位方法,分布式计算,普适计算,无线传感器网络

A Distributed Localization Algorithm Based on Multi-hop Beacon in Wireless Sensor Networks

LIU Ke-Zhong WANG Shu HU Fu-Ping XU Chang-Chun YUAN Yong

(Department of Electronics and Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract A novel approach to the localization of sensors in wireless sensor networks is proposed in this paper. The principles of proposed algorithm are acquiring the beacons utilizing the distance vector routing scheme, and then selecting some beacons as references according to the collinearity of beacons and the relative location relation of the self-node and beacons. Finally, a weighted-based location estimate strategy is utilized, which is independent of the complex optimize computation. The extensive simulation study shows that the proposed algorithm is self-adaptive, distributed, scalable and robust. It also exhibits fine performances on computation complexity and variance of localization, which is suitable for the node localization in large-scale wireless sensor network.

Keywords Localization scheme, Distributed computing, Pervasive computing, Wireless sensor networks

1 引言

近年来,无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)以其广阔的应用前景引起学术界与工业界的广泛关注和深入研究。目前,无缝协调已成为无线传感器网络系统解决方案的瓶颈,而无缝协调的基础便是网络中传感器节点的位置(坐标)信息^[1]。可以说,无线传感器网络中传感器节点的位置信息不仅对网络本身的协议设计和网络协调管理具有重要的理论意义^[2,3],而且在众多相关的应用领域,如目标跟踪、目标识别、智能环境和精细农业等,同样具有非常重要的实际意义^[1]。因此,节点定位已经成为无线传感器网络研究领域的重要研究方向。

根据无线传感器网络节点定位研究领域的最新研究进展,可以将已经提出的定位方法分为两类,即基于导标节点的定位策略和非基于导标节点的定位策略。所谓导标节点,即在网络初始化阶段便能通过一定的方法或设备获得自身位置(坐标)信息的节点。由于导标节点能为其它节点的位置估计提供帮助和参考,因此也被称为参考节点或锚节点。典型的基于导标节点的定位方法包括 Bulusu 等提出的质心算法(Centroid Scheme)^[5]、Niculescu 等提出的 DV-Hop 定位方法^[6]、He 提出的 APIT 定位方法^[7]、Savvides 等提出的 AHL-OS 定位方法^[8]、Shang 等提出的 MDS 算法^[9]等。非基于导标节点的定位方法没有假设导标节点在网络中的可用性和有效性,即所有节点均具有同一性,该类定位方法包括 Nasipuri 提出的基于智能天线的无线传感器网络节点定位方法^[10]、Priy-antha 等人提出的 AFL(Anchor-Free Localization)定位算

法^[11]等。比较两类算法,非基于导标节点的定位方法通常需要依赖于其它复杂的基础设施或者是大规模集中式计算,而无线传感器网络中的节点往往会受到能量供给及节点计算能力等方面的约束,因此非基于导标节点的定位方法用于完全自组织的大规模网络并不合适^[12]。基于导标节点的节点定位方法往往在算法的自适应性、可扩展性及鲁棒性方面具有更为明显的优势,也因此受到人们普遍关注。值得注意的是,由于目前常用的测距技术如 RSSI, TOA, TDOA 和 AOA 等在测距精度、时间同步要求、硬件与功耗等方面的局限使得基于测距原理的定位技术并不适用于低功耗、低成本的应用领域^[13]。因此,探讨含导标节点的网络拓扑条件(下称“异构网络”)下非基于测距(Range-free)的定位方法具有重要的实际意义,其中典型算法当属质心算法和 DV-Hop 算法。

本文将在研究这两种典型算法性能的基础上,根据无线传感器网络的内在特点及要求,提出异构网络中一种新的基于导标节点的定位方法。文章第 2 节简单介绍质心算法和 DV-Hop 算法的原理和定位性能;第 3 节将详细阐述本文所提出的算法的主要原理;第 4 节将对提出的算法进行实验仿真分析并与经典算法在定位性能方面进行比较、分析;最后给出本文的结论。

2 异构网络中典型非基于测距定位算法

2.1 质心定位方法(Centroid algorithm)^[5]

质心算法是一个典型的用于异构无线传感器网络中的分布式定位方法,它主要利用了导标节点位置信息及网络连接信息来实现对网络中未知节点位置的估算。定位执行过程

^{*})国家自然科学基金资助(0572049)。

中,每个导标节点在一定的周期之内,随机向周围邻居节点广播一次自己的位置信息,其通信距离之内的所有未知节点能记录收到的广播信息。通过一段时间的监听,未知节点的邻居导标节点集合为 $\{B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{ik}\}$,其中 B_{ij} 的地理坐标为 (X_{ij}, Y_{ij}) ,未知节点的位置必定在这些导标节点通信领域的公共区域。在位置估算中,将导标节点组成的二维多边形的质心(中心)作为未知节点的估算位置,如(1)式。

$$(X_{est}, Y_{est}) = \left(\frac{X_{i1} + \dots + X_{ik}}{k}, \frac{Y_{i1} + \dots + Y_{ik}}{k} \right) \quad (1)$$

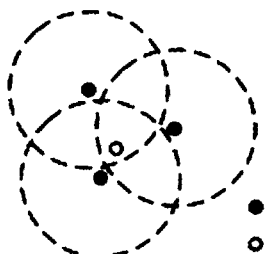


图1 质心定位算法示意图

质心定位原理如图1所示。定位算法的通信和计算复杂度均为 $O(k)$,其中 k 表示在射频传输距离之内的导标节点数量。由于该算法仅仅用到邻居导标节点的信息,因此计算和通信的复杂度将随着导标节点的密度增加呈线性增加,而不会受到系统的尺寸和规模变化的影响,即该算法具有广泛的可扩展性。

理论上讲,可以通过在网络中增加导标节点数量(密度)来增加导标节点通信领域的重叠部分,并使得定位区域的间隔尺寸变得更小,从而达到提高位置估算精度的目的。但要达到这个要求,同时兼顾较高的定位覆盖率,对于随机分布的网络节点而言,往往需要很高的导标节点比例。设导标节点密度为 λ ,则在某一通信领域内至少有 n 个导标节点的概率为:

$$\Pr(d \geq n) = 1 - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\lambda^k}{k!} \cdot e^{-\lambda} \quad (2)$$

根据式(2),理论上可以计算,当导标节点密度为3时,任一未知节点周围有3个及以上导标节点的概率为57.6%。如果达到90%及以上的可定位节点比例,导标节点的密度至少为6。而且,上述概率分析还没有考虑边界效应的影响。显然,过高的导标节点密度会大大增加网络的布置成本及通信冲突概率,这是无线传感器网络所不能容忍的。

2.2 DV-Hop定位方法^[6]

DV-Hop方法和质心算法一样,整个定位过程不依赖于测距方法,但不同的是它利用了多跳导标节点信息。

DV-Hop算法由3个阶段组成。首先使用典型的距离矢量交换协议,使网络中所有节点获得距导标节点的跳数(Distance in hops)。第2阶段,在获得其他导标节点位置信息和跳数信息之后,导标节点计算网络平均每跳距离,然后将其作为一个跳距校正值(Correction)广播至网络中。当接收到校正值之后,节点根据跳数信息与跳距信息估计到附近导标节点之间的欧氏距离。显然,当未知节点获得与3个或更多导标节点的欧氏距离时,则可在第3阶段可执行三边测量定位法进行位置估算。

导标节点 (X_i, Y_i) 的校正量 c_i 可以采用(3)式计算。

$$C_i = \frac{\sum \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}}{\sum h_{ij}} \quad i \neq j, \forall j \quad (3)$$

式中 (X_j, Y_j) 为附近导标节点的坐标, h_{ij} 为本节点到附近导标节点的跳数。

如图2所示,已知锚节点 $L1$ 与 $L2, L3$ 之间的距离和跳数。 $L2$ 计算得到校正值(即平均每跳距离) $(40+75)/(2+5)=16.42$ 。在上例中,假设 A 从 $L2$ 获得校正值,则它与3个导标节点之间的距离分别为 $L1-3 \times 16.42, L2-2 \times 16.42, L3-3 \times 16.42$ 。然后使用三角测量定位法确定节点 A 的位置。

DV-hop定位方法的主要优点在于通过利用多跳导标信息提高了可定位节点比例,但算法适应性较差,仅适用于节点均匀分布的网络之中,即网络在各个方向上的特性具有较好的一致性时,校正量才能较为合理地跳距估计。显然,对随机分布的自组织的无线传感器网络而言,这种假设具有很大的局限性。

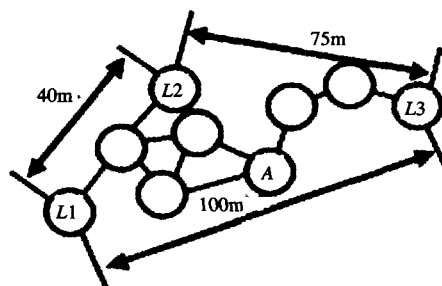


图2 DV-Hop定位方法实例图

3 基于多跳导标节点的分布式定位算法(Multi-Hop Beacon based Localization Algorithm)

根据上述分析,质心算法和DV-Hop算法还只能在一定条件下实现无线传感器网络中的节点定位。质心算法没有有效利用多跳导标节点信息,而DV-Hop利用了多跳导标节点信息,但在多边测量原理中使用平均跳距代替真实跳距,使得位置估计会存在较大误差甚至难以收敛,尤其在网络拓扑不规则情况下。因此,如何在提高定位节点比例的同时,提高定位结果的可靠性是值得研究的课题。在对无线传感器网络拓扑结构研究的基础上,本文提出了一种新的基于多跳导标节点的分布式节点定位方法(Multi-Hop Beacon based Localization Algorithm, MHB)。和传统的DV-Hop算法相比,MHB算法的主要特点是考虑了导标节点之间的共线程度以及未知节点与导标节点之间的位置关系来选择参与定位的导标节点,从而达到提高定位结果可靠性的目的。而且,在位置估计过程中,避免使用复杂的优化算法,减少了计算代价。整个算法执行过程分两步进行:一是导标节点的选择,二是基于权值的未知节点的位置估算。

3.1 邻居导标节点选择

MHB定位算法的主要原理是从附近众多导标中选择3个参与定位的导标节点,且几何位置关系上要求尽可能满足未知节点属于3个导标组成的三角形的内点,然后直接利用未知节点与导标节点的最短跳数估计未知节点的坐标。

为了增加未知节点位于导标三角形以内的概率,我们通过两个方面进行约束:一是通过引入导标共线度,增加导标所围成三角形的面积;二是利用三角形内点的几何特性。定义1给出了共线度的定义。

定义1 令平面上任意三点所形成的三角形的最长边为

$l_{\max}$, 该边上的高即为最小的高 $h_{\min}$ (边 $\times$ 该边对应的高 = 2 倍三角形面积, 所以长的边对应小的高), 定义最小的高 $h_{\min}$ 与最长的边 $l_{\max}$ 的比值为这三点的共线度。为了实现共线度的归一化, 归一化共线度的定义如(5)式:

$$C = \begin{cases} 0, & \text{三点共线} \\ 2\sqrt{3}h_{\min}/(3l_{\max}), & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

根据上述定义, 两个相似三角形有相等的共线度, 这样可以考虑单位圆的内接三角形的共线度的取值范围。如图 3 所示, 假设最长的边为 AB, 现在固定 AB, 当 C 从 A(B) 向 P 点 (AB 弧的中点) 靠近时, 随着高 CH 的增大, 共线度逐渐增大, 位于 P 点时达到最大值。然后在保持 AB 为最长边的前提下, 减小 AB 的长度 (通过上下移动 AB), 在 AB 与 PA 和 PB 相等时共线度取最大值, 为 1。

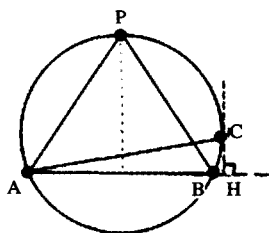


图 3 共线度取值范围求解图示

通过上述分析可以看出, 定义的共线度的取值范围为 $[0, 1]$ 。共线度值越小, 表示 3 个点越接近共线。而当 3 点完全共线时, 三角形退化, 此时的共线度为 0。

引入共线度之后, 可以通过设定共线度阈值来从参考节点中选取共线性比较差的节点来参与位置估计。尽管共线度对判断三角形内点没有直接帮助, 但作为一个补充条件, 可以减少因为跳距估算三角形内点所引起判断误差的概率。

虽然在已知三角形 3 个顶点坐标的情况下, 判断某一已知坐标信息的点是否属于三角形内点并不难。但在未知节点实际物理坐标不可知的情况下, 判断未知节点是否在导标三角形之内并不容易。文[2]利用了节点移动特性来判断三角形内点, 但结果并不理想。考虑到外点离三角形越远, 到三角形定点的距离越远, 因此利用未知节点到导标三角形顶点的距离的上界来拒绝远距离外点的方法。首先, 引入了 Klamkin 不等式, 根据 Klamkin 定理可以得到内点到三角形各顶点的距离之和一个近似上界。

定理 1 (Klamkin 定理) $\triangle ABC$ 中, $AB \geq BC \geq CA$, P 是 $\triangle ABC$ 内的任一点, 则 $PA + PB + PC < AB + BC$ 。

(证明略)

为了进一步减少因为跳数来替代欧式距离引起的判断误差, 在导标节点选择过程中还使用下面的定理。

定理 2 在导标三角形内的一个未知节点, 到最远导标的距离必定小于导标三角形的最长边。

证明: 如图 4 所示, 节点 A、B、C 为导标节点, 节点 O 为导标三角形以内的未知节点。显然, $\angle AOB + \angle BOC + \angle COA = 360^\circ$ 且 $\angle AOB$ 、 $\angle BOC$ 、 $\angle COA$ 均小于 180° 。

则其中的最大角度必定大于 $1/3 \times 360^\circ = 120^\circ$ 且小于 180° ; $\angle AOB$ 、 $\angle BOC$ 、 $\angle COA$ 中相对较小的两个角度之和必定大于 180° ;

故 $\angle AOB$ 、 $\angle BOC$ 、 $\angle COA$ 中第二大的角度必定大于 90° 。不失一般性, 假设 BO 为最长边, 则 $\angle AOB$ 、 $\angle BOC$ 中至少一个角度大于 90° 。

因此, BO 必定小于 AB 或者 BC , 即上述结论成立。

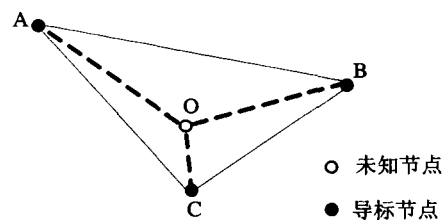


图 4 定位中的导标节点与未知节点拓扑关系图

至此, 已经完成了某一未知节点选择合适导标节点方法的描述。需要说明的是, 在整个导标节点的选择过程中, 为了减少网络拓扑不规则性对内点判断的影响, 优先选择距离近的导标节点。在理论上, 可以利用(2)式计算, 当导标节点的密度为 1 时, 3 跳之内的导标节点数量至少为 3 个的概率为 99%, 至少为 5 个导标节点的概率为 88.2%。因此, 合理选择多跳导标节点, 可以大大减少网络的布置成本。

3.2 基于权值的未知节点位置估算

未知节点在形成定位导标节点集之后, 需要利用一定的定位策略估算未知节点的坐标。至此, 已经选择了合适的导标节点参与未知节点的位置估计, 而且可以获得每个导标的最小跳数。这里应用了扩展的质心位置估计方法来实现未知节点的位置估算。所谓扩展质心位置估计方法, 即根据未知节点到导标节点之间的距离确定权值; 距离越近, 权值越大, 反之。扩展质心位置估计方法的具体实现描述如下:

设未知节点到导标三角形 3 个顶点导标的跳数依次为 h_1, h_2, h_3 , 定位导标节点坐标依次为: (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 和 (x_3, y_3) , 则对应的权值依次为:

$$w_i = \frac{1/h_i}{\sum_{k=1}^3 1/h_k} \quad i=1, 2, 3 \quad (6)$$

未知节点的估算坐标 (x, y) 为:

$$x = \sum w_i x_i \quad y = \sum w_i y_i \quad (7)$$

至此, 已经完成了未知节点的位置估计。由于没有使用优化方法, 整个算法的通信复杂度为 $O(k)$, 其中 k 为所导标节点集中最大跳数范围内的所有导标节点数量; 计算复杂度为 $O(l)$, 大大低于 DV-hop 算法。整个算法的伪码描述如图 5 所示。

```
bool_update_beacon = FALSE;
When a positioning packet is received,
  if new anchor or lower hop count then
    if NumNeighBeacon < 3 or hop_count < maximum_hop then
      compute DegNonCollinear;
      compute InnerTriBeacon;
      if DegNonCollinear < NC_threshold and
        InnerTriBeacon = TRUE then
        Store this beacon for node localization;
        bool_update_beacon = TRUE;
        Update the variable maximum_hop;
      end
    end
    Broadcast new packet for this anchor.
  end

if NumNeighBeacon >= (dimension of sapace + 1) and
bool_update_beacon = TRUE then
  Make location estimation based on the weight value;
end
```

图 5 MHB 算法伪码

4 仿真与评估

通常,无线传感器网络的节点定位方法除了算法需要较好的分布性、自适应性和可扩展性之外,评价指标还包括节点定位精度、定位覆盖率、定位结果的鲁棒性与可靠性等。本节将主要从上述各方面评价 MHB 算法性能。实验中,使用 Matlab6.5 和 OMNeT++ 对提出的算法进行了仿真分析。

在网络仿真的过程中,在 $[0,200] \times [0,200]$ 的区域产生一定数量随机分布的导标节点和未知节点。为了实现在各种条件下对算法性能的比较分析,采用了变化通信距离来达到改变网络节点密度的目的。

定位误差的分析是衡量定位质量的重要指标。为了衡量定位算法的有效性,定义如式(8)所示的定位误差(Localization Error, LE),即估算位置与实际位置的欧氏距离。

$$LE = \sqrt{(X_{est} - X_a)^2 + (Y_{est} - Y_a)^2} \quad (8)$$

其中 (X_a, Y_a) 为未知节点的实际位置(坐标)。

此外,其它评价指标含义阐述如下:可定位节点比例,即可以实现位置估计的未知节点数量除以网络中未知节点数量的总和;定位平均误差,沿用式(8)定义的定位误差,则定位平均误差为所有可定位节点定位误差的平均值;定位误差统计方差,将所有可定位节点的定位误差作为样本值,计算统计方差;定位最大误差,即所有可定位节点位置估计误差的最大值;定位代价,即定位所需要的计算代价和通信代价。显然,为了评价一个算法的优劣,不能简单地从某一个或两个性能的优越来判断,必须综合考虑相关的指标,进行全面的分析和评价。

首先,考察算法的分布性和可扩展性。由于 MHB 算法中的每个未知节点进行位置估计过程中,只利用了附近网络拓扑信息,而且通过节点间的信息交换和协调能在每个未知节点上自行构造导标节点集,并依靠自行计算的模式实现位置估算,这说明本文提出的定位方法属于完全分布式的计算模式。这也说明了该算法具有很好的可扩展性,能应用于大规模无线传感器网络。

从仿真结果分析可定位节点比例,MHB 定位方法,定位覆盖率略低于 DV-Hop 定位方法,这是由于 MHB 存在对导标节点的选择问题,使得即使在未知节点一定的领域内存在 3 个或以上导标节点,但可能不符合选择要求而导致定位失败。但值得注意的是,在网络密度为 10 时,MHB 方法能达到接近 95% 的节点定位覆盖率,而且在实验中还可以发现,接近 5% 的不可定位节点大部分为边界节点。而质心算法的定位覆盖率明显低于 MHB 算法和 DV-Hop 算法,甚至在网络密度为 6 以下时,网络中的可定位节点只有 2% 左右;节点密度为 12 时,可定位节点比例不到 30%;节点密度为 16 时,可定位节点比例才达到 63%。这充分验证了前面的理论分析,即可定位节点比例不能满足网络定位的要求。综合比较,MHB 方法和 DV-Hop 方法能够满足无线传感器网络的定位要求,而质心算法对导标节点的密度要求太高,不适用于随机分布网络中的节点定位。

对定位误差结果进行分析可以发现,三种算法的平均误差在 0.3~0.5R,该误差值是能满足无线传感器网络的大部分应用场合要求的^[13]。需要注意的是,在密度小于等于 8 时,MHB 定位精度高于 DV-Hop 定位精度,这说明稀疏网络条件下 MHB 算法比 DV-Hop 算法更优。但当网络密度更高时,MHB 定位精度却低于 DV-Hop 定位精度,最大差值约达

到 0.1R。另外,质心算法也具有较好的定位精度,与理论分析基本一致。总体来讲,平均误差的差别不大。

误差的稳定性方面,MHB 算法显示出了很强的优越性。从实验结果可以看出,在网络密度变化的过程中,其定位的平均误差几乎没有变化,这说明 MHB 算法具有很强的稳定性。此外,如图 8 所示,MHB 算法相比传统的 DV-Hop 算法显示出了更小的统计方差。而在网络密度为 15 左右,两者的误差统计方差才接近一致。这说明 MHB 算法不仅计算量相对要小得多,而且其定位误差更为稳定,显示出了很高的鲁棒性。MHB 算法得到的估算位置的鲁棒性在定位最大误差图(图 9)中得到了进一步证明,MHB 算法得到的位置估计最大误差均在 1.0~1.3R。在网络密度从 4 到 16 变化过程中,都明显低于 DV-Hop 方法得到的位置估计误差最大值。而 DV-Hop 算法得到的最大估计误差显然超出了传感器网络的容忍限度,且该算法在如何有效避免产生过大误差的问题上没有提出有效的方法。

综上所述,MHB 定位算法在算法的分布性、计算代价、定位结果的有效性和鲁棒性等方面均表现出了很强优越性。

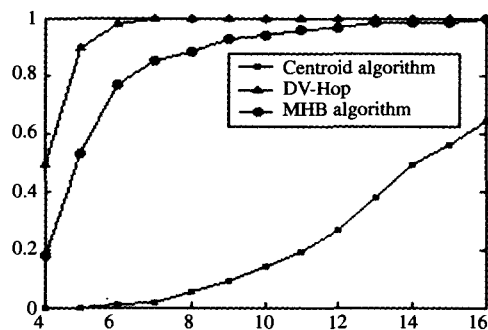


图6 可定位未知节点比例

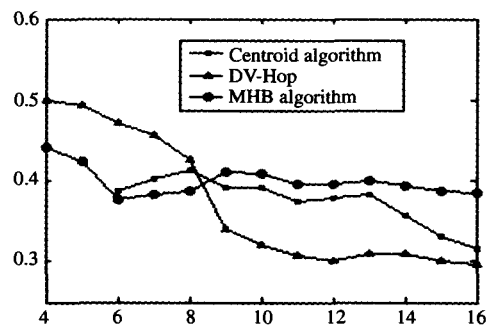


图7 定位平均误差

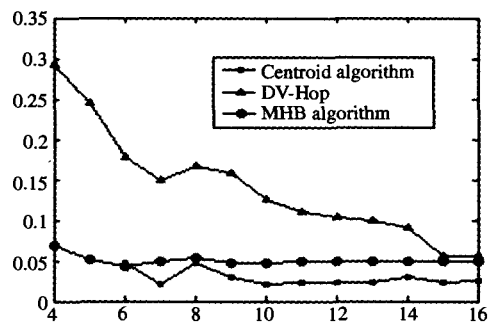


图8 定位误差统计方差

来处理算法计算,所以要求在线路由算法越简单快捷越好。表1列出了各种算法的计算复杂度和每条路由的计算时间。为了数据的可靠性,这里的每条路由的计算时间是对每种算法在相同的运行环境下运行20次得出的平均统计时间,而每次都是计算100个业务请求得出的每个业务请求所花费的平均时间。

表1 算法复杂度和每条路由的计算时间

算法名称	算法复杂度	每条路由的建立时间 ($\times 10^{-3}$ s)
MHA	$m+n \log n$	2.8
WSP	$2(m+n \log n)$	5.5
MIRA	$(mn^2+1)(m+n \log n)+m$	30389.1
FDRA	$2m+n \log n$	3.1

从表1可以看出,新算法FDRA比WSP、MIRA的计算复杂度都要低,与最快的MHA算法接近。需要说明的是,表中的数值只是相对值,与计算机的性能和网络拓扑图有关。但是也可以看出,FDRA算法计算复杂度比MIRA要低3~4个数量级,这对于任务繁重的路由器来说是有必要的。MIRA算法的计算复杂度使它不能用于实用的路由算法,不过它为路由算法的深入研究提供了方向。而FDRA算法在线计算的计算复杂度接近MHA算法,可以在实际的路由器上应用,故而FDRA算法的总体性能比MHA、WSP和MIRA要好很多。

综上所述,FDRA算法的计算速度快、路由拒绝率低、重

路由性能好,是快捷高效的动态负载均衡算法。

结束语 本文针对MPLS提出了一种快捷的有带宽保证的动态负载均衡路由算法FDRA,具体描述了FDRA算法。通过仿真分析,结果显示该算法在业务拒绝率和重路由性能方面有很好的表现,并且在计算时间花费上表现出了很好的性能。

参考文献

- 1 Guerin R, Orda A, Williams D. QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions. In: Proc. IEEE GLOBECOM'97, phoenix, AZ, 1997, 3:1903~1908
- 2 Kodialam M S, Lakshman T V. Minimum Interference Routing with Applications to MPLS Traffic Engineering. IEEE INFOCOM, 2000, (2):884~893
- 3 Suri S, Waldvogel M, Bauer D, et al. Warkhede, Profile-Based Routing and Traffic Engineering, Computer Communications, 2003, 26(4):351~365
- 4 Gopalan K, Chiueh Tzi-cker, Lin Yow-jian. Load Balancing Routing Algorithm with bandwidth-delay guarantees. IEEE Communications Magazine, 2004:108~113
- 5 Katz D, Yeung D, Kompella K. Traffic engineering extensions to OSPF. Work in progress, Internet Draft, draft-katz-yeung-ospf-traffic-05.txt, 2001
- 6 Li T, Smit H. IS-IS extensions for traffic engineering. Work in progress, Internet Draft, draft-ietf-isis-traffic-04.txt, 2001
- 7 Berger L. GMPLS Signaling Resource ReserVation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions, IETF RFC 3473, Jan. 2003
- 8 Ashwood-Smith P, Berger L. GMPLS Signaling Constraint-based Routed Label Distribution Protocol (CR-LDP) Extensions, IETF RFC 3472, Jan. 2003

(上接第57页)

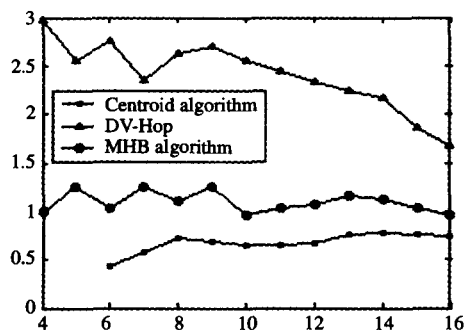


图9 最大定位误差

结论 针对无线传感器网络的网络结构特点及经典Range-free定位方法的局限性,本文提出了一种新的基于多跳导标的分布式节点定位方法,该方法可以有效解决无线传感器网络中少导标节点情况下节点定位中的定位代价的经济性和定位结果的可靠性之间的平衡问题。MHB方法和经典的基于导标节点的网络定位方法相比,主要区别在于能够选择合适的导标三角形,使得本节点尽可能位于三角形之内,大大减少了定位估计误差,提高了定位结果的稳定性。该方法的主要特点在于:(1)能够根据局部网络拓扑结构动态选择合适导标节点,进行协作定位;(2)不依赖复杂的测距方法和优化计算,具有较小的计算代价,能满足无线传感器网络节点资源受限的要求。仿真实验结果同样表明,MHB算法具有很好的自适应性、扩展性和鲁棒性,在大规模无线传感器网络的实际应用中具有较好的应用前景。

参考文献

- 1 Chong C Y, Kumar S P. Sensor Networks: Evolutions, Opportu-

- nities, and Challenges. In: Proc. of the IEEE, 2003, 91(8): 1247~1256
- 2 He T, Stankovic J A, Lu C, et al. SPEED: A Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks. In: Proc. of 23th IEEE Intl. Conf. on Distributed Computing Systems. Providence, RI, United States, 2003, 46~55
- 3 Ko Young-Bae, Vaidya N H. Location-Aided Routing(LAR) in Mobile Ad Hoc Networks. 2000, 6(4):307~321
- 4 Hightower J, Borriello G. Location systems for ubiquitous computing. IEEE Journal on Computer, 2001, 38(6): 57~66
- 5 Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices. IEEE Personal Communications Magazine, 2000, 7(5):28~34
- 6 Niculescu D, Nath B. DV-based positioning in ad hoc network. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1): 267~280
- 7 He T, Huang CD, Blum BM, et al. Range-Free localization schemes in large scale sensor networks. In: Proc. of the 9th Annual Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking. San Diego, CA, United States, 2003, 81~95
- 8 Savvides A, Park H, Srivastava MB. The bits and flops of the N-hop multilateration primitive for node localization problems. In: Proc. of the 1st ACM Intl Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. Atlanta, GA, United States, 2002, 112~121
- 9 Shang Y, Rumi W, Zhang Y, et al. Localization from connectivity in sensor networks. IEEE Transaction on Parallel and Distributed Systems, 2004, 15:961~974
- 10 Nasipuri A, Li K. A directionality based location discovery scheme for wireless sensor networks. In: First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, Atlanta, GA, United States, 2002, 105~111
- 11 Priyantha N B, Balakrishnan H, Demeine E, et al. Anchor-free distributed localization in sensor networks. In: Proc. of the First Intl Conf on Embedded Networked Sensor Systems. Los Angeles, CA, United States, 2003, 340~341
- 12 Wang Shu, Liu Kezhong, Hu Fuping, et al. A Distributed Network Localization Scheme Motivated by Graph Rigidity Theory. In: Proc. of IEEE 12th Intl. Conf. on Telecommunication. Cape-town, South Africa, 2005, 423~427
- 13 Langendoen K, Reijers N. Distributed localization in wireless sensor networks: A quantitative comparison. The Intl Journal of Computer and Telecommunications Networking, 2003, 43(4): 499~518