

一种基于双层栅格划分的无线传感器网络目标定位方法

唐国明¹ 周广新² 谢 羿¹ 汤大权¹ 唐九阳¹

(国防科技大学信息系统工程重点实验室 长沙 410073)¹

(国防科技大学训练部 长沙 410073)²

摘 要 目标定位和跟踪已成为无线传感器网络重要的应用领域。基于栅格部署的无线传感器网络以其特殊的拓扑结构,在目标定位方面具有独特优势。基于栅格部署的传感器网络,在单层栅格定位基础上考虑传感器节点本身的测量误差,提出了一种使用双层栅格定位目标的实用方法。仿真实验揭示了不同因素影响定位精度的一般规律,这对该方法的实际应用具有指导意义。实际系统的测试结果表明,双层栅格定位法不仅能够保证一定的定位精度,而且实时性高、实用性强。

关键词 无线传感器网络,目标定位,栅格定位,双层划分,实时性

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Target Localization Based on Double-level Grid Division in Wireless Sensor Networks

TANG Guo-ming¹ ZHOU Guang-xin² XIE Yi¹ TANG Da-quan¹ TANG Jiu-yang¹

(Science and Technology on Information Systems Engineering Laboratory, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)¹

(Education Department, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)²

Abstract Target localization and tracking have become an important fundamental technology in wireless sensor networks. Because of the special topology structure, grid-deployed wireless sensor networks have a great advantage at target localization. Based on the grid-deployed networks, this paper proposed a double-level grid localization method, which is both theoretical and practical. Simulation results discover the regular pattern between different impacting factors and location error, which is meaningful to the real application of our method. The results of real system prove that the double-level grid localization method can not only keep location precision at some degree, but also has great capabilities of real-time and good practicality.

Keywords Wireless sensor networks, Target localization, Grid division, Double-level dividing, Real-time

1 引言

由于传感器节点体积小、价格低廉、随机部署,而且具有自组织性、鲁棒性和隐蔽性等特点,因此目标的定位和跟踪已成为无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)重要的应用领域^[1,2]。目标定位是目标跟踪的前提和基础,定位算法的优劣决定了跟踪效率的高低。

实时性和准确性是目标定位算法最为关键的两个指标^[3],两者之间存在相互制约的关系:实时性较高的算法一般以牺牲准确性为代价,而准确性较高的算法往往计算量大、复杂度高、实时性低。在某些特定的场合和应用背景下,用户能够容忍一定的定位误差,而对定位的实时性更为关注,如战场环境下对入侵目标的快速发现和跟踪,环境监测中对污染源或火势走向的及时判断,以及野外环境中对动物动态和迁徙

走向的实时观测等。

基于栅格部署的无线传感器网络,虽然对传感器部署的要求较高,但这种特殊拓扑结构的网络在定位过程中具有先天优势,利用节点部署的规律性可以大大提高目标定位的速度,像美军“沙漠直线”系统中的传感器节点就是采用栅格部署的。本文基于栅格部署的无线传感器网络,提出了一种使用双定位层的方法,它一方面提高了单定位层的定位精度,另一方面大大降低了一般定位方法的计算量和复杂度,提高了定位的实时性。此外,本方法还考虑到了传感器在实际工作过程中的感知和测量误差,采用不唯一的节点序列定位栅格和目标,具有更强的灵活性和实际应用价值。

2 相关工作

目前,国内外利用无线传感器网络进行目标定位跟踪的

到稿日期:2011-08-03 返修日期:2011-12-29 本文受国家自然科学基金项目(60903225, 41001260),高等学校博士学科点专项科研基金项目(20114307110008),国防科技大学硕士研究生创新项目(S100505)资助。

唐国明(1986-),男,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络,E-mail:tanguoming2011@163.com;周广新 硕士,工程师,主要研究方向为信息共享、信息集成;谢 羿 博士生,主要研究方向为无线传感器网络、信息资源管理;汤大权 博士,教授,主要研究方向为传感网络、信息资源管理等;唐九阳 博士,副教授,主要研究方向为对等计算、传感网络等。

研究中,定位方法可分为基于距离的定位和与距离无关的定位两类,这些方法不仅可用于传感器节点的自定位,也可用于目标的定位。

基于距离的定位方法主要是利用信号的衰减测算点对点的距离或角度。其中,基于到达时间方法,如文献[4]提出的 TOA(Time of Arrival)算法,根据声速和传输时间计算目标与节点间的距离,并通过多个节点协作估计目标位置;文献[5]提出的 TDOA(Time Difference of Arrival)算法,要求目标同时发出射频和声音两种信号,根据节点接收的两种信号的时间差计算节点与目标的距离,然后由多个节点协作定位目标。此外,文献[6]还提出了基于信号到达角度的 AOA(Angle of Arrival)定位算法等。

与距离无关的定位方法主要根据感知信号的有无来判断目标是否出现在感知范围内,或根据信号强度计算感知节点序列等方法通过多个节点协作完成目标定位。文献[7]中涉及的二元传感器网络定位跟踪方法,根据多个传感器感知范围内目标信号的有和无,协同进行目标定位。近似三角形内点测试法 APIT^[8],首先确定多个包含目标的三角形区域,然后取这些三角形区域的交集,计算该交集区域的质心获得目标的预测位置。文献[9]在目标的定位阶段,利用三角测量算法得到三个圆的重叠区域,然后将该估测区域的质心作为目标的位置。文献[10]中将平面划分为若干多边形,然后根据感知目标信号强度大小的节点序列进行目标定位。

基于栅格划分的定位多用于传感器自身的定位。文献[11,12]中提出如何利用虚拟的栅格进行节点定位,或将锚节点按栅格部署对普通节点进行定位。本文一方面创造性地将栅格部署、栅格划分应用于目标定位跟踪中,发现该方法能够保证一定的定位精度,而且算法复杂度低,实时性高;另一方面,根据实际实验考虑了传感器自身的感知测量误差,这一点在先前的研究鲜有提及。

3 单层栅格定位

定义 1 栅格部署,即在监控区域内,将传感器按等间隔进行纵、横排列,呈现图 1 所示的拓扑结构;拓扑中的每一个正方形称为一个栅格,正方形边长称为栅格边长,其中形如栅格的 $abcd$ 为一个基本定位单元。

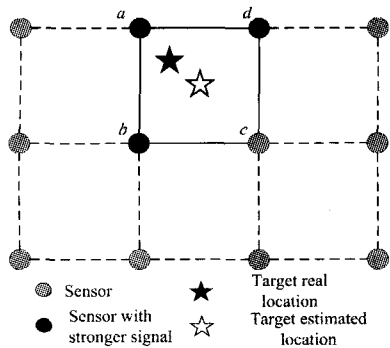


图 1 单层栅格划分下的定位方法

在一个按照栅格部署的无线传感器网络中,可以根据传感器探测到目标信号的强度,近似地将目标定位在某个栅格的中心处。其中最简单的一种定位思想是,将感知信号强度按大小排列,从中选取强度最大的 3 个信号,这 3 个信号对应的感知节点所确定的正方形就是目标所处的栅格,进而可将

目标近似定位于该栅格的中心处,如图 1 所示。

定义 2 在按栅格部署的传感器区域内,上述这种只用一层栅格信息进行目标定位的方法,称为单层栅格定位法。

在应用无线传感器网络硬件平台进行实际实验中发现:当目标出现在栅格中心附近时,可以较为准确地定位其所在栅格;但当目标出现在某个节点或某条栅格线附近时,由于传感器节点本身的感知误差,在以下两种情况下(见图 2),感知强度最大的 3 个节点所确定的栅格并不一定就是目标所处的栅格。

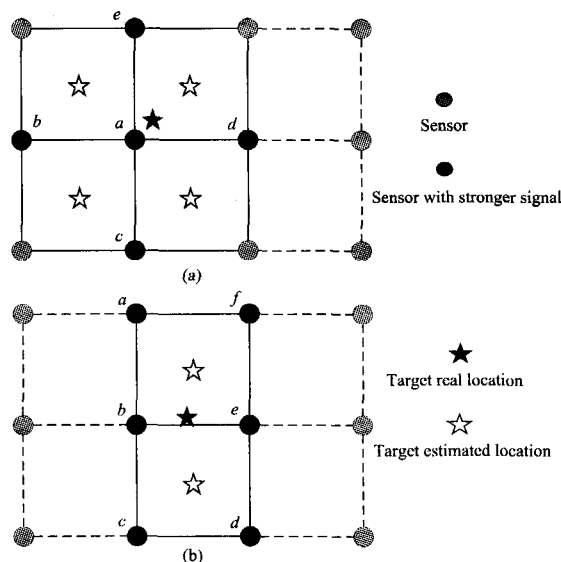


图 2 单层栅格定位法失效的两种情况

• 情况 1 目标出现在某个节点附近

如图 2(a)所示,当目标出现在节点 a 附近时,由于测量误差的存在,节点 b 、 c 、 d 、 e 的信号强度大小可能无法正确区分,所选择的强度最大的 3 个信号可能是 (a, b, c) 、 (a, c, d) 、 (a, d, e) 、 (a, e, b) 等,对应的定位栅格可能是栅格 1、栅格 2、栅格 3 或栅格 4。在这种情况下,无法正确定位目标所在栅格。

• 情况 2 目标出现在某条栅格线附近

如图 2(b)所示,当目标出现在栅格线 (b, e) 附近时,同样由于传感器自身的测量误差,节点 a 、 f 、 c 、 d 的信号强度大小无法正确区分,所选择的强度最大的 3 个信号可能是 (b, e, a) 、 (b, e, f) 、 (b, e, c) 、 (b, e, d) 等,对应的定位栅格可能是栅格 1 或栅格 2。在这种情况下,也无法确定目标所在栅格,上述定位方法失效。

定义 3 不确定区域,指当目标处在该区域内时,相邻几个栅格中有两个或两个以上传感器感知信号强度之差小于传感器本身的测量误差。除此之外的区域称为确定区域。

通过分析可知,单层栅格定位法失效的根本原因就是目标出现在“不确定区域”内,即图 2 中目标所处的栅格顶点或边界区域均为“不确定区域”。单层栅格定位法所基于的传感器感知信号强度绝对准确的思想是不成立的,无法直接应用于实际系统中。要解决这个问题,必须想办法使目标出现的位置不能成为定位栅格的顶点或边界。

4 双层栅格定位

双层栅格定位法的核心思想是:在现有部署节点的拓扑

结构下,划分两类不同的栅格进行定位,使得一类定位栅格的顶点或边界区域恰好是另一类定位栅格的中心区域。这样,目标出现在一层定位栅格的顶点或边界等“不确定区域”内时,即可切换至另一栅格层进行定位。

4.1 算法描述

4.1.1 双层栅格划分

定义4 第一层栅格划分与单定位层相同,如图1所示,称其为基本定位层(Basal Grid Level, BGL);第二层栅格划分如图3(a)所示,称其为扩展定位层(Extended Grid Level, EGL),其中形如栅格的 $abcd$ 为一个基本的定位单元。

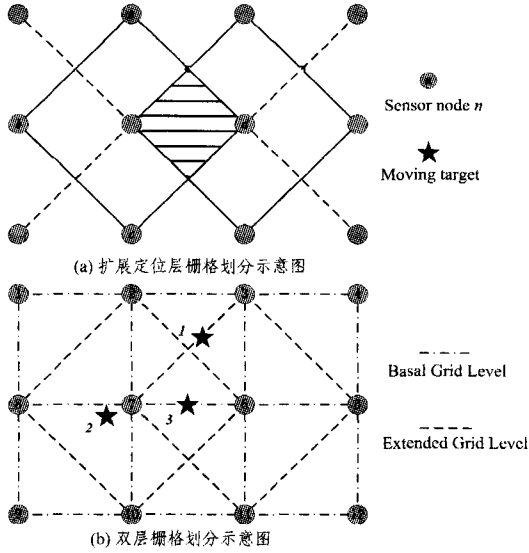


图3

如图3(a)所示,扩展定位层的栅格以某一节点为中心、环绕它的4个节点为顶点。此外可以看出,相邻栅格之间是有重叠的(图中阴影部分),也正是这种冗余的栅格拓扑,使得扩展定位层对目标有更强的适应性和灵活性。

将两个定位层联合起来,得到图3(b)所示的示意图。从图3(b)中可以看出,基本定位层栅格的顶点和边界区域确实为扩展定位层栅格的中心区域;由于其冗余结构,拓展定位层栅格的边界区域只存在于基本定位层栅格的中心附近。这样,就完成了两层不同定位栅格的划分。

4.1.2 定位层选择

既然已经了解到两层栅格中必定有一层适合对当前目标进行定位,下面的问题就是在每次定位过程中,如何选择合适的定位层。

定义5 定位节点序列,在每次定位过程中,从所有传感器获得的目标信号中选择强度最大的前4个,这4个感知信号对应的节点号按大小排列组成节点序列。

获得定位节点序列以后,按以下规律选择定位层,以图3(b)为例:

(1)当目标恰好出现在基本定位层某个栅格的中心区域时,如目标1,由于其处在“确定区域”,定位节点序列必定为 $\{2,3,6,7\}$,即构成基本定位层的一个栅格,因此将目标定位于该栅格中心处。

(2)当目标出现在基本定位层顶点附近时,如目标2,由于处于“不确定区域”,定位节点序列是 $\{2,6,7,8,10\}$ 的一个子集,使用基本定位层无法进行栅格定位,因此将其切换至扩

展定位层;由于子集中必定包含节点7,因此该子集一定可以唯一确定一个扩展定位层栅格,进而可将目标定位于该栅格的中心处。

(3)当目标出现在基本定位层栅格线附近时,如目标3,由于其处于“不确定区域”,定位节点序列是 $\{2,3,6,7,10,11\}$ 的一个子集,若该子集为 $\{2,3,6,7\}$ 或 $\{6,7,10,11\}$,可构成基本定位层的一个单元格,故将目标定于该栅格内;该子集若无法构成基本定位层的一个栅格,则切换至扩展定位层,又因为子集中必定包含节点2和3,故该子集一定可以唯一确定一个扩展定位层栅格,进而可将目标定位于此。

4.2 算法设计与复杂度

在一个包含 N 个传感器节点、呈 n 行 m 列栅格拓扑的无线传感器网络中,进行双层栅格定位需要记录以下信息:1)基本定位层栅格的节点序号及其位置信息,2)扩展定位层栅格的节点序号及其位置信息,3)所有节点的感知信号强度序列。故该方法的空间复杂度为

$$O(n \times m) + O((n+1) \times (m+1)) + O(1) \sim O(n \times m) \quad (1)$$

$n > 2, m > 2$ and $n \times m = N$

记录完两层定位栅格的信息后便可使用双层栅格定位法进行定位,具体算法设计如下。

Algorithm 双层栅格定位法

```

// 获取节点序列
tempSeq[4]=GetSeq(n,m);
//使用基本定位层定位
for (i=1;i<=n;i++)
    for (j=1;j<=m;j++)
        if (Gridmatch(tempSeq,BasalGrid[i,j],nodeSeq))
            set flag=true;
            return BasalGrid[i,j].centroid;
        end if;
    end for;
end for;
//使用扩展定位层定位
if (! flag)
    for (i=1;i<=(n+1);i++)
        for (j=1;j<=(m+1);j++)
            if (Gridmatch(tempSeq,ExendedGrid[i,j],nodeSeq))
                return ExendedGrid[i,j].centroid;
            end if;
        end for;
    end for;
else
    return false;
end if;

```

其中 $GetSeq(int, int)$ 为获取定位节点序列的方法, $tempSeq[4]$ 为获取的定位节点序列; $BasalGrid[i, j]$ 和 $ExendedGrid[i, j]$ 分别包含第 $i \times j$ 个基本定位层栅格和扩展定位层栅格的节点组成($nodeSeq$)和位置($centroid$)信息, $Gridmatch(Seq[], Seq[])$ 为定位节点序列与栅格序列的匹配方法; $flag$ 为一个布尔型标志。

由算法设计可知,该方法的时间复杂度为:

$$O(1) + O(n \times m) + O((n+1) \times (m+1)) \sim O(n \times m) \quad (2)$$

$n > 2, m > 2$ and $n \times m = N$

由上述分析可知,在一个节点总数为 N 的无线传感器网络中,使用双层栅格定位法进行目标定位的时空复杂度仅为

$O(N)$ 。相比其他目标定位方法,该方法的复杂度大大降低,相应地,定位的实时性得到了大幅提升。

4.3 定位误差分析

根据实际实验测试的数据,描绘出基本定位层中的确定区域和不确定区域,如图4所示。其中,“不确定区域1”是相邻4个栅格的不确定区域,“不确定区域2”是相邻两个栅格的不确定区域。当目标出现在这些区域内时,由于传感器自身的感知测量误差,系统将不能准确定位目标所在的栅格。

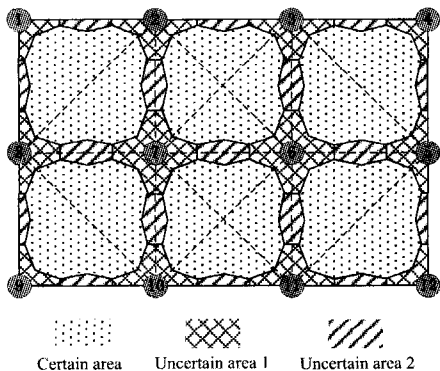


图4 基本定位层下的“确定区域”和“不确定区域”

通过该图,可以用不同区域的面积与总面积的比值近似表示目标出现在该区域的概率,进而可以近似表示定位误差。根据该思想,单层栅格和双层栅格下的平均定位误差可分别表示为

$$Error_{single} = \frac{S_{CA} + 2\sqrt{2}S_{UA1} + 2S_{UA2}}{4L} \quad (3)$$

$$Error_{double} = \frac{S_{CA} + 2S_{UA2}}{4L}$$

式中, S_{CA} 为“确定区域”的面积, S_{UA1} 为“不确定区域1”的面积, S_{UA2} 为“不确定区域2”的面积, L 为栅格边长。相比而言,双层栅格定位比单层栅格定位的精度提高了。

$$\Delta Error = Error_{single} - Error_{double} = \frac{\sqrt{2}S_{UA1}}{2L} \quad (4)$$

5 仿真实验:影响定位精度的因素分析

在使用栅格进行定位的过程中,影响定位精度的因素有很多:1) 噪声误差,传感器本身的精度和环境噪声直接影响到定位节点序列的准确性,从而影响到定位栅格的准确性;2) 采样次数,一次定位过程中采集目标信号次数的多少同样影响定位节点序列的准确程度,次数少了误差大,次数多了时延长,都会造成定位误差的增加;3) 目标速度,直观上,随着目标移动速度增加,定位方法的时延相对增加,误差随之增加;4) 栅格边长,划分栅格的大小很明显可以影响到定位的误差,栅格划分越细,定位越精确,但对传感器数目的要求也越高。

为探索以上因素对定位精度的影响,本文分别使用单层栅格和双层栅格进行仿真实验,以此比较两种方法的优劣,并获取不同因素影响定位精度的一般规律。

5.1 参数设置

本文采用 OPNET^[13] Modeler 14.5 网络仿真器构建无线传感器网络模型,其中所涉及到的具体参数如表1所列。

实验中,采用随机路点模型(Random Way-point)仿真目标的运动规律。在该模型中,移动目标首先在仿真区域内选

择一个目标路点,然后以不大于 V_{max} 的任一速度向该路点做直线运动;到达该路点后,目标先停止一段时间,然后选择新的路点继续运动,如此往复。

表1 仿真实验参数设置

参数	参数取值
仿真区域	500m×500m
栅格边长	50m, 40m, 30m, 20m, 10m
节点数目(对应栅格边长)	121, 169, 289, 676, 2601
定位间隔	0.5s
传感器采样率	5Hz
每次定位的采样次数	1, 2, 3, 4, 5, 6
随机路点模型— V_{max}	5m/s, 10m/s, 15m/s, 20m/s, 25m/s, 30m/s
随机路点模型—暂停时间	1.0s
节点通信半径	150m
节点感知半径	50m
噪声模型	Logarithmic 模型($\beta=4$)
噪声因子 σ	5, 6, 7, 8, 9, 10
仿真时间	100s

5.2 噪声模型

为仿真传感器对目标信号感知的误差,在仿真过程中使用了带噪声的 Logarithmic 信号衰减模型,如式(5)所示。

$$S_i(k) \propto -10\beta \log\left(\frac{d_i(k)}{d_0}\right) + X_i(k) \quad (5)$$

$$d_0 = 1 \text{ and } X_i(k) \sim N(0, \sigma^2)$$

式中, $S_i(k)$ 表示节点 i 第 k 次采集到目标的信号强度, $d_i(k)$ 表示节点 i 在第 k 次采集信号时与目标的直线距离; β 表示衰减因子, $X_i(k)$ 表示节点 i 第 k 次感知到的随机噪声,该噪声大小服从均值为0、方差为 σ^2 的正态分布。

5.3 实验结果

• 噪声(σ)对定位误差的影响

为仿真不同噪声对定位误差的影响,调节了噪声因子 σ 的值,得到如图5(a)所示的结果。从图中可以看出,随着噪声因子的增大,定位误差越来越大。这是由于噪声因子的大小直接影响到定位节点序列的准确程度,噪声越大,定位节点序列的误差越大,定位精度随之降低。在不同的噪声因子下,双层栅格定位法和单层栅格定位法的平均定位误差分别为 $Error_{double} = 8.09m$, $Error_{single} = 8.69m$ 。

• 采集次数(k)对定位误差的影响

为探索不同采集次数对定位精度的影响,改变每次定位时的采样次数,然后观察定位误差的变化情况。由图5(b)可知,当采样次数较少($k=1$ 或 $k=2$)时,由于噪声的存在,最终获取的定位节点序列的可靠性较小、准确性较低;当采样次数较多($k>4$)时,虽然能降低噪声带来的影响,但采样所耗时间也相对增加,即定位时延随之增加,造成定位误差增大。实验结果表明,存在一个合理的采样次数($k=3$ 或 4),使得定位误差尽量小。在不同的采集次数下,两种方法的平均定位误差分别为 $Error_{double} = 6.48m$, $Error_{single} = 7.34m$ 。

• 目标移动速率(V_{max})对定位误差的影响

在一定的采样次数下,目标的移动速率对定位精度影响较大。如图5(c)所示,在随机路点模型下,随着目标最大速率的增加,定位误差随之增加,这是因为定位的时延随速率的增加相对增长。在不同的移动速率下,两种方法的平均定位误差分别为 $Error_{double} = 6.22m$, $Error_{single} = 6.92m$ 。

• 栅格大小(L)对定位误差的影响

图5(d)显示了栅格划分粒度(节点数目)对定位精度的

影响。显然,随着栅格边长的增加,所使用的传感器数目变少,但可选择的定位点也随之减少,故定位误差随之增大。在不同的栅格边长下,两种方法的平均定位误差分别为 $Error_{double} = 8.77m$, $Error_{single} = 10.21m$ 。

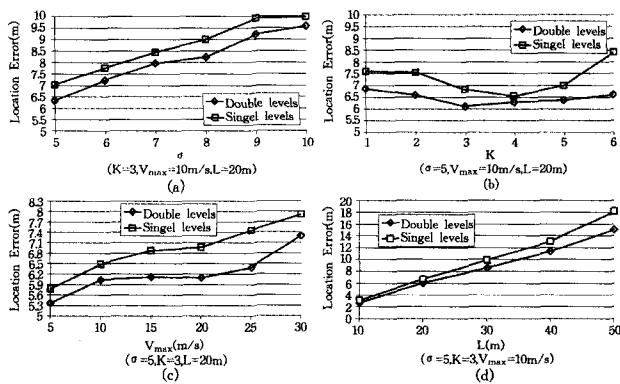


图5 两种定位方法在不同条件下的定位误差

图6(a)和图6(b)分别描绘了在不同参数值下使用双层栅格定位法得到的目标移动轨迹。在仿真定位过程中,无论何种参数和条件,定位均没有任何延迟,体现出该方法较高的实时性。

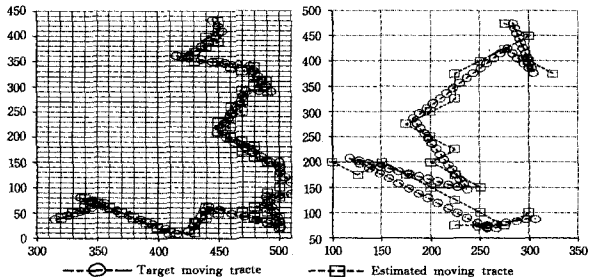


图6 双层栅格定位法在不同参数下的跟踪结果

6 实际系统测试

6.1 硬件平台及测试场景

为进一步测试双层栅格定位法在实际应用中的效果,使用实验室采购的传感器节点搭建了实际系统的测试平台。所使用的设备是美国 Crossbow 公司研发的 MICA 和 Imote2 平台产品,具体设备及其型号如表 2 所列。

表2 系统硬件设备及其型号

组成设备	型号
传感板	MTS300CA(普通节点)
	MTS300CA(簇头节点)
处理器/射频板	XM2110CA(普通节点,网关)
	XM2110CA(簇头节点)
网关	MIB520

在 $40m \times 40m$ 的平坦区域内,按照栅格边长 $10m$ 进行传感器节点部署,共部署节点 25 个,其中普通节点 21 个,簇头节点 4 个;节点与节点以及节点与网关之间通讯信号的频率带宽为 $2.4GHz$ 。移动目标采用微型遥控汽车模型模拟,按照预设的路线移动,速度在 $0.5m/s \sim 1m/s$ 之间;遥控汽车模型顶部载有一个普通传感器节点,以 $10Hz$ 的频率向四周发射 $2.4GHz$ 的无线信号,以此模拟移动目标发出的物理信号。

整个传感器网络以分簇结构组织,每次定位过程中,普通

节点采集的信号数据首先发送到簇头节点,后者根据收集到的 3 次采样信息生成定位节点序列,并将其传回网关;网关将定位节点序列传输到计算机,最后计算机按照双层栅格定位算法计算移动目标位置,并生成移动轨迹。

6.2 测试结果

系统测试的结果如图 7 所示。从测试过程来看,在目标定位跟踪过程中,系统运行流畅,没有时延,实时性好,体现了双层栅格定位方法低时空复杂度的优势;从测试结果来看,系统对目标定位的误差每次都不大于 $4.5m$,基本描绘出了目标的移动轨迹,具有一定的定位精度。

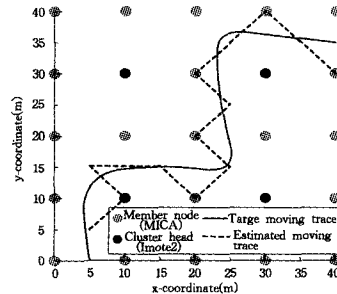


图7 系统定位跟踪的结果展现界面

结束语 目标定位是无线传感器网络应用领域中一个重要的问题,是进行目标跟踪的前提和基础。实时性是一个定位算法优劣的重要衡量标准,也是某些特定场合和应用背景下用户关注的焦点。基于栅格这种特殊拓扑结构部署的无线传感器网络在目标定位方面具有先天优势。利用这种优势可以大大降低计算复杂度,提高定位实时性。本文基于栅格部署的无线传感器网络,在单层栅格定位的基础上,提出了一种使用双栅格层的目标定位方法。仿真实验和实际系统的测试结果表明,该方法不仅降低了单层栅格定位的误差,而且大大降低了一般定位方法的计算量和复杂度,具有较高的实时性和实用性,满足了特定用户对实时、可靠的目标定位的要求。

参考文献

- [1] 孙利民,等.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005
- [2] 王福豹,史龙,任丰原.无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J].软件学报,2005,16(5):857-868
- [3] Xu Jian-liang, Tang Xue-yan, Lee W-C. A New Storage Scheme for Approximate Location Queries in Object-tracking Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2008, 19(2): 262-275
- [4] L Xin-rong. Collaborative Localization with Received-Signal Strength in Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(6): 3807-3817
- [5] Boukerche A, Oliveira H A, et al. Localization Systems for Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2007, 14(6): 6-12
- [6] Kim D H, Lee S H, Park K S, et al. Development of an AOA location method using covariance estimation[C]// Proceedings of Communication Systems and Networks, Palma De Mallorca, Spain, 2007: 14-18
- [7] Djuric P M, Vemula M, Bugallo M F. Signal processing by particle filtering for binary sensor networks[C]// Proceedings of the 11th IEEE Digital Signal Processing Workshop and IEEE Signal Processing Education Workshop. 2004: 263-267

(下转第 43 页)

的配置如表 2 所列。

表 2 模拟器配置

参数	值
AVG_INTER_ARRIVAL	150
AVG_MESSAGE_LENGTH	200
FLIT_LENGTH	64
NUMBER_OF_IP_NODE	16, 36, 64, 100
CURRENT_VC_COUNT	4
NUM_CYCLE	100000
NUM_FLIT_PER_BUFFER	2

4.2 性能分析

本文对 Mesh 和 VMesh 结构在网络规模为 16、36、64、100 个节点的情况下分别进行了仿真,结果显示,VMesh 结构的链路和缓冲区的利用率都比 Mesh 结构的小。这说明 VMesh 结构降低了网络发生拥堵的概率。

平均延迟和平均跳数是片上网络的性能参数中非常重要的两个。图 6 和图 7 列出了 Mesh 和 VMesh 结构在不同规模下平均延迟和平均跳数的对比。实验结果显示,在不同网络规模下,VMesh 结构在平均延迟和平均跳数上均小于 Mesh 结构,使网络性能得到了一定的提升。当网络节点数为 36 时,VMesh 结构的平均延迟和平均跳数要比 Mesh 结构的分别低 3.40% 和低 5.10%。

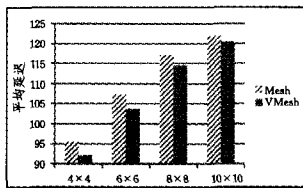


图 6 平均延迟对比

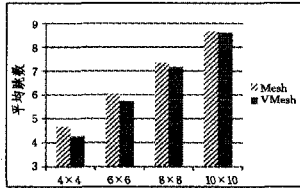


图 7 平均跳数对比

随着网络规模的增大,VMesh 结构较 Mesh 结构的优势逐渐减少。源节点和目的节点都是随机产生的,多数数据包都通过 XY 算法路由到目的节点。当顶点数固定为 4 时,网络规模越大,顶点所占的比例就越小,发挥的作用也就越小。但是当数据包到达顶点并通过长连接路由时,路由跳数可以明显减少,VMesh 结构的优势得以显现。

结束语 本文提出了一种 Mesh 结构的改进策略,即 VMesh 结构,并提出了 VXY 算法。通过计算网络直径、理想平均延迟和理想吞吐量,肯定了 VMesh 结构的优势。同时,仿真结果也证明 VMesh 结构确实比 Mesh 结构有更好的性能。未来将对 VXY 算法进行改进,并对 VMesh 结构的容错进行深入研究。

参考文献

[1] 欧阳一鸣,董少周,梁华国. 基于 2D-Mesh 的 NoC 路由算法设

计与仿真[J]. 计算机工程,2009,35(22):227-229

[2] 段新明,杨恩鲁,杨梅. 基于 PRDT 的 16 节点 NoC 路由算法[J]. 计算机工程,2007,33(9):12-14

[3] 师帅,窦文华,鲁佳. 基于二维 Mesh 结构片上网络的路由策略方法研究[J]. 计算机工程与科学,2011,33(5):32-37

[4] Olukotun K, Hammond L, Laudon J. Chip Multiprocessor Architecture Techniques to Improve Throughput and Latency[M]. 2009

[5] Kahle J A, Day M N, Johns C R, et al. Introduction to the Cell multiprocessor[J]. IEEE,2005,40(4):589-604

[6] Hammond L, Hubbert B A, Siu M, et al. The Stanford Hydra CMP[J]. IEEE,2000,20(2):71-84

[7] Wang wei, Tang Zhi-zhong, Qiao Lin. Summary of the Inter-connection in Chip Multiprocessor[J]. Computer Science,2008,35(9):7-9

[8] Wang Huan-dong, Gao Xiang, Chen Yun-ji, et al. Interconnection of Godsom-3 Multi-Core Processor[J]. Journal of Computer Research and Development,2008,45(12):2001-2010

[9] Tilea Company. TILE64 Multicore PCIe card connectivity solutions[M]. The world of electronic components,2008:31-32

[10] Villanueva J C, Flich J, Duato J, et al. A Performance Evaluation of 2D-Mesh, Ring, and Crossbar Interconnects for Chip Multiprocessors[M]. ACM,2009

[11] Ogras U Y, Marculescu R. "It's a Small World After All": NoC Performance Optimization Via Long-Range Link Insertion[J]. IEEE,2006,14(7):693-706

[12] Daneshtalab M, Ebrahimi M, Mohammadi S, et al. Low-distance path-based multicase routing algorithm for network-on-chips[J]. The Institute of Engineering and Technology[J]. 2009,3(5):432-442

[13] Shen Z. Average diameter of network structures and its estimation[C]//Proc. of the 1998 ACM Symp. on Applied Computing. 1998:593-597

[14] Zhu Xiao-jing, Hu Wei-wu, Ma ke, et al. Xmesh: A Mesh-Like Topology for Network on Chip[J]. Journal of Software,2007,18(9):2194-2204

[15] Chen Guo-liang, Wu Jun-min, Zhang feng, et al. Parallel Computer Architecture[M]. 2002:158-159

[16] Dally J, Towles B. Principles and Practices of Interconnection Network[M]. Morgan Kaufmann Publishers,2003

[17] Dong Ying-fei, Wang Ding-xing, Zheng Wei-min. Exact Computation of the Mean Minimal Path Length of N-Mesh and N-Torus[J]. Chinese Computers,1997,20(4):376-380

[18] Glass C J, Ni L M. The Turn Model For Adaptive Routing[C]//ACM. 1992:278-287

(上接第 29 页)

[8] He T, Huang C, Blum B M, et al. Range-free localization schemes for large scale sensor networks[C]//Proc 9th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking (MobiCom). San Diego, CA,2003:81-95

[9] Gupta R, Das S R. Tracking moving targets in a smart network [C]//The VTC Fall 2003 Symposium. Oct. 2003

[10] Zhong Zi-guo, Zhu Ting, Wang Dan, et al. Tracking with Unreliable Node Sequences[C]//28th IEEE Conference on Computer

Communications. Rio de Janeiro, Brazil, Apr. 2009

[11] Wan Jiang-wen, Guo Xiao-lei, Yu Ning, et al. Multi-Hop Localization Algorithm Based on Grid-scanning for Wireless Sensor Networks[J]. Sensors,2011,11:3908-3938

[12] Sheu J-P, Chen Pei-chun, Hsu C-S. A Distributed Localization Scheme for Wireless Sensor Networks with Improved Grid-scan and Vector-Based Refinement[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing,2008,9(7):1110-1123

[13] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京:清华大学出版,2004