

一种基于蜂窝结构的改进 GAF 算法

刘 曙^{1,2}, 刘林峰^{1,2}, 陶 军^{1,2}

(1. 东南大学 计算机网络和信息集成教育部重点实验室, 江苏 南京 210096;

2. 东南大学 计算机科学与工程学院, 江苏 南京 210096)

摘 要:能量问题是无线传感器网络协议设计过程中的核心问题, 针对该特点在传统 GAF 算法基础上提出了基于蜂窝结构的改进 GAF 算法。该算法提出以蜂窝结构虚拟划分单元格, 增加单元格边长, 扩大单元格面积, 将单元格重叠区域中的节点作为骨干网中转节点来实现簇间的多跳通信。通过理论计算和仿真实验对算法进行了性能分析和验证, 仿真结果表明该算法能有效地降低节点平均能量消耗, 延长传感器网络生命周期。

关键词:无线传感器网络; GAF 算法; 蜂窝结构; 网络生命周期

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)01-0039-04

Improved GAF Algorithm with Hexagon - Based Virtual Infrastructure

LIU Shu^{1,2}, LIU Lin-feng^{1,2}, TAO Jun^{1,2}

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Computer Network and Information Integration, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. School of Computer Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Reducing node energy consumption to extend network lifetime is a vital requirement in wireless sensor network. In this paper, an improved GAF algorithm with hexagon - based virtual infrastructure is proposed. The goal of this algorithm is to lengthen the side of the grid, to enlarge the area of grid and to use the nodes in the overlap areas as transfer nodes among the cluster heads. This algorithm is analyzed and validated for performance through computation and simulation, the result of which suggests it can reduce the average power consumption and lengthen the network lifetime efficiently.

Key words: wireless sensor network; GAF algorithm; hexagon - based virtual infrastructure; network lifetime

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由众多具有通信和计算能力的传感器节点,以多跳通信、自组织方式形成的网络。由于传感器电池容量小,因此如何高效、合理地使用能量,尽可能地延长网络的生命期,成为了传感器网络研究的核心问题之一^[1]。GAF(geographic adaptive fidelity)算法^[2]是由 Ya Xu 等人提出来的以节点地理位置为依据的分簇算法。GAF 算法将监测区域划分为若干虚拟正方形单元格,将节点按照位置信息划入相应的单元格;在每个单元

格中定期选举出一个簇头节点,只有簇头节点保持活动,与相邻的四个单元格进行通信,如图 1 所示。仿真试验结果证明 GAF 能有效地节约能量消耗并延长网络生命期^[3]。但是,只向上下左右四个邻居单元格转发数据的正方形结构并不是最有效的节能结构。

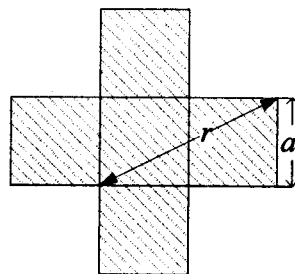


图 1 正方形结构

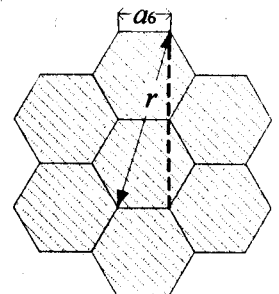


图 2 蜂窝结构

近年,蜂窝(正六边形)虚拟区域结构被提出^[4],它将监测区域划分为若干个等边六边形,如图 2 所示。通过理论分析与仿真比较,蜂窝结构能更有效地提高

收稿日期:2008-04-13

基金项目:国家自然科学基金重大资助项目(90604003);国家自然科学基金(60603067);浙江省教育厅资助项目(20070652)

作者简介:刘 曙(1985-),女,江苏常州人,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络;导师:吴国新,博士生导师,研究方向为网络协议及标准、网络安全、网络管理和网络应用。

能量使用效率,从而进一步延长网络寿命^[5]。

文中将以蜂窝结构虚拟划分监测区域,提出改进的 GAF 算法。该算法通过适当增加单元格边长,使得单元格包含节点个数增加,在簇头选举过程中综合考虑节点的剩余能量和地理位置,充分利用单元格重叠区域中的中转节点实现簇头间的多跳路由。它有效地减少了无线传感器网络节点的平均能量消耗并延长了网络生命期,适用于大规模的无线传感器网络。

1 改进 GAF 算法

1.1 蜂窝结构

假设在两种结构中,节点的通信半径均为 r ,最大单元格边长分别为 a_4 和 a_6 ,单跳信号覆盖最大面积分别为 S_4 和 S_6 。在正方形结构中,为了保证相邻单元格中的任意两个节点能够直接通信,相邻簇头之间的最远距离 d (即相邻簇头位于图 1 所示的对角线两端) 应该满足 $d \leq r$, 根据文献[2],很容易可以得到 $a_4 = \frac{r}{\sqrt{2}}$ 。同理,在蜂窝结构中,如图 2 所示, $a_6 = \frac{r}{\sqrt{3}}$ 。因此 $S_4 = 5a_4^2 = r^2$, $S_6 = 7(3\sin 60^\circ a_6^2) = 21\sqrt{3}r^2/26 \approx 1.40r^2$,与文献[5]的结论一致。从等式可以看出,采用蜂窝结构使得单跳信号覆盖面积增加约 40%,从而比正方形结构更加有效地使用节点能量。

在文献[3]中,通过理论分析和仿真结论,作者提出当单元格内节点个数增加时,网络生命期会相应地延长。所以,在监测区域节点密度不变的情况下,可以通过增大单元格边长,使单元格包含更多节点,从而可以延长网络生命期。文中将蜂窝结构的六边形单元格边长由 a_6 延长为 $a_6 + \Delta$,即增加 Δ 长度 ($\Delta = a_6/x$, $x > 1$),如图 3 左图所示,阴影部分表示单元格增大的面积。在图 3 右图中,阴影部分表示相邻单元格之间的重叠部分。假设无线传感器节点在二维监测空间内随机均匀分布,监测区域面积为 S ,节点总数为 n :在原蜂窝结构中,每个单元格平均节点个数为 $\frac{3\sqrt{3}}{2S}a_6^2n$;文中提出的蜂窝结构中,单元格平均节点个数为 $\frac{3\sqrt{3}}{2S}(a_6 + \Delta)^2n$ 。

根据文献[3]中的结论:在二维监测区域中,假设 n_{\min} 是保证网络连通的平均每个单元格中的最小节点个数,相应的最小网络生命期为 T_{\min} ,如果在实际部署中,每个单元格的平均节点个数是 $n = \beta \cdot n_{\min}$,则网络生命期为 $(\beta \cdot T_{\min} - \epsilon)$,其中 β 为大于 1 的倍数, $0 < \epsilon \ll T_{\min}$ 。那么通过将单元格边长增加 Δ 长度,网络生命期可以延长 $\left(\frac{1}{x^2} + \frac{2}{x}\right)$ 倍。从下文的仿真实验可以

看出,适当增加单元格边长,能有效地延长网络生命期。

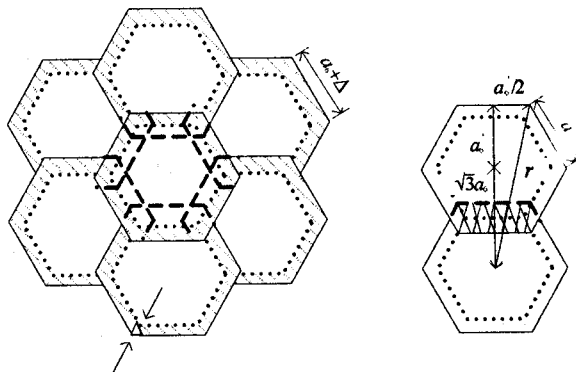


图 3 增加 Δ 长度的蜂窝结构

1.2 簇头选举

在传统 GAF 算法中,簇头是随机产生的,在改进的算法 FULL 和 RANDOM 中^[6],在簇头选举阶段考虑了节点的剩余能量值,这种做法有利于均衡传感器节点能量消耗,延长网络生存时间。同时,由于在改进的蜂窝结构中,同一单元格的节点不再等价,节点在单元格中的位置将直接影响其能否成为簇头。因此,在簇头选举过程中,通过综合考虑节点的能量寿命和节点到单元格中心的距离来选择合适的簇头。

(1) 节点的剩余能量。

在考虑一个节点能否充当簇头的时候,最重要的是看该节点是否具有较大的剩余能量。文中用 C_i 来表示节点的剩余能量,将节点能量分为 m 个等级,使得

$$\frac{i-1}{m} \leq C_i \leq \frac{i}{m}, i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

(2) 节点到单元格中心的距离。

根据文献[4]中的结论,在蜂窝结构中,当簇头处于单元格中心时,它与其他簇头之间通信所需要的能量消耗最小。所以,在实际监测环境中,选举的簇头离单元格中心距离越近,越能有效地使用能量,以达到节能的目的。文中用 d_i 来表示节点与其所在单元格中心间的距离, $d_i \leq a'_6$ 。

考虑以上两个参数,结合公式(1),可以计算无线传感器网络节点 i 的权值 w_i :

$$w_i = w_1 \frac{C_i}{C_i} + w_2 d_i \quad (2)$$

其中,假设无线传感器网络中的节点为同类节点,它们的初始能量等级均为 C 。 w_1 和 w_2 分别对应为两个参数的权值,且 $w_1 + w_2 = 1$ 。由公式(2)可以看出:节点 i 的剩余能量 C_i 越大,节点 i 到单元格中心的距离越小,节点 i 的权值 w_i 越小,节点 i 成为簇头节点的概率越大。

1.3 中转节点

根据前文对蜂窝结构的改进,相邻单元格之间会有重叠区域。一方面,由于增加了单元格边长,相邻簇头有可能不能直接通信;另一方面,根据无线信道的传输模型,数据包直线多跳传播的能量消耗小于直线单跳传播。基于以上两点分析,考虑将位于重叠区域的节点作为相邻簇头之间的中转节点,实现簇头之间的多跳路由。文中对中转节点的定义如下:

定义:若无线传感器节点位于改进蜂窝结构的相邻单元格之间重叠区域,称作无线传感器网络的中转节点。

在拓扑生成过程中,节点根据位置信息判断所属单元格。当节点 i 发现同时属于两个或三个单元格即位于这些单元格的重叠区域 A 时,向包含 A 的所有单元格 g 的簇头发送报文 $\text{TRANS}(A, g, \text{ID}, C_i)$,其中 g 为包含 A 的所有单元格编号, ID 为中转节点的标识符, C_i 为中转节点的剩余能量。簇头存储该信息,记录与之产生重叠的单元格编号以及相关中转节点。在簇头传输监测信息时,选择中转节点向邻居簇头转发信息。

2 拓扑结构的生成

采用文中改进的 GAF 算法,无线传感器网络拓扑结构的生成要经过三个阶段:虚拟单元格的划分,簇头节点的选择和骨干网的构造。无线传感器网络的拓扑结构生成过程描述如下:

步骤 1 在拓扑结构生成之前,无线传感器网络需要初始化,所有节点都处于发现状态,各节点设定一个唯一的标识符 ID 。在该状态下,节点根据 GPS 信号获得位置坐标信息。

步骤 2 根据节点的位置信息和通信半径,将网络区域划分为若干正六边形单元格,单元格的边长满足处于单元格中心的节点能够与邻居单元格中的任意节点直接通信。节点通过计算,记录自己所在的单元格。若通过计算节点属于多个单元格,则将该节点标记为中转节点。每个节点都通过发送消息得知同一单元格中其他节点的信息。

步骤 3 各节点根据节点的剩余能量以及与单元格中心的相对距离,结合公式(2)计算权值。各节点根据权值判断成为簇头节点的可能性,选举各个单元格的簇头。

步骤 4 簇头节点确定后,簇头周期性地广播 $\text{HELLO}(g, \text{ID}, T_{\text{hello}})$ 报文,其中 g 是单元格编号, ID 是簇头的标识符, T_{hello} 是 HELLO 报文的广播周期;中转节点接收到 HELLO 报文后,向簇头发送

$\text{TRANS}(A, g, \text{ID}, C_i)$,如 1.3 节所述。簇头将选择 C_i 最大的节点成为骨干网络节点,负责簇头之间信息的转发;除簇头和中转节点外的普通节点需要周期性地从睡眠状态唤醒,向簇头发送 $\text{REG}(g, \text{ID}, C_i)$ 报文,唤醒周期 T_{reg} 应该是 T_{hello} 的倍数。如果普通节点超过 T_{timeout} ($T_{\text{timeout}} \approx 5T_{\text{reg}}$) 没有向簇头发送 REG 报文,则认为该节点失效。

3 仿真结果

在本节中,通过仿真来评估改进的 GAF 算法的性能。在仿真过程中,将主要比较改进后的 GAF 算法与之前的传统 GAF 算法在网络生命期、平均节点能量消耗等方面的性能差异。在仿真中,假设 1000 个无线传感器节点均匀地分布在 $2000\text{m} \times 2000\text{m}$ (m 为距离单位)的网络监测区域。根据文献[7],节点在空闲、接收和传输状态下的能量消耗分别是 1W , 1.2W 和 1.6W 。当节点处于睡眠状态时,能量消耗为 0.025W 。每个结果都是 100 次实验的平均值,每次实验采用的是互不相同的随机产生的节点部署。

与文献[2]类似,将网络生命期定义为直到死亡节点的百分比低于某个阈值时的持续时间。如图 4 所示,随着时间的变化,在不同算法下存活节点占总节点个数比率的比较。从图中可以发现,从 700 秒后节点失效比例明显增加,这反映了在多轮簇头选举以后网络中节点发生的变化。根据图 4 可以得出,基于蜂窝结构的 GAF 算法比基于正方形结构的 GAF 算法的网络生命期延长近 20%,而文中改进的 GAF 算法比基于蜂窝结构的 GAF 算法延长 5% 的网络生命期。

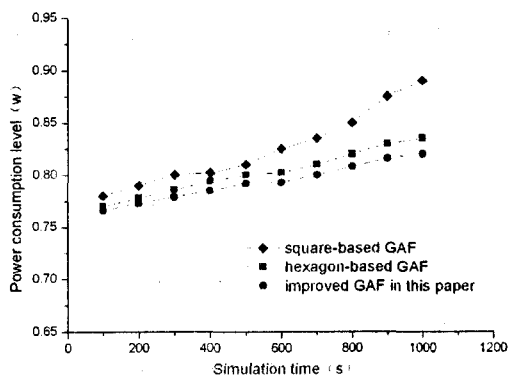


图 4 网络生命期比较

图 5 显示了三种算法的节点平均能量消耗比较。在实验中,每隔 100 秒,分别计算这些算法对应的平均能量消耗。从图中可以看出,改进的 GAF 算法有较低的平均能量消耗:在相同的实验环境中,它的平均能量消耗比基于正方形结构的 GAF 算法降低约 15%,而比基于蜂窝结构的 GAF 算法降低约 10%。

4 结束语

基于 GAF 算法的基本思想,采用蜂窝结构虚拟划分监测区域,并通过适当延长单元格边长,引入重叠区域的中转节点提出了改进的 GAF 算法。该算法有效地减少了节点的平均能量消耗,延长了网络生命期。当然,该算法在实际应用中还需解决若干重要问题:当节点大规模散布时,如何保证算法的收敛速度、如何减少外界因素对通信的干扰等,都将在未来工作中做进一步的研究。

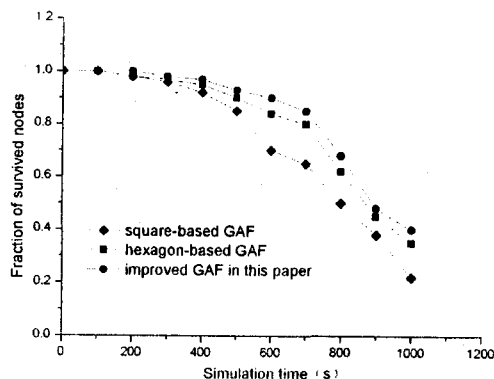


图 5 平均能量消耗比较

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y. A survey on sensor networks[J]. IEEE Communication Magazine, 2002,

(上接第 38 页)

别过程中发生 X 次 1 位碰撞位,查询次数为:

$$S(N) = 2(N - X) - 1 \quad (3)$$

特别地,当有 2^N 个标签时,可知在识别过程中出现 1 位碰撞位的次数 $X = 2^N/2 = 2^{N-1}$ 。此时查询次数为:

$$S(N) = 2(2^N - 2^{N-1}) - 1 = 2^N - 1 \quad (4)$$

系统的吞吐率为:

$$K = 2^N / (2^N - 1) = 1 = 100\% \quad (5)$$

此时可以看出,当标签的数目比较大时,查询次数和系统的吞吐效率相对二进制搜索算法来说是成倍增长的。

通过上面的分析,可知本算法的优点就在于:

(1)避免了序列号中的多余部分的传输,数据传输时间明显缩短。

(2)搜索次数与二进制搜索算法相比也有比较明显的改善。

3 结束语

详细介绍了 RFID 系统中的防碰撞算法,提出了

40:102-114.

- [2] Xu Y, Heidemann J, Estrin D. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing[C]// In: Proc of 7th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking. Rome, Italy: ACM Press, 2001:70-84.
- [3] Blough D M, Santi P. Investigating upper bounds on network lifetime extension for cell-based energy conservation techniques in stationary ad hoc network[C]// In: Proc of 8th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking. Atlanta, GA, USA: ACM Press, 2002:183-192.
- [4] Tseng Y C, Hsieh T Y. Fully Power-Aware and Location-Aware Protocols for Wireless Multi-hop Ad Hoc Networks [C]// In: Proc 11th Int'l Conf on Computer Communication and Networks. [s.l.]: IEEE Press, 2002:608-613.
- [5] Wang Z, Zhang J. Energy efficiency of two virtual infrastructures for MANETs[C]// In: Performance, Computing and Communications Conference, 2005, IPCCC 2005, 24th IEEE International. Phoenix, Arizona, USA: IEEE Press, 2005:547-552.
- [6] Santi P, Simon J. Silence Is Golden with High Probability: Maintaining a Connected Backbone in Wireless Sensor Networks[C]// In: Wireless Sensor Networks: First European Workshop. Berlin, Germany: EWSN, 2004:106-118.
- [7] Stemm M, Katz R H. Measuring and Reducing Energy Consumption of Network Interfaces in Hand-held Devices[C]// In: IEICE Transactions on Communications. Japan: IEICE, 1997:1125-1131.

类二进制搜索算法,保证了标签读取的有序性、动态调整指令发送长度和一位碰撞位直接识别两个标签,避免了序列号中的多余部分的传输,数据传输时间明显缩短,搜索次数也成倍减少。解决了约束 RFID 系统快速读取的瓶颈,提高了商品实时数据的采集,使商品的采购、仓储、配送过程更加便捷,对商业应用中大批量物品的识别和管理具有重要意义。

参考文献:

- [1] 游战清,李苏剑.无线射频识别技术(RFID)理论与应用[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [2] John G P. Digital communications[M]. New York: McGraw2Hill Companies Inc, 2001.
- [3] Klaus F. RFID-hanbuch[M]. Munich: Carl Hanser Verlag, 2002.
- [4] XIE Zhen-hua, LAI Sheng-li, CHEN Peng. RFID technology and anti-collision algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(6):223-225.
- [5] 余松森,詹宜巨,彭卫东,等.基于后退式索引的二进制树形搜索反碰撞算法及其实现[J].计算机工程与应用, 2004, 40(16):26-28.