

用于移动汇聚节点的自适应数据采集策略

陈建新¹ 陈圆缘¹ 章 韵¹ 杜月林²

(南京邮电大学计算机学院 南京 210046)¹ (南京邮电大学电子科学与工程学院 南京 210046)²

摘 要 移动汇聚节点用于无线传感网络信息采集,可以提高网络能效性,延长网络生命期。研究了四轴飞行器携带移动汇聚节点,该节点可采集地面无线传感网数据。通过分析汇聚节点空中移动特性,探讨了低功耗无线数据采集时,移动轨迹、速率和高度与移动汇聚节点能够发送的数据量之间的理论约束条件。在满足约束条件前提下,提出基于数据量局部最优策略,用以控制移动汇聚节点移动路径。在仿真环境中,详尽分析了这种数据采集策略下逗留时间与移动轨迹、速度和高度等之间的关系,为这类应用奠定了理论基础。

关键词 移动汇聚节点,局部最优,路由,移动轨迹

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Self-adapting Data Gathering Scheme for Mobile Sink Node

CHEN Jian-xin¹ CHEN Yuan-yuan¹ ZHANG Yun¹ DU Yue-lin²

(School of Computer Science & Technology, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210046, China)¹

(College of Electronics Science Engineering, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210046, China)²

Abstract Mobile sink for wireless sensor network is an efficient way to prolong the network lifetime. We studied a scenario where the mobile sink node is located in a quadcopter which is in charge of data gathering from the wireless sensor network. After analyzing the properties of mobile sink node during flying, we gave the theoretical constraints for the mobile sink node in terms of mobile trace, velocity and height for the low power wireless communication. According to these constraints, we proposed the data amount-based local optimal mobile trace control approach for the mobile sink node, so as to gather from the sensor network efficiently. Explicit simulations show that the proposed approach is feasible, which provides a theoretical basis for such applications.

Keywords Mobile sink node, Local optimal, Routing, Mobile trace

1 引言

无线传感网是随着电子技术和无线通信技术发展而产生的一种新技术,可广泛应用于国防军事、国家安全、环境监测、交通管理、医疗卫生、制造业和反恐抗灾等领域。但由于无线传感节点利用电池供电,网络能效性是传感网络应用的关键。利用移动汇聚节点采集传感网数据是提高能效的主要策略之一^[1]。

基于移动汇聚节点采集网络数据不仅可以提高网络能效性,还有其它优点,如不需要特别在意网络连通性、网络部署代价低并可获得高可靠性^[2]。对于移动汇聚节点数据采集策略研究,通常关注于节点发现、数据转发、路由算法和移动控制。移动汇聚节点的移动方式不同会影响网络数据采集效率。而对数据采集影响最大的移动性特征就是可控性,即移动汇聚节点移动是可控还是不可控的^[3,4]。可控移动汇聚节点可以通过控制移动轨迹和速度主动改变位置,因此移动方

式成为影响数据采集的因素之一。应该注意当移动汇聚节点受控后,数据采集相关的一些问题可能会弱化。例如,控制汇聚节点在某一具体时间内访问节点,简化节点发现过程。另外,移动汇聚节点可以受控停留在节点通信范围之内一定时间,因此与节点来连接也变得简单。当然,如何调度移动汇聚节点采集数据,即控制移动轨迹和速度来满足一定的服务质量,同时保证有较好的能效性,是面临的新问题。

移动汇聚节点轨迹可控方法分为静态轨迹可控^[5]和动态轨迹可控^[6,7]。其中静态轨迹可控指路径不随时间改变。而动态轨迹可控指为了满足约束条件,如时限,可以改变移动轨迹。速度可控移动汇聚节点主要基于停止通信策略。即移动汇聚节点按照指定路线移动,进入节点通信范围后,判断节点是否有数据发送,如有即停止移动,直到所有数据采集完毕^[8,9]。在动态轨迹控制中,消息摆渡路由使移动节点定期广播位置,当静态节点需要发送数据时,给移动节点发送请求。移动节点接收到请求后修改其移动轨迹去访问这个静态

到稿日期:2012-02-08 返修日期:2012-05-01 本文受国家自然科学基金(61003236),南京邮电大学引进人才项目(NY207021),南京邮电大学大学生科技创新训练计划(STITP)(Z2011022)资助。

陈建新(1973—),男,博士,讲师,主要研究方向为可穿戴传感网、物联网技术;陈圆缘(1992—),女,主要研究方向为计算机网络、网络安全;章韵(1963—),男,博士,教授,主要研究方向为计算机网络、物联网技术;杜月林(1975—),男,博士生,讲师,主要研究方向为物联网技术、嵌入式系统。

节点。除消息摆渡路由外,还有基于传感器的缓冲区溢出时间判断策略,用于防止传感节点的缓冲区溢出^[10,11]。

文献[12]通过控制单个移动汇聚节点移动路径和速率,在均匀分布的两维格栅网络环境下,从某个指定位置出发,利用停止、逗留机制采集目的数据,定义线性规划问题,最大化网络生命期。文献[13]进一步拓展了网络范围,不局限于均匀分布网络,并进一步分析了路由维护延时和能量开销。同时,给出贪婪逗留能量启发性算法。文献[14]把调度和路由结合起来,以分布式方式解决了线性规划模型问题。与前面研究不同,本文中移动汇聚节点是在空中飞行,移动汇聚节点不仅受轨迹和移动速率等因素影响,还与移动汇聚节点所在高度有关。本文主要是设计基于数据量的局部最优化路径,在此基础上分析可控飞行移动汇聚节点移动轨迹、速率、高度和路由之间的关系,给出用于这种可控移动汇聚节点数据的采集策略,为这类应用奠定基础。

本文第2节介绍移动汇聚节点采集静态传感网络数据时的移动速度、高度、能采集的数据量和延时等特征;第3节给出基于数据量的自适应移动控制算法;第4节给出移动汇聚节点采集数据策略和地面数据转发机制;第5节详细分析在基于数据量的自适应移动控制下,移动汇聚节点数据采集策略的性能,如平均数据量、移动速率和高度等参数之间的关系;最后总结全文并指出下一步工作。

2 问题描述

我们关注一类移动无线传感网络应用,其中有多个无线传感节点部署在人员难以到达的位置,如森林、山林监测,洪水淹没,湖泊监测等,此时静态的无线传感节点部署在这种应用环境中,所有节点都只能短距离通信。为了采集这些节点的数据,可利用飞行器的特点来完成此项工作。当飞行器飞到传感节点通信范围之内时,飞行器与传感节点进行数据交互,主要是从地面传感网络中收集数据。此时的主要问题就是如何设置飞行器的飞行路线,以在最短时间内搜集到所有节点的数据。

此处利用的飞行器是四轴飞行器,它能够灵活控制,可根据需要停留在空间任何位置。

为了保证移动汇聚节点能够有效地采集数据,汇聚节点的移动速率、固定节点传送的数据量都要受到相应的限制。我们将分析多节点位于同一直线上时的飞行器可通信条件约束。

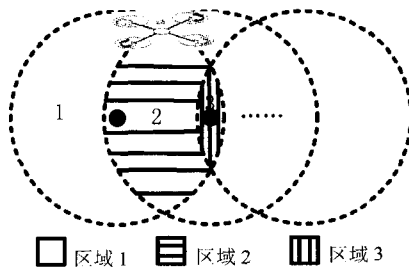


图1 直线部署节点图

图1给出多节点直线部署示意图。相邻节点之间都位于可通信范围之内,汇聚节点在静态节点正上方飞行。图1分

为3个区域:区域1为单节点与汇聚节点的通信范围,区域2为两个节点都可以通信的交叉区域,区域3为3个节点都可以通信的交叉区域。在区域1、2、3中,移动汇聚节点能够采集到的数据各不相同。

2.1 单节点通信区域(区域1)

在区域1中移动汇聚节点只能和一个静态节点通信。

定理1 在移动速率 v 、高度 h 、通信速率 R 固定的情况下,节点最大可传输数据总量为:

$$L_{\max} = R(D/v - h/C - T_d) \quad (1)$$

证明:考虑到数据传播时延,假设每个固定节点的无线传播范围都是 D ,飞行器距离地面高度为 h (h 小于 D 以保证汇聚节点与节点能够通信),无线电磁波传递速率接近光速,为一常数 c ($c \approx 2 \times 10^8$ m/s)。除此之外,考虑数据在节点和汇聚节点的处理时延。不失一般性,此处假设处理时延为固定的时间 t_c 。基于上述分析,可以得到延时上限为:

$$L/R + h/C + T_c \leq t \leq L/R + D/C + T_c \quad (2)$$

假设汇聚节点在通过节点传输覆盖范围飞行时间为 T ,则能传送的数据量必须满足以下条件:

$$L/R + T_p + T_c \leq T \quad (3)$$

可以得到可传输数据量上限为:

$$L_{\max} = R(D/v - h/C - T_c) \quad (4)$$

从而定理1得证。

同样,根据上述分析也可以得到移动速率、汇聚节点高度的限制。

推论1 在数据量大小和数据传送速率固定(即 L 和 R 为定值)、通信可能的情况下,可以容忍的移动速率和高度也必须也有限制,允许的最大移动速率为:

$$v_{\max} = \frac{D}{L/R + h/C + T_c} \quad (5)$$

允许汇聚节点的最大高度为:

$$h_{\max} = c \left(\frac{D}{v} - \frac{L}{R} - T_c \right) \quad (6)$$

证明:从式(2)、式(3)可以得证。

2.2 两个节点同时通信区域(区域2)

由于分析场景中汇聚节点位于节点上方,因此可以用二维坐标来描述。假设两个固定节点,即节点1和节点2的空间位置分别是 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) ,飞行器的位置是 (x, y) 。由于节点位于一条直线,此时 y_1 和 y_2 相等,而 $y - y_1 = h$ 。假设节点1和节点2需要发送给汇聚节点的数据量分别是 L_1 、 L_2 ,根据单节点通信的约束条件的分析, L_1 和 L_2 需满足下列条件:

$$\frac{L_1}{R} + \frac{\sqrt{(x_1 - x)^2 + h^2}}{c} + 2T_d \leq T \quad (7)$$

$$\frac{L_2}{R} + \frac{\sqrt{(x_2 - x)^2 + h^2}}{c} + 2T_d \leq T \quad (8)$$

由式(11)和式(12)可得:

$$\frac{L_1 + L_2}{R} + \frac{\sqrt{(x_1 - x)^2 + h^2} + \sqrt{(x_2 - x)^2 + h^2}}{c} + 4T_d \leq 2T \quad (9)$$

定理2 在移动速率 v 、高度 h 、通信速率 R 固定的情况下,两相邻节点最大可传输数据总量为:

根据移动路径设计骤可以预测到基于数据量的自适应路径,如图4中箭头表示的路线。设计出移动汇聚节点移动路线,接下来的主要任务就是控制移动汇聚节点运动。

3.2 移动汇聚节点轨迹控制

通过上述分析得到一条数据量最大化路径,以此路径作为移动汇聚节点运动轨迹。因而问题归结为如何控制移动汇聚节点按照这种轨迹运动。

汇聚节点开始与某个节点通信时,应首先确定汇聚节点的移动是否正确。由于汇聚节点和固定节点都记录运动轨迹信息(即前一跳节点、本节点和后一跳节点),因此需比较汇聚节点记录的最后一跳节点与固定节点记录的本节点是否相同。如果相同,则汇聚节点按预定路径移动,否则没有按照预定路径移动,需修正运动轨迹,回到移动路径上。在确定汇聚节点按照预定轨迹移动之后,汇聚节点将运动轨迹信息更新为固定节点保存的运动轨迹信息,并根据轨迹信息计算新的移动方向。

3.2.1 移动汇聚节点移动方向确定

移动路径上的固定节点与移动汇聚节点通信后首先将前一跳节点、本节点、后一跳节点 ID 都发送给移动汇聚节点。移动汇聚节点比较本地记录的最后一跳节点 ID 是否为 NULL 或者与这次接收数据中的本节点 ID 是否相同(开始时,移动汇聚节点的前一跳节点、本节点、后一跳节点都为 NULL)。

如果相同即移动路径正确,此时更新移动汇聚节点运动轨迹信息(即前一跳节点、本节点和后一跳节点记录)。如果不同则说明移动轨迹需要修正。移动汇聚节点继续与从地面节点得到数据包进行比较,判断数据包中携带的本节点地址是否与已保存的轨迹信息中本节点地址相同,如果相同就不需要改变移动方向;否则沿反方向移动。

3.2.2 计算新的移动方向

在保证移动路径正确后,根据相关记录得到下一跳节点的位置 (x', y') ,利用 GPS 功能移动汇聚节点可以得到当前位置 (x, y) ,计算新的移动方向。假设移动汇聚节点 X 轴速度 v_x ,Y 轴速度为 v_y 。如果 $x' > x$,则新的移动方向等于 v_x ; $x' < x$,则新的 X 轴移动方向等于 $-v_x$ 。同理,如果有 $y' > y$,则新的 Y 轴移动方向等于 v_y ; $y' < y$,则新的 Y 轴移动方向 $-v_y$ 。根据整个判断标准,可以确定移动汇聚节点每一步的移动方向。

4 移动汇聚节点数据采集策略

根据以上分析,可知部分节点不能直接与移动汇聚节点通信,所以这些节点的数据都必须经过地面路由转发给能够与汇聚节点直接通信的节点,才能被采集。下面介绍地面路由转发协议。

4.1 路由转发协议

4.1.1 路由表

为了到达最近的直接通信的节点,图5给出了不直接通信节点的路由表项。

跳数	下一跳
----	-----

图5 路由表项

其中跳数是指本节点到可以到达的最近的可直接通信节点之间的跳数,初始值为 ∞ ,即不可到达;下一跳指该节点到

最近的可直接通信节点的路由需要经过的下一个节点的 ID,初始值可设为 NULL。

4.1.2 路由表更新

1) 在得到预测的移动路径后,所有跳数为 0 的节点广播路由通知信息,如图6所示,其包含节点 ID 号和跳数的值。能够接收到该数据包并且跳数不为 0 的固定节点修改本节点路由表项,把跳数修改为 1,下一跳为空。

节点 ID	跳数
-------	----

图6 路由信息

2) 跳数为一跳的传感节点继续广播图6所示的路由信息,其中节点 ID 修改为本节点的 ID,跳数的值也修改为本节点的跳数值。

3) 相邻节点收到路由信息后,选择跳数值最小路径更新自己的路由表的即将路由信息的跳数值加 1 后替换路由表项中的跳数值,节点 ID 替换路由表项中的下一跳。如果跳数值相等,选择信号强度最强的那个节点充当下一跳路由地址,并和跳数为一跳节点一样修改路由信息,然后向其它节点广播路由信息,重复步骤3)直到所有不能直接通信的节点建立自己的路由表项。

4.2 能直接通信的节点的数据采集策略

在移动路径的预测步骤中,移动路径上能直接与移动汇聚节点通信的固定节点已经记录了下一跳节点。假如移动汇聚节点已经过某节点,则该节点可将未能发送的数据根据记录的下一跳转发数据,所以只需判断移动汇聚节点是否经过了本节点。

4.2.1 判断移动汇聚节点是否经过

移动汇聚节点的路径预测步骤中,路径上的固定节点也记录了前一跳节点 ID。移动汇聚节点在与某个节点通信并确定移动路径正确后,本节点就可以通知它的前一跳节点移动汇聚节点已经过,前一跳节点根据记录的下一跳节点转发数据。

4.2.2 飞行器末端节点停留

移动路径上的最后一个节点的下一跳节点为 NULL,当移动汇聚节点到达移动路径的末端节点时,末端节点可发送一消息通知移动汇聚节点,汇聚节点在接受到通知后,将速度修改为 0。

5 仿真分析

仿真计算机处理器是 Intel(R) Core(TM) 2 Duo CPU P7350 @2.00GHz,操作系统是 Windows XP,仿真的平台是 Omnet++ 软件。节点的位置可以随意分布,但是为了能够与其他的算法作比较,这里仍然将仿真环境设置为每排 5 个节点,相邻节点之间的距离相等,任意两个相邻的节点都能通信。每个节点的无线传播范围是 100m。

5.1 局部最优路径

此处主要分析移动汇聚节点的运行轨迹。此时移动汇聚节点的速度为 20m/s,高度为 80m。

5.1.1 每个节点拥有相同数据

每个地面节点拥有相同数据等待发送,图7给出基于局部最优优化算法得到的移动汇聚节点运行轨迹。由于本地最优

化算法根据数据量多少来判断,因此当每个地面节点拥有相同数据量时,移动汇聚节点会以‘之’字形遍历所有节点。

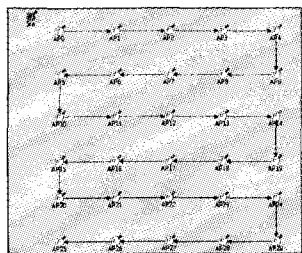


图7 节点数据量相等

5.1.2 节点的数据量均匀分布

当节点具有不同的数据量时,基于移动汇聚节点的数据采集策略优势就比较明显。图8给出均匀分布时的移动汇聚节点运动轨迹。此时移动轨迹主要位于网络一角,主要原因在于网络规模较小,不能体现移动汇聚节点数据量均匀分布的随机性。这种配置导致与移动汇聚节点直接通信的地面节点比较少,大量数据需要通过地面网络转发给移动汇聚节点,从而导致数据采集效率降低。

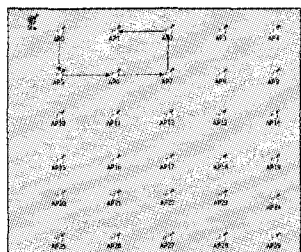


图8 节点数据量均匀分布

5.2 移动汇聚节点逗留时间

当所有节点的数据量设置为均匀分布时,从图9可以看出,随着节点的总数据量增大,汇聚节点的逗留时间逐渐增加。这是因为数据量的增加使得数据转发时间增加,汇聚节点就必须在末端节点上空等待数据转发的完成,逗留的时间也就增加。

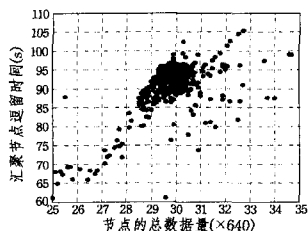


图9 节点总数据量与汇聚节点逗留时间关系

5.3 完成数据收集的时间

5.3.1 汇聚节点逗留时间与数据量的关系

(a) 不同速度下逗留时间与数据量的关系

此处分析汇聚节点在不同速度时,汇聚节点逗留时间与平均数据量之间的关系。我们设置汇聚节点的高度为60m,逐渐增加平均数据量,观察汇聚节点逗留的时间。

从图10可以看出,随着每个节点需要传送的数据量增加,完成数据收集所用的时间也逐渐增加。主要原因是数据量的增加使数据的转发时间增加,汇聚节点逗留的时间自然增加。此外,速度为20m/s,30m/s,40m/s时折线几乎相同,

这是因为速度虽然增加,即汇聚节点从初始节点到末尾节点所用的时间减少,但是数据的转发不能及时完成,汇聚节点只能在最后的节点上空等待,速度的增加对时间的影响就不再重要。

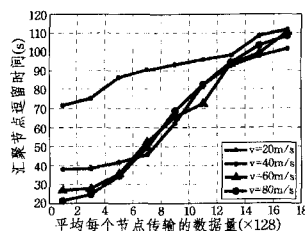


图10 数据量对汇聚节点逗留时间影响(飞行速度不同)

(b) 不同高度下逗留时间与数据量的关系

图11给出了汇聚节点在不同高度下,逗留时间与平均数据量的关系。我们设置汇聚节点的移动速率为20m/s,逐渐增加平均数据量,观察汇聚节点逗留的时间。由图11可以看出,随着节点需要传送的数据量增加,完成数据收集所用的时间也逐渐增加,而高度的降低使完成数据收集所用的时间减少。这是因为汇聚节点的高度降低使得汇聚节点与地面固定节点的通信时间变长,大部分数据可以直接交给汇聚节点,从而减少数据转发的时间,完成所有数据收集的时间也就减少,汇聚节点逗留的时间也就减少。

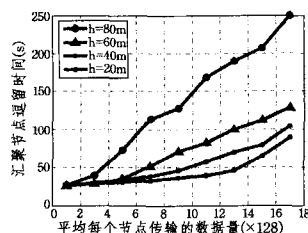


图11 数据量对汇聚节点逗留时间的影响(高度不同)

(c) 不同网络规模下逗留时间与数据量的关系

此处分析在提高网络规模的情况下,汇聚节点逗留时间和数据量的关系。我们设置汇聚节点高度为60m,移动速率为20m/s,每排仍然是5个节点,逐渐增加节点的排数,观察汇聚节点的逗留时间。从图12中可以看出,随着节点需要传送的数据量增加,完成数据收集所用的时间也逐渐增加,这是因为数据量的增加使得数据的转发需要更多时间,汇聚节点将等待更多的时间;并且随着地面固定节点数量的增加,汇聚节点的逗留时间也增加,这是因为节点数量的增加不仅增加了数据量,同时也使汇聚节点的移动时间增加,所以完成数据收集的时间也会增加,汇聚节点的逗留时间也就增加。

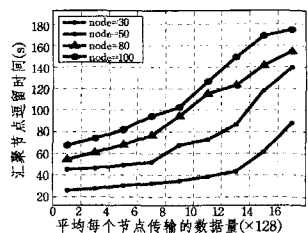


图12 数据量对汇聚节点逗留时间影响(节点数量不同)

5.3.2 汇聚节点逗留时间与移动速率的关系

此处分析汇聚节点逗留时间与移动速率的关系。将每个节点的数据量固定设置为640比特,逐渐增加汇聚节点的移

动速率。

(a)不同高度下逗留时间与移动速率的关系

图 13 给出了汇聚节点位于不同高度时,汇聚节点逗留时间与移动速率的关系。从图 13 中可以看出,随着汇聚节点高度的降低,逗留时间也相应减少。这是因为高度的降低使得地面固定节点与汇聚节点直接通信的时间增加,大部分的数据可以直接交给汇聚节点而不需要经过路由转发,节省了时间,完成收集数据的时间逐渐减小。当汇聚节点的移动速率小于 60m/s 时,随着汇聚节点的移动速率增加,汇聚节点移动的时间自然就减少,完成收集数据所用的时间也就随之减少。然而,当汇聚节点的移动速率大于 60m/s 时,虽然汇聚可以更快地到达末端节点,但是数据的转发却需要一定的时间,完成数据收集的总时间就趋向不变,直线趋于平缓不变。

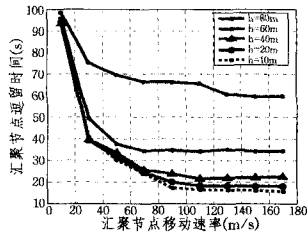


图 13 移动速度对汇聚节点逗留时间的影响(高度不同)

(b)不同网络规模下逗留时间与移动速率的关系

此处分析在不同的网络规模下,逗留时间和移动速率的关系。我们设置汇聚节点的高度为 60m,逐渐增加汇聚节点的移动速率,观察汇聚节点的逗留时间。从图 14 中可以看出,随着地面固定节点数量的增加,汇聚节点的逗留时间也增加。这是因为节点数量的增加不仅增加了数据量,同时也使汇聚节点的移动时间增加,所以完成数据收集的时间也会增加,汇聚节点的逗留时间也就增加。另外,当汇聚节点的移动速率小于 60m/s 时,随着汇聚节点的移动速率增加,移动的时间会减少,收集数据所用的时间也就减少,但是当移动速度大于 60m/s 时,汇聚节点的逗留时间趋于不变。这是因为数据的转发需要一定的时间,即使汇聚节点的速率增加,移动的时间减少,但是汇聚节点必须在末端节点等待数据的转发完成,此时移动速率的影响已不再重要。

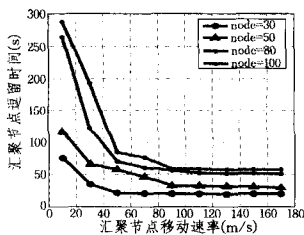


图 14 飞行速度对汇聚节点逗留时间的影响(节点数量不同)

结束语 本文基于数据量的自适应移动控制算法,在此基础上分析飞行器采集数据的性能,对移动汇聚节点飞行路径、速度、高度和可发送数据量等进行了详细的分析和讨论,并给出这种应用环境中的移动汇聚节点数据采集策略。利用仿真对提出的数据采集策略性能进行了详尽的讨论。由仿真结果可知,适当设置移动汇聚节点的飞行速度、高度能够在保证采集数据质量的条件下减少数据采集平均时间,从而提高

工作效率。

在后面的工作中,我们将进一步分析系统的能效性,比较这种移动控制算法与其他算法的性能,并优化移动汇聚节点移动策略,从而再提高数据采集效率。另外将考虑节点的休眠机制,以延长网络生命期。

参考文献

- [1] Francesco M D, Das S K, Anastasi G. Data collection in wireless sensor networks with mobile Elements, A survey [J]. ACM Trans. Sen. Netw., 2011, 8(1): 31
- [2] Anastasi G, Conti M, Francesco M D, et al. Energy conservation in wireless sensor networks: A survey [J]. Ad hoc Networks, 2009, 7(3): 537-568
- [3] Poduri S, Sukhatme G S. Achieving connectivity through coalescence in mobile robot networks [C] // Proceedings of the 1st International Conference on Robot Communication and Coordination (RoboComm'07). Oct. 2007: 1-6
- [4] Chatzigiannakis I, Kinalis A, Nikolettseas S. Sink mobility protocols for data collection in wireless sensor networks [C] // Proceedings of the 4th ACM International Workshop on Mobility Management and Wireless Access (MobiWac'06). 2006: 52-59
- [5] Rao J, Biswas S. Network-assisted sink navigation for distributed data gathering: Stability and delay-energy trade-offs [J]. Comp. Comm, 2010, 2(33): 160-175
- [6] Tseng Y-C, Wang Y-C, Cheng K-Y, et al. iMouse: An integrated mobile surveillance and wireless sensor system [J]. IEEE Comp, 2007, 6(40): 60-66
- [7] Gatzianas M, Georgiadis L. A distributed algorithm for maximum lifetime routing in sensor networks with mobile sink [J]. IEEE Trans. Wirel. Commun., 2008, 3(7): 984-994
- [8] Sugihara R, Gupta R K. Optimal speed control of mobile node for data collection in sensor networks [J]. IEEE Trans. Mob. Comp., 2010, 1(9): 127-139
- [9] 郜帅, 张宏科. 时延受限传感器网络移动 Sink 路径选择方法研究 [J]. 电子学报, 2011, 39(4): 1-6
- [10] Somasundara A A, Ramamoorthy A, Srivastava M B. Mobile element scheduling for efficient data collection in wireless sensor networks with dynamic deadlines [C] // Proceedings of the 25th IEEE International Real-Time Systems Symposium (RTSS'04). 2004: 296-305
- [11] Somasundara A A, Ramamoorthy A, Srivastava M B. Mobile element scheduling with dynamic deadlines [J]. IEEE Trans. Mob. Comp., 2007, 4(6): 395-410
- [12] Wang G, Cao G, La Porta T, et al. Sensor relocation in mobile sensor networks [C] // Proceedings of the 24th IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM'05). Vol. 4, 2005: 2302-2312
- [13] Basagni S, Carosi A, Melachrinoudis E, et al. Controlled sink mobility for prolonging wireless sensor networks lifetime [J]. Wirel. Netw., 2008, 6(14): 831-858
- [14] 郜帅, 张宏科, 徐怀松. Sink 轨迹固定传感器网络的高效数据采集机制 [J]. Journal of Software, 2010, 21(1): 147-162