

# 基于移动 sink 节点的路由协议的比较与分析

张惠麒 林志贵 李 敏 孟德军

(天津工业大学电子与信息工程学院 天津 300387)

**摘 要** 设计基于移动 sink 节点的路由协议是移动 sink 无线传感网络中的一个关键问题。首先分析移动 sink 无线传感器网络的网络结构以及移动 sink 路由协议的评价指标。其次,对现有的移动 sink 路由协议进行归纳和总结,并将其分为非分层路由协议、基于虚拟网格的路由协议和基于虚拟簇的路由协议 3 类。最后,从网络总能耗、节点存活数以及基站接收到的数据包方面对其进行仿真,仿真结果进一步验证了理论上的分析,为选择有效的移动 sink 路由协议提供依据。

**关键词** 移动 sink 无线传感网络,移动 sink 路由协议,性能比较

中图法分类号 TP393 文献标识码 A

## Comparison and Analysis of Routing Protocol Based on Mobile Sink

ZHANG Hui-qi LIN Zhi-gui LI Min MENG De-jun

(School of Electronics and Information Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

**Abstract** Designing a routing protocol based on mobile sink is a key technique for mobile sink wireless sensor network. Firstly, this paper analysed the network structure of mobile sink wireless sensor network and evaluation indexes of mobile sink routing protocol. Secondly, the existing mobile sink routing protocols were summarized and divided into three types of protocol, including non hierarchical routing protocol, routing protocol based on virtual grid and routing protocol based on virtual cluster. Finally, in terms of the network energy consumption, the number of survival nodes and received packet by sink, the protocols were emulated. Emulation results verified the theoretical analysis of protocols, which provides help for the selection of effective mobile sink routing protocol.

**Keywords** Mobile sink wireless sensor network, Mobile sink routing protocol, Performance comparison

### 1 引言

无线传感器网络中引入移动 sink 节点不仅可以改变网络中的流量分布,还可以平衡网络中带宽资源和能量消耗,从而延长网络的生存时间并提高网络的灵活性<sup>[1]</sup>。引入移动 sink 节点后,传统的路由协议无法满足其要求,需要设计一种移动路由协议。该协议实现在传感器节点和移动 sink 节点间建立高效传输路径,其性能直接影响网络能量效率以及传输性能。因此,设计基于移动 sink 节点的路由协议是移动 sink 无线传感网络(Mobile Sink Wireless Sensor Network, MSWSN)中的一个关键问题。

2005 年, J Luo 等<sup>[2]</sup>提出基于移动汇聚节点的路由协议——JMRP (Joint Mobility and Routing Protocol) 协议。在该协议中,所有节点的地位都是平等的,不存在等级和层次的差异。节点通过实时监听移动 sink 节点的位置来传输数据。该类协议实现简单,数据采集路径维护开销低,具有较好的健壮性,但是缺乏对通信资源的优化管理。K Tian 等<sup>[3]</sup>对移动 sink 节点采用随机移动策略,结合了基于随机行走的分组转发机制和基于 sink 节点移动轨迹的分组转发机制,提出

TRAIL 协议。该协议增强了资源的优化管理,降低了数据采集路径维护开销,却在移动过程中周期性地发送 HELLO 包,消耗大量能量。H Luo 等<sup>[4]</sup>将网络分割成虚拟网格,从这个角度提出基于移动汇聚节点的路由协议(Two-tier Data Dissemination, TTDD 协议)。在该协议中,网络被划分成许多个网格,节点通过格状网建立到移动 sink 节点的数据转发路径,减弱了能量空洞效应,但是网格建立的过程会消耗掉节点的一部分能量。Kisuk Kweon<sup>[5]</sup>也采用虚拟网格的形式,实现多个源节点向多个移动 sink 节点转发数据,提出 GBEER (Grid-Based Energy-Efficient Routing) 协议,增强了数据转发成功率,降低了能耗。H. L. Xuan 等<sup>[6]</sup>提出 CODE (Coordination-based Data Dissemination) 协议,该协议采用虚拟网格的形式,只是将网络划分为永久的网格,代替活动网格,减少划分网络的能量消耗。2006 年, Ching-Ju 等<sup>[7]</sup>将网络分成多个虚拟簇,从虚拟簇角度,提出基于虚拟簇的路由协议(Hierarchical Cluster-based Data Dissemination, HCDD 协议)。在该协议中,网络中的节点被划分为多个簇,并且簇头节点之间可以直接通信,由簇头节点负责收集数据并转发给移动 sink 节点。基于虚拟簇的路由协议不需要 GPS 定位,减少了节点的

张惠麒(1988—),女,硕士生,主要研究方向为嵌入式系统的开发与应用, E-mail: zhq880820@163.com; 林志贵(1974—),男,博士,副教授,主要研究方向为嵌入式系统设计、信息监测与控制、多源信息融合处理等; 李 敏(1989—),女,硕士生,主要研究方向为嵌入式系统的开发与应用; 孟德军(1985—),男,硕士,主要研究方向为嵌入式系统的开发与应用。

能量消耗,但是分簇算法形成路径的不确定性可能导致最终路径不是最短路径。N. M. Khan 等<sup>[8]</sup>从节点能量平衡出发,在网络分簇后,选择簇头时优先选择高能量节点作为簇头,提出 QCCA(Quasi Centralized Clustering Approach)协议,延长了网络的生命周期。

本文首先从理论上分析上述 3 类移动 sink 路由协议,其次基于 NS2 对其进行仿真,最后,基于仿真结果,分析其特点,验证其理论的有效性以及其理论的局限性。

## 2 移动 sink 路由协议

### 2.1 移动 sink 无线传感器网络结构

MSWSN 由大量传感器节点和少量可移动的 sink 节点组成,如图 1 所示。MSWSN 中,传感器节点采集数据并传送给移动 sink 节点,然后移动 sink 节点通过互联网或卫星转发数据给访问点或基站,最后用户通过基站处理这些数据,并配置网络。

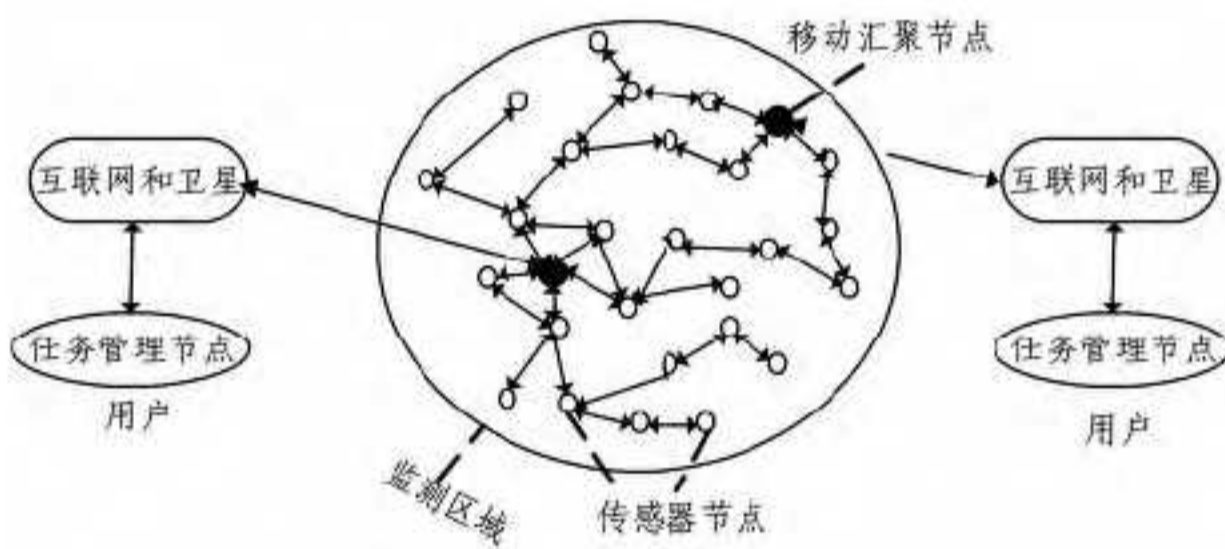


图 1 移动 sink 无线传感器网络结构

### 2.2 移动 sink 路由性能指标

MSWSN 通常与实际应用对象紧密结合在一起,相应地针对不同的应用对象,有其不同的 MSWSN 路由协议,这为评价 MSWSN 路由协议带来了困难。一般而言,评价一个 MSWSN 路由协议,往往需要考虑以下指标<sup>[9]</sup>。

- (1) 能量有效性:尽可能降低能源消耗,延长网络生存时间,是 MSWSN 路由协议设计的首要目标。
- (2) 可靠性:传感节点容易因为能量耗尽或环境干扰而失效,整个网络的性能不会因为部分传感节点的失效而受到影响。
- (3) 扩展性:在一些应用中可能需要成百上千个传感节点,路由设计应能满足大量节点协同工作的要求。
- (4) 延迟:传感器网络的延迟时间是指观察者发出请求到收到应答信息所需的时间。设计路由协议时应尽可能减少延迟。

## 3 典型移动路由协议

根据 MSWSN 路由协议的实现方法和特点,将现有的 MSWSN 路由协议分为 3 类:非分层路由协议、基于虚拟网格的路由协议和基于虚拟簇的路由协议。

### 3.1 非分层路由协议

#### (1) TRAIL

在 TRAIL 协议<sup>[3]</sup>中,移动 sink 节点采用随机移动策略,并在移动过程中会周期性发送 HELLO 包,而其它节点监听到 HELLO 包后将在网络中形成一条 sink 节点移动轨迹。TRAIL 协议结合了基于随机行走的分组转发机制和基于 sink 节点移动轨迹的分组转发机制。当持有分组的传感器节

点具有有效移动 sink 节点轨迹信息时,它将分组发往轨迹更新的方向,否则启动随机行走,直到分组再次遇到更新的移动 sink 节点轨迹,如图 2 所示。TRAIL 协议既可以用于单 sink 节点传感网,也可以用于多 sink 节点传感网。传感器节点监听到其他节点沿轨迹转发分组的行为时,可以自动获得轨迹信息,以备未来分组转发之用。TRAIL 协议具有实现简单、数据采集路径维护开销低等优点,但是移动 sink 节点采用随机移动策略,并且在移动过程中周期性地发送 HELLO 包,消耗大量能量。

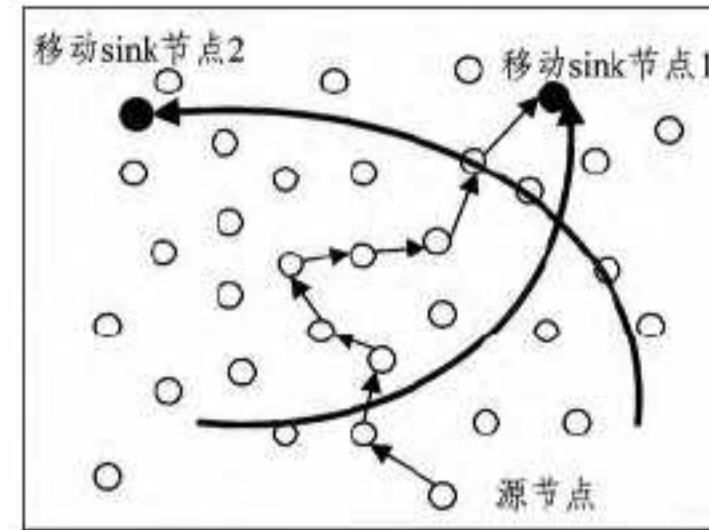


图 2 TRAIL 协议分组转发示意图

#### (2) JMRP

JMRP 协议<sup>[2]</sup>中,移动 sink 节点沿着与网络边界平行的曲线移动,其它传感器节点持续追踪该节点的位置并通过多跳通信传输数据。假设移动 sink 节点的最优轨迹是沿着半径为  $R$  的圆圈移动,圈内的其它传感器节点直接沿最短路径发送数据,而圈外的其它传感器节点先沿同心圆对数据分组进行环形路由,然后再采用最短路径路由,如图 3 所示。该路由利用 sink 节点的移动性进行负载平衡,延长了网络生存时间,但在实现过程中存在如下问题:移动 sink 节点需要在网络同心圆边界移动(网络需要为圆形区域),限制其使用范围;网络中所有节点都需要实时获知移动 sink 节点的最新位置信息,增加能量消耗等<sup>[10]</sup>。

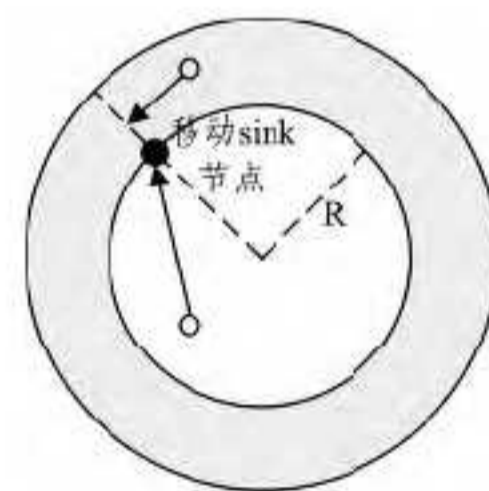


图 3 联合移动与路由示意图

### 3.2 基于虚拟网格的路由协议

#### (1) TTDD

TTDD 协议<sup>[4]</sup>是一种层次路由协议,当多个传感器节点探测到事件发生时,选择一个节点作为发送数据的源节点,源节点利用贪婪算法找到其最接近的转发节点,同理转发节点找其最接近的其它转发节点,直至请求任务超时或到达网络的边缘,逐步构造出一个格状网。sink 节点通过泛洪方式查询附近的转发节点,通过转发节点找到源节点,建立一条传输路径,使其数据传输到 sink 节点,如图 4 所示。在数据传输过程中,sink 节点可以移动。为了保证在 sink 节点移动能及时准确地获得数据,sink 节点采用代理机制,所有传送给 sink 节点的数据须先传给代理节点,由代理节点转发给 sink 节点,这样可以在一定程度上保证最后一段路径的稳定性以及接收数据包的成功率。该协议减弱了能量空洞效应,但是

节点需要 GPS 定位来构建网络,且 sink 节点需要周期的洪泛信息,因此增加了网络能量的消耗[11]。

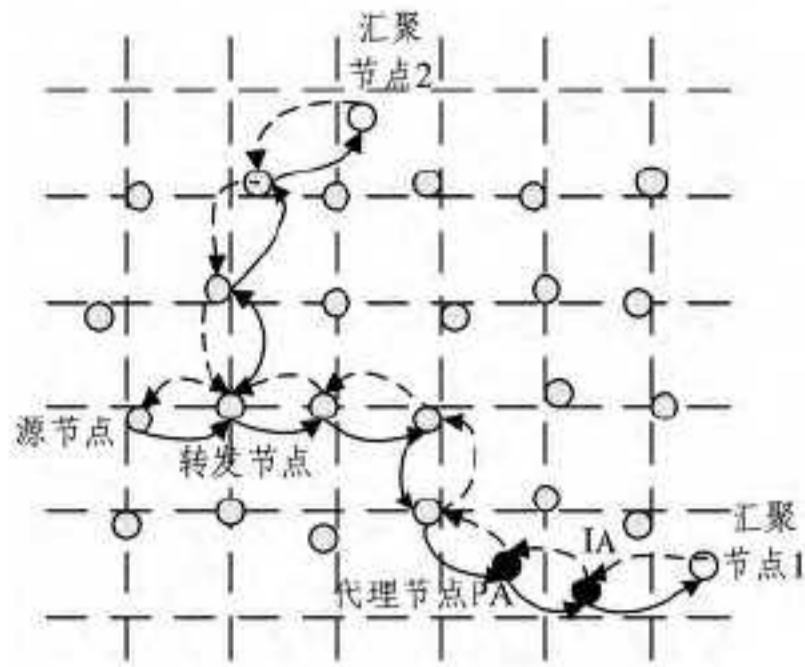


图4 TTDD 协议的数据转发过程

### (2) GBEER

GBEER 协议[5]是一种由多个源节点向多个移动 sink 节点转发数据的路由协议。在 GBEER 协议中,传感器节点都是位置感知的,在初始化时将其构建成一个永久的格状网,并在每个网格内随机选择一个头节点,头节点负责数据收集及融合,并以直线方式在网络的头节点中转发数据公告消息, sink 节点采用随机的移动方式,就近访问网格来获取事件信息,如图 5 所示。相比于 TTDD 路由协议中每个源节点都需要建立一个格状网,该协议节省了能量,但是 sink 节点采用随机移动方式,并需要周期的洪泛信息,仍然消耗一定的能量。

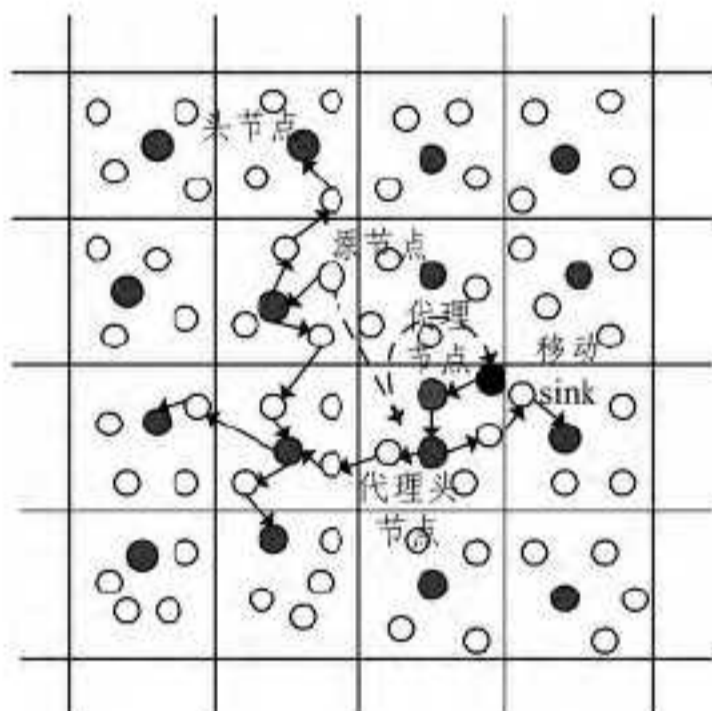


图5 GBEER 协议的数据公告和数据转发过程

### (3) CODE

CODE 协议[6]把网络划分为永久的网格,并且每个网格内只有一个节点处于活动状态,其他节点都处于休眠状态,处于活动状态的节点称为网格头节点(GH)。移动 sink 节点指定距离其最近的 GH 节点为其代理节点,负责数据查询、数据收集以及向移动 sink 节点发送数据。当 sink 节点移出 GH 节点所在区域后,重新选择一个新的 GH 节点作为其代理节点,新的 GH 节点会创造一条新的转发路径,如图 6 所示。该协议通过转换节点的活动和休眠状态来延长网络生存时间,但是 GH 节点的选择具有随机性,会导致网格内的能量消耗不均衡,从而影响整个网络的性能[12]。

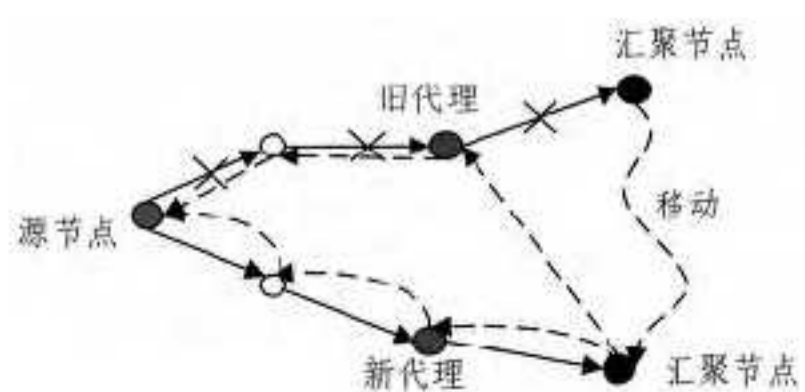


图6 CODE 协议中新转发路径的建立过程

## 3.3 基于虚拟簇的路由协议

### (1) HCDD

HCDD 协议[7]是基于分簇的路由协议。该协议将网络中的节点划分为多个簇,簇头节点之间可以直接通信。网络中普通节点负责采集数据,簇头节点负责转发数据,移动 sink 节点指定一个簇头节点,该簇头节点负责发送查询信息并进行数据收集,最后转发给移动 sink 节点,如图 7 所示。与 TTDD 协议相比,HCDD 协议具有不需要 GPS 支持、能耗低、适用范围广等优点。但是分簇算法形成路径的不确定性,导致源节点到 sink 节点的路径并不一定是最短路径[13]。

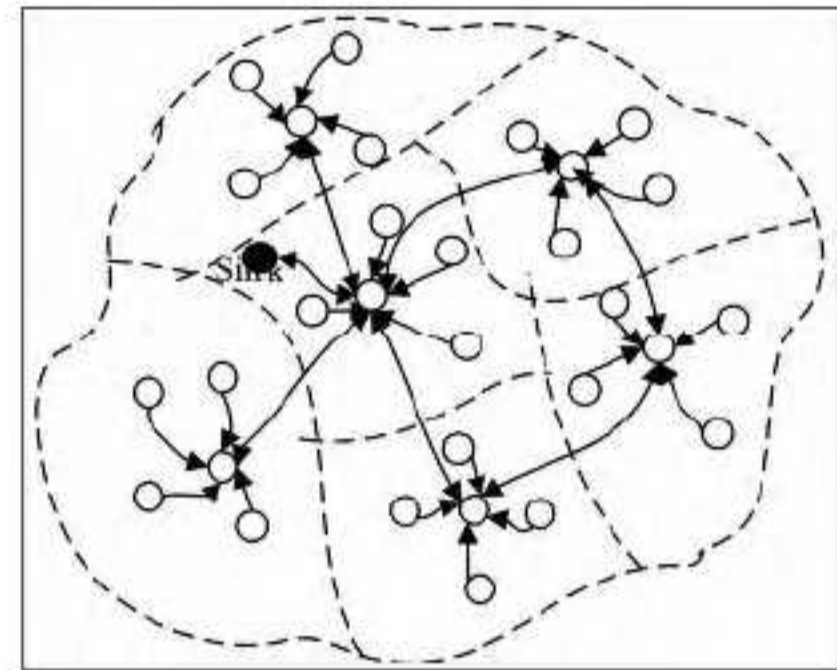


图7 HCDD 协议的数据转发过程

### (2) QCCA

QCCA 协议[8]是一种基于虚拟簇的路由协议。QCCA 协议首先把网络划分为若干个簇,具有高能量的节点(该节点数远小于网络总节点数)会被优先选为簇头节点,其他普通节点负责采集数据并通过多跳方式把数据传送到簇头节点。当移动 sink 节点移动到其中一个簇内,该簇的簇头节点将数据直接传送到移动 sink 节点,如图 8 所示。这种网络节省了大量普通节点的能量,从而节省了整个网络的能量,延长了网络的生存时间。但是其成本较高,限制了其应用。

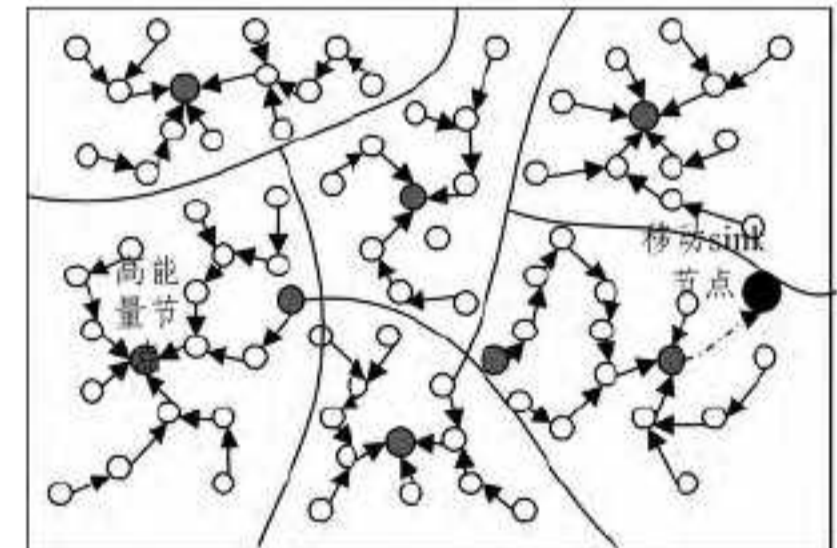


图8 QCCA 协议的数据转发过程

## 3.4 移动路由协议的特点比较

从路由协议的可扩展性、通信方式(单跳还是多跳)、移动 sink 节点(多个还是单个)、位置感知(节点是否需要 GPS 定位)、数据融合、可靠性、实时性以及协议是否节能等方面考虑,上述移动 sink 无线传感器网络路由协议的性能和特点如表 1 所列。

表1 典型移动 sink 路由协议特点比较

性能	可扩展性	通信方式	移动 sink 节点数	位置感知	网络结构	可靠性	实时性	节能
TRAIL	好	多跳	多个	否	非层次	好	一般	较好
JMRP	一般	多跳	单个	是	非层次	较好	较好	好
HCDD	好	单跳	单个	否	虚拟簇	较好	较好	好
QCCA	一般	多跳	单个	否	虚拟簇	好	一般	好
TTDD	较好	多跳	多个	是	网格	好	较好	一般
GBEER	较好	多跳	多个	是	网格	较好	较好	较好
CODE	较好	多跳	单个	是	网格	好	较好	好

由表 1 可知,扩展性方面,TRAIL 协议和 HCDD 协议最好,其次是 TTDD 协议、GBEER 协议和 CODE 协议,而 JM-RP 协议和 QCCA 协议的扩展性一般。在通信方式上,只有 HCDD 协议采用单跳通信,其他协议都采用多跳通信。在 JM-RP 协议、HCDD 协议、QCCA 协议以及 CODE 协议中都只有一个移动 sink 节点,而在 TRAIL 协议、TTDD 协议以及 GBEER 协议中可以有多个移动 sink 节点。JM-RP 协议、TTDD 协议、GBEER 协议和 CODE 协议中的传感器节点是位置感知的,而 TRAIL 协议、HCDD 协议和 QCCA 协议中的节点不是位置感知的,需要定位。在网络的可靠性方面,TRAIL 协议、QCCA 协议、TTDD 协议以及 CODE 协议的可靠性比 JM-RP 协议、HCDD 协议和 GBEER 协议高。除了 TRAIL 协议和 QCCA 协议的实时性一般,其他协议的实时性都较好。在节能方面,TTDD 协议效果一般,TRAIL 协议和 GBEER 协议较好,JM-RP 协议、HCDD 协议、QCCA 协议以及 CODE 协议的节能效果最佳。

## 4 仿真与结果分析

### 4.1 仿真环境

采用 NS2 仿真平台分别对上述协议进行仿真。仿真场景设定为  $100\text{m} \times 100\text{m}$ ,随机部署 100 个节点,节点的初始能量设置为 2J,接收或发送 1bit 数据电路消耗的能量为 50nJ,sink 节点的移动速度为 5m/s。

### 4.2 仿真结果与分析

分别从网络的能量消耗、存活的节点数以及基站接收到的数据包这 3 个方面对各个协议进行比较分析。

#### (1) 网络整体能耗

网络整体的能量消耗如图 9 所示。从图 9 中可以看出,0~100s 这段时间内,各个协议所消耗的能量都在 0~40J。各个协议在这段时间内都在进行网络的初始化,所以消耗的能量相差并不是很明显。随着网络运行时间的变化,由于 QCCA 协议中有高能量的簇头节点,其网络中的普通节点消耗的能量较少,进而整个网络的能耗较少。在  $t=200\text{s}$  时,QCCA 协议所消耗的能量是 49J。CODE 协议中没有高能量节点,其能耗高于 QCCA 路由协议,但是该协议采用节点在活动和休眠状态间交替转换机制,节省了一部分能量,因此在  $t=200\text{s}$  时 CODE 协议消耗的能量是 57J,略高于 QCCA 协议。在  $t=200\text{s}$  时,HCDD 协议消耗的能量为 63J,GBEER 协议消耗的能量为 68J,TTDD 协议所消耗的能量为 71J,JM-RP 协议消耗的能量是 75J,而 TRAIL 协议所消耗的能量是 77J。从这些数据看出, $t=200\text{s}$  时 TRAIL 协议消耗能量最多,原因在于其需要周期性地广播 HELLO 包。

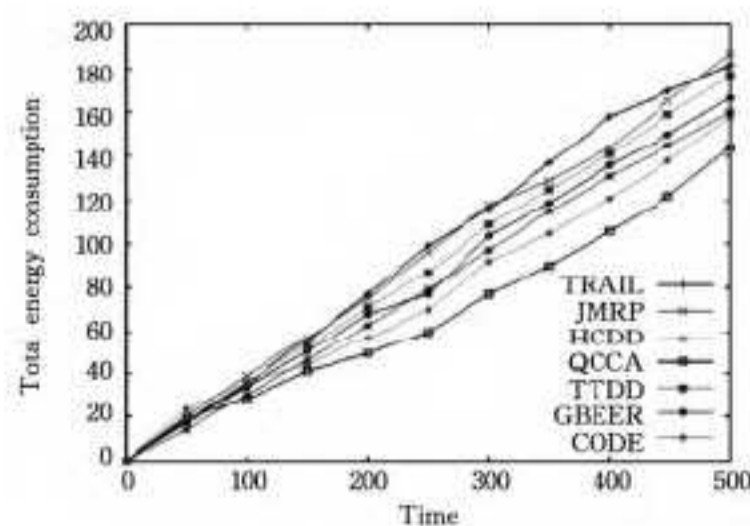


图 9 网络能耗对比图

$t=500\text{s}$  时, JM-RP 协议消耗的能量是 187J,而 TRAIL 协议所消耗的能量是 182J,这是由于随着时间的增加, JM-RP 协

议中用于监测 sink 节点的能量超过了 TRAIL 协议中用于广播 HELLO 包所消耗的能量。TTDD 协议消耗的能量是 177J,GBEER 协议消耗的能量是 167J,HCDD 协议所消耗的能量是 160J,CODE 协议消耗的能量是 158J,而 QCCA 协议中含有高能量节点,所以其网络的能量消耗最慢,只有 144J。

#### (2) 节点存活数

网络中存活节点数随时间的变化如图 10 所示。从图 10 可以看出,网络运行一段时间后,部分节点因能量耗尽而死亡。最先有节点因能量耗尽而死亡的协议是 TRAIL 协议,在  $t$  约为 800s 时,出现第一个死亡节点。在节点数等于 50 时,TTDD 协议的网络运行时间少于 TRAIL 协议所运行的时间,说明 TTDD 协议要比 TRAIL 协议先消耗掉一半的节点。其次是 TTDD 协议,该协议建立网络转发数据,节点存储了转发路径信息,节省了部分能量,在  $t$  约为 840s 时有节点死亡,但是 TTDD 协议的每个源节点都需要建立一个格状网,节点在建立网格的过程中又浪费了一部分能量。HCDD 协议在  $t$  为 880s 时出现死亡节点;GBEER 协议在  $t$  为 940s 时出现节点死亡;JM-RP 协议在  $t$  为 960s 时出现节点死亡;CODE 协议在  $t$  为 1060s 时出现节点死亡,由于其网络中节点采用睡眠和活动状态交替转换策略,因此其节点节省了一部分能量。QCCA 协议中含有高能量的节点,并且优先选择高能量的节点成为簇头节点,负责接收和转发数据,所以其他节点的能量消耗较慢,在  $t$  为约为 1200s 时才出现节点因能量耗尽而死亡。

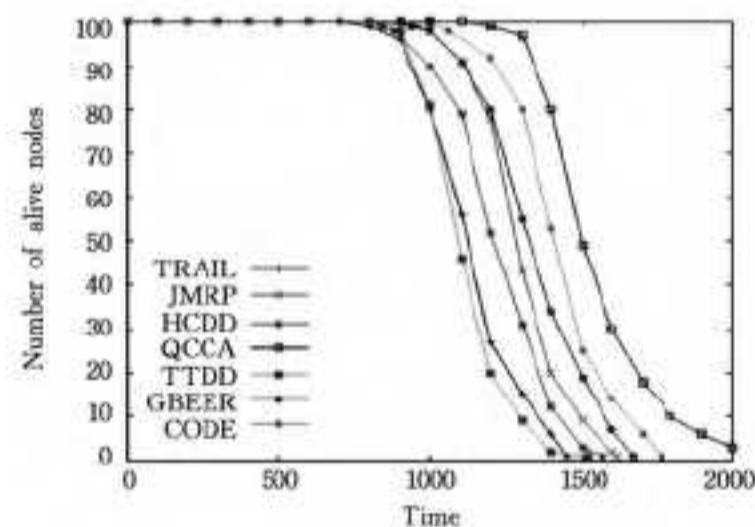


图 10 节点存活数对比图

TRAIL 协议是在  $t=1450\text{s}$  时,节点全部死亡,而 TTDD 协议在  $t=1519\text{s}$  时,节点全部死亡。TTDD 协议在网络运行的末期不再需要建立网格,而且转发节点中存储了源节点信息和路径信息等,而 TRAIL 协议中的节点仍然需要不断地寻找 sink 节点,所以在最后 TTDD 协议节点死亡的速率要比 TRAIL 协议慢,生命周期比 TRAIL 协议长。在  $t=1569\text{s}$  时,GBEER 协议中的节点全部死亡,GBEER 协议把网络分成永久的网格,相比于 TTDD 协议节点节省了能量,所以其生命周期比 TTDD 长。JM-RP 协议在  $t=1619\text{s}$  时,节点全部死亡,由于其移动 sink 节点沿着网络同心圆边界移动,能够从理论上提供最佳的网络生命期。但是节点需要实时获知 sink 节点的最新位置消息,浪费了部分能量。在  $t=1669\text{s}$  时,HCDD 协议中的节点全部死亡,HCDD 协议不需要 GPS 的支持,减少了节点的能量消耗。但是分簇算法形成路径的不确定性导致源节点到 sink 节点的路径并不一定是最短路径,节点也因此浪费了一部分能量。CODE 协议通过转换节点的活动和休眠状态来节省节点的能量,进而延长了网络的生存时间,其网络的生命周期仅次于 QCCA 协议,在  $t=1759\text{s}$  时节点才全部死亡。而 QCCA 协议在  $t=2000\text{s}$  时,还有部分节点存活,其生命周期还没有结束。

### (3) 基站接收的数据包

基站随时间变化所接收的数据包个数如图 11 所示。从图 11 中可以看出,在  $t=400\text{s}$  时,HCDD 协议接收到的数据包数最少为 46572,原因在于 HCDD 协议中,源节点首先把数据发送到本簇的簇头节点,再由该簇头节点转发到 sink 节点指定的簇头节点,最后再转发到 sink 节点,所以数据传输的延迟较大,在相同的时间内,HCDD 协议接收到的数据包较少。相比于 TTDD 协议,GBEER 协议不需要每个源节点都建立一个格状网,而是建立一个永久的网格,所以在网络初始运行阶段,GBEER 协议中 sink 节点接收的数据包数(65564)大于 TTDD 协议(60541);在  $t>500\text{s}$  时,TTDD 协议中 sink 节点接收到的数据包(77983,  $t=500\text{s}$ )比 GBEER 协议(77564,  $t=500\text{s}$ )多。

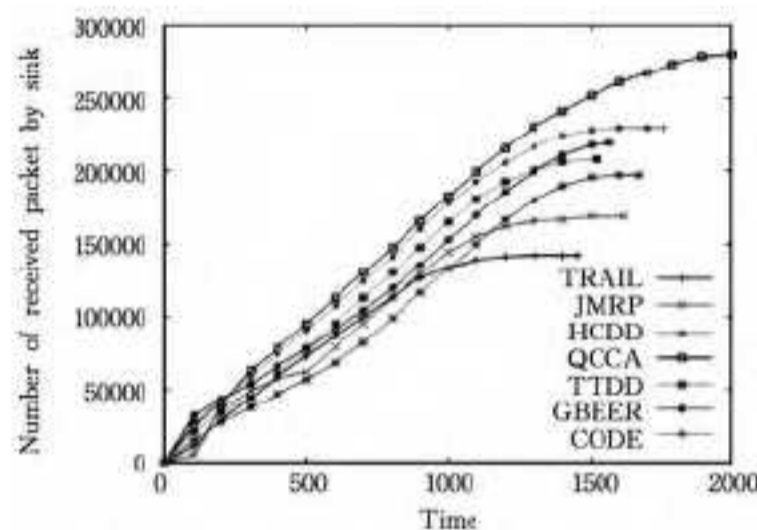


图 11 基站接收到的数据包数

随着死亡节点的出现,各个协议所接收到的数据包数逐渐减少。从图 11 中可以看出,  $t>800\text{s}$  时, JMRP 协议所接收到的数据包数超过了 TRAIL 协议。随着 TRAIL 协议中存活节点数的进一步减少以及 JMRP 协议中死亡节点的出现,在  $t>1000\text{s}$  时, HCDD 协议所接收到的数据包数(166000,  $t=1200\text{s}$ )逐渐超过了 TRAIL 协议(141020,  $t=1200\text{s}$ )和 JMRP 协议(161540,  $t=1200\text{s}$ )。QCCA 协议(199215,  $t=1000\text{s}$ )与 CODE 协议(192369,  $t=1000\text{s}$ )在 sink 节点接收的数据包数量上逐渐拉开了距离。在  $t=1300\text{s}$  时, HCDD 协议所接收到的数据包数(180001)已明显超过了 JMRP 协议(165248)。

随着死亡节点增多, TRAIL 协议最先结束数据的发送,其次是 JMRP 协议。TTDD 协议随着网络运行时间的增加,其网络中死亡节点数也逐渐增多,所以 sink 节点接收到的数据包在逐渐减少。从图 11 中可以看出,在  $t>1300\text{s}$  时, GBEER 协议中存活的节点数(210598,  $t=1400\text{s}$ )多于 TTDD 协议(206477,  $t=1400\text{s}$ ),所以 GBEER 协议中 sink 节点接收到的数据包数比 TTDD 协议多。QCCA 协议在 1400s 时接收到的数据包最多,达到 241000, CODE 协议仅次于 QCCA 协议,为 224369。可以看出 QCCA 协议和 CODE 协议除了节能性好、生命周期长等优点,其数据传输的可靠性也较好。

**结束语** 本文详细阐述了移动 sink 无线传感器网络的网络结构以及移动 sink 路由协议的评价指标。根据路由协议的特点,将移动 sink 路由协议分为 3 类:非分层路由协议、基于虚拟网格的路由协议和基于虚拟簇的路由协议,并对每一类经典移动 sink 路由协议的基本思想和优缺点进行了归纳、分析和比较。

最后,通过 NS2 仿真软件,从网络总能耗、节点存活数以及基站接收到的数据包方面对本文所述的路由协议进行仿真比较。仿真结果表明,最节能、生命周期最长、性能最好的路由协议是具有高能量节点的 QCCA 路由协议。CODE 路由协议在各个方面的性能仅次于 QCCA 协议。HCDD 协议和

GBEER 路由协议的节能性突出, HCDD 协议各方面的性能略低于 GBEER 协议。能量消耗最多的是 JMRP 协议, TRAIL 协议的能耗要比 JMRP 协议的能耗少,而 TTDD 协议的性能要优于 TRAIL 协议。

### 参考文献

- [1] 顾云丽,徐昕,侯荣涛,等.基于移动 Sink 的无线传感器网络任播路由协议[J].计算机科学,2013,40(12):166-191
- [2] Luo J, Huang J P. Joint Mobility and Routing for Lifetime Elongation in Wireless Sensor Networks[C]// Proceedings IEEE Infocom 2005. Miami, FL, United states, 2005:1735-1746
- [3] Tian K, Zhang B, Huang K, et al. Data Gathering Protocols for Wireless Sensor Networks[C]// Proceedings 2010 IEEE Global Communications Conference. Miami, FL, USA, 2010:1-6
- [4] Luo H, Ye F, Cheng J, et al. TTDD: Two-tier Data Dissemination in Large-scale Wireless Sensor Networks [J]. Wireless Networks, 2005, 11(1/2):161-175
- [5] Kweon K, Ghim H, Hong J, et al. Grid-Based Energy-Efficient Routing from Multiple Sources to Multiple Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks[C] // International Symposium on Wireless and Pervasive Computing. Melbourne, VIC, Australia, February 2009:1-5
- [6] Xuan H L, Lee S. A Coordination-Based Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks[C]// Proceeding of the 2004 Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference. Melbourne, Vic, Australia, December 2004:13-18
- [7] Lin Ching-ju, Chou Po-lin, Chou Cheng-fu. HCDD: Hierarchical Cluster-based Data Dissemination in Wireless Sensor Networks with Mobile Sink[C] // Proceeding of the 2006 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference. Vancouver, British Columbia, July 2006:1189-1194
- [8] Khan N M, Ali I, Khalid Z, et al. Quasi Centralized Clustering Approach for Energy-Efficient and Vulnerability-Aware Routing in Wireless Sensor Networks[C]// Proceeding of the 9th ACM international Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. Hong Kong, China, May 30, 2008:67-72
- [9] 郑军,张宝贤.无线传感器网络技术[M].北京:机械工业出版社,2012
- [10] Luo Jun, Hubaux J P. Joint Sink Mobility and Routing to Maximize the Lifetime of Wireless Sensor Networks: The Case of Constrained Mobility[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2010, 18(3):871-884
- [11] Mahmoud A K, Khedr M E, Shaaban S. Hexagonal Two Tier Data Dissemination Model for Large Scale Wireless Sensor Networks[C]// Proceedings 2012 Japan-Egypt Conference on Electronics, Communication and Computers. Alexandria, Egypt, March 2012:138-144
- [12] Hung Le-xuan, Lee Sung-young, Lee Young-koo, et al. SCODE: A Secure Coordination-Based Data Dissemination to Mobile Sinks in Sensor Networks[J]. IEICE Transactions on Communications, 2009, E92-B(1):131-142
- [13] Long Cheng, Das S K, Di Francesco M S K, et al. Streaming Data Delivery in Multi-Hop Cluster-Based Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks[C]// 2011 IEEE International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks". Lucca, Italy, June 2011:1-9