

基于无线传感器网络的普适计算中分发机制研究

黄小桑¹ 王汝传¹ 叶宁^{1,2}

(南京邮电大学计算机学院 南京 210003)¹ (南京人口管理干部学院信息科学系 南京 210042)²

摘要 在基于无线传感器网络的普适计算环境中,由于节点的移动,使得无线传感器网络中消息分发机制不再适用。在分析消息分发的影响因素的基础上,利用虚拟网格实现了寻找最短路径作为消息分发路径,同时讨论了此机制中面临的源节点移动时出现的新问题,并通过仿真分析验证了提出的分发机制的可行性。

关键词 无线传感器网络,普适计算,消息分发,虚拟网格

中图法分类号 TP393 文献标识码 A

Study on Distribution Mechanism of Pervasive Computing Based on Wireless Sensor Networks

HUANG Xiao-sang¹ WANG Ru-chuan¹ YE Ning^{1,2}

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)¹

(Dept. of Information Science, Nanjing College for Population Programme Management, Nanjing 210042, China)²

Abstract In the pervasive computing environment based on wireless sensor networks, as a result of nodes moving, the message distribution mechanism is no longer applicable. After analyzing the distribution of message influencing factors, it was found that the virtual grid can be used as the shortest path for message distribution. In the article, the new problems were also discussed that this mechanism will face when the source node moves. Therefore with simulation analysis, the feasibility of the distribution mechanism proposed by this paper was verified.

Keywords Wireless sensor networks, Pervasive computing, Message distribution, Virtual grid

传感器网络是普适计算的基础支撑技术之一^[1,2]。定位服务是普适计算中上下文感知的一个主要的服务^[3],它的功能是发现用户节点(下文简称节点),并利用周围环境的位置信息为节点提供定位服务。随着普适设备大量的出现和移动性的增强,如何准确获取节点的位置信息^[4]并提供相应的服务,已成为当前普适计算必须解决的关键问题^[5]。在实际的运行环境中,可以通过增加设备成本来准确获取节点的位置信息。比如,利用多个具有GPS设备的节点作为参照,可以计算出普适计算环境中其它节点的位置信息,进而利用它来完成普适计算过程中的消息分发或交互。从现有文献来看,普适计算中消息分发机制的研究非常少。本文借鉴无线传感器网络中消息分发的研究成果^[6,7],利用节点的位置信息,从消息分发的角度来探讨消息分发机制。第1节在分析普适计算场景的基础上,得出不同消息分发机制产生不同代价的结论;第2节提出了一种基于Grid的消息分发机制,以此来节约消息分发成本;第3节对所提出的分发机制进行仿真,并验证其可行性;最后总结了本文所做的工作以及进一步的研究内容。

1 问题描述

1.1 普适计算场景

为了更好地分析普适计算中消息的分发机制,这里假定一个普适计算场景。在图1的示例中,所有节点都分布在 $6L_1 \times 4L_1$ 内, L_1 为任意两个直线或竖线相邻节点间的距离。图中任意两个非相邻节点间无法通信,且每个节点不重复分发。现在讨论从5节点向其它节点分发消息的情况。

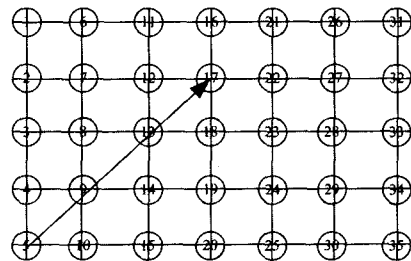


图1 普适计算场景

- 1) 从5节点分发消息到9节点;
- 2) 从5节点分发消息到13节点;

到稿日期:2009-07-24 返修日期:2009-10-23 本文受国家自然科学基金(60973139,60773041),江苏省自然科学基金(BK2008451),国家高科技863项目(2007AA01Z404,2007AA01Z478),2006江苏省软件专项,现代通信国家重点实验室基金(9140C1105040805),国家和江苏省博士后基金(0801019C,20090451240),江苏高校科技创新计划项目(CX08B-086Z),江苏省青蓝工程,江苏省高校自然科学基金(09KJB510020)和江苏省六大高峰人才项目(2008118)资助。

黄小桑(1984—),男,硕士生,主要研究方向为计算机软件在通信中的应用、普适计算无线传感器网络等;王汝传(1943—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为计算机软件、计算机网络和网络、对等计算、信息安全、无线传感器网络、移动代理和虚拟现实技术等,E-mail: wangrc@njupt.edu.cn;叶宁(1971—),女,博士生,副教授,主要研究方向为计算机软件在通信中的应用、无线传感器网络。

3)从5节点分发消息到17节点。

1.2 分发代价

在分析消息分发机制的代价时,这里引入 f_{ij} ,表示从节点 i 到节点 j 的代价,具体用距离表示。针对图1场景中的3种情况,可以分别计算出它们的消息分发代价。

1)从5节点分发消息到9节点

如果从5节点直接分发消息到9节点,分发代价 $f_{59}=\sqrt{2}L_1$;如果单独利用4,10节点转发,分发代价 $f_{59}=f_{54}+f_{49}=f_{510}+f_{109}=2L_1$;如果同时利用4,10节点作为中转,分发代价 $f_{59}=f_{54}+f_{410}+f_{109}=f_{510}+f_{104}+f_{49}=2L_1+\sqrt{2}L_1$ 。

2)从5节点分发消息到13节点

如果要将消息从5节点分发到13节点,则有多种情况。第一种是通过9节点直接分发到13节点,分发代价 $f_{513}=f_{59}+f_{913}=2\sqrt{2}L_1$;第二种是分别通过4,3,8节点到13节点,分发代价 $f_{513}=f_{54}+f_{43}+f_{38}+f_{813}=4L_1$;第三种是分别通过10,15,14节点到13节点,分发代价 $f_{513}=f_{510}+f_{1015}+f_{1514}+f_{1413}=4L_1$ 。其它情况是在第二、三种情况下,引入更多中间节点作为中转,每引入一个中间节点也会使代价相应增加。

3)从5节点分发消息到17节点

如果要将消息从5节点分发到17节点,则有3种情况:第一种是通过9,13节点分发到17节点,分发代价 $f_{517}=f_{59}+f_{913}+f_{1317}=3\sqrt{2}L_1$;

第二种是分别通过4,3,2,7,12节点到17节点,分发代价 $f_{517}=f_{54}+f_{43}+f_{32}+f_{27}+f_{712}+f_{1217}=6L_1$;

第三种是分别通过10,15,20,19,18节点到17节点,分发代价 $f_{517}=f_{510}+f_{1015}+f_{1520}+f_{2019}+f_{1918}+f_{1817}=4L_1$;

其它情况是在第二、三种情况下,引入更多中间节点作为中转,每引入一个中间节点也会使代价相应增加。

2 基于 grid 的分发机制

2.1 $n \times m$ 的 grid

将网络中的节点对应到一个虚拟的逻辑 $n \times m$ 的 grid 中,通过对非邻近的过滤而实现消息的分发。在 grid 中,每个节点可以和横向、纵向和对角的相邻节点交流信息。节点位置 (x, y) 可以用它的 ID 和网络的列数通过式(2)、式(3)计算出。同样也可以根据节点位置和网络的列数通过式(1)计算出节点 ID。连接到基站的 mote 被看成是一个特殊的节点,它可以在任何有效的 grid 位置中,而它的邻近节点可以依据它的位置来决定。

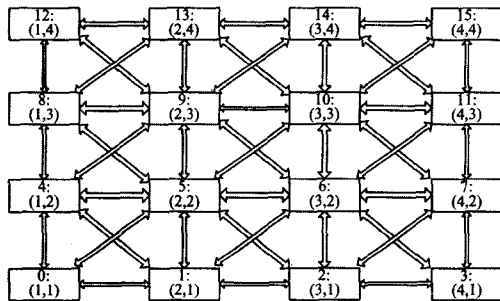


图2 一个 4×4 的网络中节点 ID 和位置关系图

grid 位置和节点地址计算如下:

$$ID=(x-1)+(y-1) * (\text{number of columns}) \quad (1)$$

同样,给予节点 ID,它的位置可以按如下方法计算:

$$x=[(ID) \bmod (\text{number of columns})]+1 \quad (2)$$

$$y=(ID-x+1)/(\text{number of columns})+1 \quad (3)$$

例如在图2所示的一个 4×4 的网络中,节点可以有如图2所示的 ID 和位置。

2.2 分发机制

从一个源节点将消息分发到目的节点的过程中,需要完成路径的选择,并在最短时间内完成消息的分发。上面提到,不同的分发路径决定分发成本,而选择最短距离方向的中转节点最节省成本。

现在假定源节点的坐标为 (x_0, y_0) ,目的节点的坐标为 (x_d, y_d) ,源节点的8个相邻坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4), (x_5, y_5), (x_6, y_6), (x_7, y_7), (x_8, y_8)$ 。在选择路径时,先计算源节点到各相邻节点 i 的距离,然后计算各相邻节点 i 到目的节点的距离:

$$f_{0i}=\sqrt{(x_i-x_0)^2+(y_i-y_0)^2}, i=1,2,\dots,8 \quad (4)$$

$$f_{di}=\sqrt{(x_i-x_d)^2+(y_i-y_d)^2}, i=1,2,\dots,8 \quad (5)$$

根据计算出来的距离,选择最短的路径发送,即:

$$\min\{f_{di}+f_{0i}\}, i=1,2,\dots,8 \quad (6)$$

而对于多跳距离的情况,还要确定当前第 i 个中转节点到目的节点的下一个中继节点。为了确定下一个中继节点,此时将第 i 个节点作为源节点,利用式(4)一式(6)分别计算当前所有相邻节点中与此节点最近的节点。依此类推,直至到达最后的节点。

由于普适计算环境中节点并不是静止不变,而是随时随地可能发生变化。如在课堂上,教师有可能从讲台走到学生当中,此时场景发生了变化,原来的消息分发路径不复存在,需要一条满足当前场景的分发路径。根据普适计算的特定环境,可以将移动的用户分为3类:源节点移动、中继节点移动和目的节点移动。老师上课主要是源节点移动。本文主要针对第一种情况进行讨论。

源节点移动:源节点在移动过程中,破坏了原有的虚拟 grid 中的坐标关系,但是相邻节点以及中继节点到目的节点的距离没有改变。因此,只要找出当前情况下离源节点最近的相邻节点即可。由于无线传感器网络中 RSSI 值可以用来表征节点间的相对距离,因此这里引入了 RSSI 值来寻找离源节点最近的节点的方法。Free-space 模型^[8]假定了一个理想的传播环境,在发送者和接收者之间只有一条无障碍的直线路径。Free-space 模型中,通信范围主要是以发送者为中心的一个圆。如果接收者在这个圆的范围内,它就能接收到所有的数据包,否则,全部丢失。H. Tfriss 提出了用下面这个等式来计算在自由空间中^[9]与传送者的距离为 d 的情况下,接收到信号的能量强度:

$$P_r(d)=\frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (7)$$

式中, P_t 为传送信号的强度, G_t 和 G_r 分别是发送者和接收者的天线增益, $L(L \geq 1)$ 为系统损失, λ 为波长。通常情况下取 $G_t=G_r=1, L=1$ 。

通过式(7)可以得出每个相邻节点接收到源节点时的信号强度值 $P_r(d)$ 。该值越大,表明离源节点距离越近。在选择相邻节点作为下一跳中继节点时,直接判断 $P_r(d)$ 值和离目的节点距离之和最小的一个相邻节点作为中继节点。然

后以该中继节点充当源节点,通过式(4)一式(6)分别计算出该中继节点到所有相邻节点中最近的节点,并选为中转节点。依此类推,直至到达最后的目的地节点。

由于以上取的 $P_i(d)$ 是源节点在固定点时刻的取值,因些与目的节点的相对距离也是短暂的。一旦源节点朝远离目的节点方向移动,如图3中1,2,3,4所示方向,有可能中转节点 O 不能继续成为下一跳中转节点。为了进一步探讨源节点与中继节点的选择情况,下面分别讨论远离目的节点的情况。先假定源节点在 S 处,当前时刻选择的中继节点为 O 点(坐标原点),源节点到中继节点距离为 d_1 ,源节点与 m_1 节点距离为 d_2 , $\angle m_1 SO = \alpha$, $\angle m_1 S1 = \angle 1S2 = \angle 2S3 = \angle 3S4 = 45^\circ$,源节点朝该方向平均移动速度为 v ,移动时间为 t ,则可以计算出 t 时刻源节点与中继节点的距离 $O_i S (i=1,2,3,4)$ 。根据假设可得:

$$d_1 = \sqrt{d_2^2 + X_s^2} \quad (8)$$

$$\alpha = \arccos \frac{d_2}{d_1} \quad (9)$$

$$O_i S = \sqrt{(vt)^2 + d_1^2 - 2vt d_1 \cos \theta}$$

式中, $i=1,2,3,4$, $\theta=45^\circ+\alpha, 90^\circ+\alpha, 135^\circ-\alpha, 180^\circ-\alpha$ 。

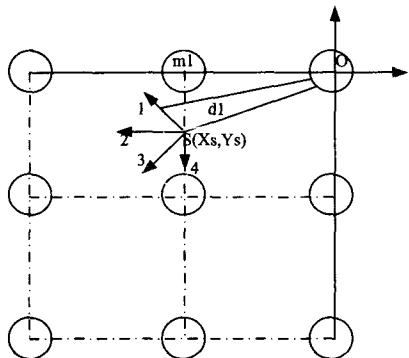


图3 源节点朝偏离目的节点移动方向示意图

根据1.1节介绍的普适场景,即每两个节点之间距离为 L_1 ,源节点移动过程中,只要它离目的节点的距离不超过 $\sqrt{2} L_1$,则仍然可以将消息分发到刚才选定的中继节点,否则要重新选择下一个中继节点。源节点在移动过程中离目的节点的距离不超过 $\sqrt{2} L_1$ 时,必须满足以下关系式:

$$vt \leq d_1 \cos \theta + \sqrt{2(L_1)^2 + d_1^2 \cos^2 \theta - d_1^2}$$

3 仿真结果

本文针对图2的场景,模拟从节点0分发消息到10号节点的不同过程,对该分发机制进行仿真分析,其代价如图4所示。

从图4可以看出,当有消息从源节点分发到目的节点时,采用最短距离,其代价最少,见图4最左边柱状图。而其他方式的路径的代价均比最短距离时的高,如图4所示的随机路径1、随机路径2、随机路径3、随机路径4情况。

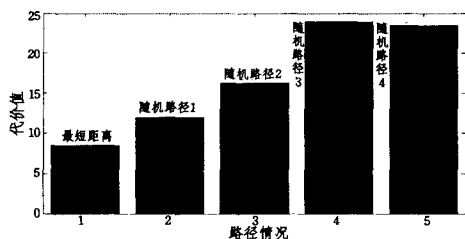


图4 从节点0分发消息到10号节点的不同路径的代价

同时,还讨论了当确定中继节点后,由于源节点的移动有可能使中继节点发生改变的情况。在 $\alpha = \frac{\pi}{6}$, $L_1=3$, $d_1=6$, $t=1:1:50$ 时,分别得出可以使用原中继节点时的速度与时刻的关系,如图5所示。

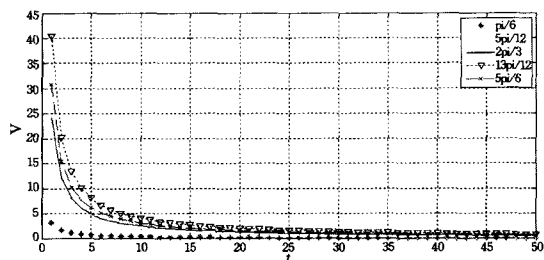


图5 速度与时间关系

从图5可以看出,源节点朝不同方向($\frac{\pi}{6}, \frac{5\pi}{12}, \frac{2\pi}{3}, \frac{13\pi}{12}, \frac{5\pi}{6}$)前进且 $t=5$ 时,在图3中,分别朝 $S3, S4, S2, S1, Sm_1$ 方向的速度依次减小。

结束语 无线传感器网络在普适计算中起着重要的作用,可为普适计算提供基础设施。本文研究了基于无线传感器网络的普适计算环境中消息分发机制的选择。文中首先提出了消息分发的影响因素,然后在虚拟网格的基础上分析了如何选择最短路径作为消息分发路径,讨论此机制中面临的源节点移动时出现的新问题,并通过仿真分析验证了本文提出的分发机制的可行性。在进一步的研究中,将继续深入研究此机制的中继节点移动和目的节点移动的情况。

参考文献

- [1] Park Nam-shik, Lee Kang-woo, Km Hyun. A middleware for supporting context-aware services in mobile and ubiquitous environment[C]//ICMB'05. Sydney, Australia, 2005
- [2] Burrell J, Brooke T, Beckw III R. Vineyard Computing: Sensor Networks in Agricultural Production[J]. IEEE Pervasive Computing, 2004, 3(1): 38-45
- [3] 郑增威, 吴朝晖. 普适计算综述[J]. 计算机科学, 2003, 30(4): 18-29
- [4] Hazas M, Scott J, Krumm J. Location-aware computing comes of age[J]. IEEE Computer, 2004, 37(2): 95-97
- [5] Yau S S, Huang D, Gong H. Development of situation-aware application software for ubiquitous computing environments [A]// Proceedings of 28th Annual International Computer Software and Applications Conference (COMPSA Cp04) [C]. Hong Kong, 2004: 452-457
- [6] deIpina D, Lo S. A location-aware lifecycle environment for ubiquitous computing [A]// Proceedings of the 15th International Conference on Information Networking (ICOINp01) [C]. Bepu City, 2001: 419-426
- [7] 梁银, 吕建华. 无线传感器网络中数据分发方案的研究[J]. 电子技术应用, 2008, 32(2): 106-107
- [8] 王珩, 聂敏, 刘若奇, 等. 信息分发模型研究[J]. 舰船电子工程, 2008, 28(6): 6-9
- [9] Longley A G. Radio propagation in urban areas[R]. Office of Telecommunications Report OT78-144. 1978