

# 无线传感器网络中的聚类协议综述

海沫 张艳梅 张悦今

(中央财经大学信息学院 北京 100081)

**摘要** 无线传感器网络中的聚类是将传感器网络划分成多个簇的过程,可用于延长网络生存期。每个聚类中都存在一个称为聚类头的节点。聚类头可由同一聚类中的节点选出,也可由网络设计人员预先指定。首先给出了无线传感器网络中聚类协议的分类特性;接着对已有的聚类协议从聚类头选择方式上进行了分类,并对已有的聚类协议从基本特性、聚类属性和聚类头选择方式3个方面进行了比较;最后总结了已有聚类协议研究的不足之处,并指出了未来有待研究的关键问题。

**关键词** 聚类,分类特性,聚类头选择方式,基本特性,聚类属性

中图分类号 TP393 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.1.002

## Survey on Clustering Protocols in Wireless Sensor Network

HAI Mo ZHANG Yan-mei ZHANG Yue-jin

(School of Information, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China)

**Abstract** Clustering in wireless sensor network is a process to divide the network into a number of clusters, which can extend the lifespan of network. Each cluster has a node called cluster head, which can be elected by the nodes in the same cluster or pre-assigned by the network designer. Firstly the classification characteristics of clustering protocols in wireless sensor network were given, and then current clustering protocols were classified by the selection methods of cluster head. After that current clustering protocols were compared from three aspects: basic characteristics, clustering attributes and selection methods of cluster head. Lastly the shortcomings of current research on clustering protocols were summarized and the key problems of clustering protocols which need to be solved in the future were pointed out.

**Keywords** Clustering, Classification characteristics, Selection methods of cluster head, Basic characteristics, Clustering attributes

## 1 引言

如何提高网络的生存期和扩展性是无线传感器网络研究面临的关键问题。在传感器网络中,将传感器节点分组到一个簇的过程称为聚类,其可用来提高网络的生存期和可扩展性。每个聚类中都有一个聚类头节点,其可由该聚类中的节点选出,也可以由网络设计人员预先指定。聚类头节点负责收集该聚类中所有节点的数据,并将其传输到目的地-基站。通过聚类协议创建无线传感器网络的分层结构,从而降低与基站间的通信开销。

## 2 无线传感器网络中聚类协议的分类特性

已有的无线传感器网络中的聚类协议可从聚类方法、聚类属性、聚类头的能力、聚类头的选择和聚类的形成这几个方面进行分类。

### 2.1 聚类方法

聚类有两种基本方法:分布式和集中式。分布式聚类中,

每个传感器节点运行自己的算法,并做出是否担任聚类头的决定。集中式聚类中,由中心节点负责将节点组织成聚类,并选出聚类头。也可将这两种方法混合使用。

### 2.2 聚类属性

#### 2.2.1 聚类数

聚类数是指在某个回合中形成的聚类数目。聚类数的增加意味着聚类尺寸的减小。对于固定数量的聚类可采用预先分配的方法从部署的传感器节点中选择聚类头,对于可变数量的聚类可随机选择聚类头。

#### 2.2.2 聚类大小

聚类大小指从聚类头到该聚类中其他节点之间的最大路径长度。从能量消耗角度而言,尺寸小的聚类的优势在于它可以最大限度地减少传输距离和聚类头的负载。在某些聚类方法中,对于整个生命周期中聚类个数固定的聚类,其大小也是固定的;否则,聚类大小是可变的。

#### 2.2.3 聚类密度

聚类密度是指聚类成员个数和聚类区域大小的比例。固

到稿日期:2014-02-13 返修日期:2014-06-05 本文受中央财经大学重点学科建设项目,北京高等学校青年英才计划项目(YETP0988)资助。

海沫(1978-),女,博士,副教授,CCF会员,主要研究方向为分布式系统、对等网络,E-mail:haimozhi@gmail.com;张艳梅(1976-),女,博士,副教授,主要研究方向为无线网络;张悦今(1982-),女,博士,讲师,主要研究方向为数据挖掘。



通过分布能源消耗来提高网络生存期;第二个参数确保在进行固定次数的迭代后聚类过程能够终止;第三个参数保证对聚类头的最低控制;第四个参数负责聚类头的分布。该协议根据两个基本参数周期性地选择聚类头。第一个参数是每个节点的剩余能量;第二个参数是作为聚类密度或节点度数函数的聚类内通信开销。HEED 协议并不能保证每一轮聚类数量的稳定性,也没有考虑网络的异构性。

Guihai Chen 等人在文献[11]中提出了一种协议,以减轻无线传感器网络中的热点问题。它是专为源驱动传感器网络应用而设计的,如对环境中周期性数据的检测。该协议是一种自组织基于竞争的协议,它利用本地信息(如邻居节点的剩余能量)进行聚类头的选择。与远离基站的聚类头相比,靠近基站的聚类头所在的聚类更小,因此,靠近基站的聚类头在聚类内处理数据的过程中将消耗更少的能量,而将更多的能量用于聚类间的转发。该协议中聚类头的选择过程分为两个阶段,因而更加费时,并且可变的聚类数量也导致了聚类大小的不同。

Chong Wang 等人在文献[17]中提出了一种改进的 LEACH 协议,以减少冗余节点导致的能量消耗,并通过将大聚类划分为更小的聚类来平衡传感器节点的能量消耗。通过使用该方法,数据帧将会更小,因而在相同的时间内基站接收的帧将会增加;同时使得冗余节点在大多数时间保持休眠状态。当只需要一个节点时,其他节点可以保持休眠状态,直到第一个节点的能量耗尽。在这种方式下,网络的生存期被延长。该协议中,聚类数量的变化导致了聚类大小的不同。

Ben Alla Said 等人在文献[27]中提出了一种改进和平衡的 LEACH 协议,它是一个自组织和自适应的聚类协议,使用随机方法将能量负载在传感器网络中均匀分布。该协议中,一些称为 NCG 节点的高能量节点成为聚类头,其将从成员节点处汇总的信息发送给所选择的网关。选择网关的标准是:该网关需要尽可能低的通信能量,从而减少聚类头的能量消耗和节点失效概率。

J. Choi 等人在文献[30]中设计了一种能量模型,用于估计多跳无线传感器网络中基于概率的聚类头选择算法所消耗的能量。每个传感器节点在不和其他节点交换信息的情况下,以一个事先定义的概率选择自身作为聚类头。每个聚类头则通告其传输范围内的其他节点自己是聚类头。从接收到第一条通告消息起,每个节点从在一段连续时间内接收到的通告消息的源节点中,选择距自己跳数最小的节点作为聚类头,并将自己的聚类头通知其传输范围内的其他节点。如果有超过两个以上跳数最小的节点,那么该节点随机选择其中之一作为自己的聚类头。重复上述步骤,直到每个节点都有一个聚类头,或自己成为聚类头。所有节点根据聚类头或汇聚节点安排的 TDMA 时间表进行通信。这样,可防止数据冲突。该协议因可变的聚类数量而导致大小不一样的聚类。多跳会导致基站附近出现网络黑洞。

### 3.1.2 加权概率聚类协议

Georgios S. 等人在文献[4]中引入了异构性的概念,它可用于延长到第一个节点消亡之前的时间间隔,即稳定期。该协议根据每个节点的剩余能量,利用加权选举概率的方式计算每个节点成为聚类头的可能性。该协议中节点被分为两种类型:普通节点和高级节点。在每一轮聚类头选择过程中,该协议不需要网络能量的全局知识。该协议中聚类的数量是可

变的。

P Ding 等人在文献[6]中提出了一种分布式的基于权重的能量有效的层次化聚类协议,该协议通过产生平衡的聚类大小和优化聚类内部的拓扑结构来获得高的能量效率。每个传感器节点首先寻找其区域内的相邻节点,然后计算出其权重。该权重是节点的剩余能量和它与邻居节点距离的函数。同一区域中权重最大的节点被选为聚类头,其余节点为成员节点。在这个阶段,上述节点被认为是第一级成员,因为它们与聚类头直接相连。节点会逐步调整其成员级别,从而能使用最少的能量达到聚类头。一般而言,一个节点通过检查非聚类头的邻居节点,来找到到达聚类头的最小开销。给定节点到达邻居的距离,它可通过两跳路径到达聚类头。由于大量的能量会被用于邻居发现的过程,该协议从稳定期角度而言并不好。

Li Qing 等人在文献[8]中提出了异构无线传感器网络中一种分布式多层聚类算法。在 DEEC 协议中,聚类头的选择由概率给出,该概率是基于每个节点的剩余能量和整个网络平均能量的比率。根据其初始和剩余能量的不同,聚类头的选取方法也不同。作者假设传感器网络中的节点具有不同的能量。算法考虑了两层异构性,并通过扩展得到多层异构性的一般性解决方案。为了避免每个节点都需要掌握整个网络的全局信息,DEEC 估算了网络生存期的理想值用作计算每个节点在每轮循环中应耗费的能量的参考值。这种方法具有可变的聚类数量,从而导致聚类大小的不同。

Changmin D 等人在文献[9]中提出了一种用于异构无线传感器网络的聚类协议。聚类头的选择基于概率,该概率是基于每个节点的剩余能量和整个网络平均能量的比率。初始和剩余能量较高的节点比能量较低的节点有更大的机会成为聚类头。该协议通过考虑两级异构性,改进了 LEACH 和 SEP 协议,并扩展到了多跳的异构性。

R. S. Marin 等人在文献[12]中提出了异构无线传感器网络中的 C4SD 协议,它依赖于能对服务描述进行分布式存储的聚类结构。在该协议中,每个节点被分配了一个唯一的硬件标识符和权重。任一具有更高能力的节点必须被选为聚类头。聚类头作为分布式目录,存储该聚类中所有节点的服务注册信息。这一结构确保了较低的网络构造和维护开销,仅基于一跳邻居信息进行决策,能对传感器网络的拓扑变化做出迅速反应,并避免了链式反应问题。查询服务时只需访问目录节点,以确保较低地发现开销。

D. Kumar 等人在文献[18]中为异构无线传感器网络提出了一种分布式聚类头选择机制。聚类头的选择基于不同的加权概率。聚类成员节点与选出的聚类头进行通信,然后由聚类头将汇总后的信息发送给基站。节点被分为 3 种类型,每种类型的节点被设置了不同的阈值,这保证了每种类型的节点根据各自的加权概率被选作聚类头。该协议中,聚类数量的变化导致了不同大小的聚类。

B. Elbhiri 等人在文献[19]中对 DEEC 协议进行了扩展,其关键思想是采用减少聚类内部传输次数的随机策略。使用这一策略,可以协助完成收集一个区域内最大或最小的数据值,如温度、湿度等目标。聚类头从接收到的信息中选出相关的信息发送到基站。在此种情况下,如果聚类头仅从具有大量信息的节点处接收信息,则其他节点必须处于休眠状态。该协议是针对特定应用的。

Elbhiri Brahim 等人在文献[20]中提出的聚类协议允许根据节点的剩余能量来平衡聚类头选择过程,因而在第一轮传输中,先进节点更容易被选作聚类头,当它们的能量明显减少时,这些节点将和普通节点一样具有相同的聚类头选择概率。本协议的另一关键思想是,若网络的目标是收集某个区域内最大或最小的数据值(如温度、湿度等),那么它能够更好地减少聚类内的消息传输。

Dilip Kumar 等人在文献[21]中提出了异构无线传感器网络中一种分布式的聚类头选举机制。聚类头的选举基于不同的加权概率。聚类成员与选举出的聚类头进行通信,聚类头将汇总后的信息发送给基站。作者考虑了3种不同类型的节点,每一种都有不同的阈值。分配给每个节点的权重决定了每种类型聚类头的选择。仿真实验结果表明,DCHE 机制在网络的生存期和稳定性方面比 LEACH、DEEC 和直接传输方案具有更好的性能。

Parul Saini 等人在文献[22]中为异构无线传感器网络提出了一种能量有效的聚类头选举机制。作者根据一个节点是否成为聚类头,基于节点剩余能量和该轮循环中所有节点平均能量的比值对阈值进行了调整。该机制考虑了两层和三层异构节点,并提出了适用于多层异构节点的通用解决方案。该机制在聚类头选择时考虑到了网络的平均能量,因此能量的利用率更高。

Elbhri 等人在文献[23]中为异构无线传感器网络提出了一种分布的能量有效的聚类机制-DDEEC。DDEEC 基于 DEEC 机制,节点使用初始和剩余能量级别定义聚类头。在该协议中,每个节点需要知道整个网络的全局知识,与 DEEC 类似,DDEEC 也会估算网络生存期的理想值,并用它来计算每个节点在每轮应消耗的能量的参考值。在该机制中,网络被组织成基于聚类的层次结构,聚类头从成员节点收集测量信息,并将汇总后的数据直接发送到基站。此外,作者还假设网络的拓扑结构是固定的,不会随时间变化。DDEEC 和 DEEC 之间的差别在于表达式的不同,该表达式用于定义普通节点和高级节点成为聚类头的概率。

Kyung Tae Kim 等人在文献[25]中基于加权概率函数,设计了一种能量有效的聚类机制来选举聚类头。此概率函数包括3个参数:第一个参数是能量控制率,即节点初始能量和当前能量的比值;第二个参数是单轮时间,即选出聚类头所花费的时间与聚类头汇总从成员节点接收到的数据并向基站发送汇总后的信息所花费的时间之和;第三个参数是节点被选为聚类头的次数。通过使用上述参数,可以减轻节点剩余能量随时间减少的问题。该协议花费更多的时间用于聚类,并导致大小不同的聚类形成。

Babar Nazir 等人在文献[26]中提出了一种算法,即使使用移动节点填补由能量空洞或热点造成的空白。如果有任何聚类面临由于低剩余能量带来的聚类头选择问题,移动节点可以任意移动。任何有聚类头选择问题的聚类向邻近区域中的移动节点发送消息,能量最大的移动节点中最邻近的节点将被激活,并移动到该聚类中。这样,我们可以更加平衡地使用网络中的能量,并提高网络生存期。

Md. G. Rashed 等人在文献[31]中开发了一种能量有效的协议-WEP,以提高传感器网络的稳定期。作者在聚类算法中引入了链式路由算法,以提高能量和稳定期的限制。该协议中,每个节点的最优概率都被分配了一个权重。这个权重

等于每个节点的初始能量与普通节点的初始能量之间的比率。被分配加权概率后,聚类头和聚类数量由与 LEACH 协议相同的方法得到。使用该算法,被选中的聚类头之间可以形成一个链,然后从所有选定的聚类头中随机选出一个链领导。所有非聚类头节点需要将数据发送到其对应的聚类头节点,而聚类头节点则负责汇总数据并将其发送到基站。

Siva R 等人在文献[33]中提出了一种数据聚合方法,以提高网络的生存期。每层形成  $K$  个聚类。在聚类头选举过程中,每个聚类的某个节点通过使用其剩余能源和通信开销因素被选为聚类头。一旦某个节点当选为聚类头,它将广播聚类头消息给聚类成员、其他聚类头和基站。数据转发在第三阶段进行。在数据汇总阶段,所有聚类成员在其分配的时隙内发送感知到的数据给聚类头,直到聚类头的 TDMA 帧结束。在接收到所有聚类成员的数据后,聚类头开始汇总过程。每个聚类头消除了重复转发的包并且通过转发节点将数据包发送到基站。维护阶段检查每一轮中聚类头的剩余能量。如果剩余能量小于所需的阈值,则新聚类头将从同一聚类中选出。维护阶段也进行重新聚类。该协议产生了小型聚类,从而导致从聚类头到基站将传输更多的数据。

Sanjeev Kumar Gupta 等人在文献[34]中开发了一种提高异构无线传感器网络生存期的协议-DCEBC。该协议基于概率阈值和当前的能量水平来选择聚类头,并在冗余节点的识别和停用上进行了研究。DCEBC 能获得较长的使用寿命和稳定期。

### 3.2 非概率聚类协议

在非概率聚类算法中,聚类头的选择和聚类的形成需考虑更具体的标准,主要基于传感器节点的邻近性、连通性、位置和度数等,同时也依赖于从其他位置接近的节点上获取到的信息。这类算法通常需要在节点之间传递更多的消息,还可能需要进行图遍历,因此有时会导致比概率聚类算法更差的时间复杂度。但是,这类算法在形成健壮且均衡的聚类方面更为可靠。除了节点的邻近性,某些算法也使用如剩余能量发送功率和移动性相结合的度量标准,来实现比单一标准的算法更通用的目标。

#### 3.2.1 邻居聚类协议

Vijay Kr. Chaurasiya 等人在文献[13]中创建了一个系统,该系统采用的拓扑结构(聚类大小和层次数量)与流量模式及部署在一个给定兴趣区域中传感器节点的密度相符合。在多跳网络中,离基站近的聚类头的负载比更远的聚类头多,这是因为接近基站的聚类头必须做双重工作:从自己的聚类中收集数据,并转发来自较远聚类头的数据。由此可能会导致近的聚类头比远的聚类头先消亡,从而导致传感器网络的失效。因此,作者建议构造一个基于不同区域节点密度的拓扑结构,这将避免瓶颈问题,并通过适当的负载均衡延长网络寿命。

Qingchao Zheng 等人在文献[28]中提出了一种分布式的聚类方案,其同时考虑了无线传感器网络的能量和拓扑特征。EESCIA 为处理大规模网络提出了一种有效的解决方案,为传感器节点分配唯一的 ID,从而降低了通信费用并延长了网络生存期。EECSIA 具有速度快和局部可扩展性的特点,并实现了网络中聚类头好的分布。此外,由于网络节点的能量有限,频繁地从普通节点接收数据并转发给基站会消耗聚类头大量的能量。EECSIA 避免了这一问题,并且可以在本地

实现固定时间内的重新聚类。聚类头选择需要交换大量的消息,因此需消耗更多的能量。

M. Mehrani 等人在文献[29]中提出了一种能量有效的聚类方法,即通过使用能量、密度、中心度和节点间距离等指标选择合适的聚类头。作者为每一个聚类头选取了一个监督节点,当聚类头节点出现故障时,由它来代替聚类头节点。这一属性延长了网络的生存期,也有利于增加网络的容错能力。但这种方法需要知道传感器节点的全局位置信息,并且在聚类头选择过程中需要交换大量消息,因此,在费用和能量消耗方面的花费是非常巨大的。

Sanjeev Kumar Gupta 等人在文献[35]中提出了基于节点度数的协议-NDBC,以提高异构无线传感器网络的生存期。该文中,作者使用了两种类型的传感器节点:高级节点和普通节点。高级节点比普通节点拥有更多的能量。根据其能量和在网络中的节点度数,高级节点可以被选择为聚类头。NDBC 协议降低了聚类头选择过程中传感器节点间发送和接收消息时的通信开销。

### 3.2.2 距离聚类协议

杜等人在文献[7]中将少量功能强大的高端传感器和大量低端传感器一起部署在异构传感器网络中。每个传感器节点都是静态的,并且知道自己的位置,这是由于两种类型的传感器都均匀且随机分布在网络上。在聚类的形成过程中,节点根据信号强度选择聚类头。聚类头通过聚类头节点间的多跳传输发送数据给接收器。但所提出的方法是静态的,因而不适用于很多应用程序。

Jung-Hwan 等人在文献[14]中提出了一种分布的随机聚类算法,该算法将网络组织成大小不同的聚类,它由本地概率和基于随机几何的多跳路由决定。在该算法中,离基站远的聚类较大,离基站近的聚类较小。对于聚类头的选择,该算法为每个层次分配不同的概率。该协议中由于聚类数量的变化导致聚类大小的不同。

Mehdi Saeidmanesh 等人在文献[15]中提出了一种协议,该协议在聚类头选择过程中考虑了每个节点的剩余能量和到基站的距离。如果所有的传感器节点分布在一个大区域中,一些聚类远离基站而另一些聚类靠近基站,则将导致在节点发送数据到基站所消耗的能量方面有很大的差别。作者将整个网络划分成以基站为中心的同心圆弧段。每一段的聚类头数量和距基站不同距离的其他段的聚类头数量不同。靠近基站段中的聚类头的选举概率比距离基站较远的段的选举概率大,并且其聚类头数量更多。

Kyoungwha Lee 等人在文献[24]中提出了一种基于传感器节点密度和距离的聚类头选举算法。聚类区域被划分成两个相互垂直的直径以得到 4 个象限,然后在每个象限中,通过节点密度和到聚类头的距离选择聚类头。通过计算所有节点和聚类头间通信一次消耗的能量,作者将其与 LEACH 和 HEED 协议相比。该协议比 LEACH 和 HEED 具有更好的性能,它采用集中方式并且需要知道每个节点的位置。

### 3.2.3 位置聚类协议

Farruh Ishmanov 等人在文献[16]中为了有效地形成聚类和均衡聚类间通讯的负载,评价了支持负载平衡的分布式聚类。为了避免低能量效率和均衡聚类负载,聚类过程确定了聚类过程每一步的数据量,因而聚类大小对于能量效率和平衡聚类头之间多跳通信的负载而言是重要的。该协议由于

聚类数量的变化导致聚类大小的不同。

Ashok Kumar 等人在文献[32]中提出了一种延长传感器网络生存期的协议。在传感器网络的整个生存期中,聚类的形成只有一次。聚类头的轮转取决于其剩余能量。聚类头的轮转频率基于传感器网络生存期中各传感器节点执行各种任务时消耗的能量。这种方法确保了一个聚类中所有传感器节点消耗的能量是均衡的,从而延长了网络生存期。该协议本质上是静态协议,从能量消耗角度而言,聚类头选择过程的表现并不好,并且负载均衡的分布很不均匀,从而导致网络的稳定期差。

综上所述,大多数概率聚类方法会导致聚类数量和聚类大小的可变性,而非概率聚类方法虽然能够获得最优的聚类数量和聚类大小,但需要发送更多的消息进行聚类头的选择,这需要消耗大量的能量。

## 4 无线传感器网络中聚类协议的比较

表 1 针对无线传感器网络中的不同聚类协议从其基本特性:节点部署方式、是否异构、异构程度、聚类方式、是否位置感知、聚类头移动性多个方面进行了比较。表 2 对不同聚类协议从其聚类属性:聚类头数量、聚类大小、聚类密度、消息计数、聚类内部拓扑、聚类头到基站的连接多个方面进行了比较。表 3 对不同聚类协议从聚类头选择方式上进行了比较。

表 1 不同聚类协议基本特性的比较

聚类协议	节点部署方式统一/随机	异构(是/否)	异构程度	分布式(D)/集中式(C)/混合式(H)聚类方式		位置感知(Y/N)	固定(F)/移动(M)聚类头移动性
LEACH	随机	N	—	D	N	F	
LEACH-C	随机	N	—	C	N	F	
SEP	随机	Y	2	D	N	F	
HEED	随机	N	—	D	N	F	
DWEHC	随机	N	—	D	N	F	
HSR	随机	Y	2	D	Y	F	
DEEC	随机	Y	2/多	D	N	F	
DEBC	随机	Y	2/多	D	N	F	
UCR	随机	N	—	D	N	F	
C4SD	随机	Y	多	D	Y	M	
TBC	随机	N	—	D	Y	F	
PRODUCE	随机	N	—	D	Y	F	
EDBC	随机	N	—	D	Y	F	
DCLB	随机	N	—	C	Y	F	
Improved LEACH	随机	N	—	D	N	F	
EEHC	随机	Y	3	D	N	F	
SDEEC	随机	Y	2	D	N	F	
SBDEEC	随机	Y	2	D	N	F	
DCHE	统一	Y	3	D	N	F	
TDEEC	随机	Y	2/多	D	N	F	
DDEEC	随机	Y	—	D	N	F	
DDCHS	随机	N	—	D	Y	F	
EECS	随机	N	—	D	N	F	
MNCP	随机	N	—	D	N	M	
IB-LEACH	随机	N	—	D	N	F	
EECSIA	随机	N	—	D	N	F	
FEED	随机	N	—	D	N	F	
ECLCM	随机	N	—	D	N	F	
WEP	随机	Y	2	D	N	F	
LBC	随机	N	—	C	Y	F	
ECBDA	随机	N	—	H	N	F	
DCEBA	随机	Y	2	D	N	F	
NDBC	随机	Y	2	D	N	F	

表 2 不同聚类协议聚类属性的比较

聚类协议	可变(V)/ 固定(F) 聚类头 数量	可变(V)/ 固定(F) 聚类大小	可变(V)/ 固定(F) 聚类密度	是(Y)/ 否(N) 消息计数	聚类内 部拓扑	聚类头到 基站的 连接
LEACH	V	V	V	N	单跳	直接连接
LEACH-C	V	V	V	N	单跳	直接连接
SEP	V	V	V	N	单跳	直接连接
HEED	V	V	V	N	单跳	直接连接
DWEHC	V	V	V	N	单跳	直接连接
HSR	V	V	V	Y	多跳	多跳
DEEC	V	V	V	N	单跳	直接连接
DEBC	V	V	V	N	单跳	直接连接
UCR	V	V	V	N	单跳	多跳
C4SD	V	V	V	N	多跳	多跳
TBC	V	V	V	Y	多跳	多跳
PRODUCE	V	V	V	Y	单跳	直接连接
EDBC	V	V	V	Y	单跳	直接连接
DCLB	V	V	V	Y	单跳	多跳
Improved LEACH	V	V	V	N	单跳	直接连接
EEHC	V	V	V	N	单跳	直接连接
SDEEC	V	V	V	N	单跳	直接连接
SBDEEC	V	V	V	N	单跳	直接连接
DCHE	V	V	F	N	单跳	直接连接
TDEEC	V	V	V	N	单跳	直接连接
DDEEC	V	V	V	N	单跳	直接连接
DDCHS	V	V	V	Y	单跳	直接连接
EECS	V	V	V	N	单跳	直接连接
MNCP	V	V	V	N	单跳	直接连接
IB-LEACH	V	V	V	N	单跳	直接连接
EECSIA	V	V	V	Y	单跳	直接连接
FEED	V	V	V	Y	单跳	直接连接
ECLCM	V	V	V	N	多跳	多跳
WEP	V	V	V	N	单跳	直接连接
LBC	F	F	V	Y	单跳	直接连接
ECBDA	V	V	V	N	单跳	多跳
DCEBA	V	V	V	N	单跳	直接连接
NDBC	F	V	V	Y	多跳	直接连接

表 3 不同聚类协议聚类头选择方式的比较

聚类协议	基于概率		基于非概率		
	纯概率 (Y/N)	加权概率 (Y/N)	邻居 (Y/N)	距离 (Y/N)	位置 (Y/N)
LEACH	Y	—	—	—	—
LEACH-C	Y	—	—	—	—
SEP	—	Y	—	—	—
HEED	Y	—	—	—	—
DWEHC	—	Y	—	—	—
HSR	—	—	—	Y	—
DEEC	—	Y	—	—	—
DEBC	—	Y	—	—	—
UCR	Y	—	—	—	—
C4SD	—	Y	—	—	—
TBC	—	—	Y	—	—
PRODUCE	—	—	—	Y	—
EDBC	—	—	—	Y	—
DCLB	—	—	—	—	Y
Improved LEACH	Y	—	—	—	—
EEHC	—	Y	—	—	—
SDEEC	—	Y	—	—	—
SBDEEC	—	Y	—	—	—
DCHE	—	Y	—	—	—
TDEEC	—	Y	—	—	—
DDEEC	—	Y	—	—	—
DDCHS	—	—	—	Y	—
EECS	—	Y	—	—	—
MNCP	—	Y	—	—	—
IB-LEACH	Y	—	—	—	—
EECSIA	—	—	Y	—	—
FEED	—	—	Y	—	—
ECLCM	Y	—	—	—	—
WEP	—	Y	—	—	—
LBC	—	—	—	—	Y
ECBDA	—	Y	—	—	—
DCEBA	—	Y	—	—	—
NDBC	—	—	Y	—	—

**结束语** 本文提出了无线传感器网络中聚类协议的分类特性,并对已有的聚类协议从聚类头选择方法的角度进行了分类,最后对已有的聚类协议从基本特性、聚类属性和聚类头选择方式 3 个方面进行了比较,并发现已有的聚类协议存在的问题:1)在能量消耗方面,已有的聚类协议集中于减少聚类头选择过程中的能量消耗或产生合理的聚类头分布;2)在可靠性方面,已有的聚类协议通过重聚类来获得可靠性,但该过程会消耗大量的能量。今后对无线传感器网络聚类协议的研究不仅应考虑减少聚类头选择过程中的能量消耗,而且应考虑减少节点连接到各自的聚类头过程中的能量消耗。此外,需要对重聚类过程进行改进,使得重新形成的聚类不仅能保持网络的连通性,而且能减少周期性重聚类所消耗的能量。

参考文献

- [1] Heinzelman W R, Balakrishnan H. Energy-Efficient communication Protocol for Wireless microsensor networks[C]// Proceeding of the 3rd Hawaii International Conference on System Science. IEEE, 2000; 1-10
- [2] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 366-379
- [3] Akyildiz I F, et al. Wireless sensor networks; a survey[J]. Computer Network, 2002, 38(4): 393-422
- [4] Smaragdakis G, Matta I. SEP: A Stable Election Protocol for Clustered Heterogeneous Wireless Sensor Networks[C]// Second International Workshop on Sensor and Actor Network Protocols and Applications. 2004; 251-261
- [5] Younis O, Fahmy S. HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed clustering approach for Ad Hoc sensor networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(4): 366-379
- [6] Ding P, Holliday J, Celik A. Distributed energy efficient hierarchical clustering for wireless sensor networks[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS'05). 2005; 322-339
- [7] Du Xiao-jiang, Lin Fen-ging. Designing Efficient Routing Protocol for Heterogeneous Sensor Network[C]// Performance, Computing and Communication Conference. IEEE, 2005; 51-58
- [8] Qing L, Zhu Q, Wang M. Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks [J]. Computer Communications, 2006, 29(12): 2230-2237
- [9] Duan Chang-min. A Distributed Energy Balance Clustering Protocol for Heterogeneous Wireless Sensor Networks[C]// International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCon. IEEE, 2007; 2469-2473
- [10] Abbasi A A, Younis M. A survey on clustering algorithms for wireless sensor network[J]. Computer Communication, 2007, 30(14/15): 2826-2841
- [11] Chen Gui-hai, Li Cheng-fa. An unequal cluster-based routing protocol in wireless sensor networks[J]. Springer Science Business Media, LLC, 2007, 15(2): 193-207
- [12] Marin-Perianu R S, Scholten J. Cluster-based service discovery for heterogeneous wireless sensor networks[J]. International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, 2007, 23(4): 325-346

(下转第 43 页)

- [J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2003, 15(1): 1-14
- [7] Zienkiewicz O C, Phillips D V. An Automatic Mesh Generation Scheme for Plane and Curved Surfaces by Isoparametric Coordinates[J]. International Journal of Computational Physical, 1979, 33(2): 405-410
- [8] Martins P A F, Barata M J, Marques, Models3-a Three-Dimensional Mesh Generation[J]. Computer & Structures, 1992, 42(4): 511-529
- [9] 于荣欢, 邓宝松, 吴玲达, 等. 三维标量场并行等值面提取与绘制技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(2): 244-251
- [10] 齐从谦, 陈亚洲, 甘屹, 等. 反求工程中复杂曲面数字化重构关键技术的研究[J]. 机械工程学报, 2003, 39(4): 131-135
- [11] 夏仁波, 刘伟军, 王越超. 保证拓扑正确的高精度等值面提取技术[J]. 机械工程学报, 2006, 42(6): 133-140

(上接第 11 页)

- [13] Chaurasiya V K, Kumar S R. Traffic Based Clustering in Wireless Sensor Network[C]// Fourth International Conference on Wireless Communication and Sensor Networks, WCSN, IEEE, 2008: 83-88
- [14] Kim J-H, Hussain C S. PRODUCE: A Probability-Driven Unequal Clustering Mechanism for Wireless Sensor Networks[C]// 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications -Workshops, WAINA. IEEE, 2008: 928-933
- [15] Saeidmanesh M, Hajimohammadi M. Energy and Distance Based Clustering: An Energy Efficient Clustering Method for Wireless Sensor Networks[J]. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009, 55: 555-559
- [16] Ishmanov F, Kim S W. Distributed Clustering Algorithm with Load Balancing in Wireless Sensor Network[C]// World Congress on Computer Science and Information Engineering. IEEE, 2009: 19-23
- [17] Wang Chong, Liu Jia-kang. An Improved LEACH Protocol for Application Specific Wireless Sensor Networks[C]// WiCOM 09 Proceedings of the 5th International Conference on Wireless Communication Networking and Mobile Computing. IEEE, 2009: 1-5
- [18] Kumar D. Energy Efficient Heterogeneous Clustered Scheme for Wireless Sensor Networks [J]. Computer Communications, 2009, 32(4): 662-667
- [19] Elbhiri B, Saadane R. Stochastic Distributed Energy-Efficient Clustering (SDEEC) for heterogeneous wireless sensor networks[J]. ICGST International Journal on Computer Network and Internet Research
- [20] Brahim E, Rachid S. Stochastic and Balanced Distributed Energy-Efficient Clustering (SBDEEC) for heterogeneous wireless sensor networks [J]. Signal Processing and communications group UPC, 2009
- [21] Kumar D, Trilok C. Distributed Cluster Head Election (DCHE) Scheme for Improving Lifetime of Heterogeneous Sensor Networks[J]. Tamkang Journal of Science and Engineering, 2010, 13(3): 337-348
- [22] Saini P, Sharma A K. Energy Efficient Scheme for Clustering Protocol Prolonging the Lifetime of Heterogeneous Wireless Sensor Networks[J]. International Journal of Computer Applications, 2010, 6(2): 30-36
- [23] Elbhiri B, Saadane R. Developed Distributed Energy-Efficient Clustering (DDEEC) for heterogeneous wireless sensor networks[C]// 5th International Symposium on I/V Communications and Mobile Network (ISVC). IEEE, 2010: 1-4
- [24] Lee K, Lee H. A Density and Distance based Cluster Head Selection Algorithm in Sensor Networks[C]// The 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). IEEE, 2010: 162-165
- [25] Kim K T, Yoo H K. EECS: An Energy Efficient Cluster Scheme In Wireless Sensor Networks[C]// IEEE International Conference on Computer and Information Technology. 2010: 535-540
- [26] Nazir B, Hasbullah H. Mobile Nodes based Clustering Protocol for Lifetime Optimization in Wireless Sensor Network[C]// International Conference on Intelligent and Information Technology. 2010: 615-620
- [27] Said B A, Abdellah E. Improved and Balanced LEACH for Heterogeneous Wireless Sensor Networks[J]. International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSSE), 2010, 2(8): 2633-2640
- [28] Zheng Qing-chao. An Energy Efficient Clustering Scheme with Self-Organized ID Assignment for Wireless Sensor Networks [C]// 2010 IEEE 16th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS). IEEE, 2010: 635-639
- [29] Mehrani M. FEED: Fault tolerant, energy efficient, distributed Clustering for WSN[C]// Advanced Communication Technology (ICACT). 2010: 580-585
- [30] Choi Jin-chul, Lee C. Energy consumption and lifetime analysis in clustered multi-hop wireless sensor networks using the probabilistic cluster-head selection method [J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2011, 156: 1-13
- [31] Rashed M G, Kabir M H. WEP: an Energy Efficient Protocol for Cluster Based Heterogeneous Wireless Sensor Network[J]. International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS), 2011, 2(2): 54-60
- [32] Kumar A, Chand N. Location Based Clustering in Wireless Sensor Network[J]. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2011, 5(12): 1313-1320
- [33] Siva Ranjani S, Radha Krishnan S. Energy-Efficient Cluster Based Data Aggregation for Wireless Sensor Networks[C]// Recent Advances in Computing and Software Systems (RACSS). IEEE, 2012: 174-179
- [34] Gupta S K, Jain N, Sinha P. A Density Control Energy Balanced Clustering Technique for Randomly Deployed Wireless Sensor Network[C]// 2012 Ninth International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN). IEEE, 2012: 1-5
- [35] Gupta S K, Jain N, Sinha P. Node Degree Based Clustering for WSN [J]. International Journal of Computer Applications (IJCA), 2012, 40(16): 49-55
- [36] Zhang Yan, Yang L T, Chen Ji-ming. RFID and Sensor Networks[M]. Auerbach publication, 2010