

文章编号: 1674-8085(2017)04-0062-05

基于模糊控制的无线传感网络路由算法研究

*刘小辉, 王力虎, 常 朵, 杨 非, 张大胤

(广西师范大学物理科学与技术学院, 广西, 桂林 541004)

摘 要: 针对无线传感网络(Wireless Sensor Network, WSN)的特点, 结合中转节点本身的因素, 将模糊控制算法引入到 WSN 网络路由算法中, 把节点的信号接收强度指示(Received Signal Strength Indication, RSSI)和电池电量进行模糊化处理, 由模糊解构建一个新的路由度量, 并将其引入到路由算法中计算路由, 以避免过度使用链路质量较差的节点。实验仿真表明, 引入模糊控制的方案, 能够较好地平衡各个节点的能量消耗, 整个网络的使用寿命有所提升。

关键词: 无线传感网络; 模糊算法; 能量均衡; 路由度量

中图分类号: TP393

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2017.04.011

RESEARCH ON ROUTING ALGORITHM FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS BASED ON FUZZY ALGORITHM

* LIU Xiao-hui, WANG Li-hu, CHANG Duo, YANG Fei, ZHANG Da-yin

(College of Physical Science and Technology, Guangxi Normal University, Guangxi, Guilin 541004, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of wireless sensor networks, combining with the factors of forwarding nodes in the path, the optimal routing algorithm based on the shortest path algorithm is used in the network. The link weights are introduced into the routing algorithm, which is based on the RSSI of the current node and the remaining power of the node as the weight of the weight. The weight of the routing link is calculated by the fuzzy algorithm. Based on the fuzzy of RSSI and the residual power of the node, the Dijkstra algorithm is used to calculate the optimal candidate forwarding node. The data transmission process can avoid excessive use of battery power is too low and poor signal quality of the node, which can transmit promptly data to the destination node at the same time to extend and balance the service life of each node.

Key words: wireless sensor network; fuzzy algorithm; RSSI; Dijkstra algorithm; Matlab simulate

1 无线传感网络的特点

目前常见的无线网络包括移动通信网和无线局域网等, 与这些网络相比, WSN 网络具有以下特点^[1-2]:

1) 硬件资源有限。受价格、体积和功耗的限制, 其程序空间和内存空间小。

2) 电源容量有限。节点由电池供电, 受 WSN 应用场景决定, 不能更换电池, 一旦电池耗尽, 该节点也就失去了作用。

收稿日期: 2017-01-13; 修改日期: 2017-04-10

基金项目: 广西壮族自治区研究生教育创新计划(XYSCSZ2017081)

作者简介: *刘小辉(1977-), 男, 江西吉安人, 硕士生, 主要从事嵌入式系统研究(E-mail: huilx2009@163.com);

王力虎(1962-), 男, 山西文水人, 教授, 博士, 主要从事电路与系统研究(E-mail: 162991552@qq.com);

常 朵(1991-), 女, 山东菏泽人, 硕士生, 主要从事嵌入式系统研究(E-mail: 514459867@qq.com);

杨 非(1992-), 女, 安徽安庆人, 硕士生, 主要从事计算机网络系统研究(E-mail: 1291371103@qq.com);

张大胤(1991-), 男, 安徽芜湖人, 硕士生, 主要从事大数据研究(E-mail: 1107460910@qq.com).

3) 多跳路由。节点通信能力有限, 节点只能与其射频覆盖范围内的结点直接通信。如果希望与之外的通信, 则需要通过中间节点进行路由。

4) 动态拓扑。WSN 是一个动态网络, 节点能够退出网络, 也可以加入新节点, 另外一些节点还具备移动能力, 这些都会使网络的拓扑结构经常发生改变。

受 WSN 以上特点的限制, 路由算法兼顾节点的硬件资源和电池容量。在采用路由短发计算多跳路由时必须充分考虑到 WSN 网络的特点, 使其在计算过程中即要考虑路由的跳数、节点的电池电量和信号质量。

2 最短路径算法综述

在路由选择算法中都要用到求最短路径算法。最短路径算法 (Dijkstra 算法) 目前认为是求无负权网络最短路径的最好方法。本文采用 Dijkstra 算法计算 WSN 网络的路由, 该算法可用于求解指定两点 V_s, V_1 间的最短路, 或从指定点到其余各点的最短路径。算法的基本思路基于一点原理: 若序列 $\{V_s, V_1, \dots, V_{n-1}, V_n\}$ 是从 V_s 到 V_n 的最短路径, 则序列 $\{V_s, V_1, \dots, V_{n-1}\}$ 必为从 V_s 到 V_{n-1} 的最短路径。对于有 n 个节点的网络, 最多经 $n-1$ 步就可以找到目标节点^[3]。

Dijkstra 算法基本步骤, 采用标号法。可用两种标号: T 标号和 P 标号, T 标号为试探性标号 (tentative label), P 标号为永久性标号 (permanent label)。给 V_i 点一个 P 标号时, 表示从 V_s 到 V_i 点的最短路径, V_i 点的标号不再改变。给 V_i 点一个 T 标号时, 表示从 V_s 到 V_i 点的估计路权的上界, 是一种临时标号, 凡没有得到 P 标号的点都是 T 标号。

1) 给 V_s 以 P 标号, $P(V_s)=0$, 其余各点均给 T 标号, $T(V_i)=+\infty$ 。

2) 若 V_i 点为刚得到 P 标号的点, 考虑这些点 V_i ; (V_i, V_j) 属于网络, 且 V_j 为 T 标号。对 V_j 的 T 标号进行如下更改:

$$T(V_j)=\min[T(V_i), P(V_i)+l_{ij}] \quad (1)$$

3) 比较所有具有 T 标号的点, 把最小者改为 T 标号, 即:

$$P(V_i')=\min[T(V_j)] \quad (2)$$

Dijkstra 算法的已知条件是网络拓扑和各链路的长度。在 WSN 中由于无线电信号传输的速度接近光速。因此, 在链路长度上都考虑为在当前节点射频信号覆盖范围内的所有节点的链路长度是相同的。这样在应用 Dijkstra 算法计算出来的路由长度和跳数在理论上都是最优, 但这种方式易受网络负荷和信号质量的影响。针对以上的不足, 提出基于节点隶属度模糊算法, 将 RSSI 和剩余电池电量引入路由算法之中。

3 模糊属性

普通集合只能表达“非此即彼”的概念, 而不能表达“亦此亦彼”的现象。为此, 1965 年美国加州大学控制专家 L.A.Zadeh 教授于创立模糊集合论。集合中的元素并不是严格的“非此即彼”, 也可能是“亦此亦彼”, 只是对于不同集合隶属程度不同而已, 称为隶属度^[4]。对于集合 A , X 为某一定义域上的全集, 该全集上的模糊子集定义为:

$$A=\{(x, u_A(x)) \mid u_A(x) \in [0,1], x \in X\} \quad (3)$$

其中 $u_A(x)$ 称为 x 对于模糊子集的隶属度, u_A 为模糊子集 A 的隶属函数。

4 利用模糊算法计算链路权数

RSSI (Received Signal Strength Indication) 和电池电量是不断变化的, 特别是射频信号容易受环境干扰以及其他射频信号的干扰是漂浮不定的, 无法精确。即使能够精确, 无疑要加大算法的复杂度。由于 WSN 的特点决定, 路由节点无法承担巨大的计算量。因此, 需要将 RSSI 和电池电量进行模糊化, 建立模糊规则库, 去模糊化, 得到模糊规则表^[5]。最终输出各个链路之间的权重。具体过程如下:

1) 论域 U 中的模糊子集 A , 是以隶属函数 u_A 表征的集合。即由映射

$$u_A: \begin{cases} U \rightarrow [0,1] \\ u \rightarrow u_A(u) \end{cases} \quad (4)$$

其中 u_A 隶属函数, 其大小反映论域中元素 u 相对模糊集合 A 的隶属程度, 值越接近 1, 隶属集合 A 的程度越高。

2) 设模糊集合 $A=\in f(U)$, $\forall \lambda \in [0,1]$, 则集合

A 中的 λ 的截集定义为:

$$A_\lambda = \{u \in U \mid A(u) > \lambda\} \quad (5)$$

3) 设模糊集合 $B \in f(U)$, 则集合 A 和集合 B 的模糊积为:

$$A \odot B = \bigvee_{u \in U} (A(u) \wedge B(u)) \quad (6)$$

4) RSSI 和电池电量的模糊集及其论域定义, 如下:

RSSI、电池电量和 U 的模糊集均为:

$$\{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$$

RSSI 的论域为:

$$\{-75, -10\}$$

电池电量的论域为:

$$\{0, 100\}$$

U 的论域为:

$$\{1, 25\}$$

5) 采用线性划分法, 以三角函数作为模糊集合的隶属函数, 将精确输入的 RSSI 和电池电量进行模糊化。

RSSI 的模糊化结果如下:

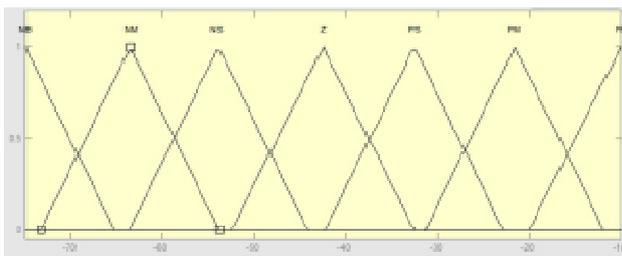


图 1 RSSI 的模糊集合隶属函数图

Fig.1 Fuzzy set membership function of RSSI

电池电量的模糊化结果如下:

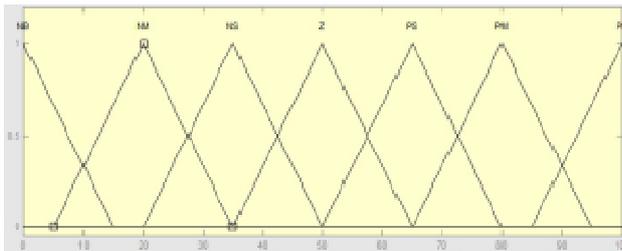


图 2 电池电量的模糊集合隶属函数图

Fig.2 Fuzzy set membership of battery power

U 的模糊化结果如下:

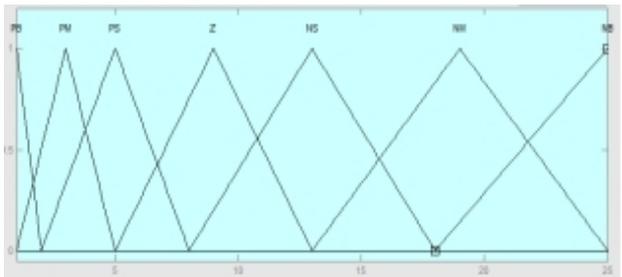


图 3 U 的模糊集隶属函数图

Fig.3 Fuzzy set membership of U

6) 模糊规则的设计。比较常见的有 Mamdani 和 Sugeno 型模糊逻辑系统, 根据决策需要, 本文采用 Mamdani 型模糊逻辑系统。结合输入量和输出量的关系进行整个推理系统的研究。共有 49 条推理, 输出的模糊规则表 1:

表 1 模糊规则表

Table 1 Fuzzy rule table

U	Battery Level						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
RSSI	NB	NB	NB	NM	NM	NS	Z
	NM	NB	NM	NM	NS	Z	PS
	NS	NB	NM	NS	Z	PS	PM
	Z	NM	NS	Z	PS	PM	PM
	PS	NM	NS	Z	PS	PM	PB
	PM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
	PB	Z	PS	PM	PB	PB	PB

7) 去模糊化方法。当模糊规则表一旦确定那么 RSSI 和节点电池剩余电量的关系也就确定。如图 4:

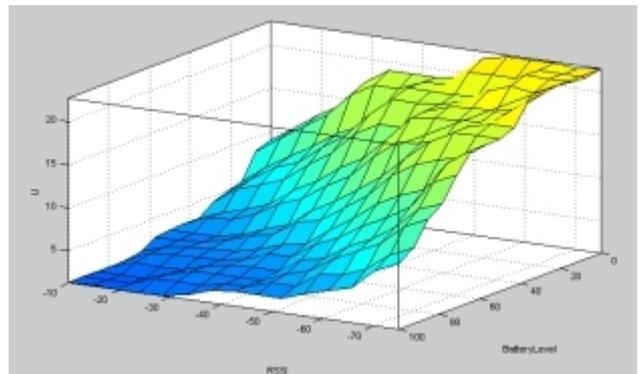


图 4 RSSI、电池剩余电量与链路权重 U 的关系

Fig.4 Relationship between RSSI, battery remaining power and link weight U

5 模型的建立和求解

在一个典型的 WSN, 并且采用 Mesh 网络, 我们分别建立在链路中引入 RSSI 和电池电量权重和不引入 RSSI 和电池电量权重分别建立网络拓扑。分别选取 10 个网络节点建立模型。文献[7]给出一种经典的路由算法 Dijkstra 进行最短路径的求解。

5.1 不引入 RSSI 和电池电量权重

选取 10 个网络节点来进行计算。链路不引入权重则所有链路的权数均为 1。此时, 网络拓扑如图 5:

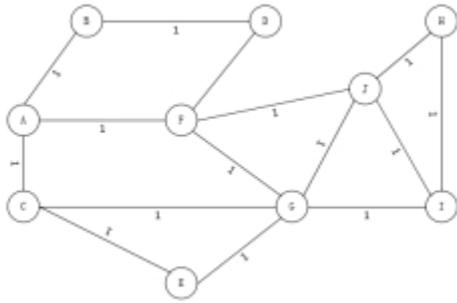


图 5 不带权数的网络拓扑图
Fig.5 The network topology without weight

计算从节点 A 到结点 H 的最短路径，采用双标号法进行计算。可得最短路径为：

$$A \rightarrow F \rightarrow J \rightarrow H$$

对于 WSN 而言也就是需要经过二次中转就能够到达目标节点。

5.2 引入 RSSI 和电池电量权重

同样的选取 10 个网络节点进行计算。在链路中的权重，假设结点 F 受到信号干扰，接收到从节点 A 方向过来的信号 RSSI 值只有 -65 dBm，电池剩余电量 80%，节点 I 由于使用过度，导致起电池即将耗尽剩余电量只有 15%，各方向过来的信号 RSSI 均大于 -35 dBm，其他节点信号良好，电量充足。此时，分别对两个节点的状态进行模糊推理，分别见图 6 和图 7：

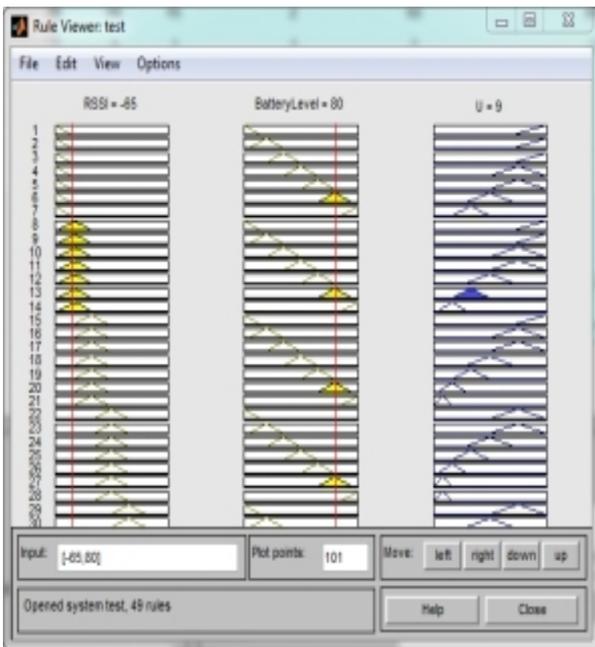


图 6 节点 A 的推理结果
Fig.6 Inference results of node A

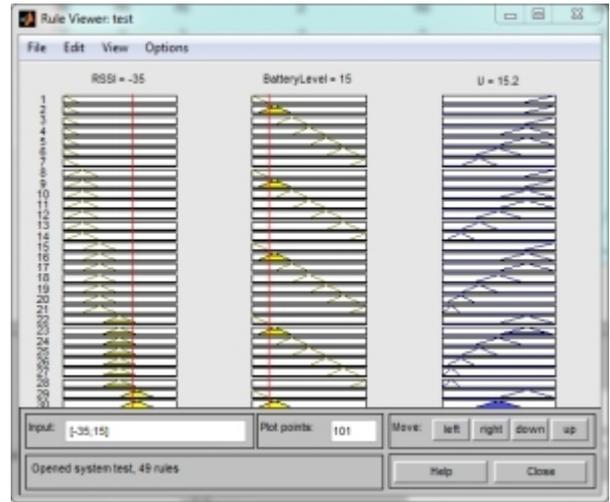


图 7 节点 J 的推理结果
Fig.7 Inference results of node J

以上结果就是经过模糊推理得到的各个链路的权重，节点 A 到结点 F 的权重为 9，节点 F 由于剩余电量过低同它相连的各条链路均为 15.2。网络拓扑如图 8：

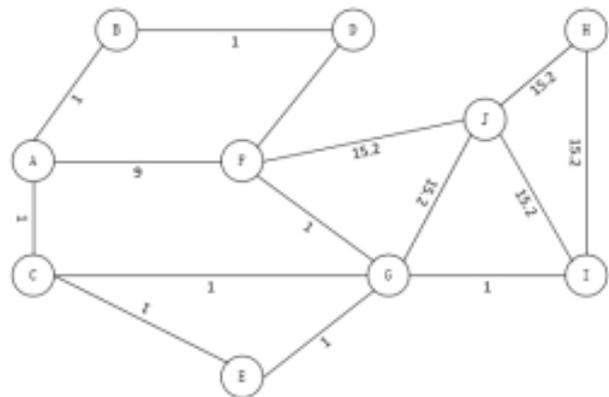


图 8 带权数的网络拓扑图
Fig.8 The network topology with weight

计算从节点 A 到结点 H 的最短路径，采用双标号法进行计算。可得最短路径为：

$$A \rightarrow C \rightarrow G \rightarrow I \rightarrow H$$

对于 WSN 而言也就是需要经过三次中转就能够到达目标节点。虽然比不带权的最短路径要多一次中转，但可以有效的避开了信号弱和剩余电量不足的节点。

5.3 实验仿真分析

为了验证实际效果，本文采用 Matlab 进行算法仿真，网络模型的主要如下：网络规模为 100 个节点，随机分布在 20,000 m² 的空间内，各节点的有

效通信距离为 30 米。节点的初始电量设置为满电量（即为 100%），在有效通信范围内的 RSSI 值通过对 nRF24L01 的实际测量，由于环境的干扰实际测量值在 -30 dBm~-70 dBm 之间。因此，在计算链路权重时每次发送和接收均在测量值之间随机抽取。每发送和接收一次消耗的电量为 0.1%。实验每秒发送一次，仿真时间为 1.5 h^[6]。

在图 9 中，未采用模糊控制算法的剩电池电量呈现极端化，其中有四个节点的电池已经耗尽。而采用模糊控制的剩余电池电量基本稳定在一定的水平上。因此，通过采用模糊控制可以有效地避开信号相对弱以及电池电量比较低的节点进行数据传输，在同一场景下，各个节点的能耗趋于平均，能够有效地延长网络的使用寿命。

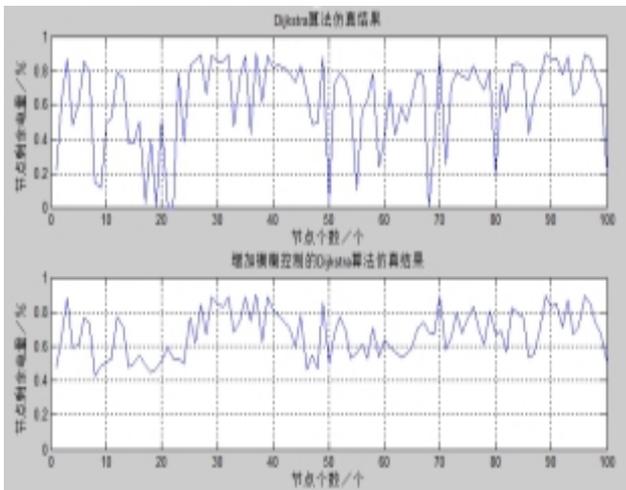


图 9 仿真结果

Fig. 9 Simulation result

结束语

不考虑权重的传统路由最短路径算法能够获得最短的路径，也就是路由的跳数最少，但没有考虑电池电量以及信号受干扰的情况。本文提出的一种采用模糊算法计算每条链路的权重可以有效地避免使用低电量与信号弱的节点。下一步工作将把各个节点的负荷引入到链路权重，结合现有的完善最优路径算法，使其路由能够避免过渡使用网络负荷繁重的节点。

参考文献:

- [1] 王庆华,谢琦,李佳. 兼容多协议的通用 WSN 网关的设计[J]. 计算机工程与设计,2012, 33(12):4440-4444.
- [2] 刘兆伟,杨波,张远,等. 无线传感器网络路由协议研究分析[J]. 信息技术与信息化,2008(5):34-37.
- [3] 吴运权. 运筹学教程(第二版)[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [4] 李锋. 无线传感网络节点隶属度模糊定位算法研究[J]. 计算机测量与控制,2016,24(3):186-189.
- [5] 李闯,褚丽莉,曹灵莉,等. 基于模糊算法的 VoWLAN 切换策略研究[J]. 信息通信, 2015(12): 213-214.
- [6] 雷昕,鄢楚平,徐海川. 无线传感器网络多径路由算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(12):91-93.
- [7] 郎丽丽. 基于 nRF24L01 的 Dijkstra 最短路径算法的无线分簇网络的设计与实现[D]. 沈阳:东北大学, 2013.