基于模糊区域宽松距离的改进GEAR传感网络均衡算法

魏 斌[1] 王继先[2]
(郑州大学软件技术学院 郑州 450002)[1] (河南教育学院信息技术系 郑州 450000)[2]

摘 要 传感节点的有效选择对无线传感网络通信有着重要影响。在分析传统的GEAR传感节点分配算法基础上,提出基于模糊区域宽松距离的改进GEAR传感网络均衡算法。运用一种基于节点模糊区间划分,伴随节点运用一种宽松距离的方法进行逼近,依靠得到的模糊节点可靠性隶属度函数,完成对节点的最终选择,从而避免传统GEAR节点分配算法中单纯依靠地理位置与能量开销等先验知识进行节点选择的弊端。实验验证该方法的通信能量消耗曲线趋势要低于传统GEAR算法,能有效调节传感网络的拥塞。

关键词 模糊区间,网络均衡,GEAR算法
中图法分类号 TP391.9 **文献标识码** A

GEAR Sensing Network Equilibrium Algorithm Based on the Fuzzy Area Loose Distance

WEI Bin[1] WANG Ji-xian[2]
(Department of Software Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)[1]
(Department of IT Information Technology, Henan Institute Of Edcation, Zhengzhou 450000, China)[2]

Abstract A sensor node effective choice for wireless sensor network communication has an important influence. Based on the analysis of the traditional GEAR sensor node distribution, an improved sensor equalization algorithm based on the fuzzy area of the distance from the loose network GEAR was proposed. Using fuzzy interval differentiate based on a node, along with node, using a loose the method of distance to realize approach, relying on the fuzzy reliability nodes to get membership function, the final selection of nodes was completed. The disadvantages that traditional GEAR node distribution algorithm depends on geographic location and energy costs priori knowledge to choose node was avoided. The experiments show that communication energy consumption trend curve of this method is lower than traditional GEAR algorithm, and it has regulate sensing network congestion.

Keywords Fuzzy intervals, Network balanced, GEAR algorithm

1 引言

无线传感网络的负载均衡和通信优化已经得到了广泛的研究,其中较为知名的是基于GEAR协议的无线传感网络节点分配。无线传感器网络(wireless sensor network, wsn)作为物联网(Internet of Thing, IOT)的重要组成部分,目前在智能家居、精准农业、林业监测、军事、智能建筑、智能交通等领域都在逐渐展开应用。能被传感器sensor感知的物理参量(温度、湿度、震动、加速度、二氧化碳浓度…),包括video、image、audio等多媒体数据,通过wsn节点的自组网,远程采集,传输至监控端。由于其应用极其广泛,因此它在很多场合都有较好的应用[1-3]。

但是,随着无线传感网络应用环境越来越复杂,以GEAR算法为基础的通信协议显示出了较大的弊端,很多学者也提出了相关的优化方法。其最大的弊端就是在进行节点选择的过程中,完全依靠地理位置的远近进行选择,而没有考虑选择节点的其他情况。这将造成在节点选择中,存在一定的主观盲目性。为了解决这个弊端,虽然相关学者也做了大量的研究,但是研究还不成熟,因为随机选择的过程可能本身就是一个病态的过程,因此需要选择更加合理的方法对这种无线传感网络的通信协议进行进一步的优化[4-8]。

2 传统的GEAR算法及弊端

传统的无线传感网络在进行节点传统分配时,遵循的网络协议多数是以GEAR算法为基础。传感器节点通过感知最近区域内的相邻节点的能量,根据感知结果选择可以进行转发的节点来进行传递。合理选择传递节点是算法中最关键的步骤,一旦选择不合理,很容易造成信息的阻塞和堆积,造成整个网络的不畅。因此,CEAR通过感知节点能量,判断哪个节点是最优的。传递的过程可建立如下模型。

假设N节点内,存在着数据P,需要把这个信息传递到下一个节点中。在计算后,选择传递节点,表示为N_i,在可以转发的节点区域中,用D表示区域中科转发的节点集合。当下一个节点接收到数据转发的任务后,需要对其他的节点进行计算,即计算转发的成本。计算结果设为Learned Cost $h(N_i,R)$,计算结果最小的点,说明运用此节点的成本是最低

到稿日期:2012-01-20 返修日期:2012-03-25 本文受国家自然科学基金(1060132)资助。
魏 斌(1967-),男,工程师,主要研究方向为计算机网络,E-mail:weibin@zzu.edu.cn;王继先(1964-),女,硕士,副教授,主要研究方向为计算机软件与理论。

的，应将数据转发到这个节点上。在传感器网络中每一个节点都能够计算得到 Learned Cost 的 $h(N_i,R)$ 值，这个值不是固定不变的，而是可以在每次传递后进行实时更新的。如果计算的结果超过了一定的范围，得不到 Learned Cost 值时，网络节点计算中会得到一个默认的值赋予此节点。这个默认值的设定也不能是随机的，其计算的过程如下：

$$c(N_i,R)=\alpha d(N_i,R)+(1-\alpha)e(N_i)$$

在以上的计算中，α，$d(N_i,R)$，$e(N_i)$ 分别表示无线传感网络节点之间的调节系数、节点到下一跳的邻居节点中的最大距离、节点数据传输中所消耗的能量的极大值。在进行有效的节点更新之后，保存计算的最新结果 $h(N,R)$。在计算出传递节点的最小代价结果后，如果出现相似度较高的计算结果，则可以加入一定的约束条件，保证计算的准确性。GEAR 算法的最大优势是加入了信息调节的功能，通过合理调节因子 α 对计算结果进行实时的调节来保证选择节点的合理性。当 α 系数的值为 1 时，其起不到调节的作用，那么就得根据节点距离的远近进行选择，能量的因素被刻意地淡化。如果不为 1，则进行合理的参数调节，保证其均衡性，避免网络的拥塞，提高节点利用率。

但是，在一些大型的网络中，也出现了一些弊端，这主要是由于随着节点的增加，在节点选择过程中出现了奇异性。单纯依靠传输距离作为成本因素已经不能满足要求，网络拥塞现象日趋频繁，因此需要对其进行一定程度的优化。

3 基于模糊区域宽松距离的改进 GEAR 协议

3.1 模糊距离区间的定义

为了对节点的传递过程进行进一步的优化，需要对区域内的节点进行分类，这样可以把节点按照某种特征分类，为后期的节点选择打下很好的基础。数据节点的分类过程可以用一种节点间的特征模糊距离表示。若 x 和 y 节点可以划分到一类，则 $s(x,y)$ 为不同节点的特征值计算结果，根据这个结果，可以计算节点的能量特征值，并计算出有利于传感网络节点分类的特征。

在这里，可以通过一种特征模糊距离来对初始节点的区域进行划分，以避免传统方法中依靠特征的直接距离表示传感器节点特征的弊端。模糊距离可以更全面地反应传感网络中的多特征性质，用 $d(x,y)$ 表示。当 x 和 y 具有类似属性时，节点的 $d(x,y)$ 的值相差会很小；当节点 x 和 y 不属于能够互相转发的节点，$d(x,y)$ 的值就很大。计算节点区间的方法如下：

计算节点之间的传递管理性的方法很多。以无线传感网络节点的残余能量为基础，计算传递节点的标准。这是一种根据节点残余能量进行度量的距离形式。计算节点间的属性模糊距离，这种模糊计算结果能够最大程度地计算节点间的有效传递关系：

$$d(x,y)=\left[\sum_{i=1}^{n}|x_i-y_i|^r\right]^{1/r}$$

对于传感节点的模糊距离处在同一个模糊区间下的情况，距离的差的计算结果可能出现负值，这可以表示一定的方向，大小就需要计算绝对值表示：

$$d(x,y)=\sum_{i=1}^{n}|x_i-y_i|$$

这种标准可以转换成一个标准的欧式几何距离，即

$$d(x,y)=\left[\sum_{i=1}^{n}|x_i-y_i|^2\right]^{1/2}$$

如果出现了类似的节点距离特征，需要运用一种模糊定义距离确定节点。可以为这种节点转移设定一个专门的隶属度函数以及隶属规则，形式如下：

$$d(x,y)=((x-y)^{\mathrm{T}}A(x-y))^{1/2}$$

式中，A 是非负定矩阵。这种模糊距离的函数可以计算节点转移中能量的模糊距离，从而很好地解决了节点选择不唯一的问题。

为了更好地解决节点选择中的干扰，可以推导出模糊距离公式：

$$d(x,y)=\left[\sum_{i=1}^{n}a_{ii}|x_i-y_i|^2\right]^{1/2}$$

3.2 基于松弛传感节点的匹配原则

在无线传感网络节点选择过程中，最大的困难是一旦节点过多，单纯依靠距离消耗量计算，就很难保证选择精确。尤其在区间内有很多邻近节点的情况下，节点的计算过程会受到较强的干扰，选择精度也会降低，影响最后的节点传递过程中的精度。为了解决这一问题，提出基于模糊区域宽松距离的改进 GEAR 协议。由于建立的区间是一种模糊对应的准则方法，因此在进行节点转移选择的过程中，按照节点的约束规则，采用一种松弛传感节点匹配的转移节点确定方法：

节点提取以传感器中的能量剩余度为基础。对一些能量较为弱小的区域，区域比较广阔的传感节点可能存在着确定的盲区。由于受到节点能量不准等因素的干扰，选取的节点不一定会严格满足可转移的要求，也许存在一定程度的误差。但是，如果 m_1 和 m_2 是无线传感网络上的、正确可转移的相邻节点，则两个点间的模糊隶属度上的直线距离相差不大，在数学上表示相邻。传感节点还需要进行确定。根据是否为最优距离判断是否为最优节点。可以选取一个合理的阈值进行约束，精确的阈值选取成为判断的关键，可以设定一个阈值中值，这个中值通过解下列非线性最小化问题来估计参数 $\min\limits_i med\, r_i^2$，通过松弛区域的残差平方中值作为阈值来进行约束，这种方法的阈值误差较小，节点提取过程的鲁棒性也大大提高。

r_i^2 表示第 i 对选择节点对应的模糊距离误差，称之为无线传感网络节点匹配残差，表示为：

$$r_i^2=d^2(m_{2i},F_Jm_{1i})+d^2(m_{1i},F_J^{\mathrm{T}}m_{2i})$$

运用无线传感网络的节点模糊距离表达式为：

$$d^2(m_{2i},F_Jm_{1i})=\frac{|m_{2i}^{\mathrm{T}}F_Jm_{1i}|}{\sqrt{(F_Jm_{1i})_1^2+(F_Jm_{1i})_2^2}}$$

假设待匹配转移的节点为 $\{(m_i,m_i'),i=1,2,\cdots,n\}$，整个区域的传感节点数量与小区域内的节点数量为 M,N。设定一个索引，计算描述传感网络节点中的能量信息矩阵 F_J，对于每个 F_J，计算该矩阵对所有的可选择的传递节点的残差平方的中值 M_J：

$$M_J=\underset{i=1,2,\cdots,n}{med}\{d^2(m_{2i},F_Jm_{1i})+d^2(m_{1i},F_J^{\mathrm{T}}m_{2i})\}$$

计算传感节点中，计算出最小中值阵 M_J 的 F_J 矩阵，去除错误选择的无线传感网络点。可以证明节点剩余能量的大小 m 影响基础矩阵 F_J 的精确程度。节点能量中 p 对存活节点正确的概率可以表示为：$P=1-(1-(1-\varepsilon)^p)^m$。

ε 代表错误的节点选择数量所占比例，最大值假设为 $\varepsilon=$

40%；可以将代表节点数量的 m 设为较大的值，模拟较大的传感器环境。使用参数的估计方差与实际的方差的比例，来进行参数估计的性能评定。如果选择的结果传感器节点中，能量的存在符合高斯分布，就可以保证结果的准确性。计算选错的结果误差，方法如下：

$$\hat{\sigma}=1.4826(1+5/(n-p))\sqrt{M_J}$$

式中，M_J 是选取的中值，可以增加一个误差补偿系数，以保证节点选择计算中的效率同步；$5/(n-p)$ 是一个补偿因子，用来进行小范围内的节点误差选择。不同的 $\hat{\sigma}$ 值，对应不同的节点被提取的概率权数。

$$\omega_i=\begin{cases}1, & r_i^2\leqslant(2.5\hat{\sigma})^2\\ 0, & r_i^2>(2.5\hat{\sigma})^2\end{cases}$$

r_i^2 表示某个中值 M_J 下的传感器节点选择误差代价。经过计算，权数为 0 的点就为一些节点提取的错误点，要将其去除。对提取的点集进行最小二乘加权求解 $\min\sum_i\omega_i r_i^2$，得到一个高度精确与鲁棒性能高的矩阵 F。经过上面的步骤基本得到松弛区间内，传感节点的有效提取结果。

4 实验结果分析

为了验证本文算法的有效性，本文的仿真实验环境为 OMNet++仿真工具以及第三方模型 Mobility Framework 2（简称 MF2）。节点的部署模拟 GEAR 进行随机部署。这些工具能够完成节点随机部署和坐标设定的功能。被设置好的传感器在网络区域中主要负责数目标区域中的数据感知与采集。本文还在应用层上设计了数据收集模块，其模型仿真实现如图 1 所示。

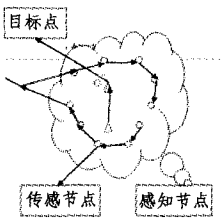

图 1 传感节点模型

实验仿真中，假设传感网络中的节点的区域为 400m，基站与传感节点的直线距离为 100m，节点间的相邻距离不超过 5m，传感器的节点发射效率如下：

假设远程基站节点与无线传感网络中发生的功率 W_s 不超过 10mW（即 9dBm），无线传感网络中的发生功率 W_s 设置为 2mW（即 16dBm），所有节点的仿真参数见表 1。

表 1 100m * 100m 区域节点仿真参数表

节点类型	发送绝对功率(mW)	通信半径(m)	节点个数
基站节点	10	60	1
传感节点	5	80	300

4.1 实验结果分析

设监测区域为 100m * 100m 的二维平面，通信半径不超过 50m，传感节点数随机增加，增加幅度为 3～100，传感节点的通信半径为 10m，采用随机分布的方式。当传感节点内存空间将近饱和时，其会将数据发送给基站，节点采用 1:100 数据融合比。仿真实验结果数据见表 2。

表 2 优化前后传感节点通信能量消耗数据

节点个数	优化前	优化后(1000size)
10	97	85
20	80	77
30	115	86
40	119	121
50	123	133
60	200	166
70	217	110
80	300	265
90	321	298
100	464	429

根据上述实验数据，使用 Matlab 曲线拟合工具展示在算法改进前后通信能量消耗的变化曲线，如图 2 所示。从图 2 不难看出，优化后的算法的通信效率明显优于优化前，伴随着传感器节点的数据增加，能量损耗的节省优势越来越明显，曲线的整体表现都优于优化前的能量消耗曲线。实验结果也表明了，本文方法在降低网络节点能量消耗、提高通信效率方面有较好的表现。

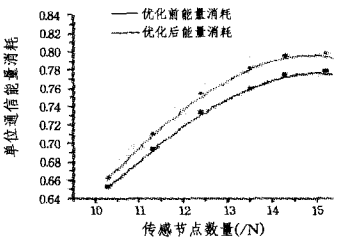

图 2 通信能量消耗变化曲线

结束语 本文运用一种基于节点模糊区间划分，伴随节点运用一种宽松距离的方法进行逼近，依靠得到的模糊节点可靠性隶属度函数，完成对节点的最终选择，从而避免传统 GEAR 节点分配算法中单纯依靠地理位置与能量开销等先验知识进行节点选择的弊端。实验验证了该方法的通信能量消耗曲线趋势要低于传统 GEAR 算法，可有效调节传感网络的拥塞。

参 考 文 献

[1] Zhang H, Hou J C. Maintaining Sensing Coverage and Connectivity in Large Sensor Networks[J]. Ad Hoe & Wireless Networks, 2005, 1(1): 89-124

[2] Bellman R. A Markovian Decision Process[J]. Indiana Univ. Math. J., 1957, 6(4): 679-684

[3] Shakkottai S, Ness Shroff S R. Unreliable Sensor Grids: Coverage, Connectivity and Diameter[C]//Proceedings of IEEE Infocom. 2003: 1073-1082

[4] Foerster A, Murphy A L. FROMS: A Failure Tolerant and Mobility Enabled Multicast Routing Paradigm with Reinforcement Learning for WSNs[R]. the University of Lugano 2009/04. June 2009

[5] 徐久强，柏大治，罗玎玎，等. 遗传算法在 WSNs 多 Sink 节点布局中的应用[J]. 东北大学学报：自然科学版，2008，29(6)：815-818

[6] 秦晓周，杨天梁，刘增良. 图文互生转换的实现方法[J]. 计算机仿真，2003，10(11)：17-20

[7] 吕广辉，崔逊学，侯战胜. 一种基于遗传算法的无线传感器网络覆盖模型[J]. 微型机与应用，2010，29(15)：59-62

[8] 成鹭，成庚民. 无线传感网络中基于综合因素的分布式路由算法[J]. 计算机科学，2009，36(9)：59-61