

改进果蝇优化算法的 WSNs 节点定位方法

虞继敏,王海云,唐贤伦

(重庆邮电大学 工业物联网与网络化控制教育部重点实验室, 重庆 400065)

摘 要: 提出了一种基于改进果蝇优化算法的无线传感器网络节点定位算法. 该算法首先依据实际情况确定种群个体数量和最大迭代次数, 随机初始“果蝇”位置, 然后利用“果蝇”—节点位置的迭代比较, 不断缩小未知节点与信标节点之间的距离误差, 通过 100 次迭代, 最终确定最优位置. 仿真结果表明, 该定位算法实现简单, 收敛速度快, 且有很高精度.

关键词: 无线传感器网络; 节点定位; 果蝇优化算法; 定位精度; 智能算法

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)11-0111-05

Wireless Sensor Node Location Approach Based on Improved Fruit Flies Optimization Algorithm

YU Ji-min, WANG Hai-yun, TANG Xian-lun

(Key Laboratory of Industrial Internet of Things & Network Control, MOE, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: A new node localization approach of Wireless Sensor Networks based on improved fruit fly optimization algorithm is investigated. According to the actual situation to determine population maximum iterations, and random initial fruit fly swarm location, the distance error between the unknown node and beacon node is reduced though 100 times iterative comparison. Simulation results indicate that the positioning algorithm is simple, fast convergence and high accuracy.

Key words: wireless sensor networks; node localization; fruit fly optimization algorithm; location accuracy; intelligent algorithm

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)应用于诸多领域, 节点定位技术是无线传感器网络实现应用的前提, 是 WSN 的关键技术之一, 它确定了自身节点和目标节点的位置关系. 文献[1]中提出现有的定位方法主要分为无需测距和基于测距的两种定位技术. 无需测距的定位技术的定位精度较差, 但不需附加硬件支撑来实现节点间的距离测量, 该定位算法成本低、功耗较小, 目前多处于理论研究阶段. 基于测距的定位技术, 对网络的硬件设施要求严格, 定位过程中产生一定计算量, 但其定位精度高^[2-3], 所以多数研究者采用该方法; 本文主要

运用基于测距的算法来进行未知节点的准确定位.

2 果蝇优化的 WSN 节点定位算法

2.1 果蝇优化算法

果蝇优化算法目前已被应用于交通事件^[4]、原油含水率^[5]、企业经营绩效^[6]等优化问题, 该算法依照果蝇搜寻食物的特性, 可将其归纳为以下几个必要的步骤^[2-4]:

(1) 随机产生果蝇的初始位置 ($IntX_axis$, $IntY_axis$), 确定种群个体数量 $sizepop$ 和最大迭代次数 max_gen .

(2) 赋予果蝇个体利用嗅觉搜寻食物的随机方向和距离 ($X(i)$, $Y(i)$).

收稿日期: 2014-01-17; 修回日期: 2014-03-08

基金项目: 重庆市自然科学基金(2012jjA1642); 重庆市教委科研项目(KJ100513)

(3) 估计与原点之间的距离 $D(i)$, 计算味道浓度判定值 $S(i)$, 其中 $S(i) = 1/D(i)$.

(4) 将味道浓度的判定值 $S(i)$ 代入味道浓度判定函数 (*Fitness-function*) 求出该果蝇个体位置的味道浓度 $Smell(i)$, 其中 $Smell(i) = function(S(i))$.

(5) 找出此果蝇群体当中味道浓度最高的果蝇 (求最大值).

(6) 保留最佳味道浓度值 $S(i)$ 与 $(X(i), Y(i))$ 的坐标, 此时果蝇群体利用视觉向该位置飞去.

(7) 迭代寻优, 充分执行步骤 (2) ~ (5), 并判断当前味道浓度是否优于前一迭代味道浓度, 若是则执行步骤 6.

2.2 改进的果蝇优化算法

本文将果蝇算法引进到无线传感器网络节点定位中优化定位误差. 在基本的果蝇优化算法中, 为了适应优化节点定位误差的特殊性, 对果蝇算法进行适当优化改进, 在算法的第 (3) 步, 估计出与原点之间的距离 $D(i)$, 考虑实际中距离越远味道浓度越淡, 所以味道浓度判定值的计算公式为 $S(i) = 1/D(i)$. 再将味道浓度的判定值 $S(i)$ 代入味道浓度判定函数, 求出果蝇个体位置的味道浓度 $Smell(i)$, 所以味道浓度 $Smell(i)$ 是味道浓度的判定值 $S(i)$ 的函数, 即有: $Smell(i) = function(S(i))$. 在本文中, 由于是估计坐标 $(\hat{x}, \hat{y})$ 的位置到各信标节点误差的总和, 所以只需估计出分布的果蝇与原点之间的距离, 并且通过迭代寻找出最小误差, 并且记录该值, 即味道浓度 $Smell(i)$ 是距离 $D(i)$ 的函数, 则 $Smell(i) = function(D(i))$.

2.3 果蝇优化的节点定位算法

本文是将三边测量法和改进的果蝇优化算法结合在一起的新型节点定位算法, 通过迭代寻优, 解决了传统定位算法不精确的问题, 进一步提高了无线传感器网络待测节点的定位精度. 该算法通过不断缩小待测节点与信标节点之间的距离误差, 最终获得未知节点的坐标. 为了能进一步说明使用的节点数不同时, 定位精度的准确性, 由式 (3) 可计算出通过 n 个信标节点对待测节点进行定位之后的平均误差表达式, 如式 (4):

$$\delta = \frac{1}{n} g(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \epsilon_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \sqrt{(\hat{x} - x_i)^2 + (\hat{y} - y_i)^2} - r_i \right| \quad (n \geq 3) \quad (1)$$

式中, n 为信标节点的个数, (x_i, y_i) 为第 i 个信标节

点的坐标, r_i 为第 i 个信标节点到未知节点的距离.

假设采用 3 个信标节点进行定位, 信标节点 A, B, C 分别位于 (x_A, y_A) , (x_B, y_B) , (x_C, y_C) , 则误差函数为如式 (5) 所示:

$$\delta = \frac{1}{3} g(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \epsilon_i = \frac{1}{3} \left(\left| \sqrt{(\hat{x} - x_A)^2 + (\hat{y} - y_A)^2} - r_A \right| + \left| \sqrt{(\hat{x} - x_B)^2 + (\hat{y} - y_B)^2} - r_B \right| + \left| \sqrt{(\hat{x} - x_C)^2 + (\hat{y} - y_C)^2} - r_C \right| \right) \quad (2)$$

当 δ 取最小时, 其对应的待测节点 $(\hat{x}, \hat{y})$ 越接近实际值. r_A, r_B, r_C 为信标节点到待测节点的距离. 为了提高定位精度, 采用改进的果蝇算法优化误差函数获取误差的最小值, 从而得到待测节点更精确的位置.

算法具体的结合步骤: 确定种群个体数量 $sizepop = 30$, 和最大迭代次数 $max\ gen = 100$, 在 $[0, 5]$ 范围内随机生成果蝇初始位置; 赋予果蝇个体利用嗅觉搜寻食物的随机方向和距离区间 $[-0.5, 0.5]$; 估计与原点之间的距离 $D(i)$, 即待测节点与信标节点之间的距离差:

$$D(i) = \left| \sqrt{(\hat{x} - x_i)^2 + (\hat{y} - y_i)^2} - r_i \right| \quad (3)$$

将 $D(i)$ 代入味道浓度判定函数 $Smell(i)$ 即:

$$Smell(i) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 D(i) \quad (4)$$

找出此果蝇群体中味道浓度最高的果蝇, 使得误差的平方和最小; 保留最佳的 $(X(i), Y(i))$ 坐标, 此时果蝇群体利用视觉飞向该位置; 迭代寻优, 重复执行改进的果蝇优化的步骤 (2) ~ (5), 并判断节点坐标值是否优于前一代的坐标值, 若是则执行步骤 (6).

3 仿真实验及算法性能分析

为了更好地、更准确地评价改进的果蝇优化算法在节点定位技术中的优越性, 在 Matlab7.12 环境下进行仿真, 以一个节点的定位为例: 假设未知节点的坐标为 $P(2, 2)$ (在实际中该点坐标为待测坐标), 已知的三个信标节点坐标分别为 $A(0, 0)$, $B(5, 0)$, $C(0, 5)$, 则可计算出 P 到 A、B、C 的距离分别为: $r_1 = \sqrt{8}$, $r_2 = \sqrt{13}$, $r_3 = \sqrt{13}$. 果蝇优化算法的各参数取值为: 种群规模为 30, 最大迭代次数为 100. 从寻得最小误差及最优值产生的迭代次数来观察果蝇优化算法的定位性能; 分析不同初始位置、初始种群、信标节点数、通信距离对定位精度的影响; 并将改进的果蝇优化算法 (FOA) 与改进的遗传算法 (genetic

algorithm, GA)^[7]、改进的粒子群算法 (particle swarm optimization, PSO)^[8] 进行比较.

3.1 算法实现及结果分析

为了实现无线传感器网络中改进的果蝇算法对误差的优化,通过下面的伪代码进行具体算法的优化处理.

```

after the first iteration
min(Smell) → [bestSmell bestindex]
%第一次迭代寻到一个点,及获得该点坐标
X(bestindex) → X_axis
Y(bestindex) → Y_axis
Smellbest → bestSmell
for each generation g do
%果蝇迭代寻优开始,寻找最小误差点
foreach population i do
compute the error
D(i) = g(·)
Smell(i) = f(·)
end
bestSmell bestindex → min(Smell)
find the optimal value
if bestSmell < Smellbest then
%每寻到一个点进行一次比较
X(bestindex) → X_axis
Y(bestindex) → Y_axis
Smellbest → bestSmell
end
update the generation and coordinate
Smellbest → yy(g)
%比较后取较小误差的点,获得新的坐标
X_axis → Xbest(g)
Y_axis → Ybest(g)
end
min(Smell) → [Smellbest bestindex]
Xbest(bestindex) → X_axis
Ybest(bestindex) → Y_axis

```

其中, $g(\cdot)$ 为式(2)取一个点时的表达式, $f \cdot$ 算法步骤(4)中的表达式,其他参数的含义与文中解释一致.

经过 100 次的迭代,改进的果蝇优化算法对距离误差的优化,程序运行所得到的未知节点 P 的坐标为(2.004 3, 1.996 1),与 P 点的实际坐标(2, 2)非常接近.

在图 1 可见,经过寻优比较后,果蝇基本聚集在坐标(2, 2)附近.由图 2 可知,未知节点的误差值随迭代次数的增加而快速衰减,经过 7 次迭代之后,最小均方误差几乎衰减为零,故迭代次数选择 100 次

足够满足定位误差要求,同时也说明了果蝇优化算法的收敛速度很快.

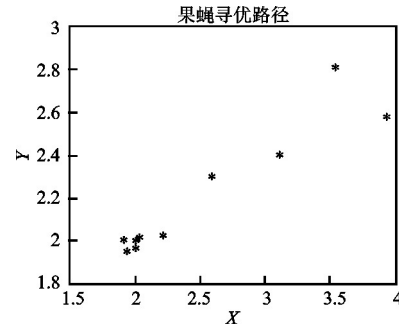


图 1 果蝇寻找最优值的轨迹图

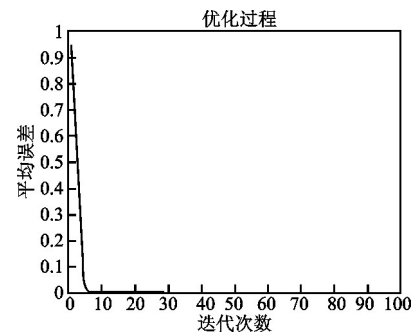


图 2 被测节点的最优值收敛图

3.2 初始位置、初始种群对定位结果的影响

在仿真环境下,设置未知节点为(2, 3),选取迭代次数 $max\ gen=100$,种群规模 $sizepop=30$,在 $[0, 5]$ 范围内生成果蝇初始位置,果蝇随机飞行的方向和区间为 $[-0.5, 0.5]$,图 3(a)中的第一行两个图是该条件下的果蝇迭代收敛图和果蝇飞行路径图.

(1)选取相同的迭代次数、种群规模及飞行区间,在 $[0, 30]$ 范围内生成果蝇初始位置,图 3(a)中的第二行两个图是改变初始位置后,果蝇迭代收敛图和果蝇飞行路径图.比较可见,改变初始位置使得收敛速度减慢,而且不易找出果蝇的最终聚集点.

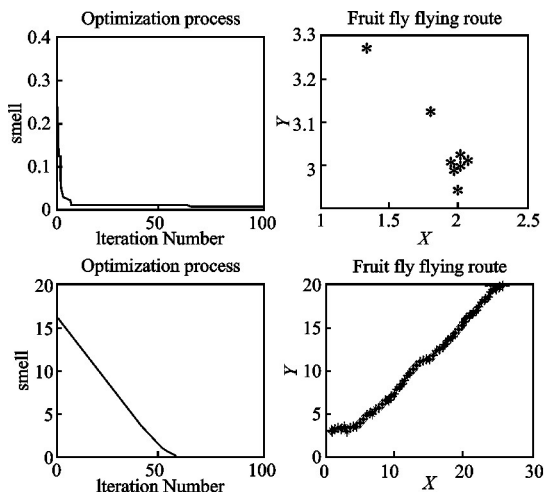
(2)选取相同的迭代次数、果蝇初始位置及飞行区间,种群规模 $sizepop=10$,图 3(b)中的第二行两个图是改变种群规模后,果蝇迭代收敛图和果蝇飞行路径图.比较可见,改变种群规模后,收敛速度减慢,且果蝇的飞行路径不清晰.

(3)选取相同的迭代次数和飞行区间,在 $[0, 30]$ 范围内生成果蝇初始位置,增加种群规模 $sizepop=50$,图 3(c)中的第二行两个图是改变初始位置和种群规模后,果蝇迭代收敛图和果蝇飞行路径图.比较可见,改变初始位置和种群规模后,不但使得收敛速度减慢,而且不易找出果蝇的最终聚集点.

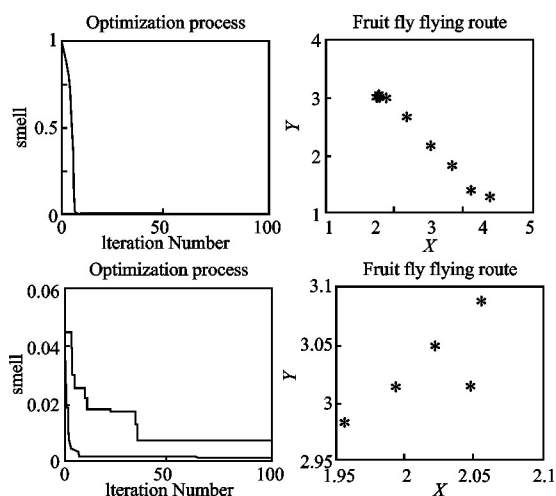
所以,选择合适的迭代次数、种群规模、果蝇初始位置及飞行区间对于定位效果有很大的影响,而这些合适数值的选取则要通过多次试验取最优。

3.3 不同信标节点数对定位精度的影响

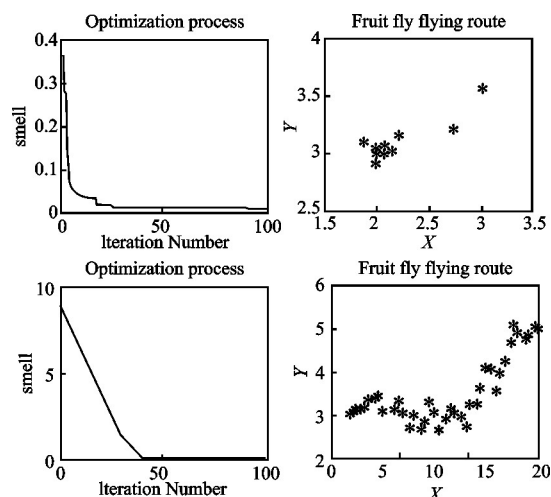
为了说明不同信标节点对定位精度的影响,在仿真环境下,设置未知节点为(2, 3),选取迭代次数 $max_gen=100$,种群规模 $sizepop=30$,在 $[0, 5]$ 范围内生成果蝇初始位置,果蝇随机飞行的方向和区间为 $[-0.5, 0.5]$ 。在选择不同的信标节点数时,对未知节点均进行5次定位,取5次的定位坐标的平均值,然后做出横纵坐标的比值,若比值接近,则说明定位出的坐标基本一致,若比值相差较大,则说明定位结果差别较大。由图4可见,在信标节点由3个增加到11个时,定位坐标的横纵比值在(0.657 5, 0.667 5)之间,所以不同信标节点数对定位结果的影响不大。再考虑硬件实施,开销及能耗等方面因素,



(a) 初始位置不同的迭代收敛和飞行路径比较



(b) 种群规模不同的迭代收敛和飞行路径比较



(c) 初始位置和种群规模不同的迭代收敛和飞行路径比较

图3 初始位置、初始种群对定位结果的影响
在可以较准确定位未知节点的前提下,选取信标节点越少越好(具体以3个为宜)。

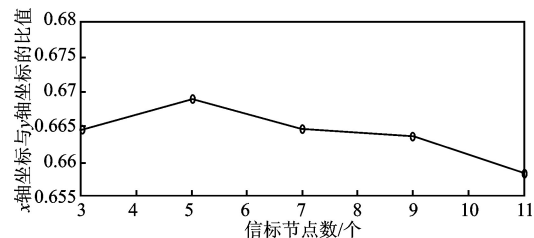


图4 不同信标节点数对定位精度的影响

3.4 不同通信距离对定位精度的影响

为了说明不同通信距离对定位精度的影响,在仿真环境下,设置未知节点为(2, 3),选取迭代次数 $max_gen=100$,种群规模 $sizepop=30$,在 $[0, 5]$ 范围内生成果蝇初始位置,果蝇随机飞行的方向和区间为 $[-0.5, 0.5]$ 。选取不同的信标节点,由图5可见,而节点的通信距离越大,平均定位误差越大。

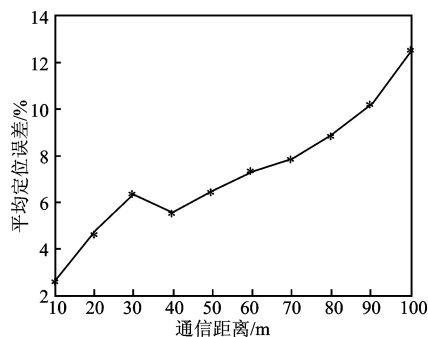


图5 不同通信距离对定位精度的影响

3.5 改进的果蝇优化算法与其他智能算法的比较

将改进的 FOA 与改进的 GA、改进的 PSO 进行比较,针对5组待测节点所测坐标及它们的实际

坐标列成表 1,在此基础上,计算出果蝇优化算法及其他两种智能算法定位之后的节点位置与节点的实际位置之间的相对误差和标准误差。

表 1 改进的果蝇优化算法与改进的遗传算法、改进的粒子群算法在节点定位中的效果比较

算法	实际坐标/m	测定坐标/m	相对误差/%	标准偏差/%
改进的 GA	(0.4, 3.0)	(0.400 0, 2.960 0)	1.33	1.18
	(2.5, 3.2)	(2.490 0, 3.210 0)	0.36	
	(1.2, 2.4)	(1.200 0, 2.390 0)	0.42	
	(2.5, 1.4)	(2.470 0, 1.370 0)	1.67	
	(3.6, 3.5)	(3.600 0, 3.470 0)	0.86	
改进的 PSO	(0.4, 3.0)	(0.399 4, 2.889 6)	0.24	0.30
	(2.5, 3.2)	(2.491 1, 3.188 0)	0.37	
	(1.2, 2.4)	(1.199 0, 2.389 0)	0.27	
	(2.5, 1.4)	(2.510 0, 1.399 0)	0.24	
	(3.6, 3.5)	(3.588 8, 3.498 9)	0.17	
改进的 FOA	(0.4, 3.0)	(0.399 3, 2.996 1)	0.15	0.17
	(2.5, 3.2)	(2.496 8, 3.203 2)	0.11	
	(1.2, 2.4)	(1.200 1, 2.396 0)	0.17	
	(2.5, 1.4)	(2.518 1, 1.399 0)	0.16	
	(3.6, 3.5)	(3.600 5, 3.505 6)	0.09	

由表 1 可知,改进的遗传算法定位精度精确到了厘米级,改进的粒子群算法和果蝇优化算法精确到了毫米级以下,并通过比较知改进的果蝇优化算法的定位效果最优。另外,改进的遗传算法的定位结果的相对误差小于 1.67%,标准偏差为 1.18%;改进的粒子群算法的定位结果的相对误差小于 0.37%,标准偏差为 0.30%;而改进的果蝇优化算法的定位结果的相对误差小于 0.17%,标准偏差为 0.17%。通过数据比较知经过果蝇优化算法后的无线传感器网络节点定位的误差更小,结果更精确。

在图 6 中,实线标记的坐标和线条为未知节点的实际坐标,虚线标记的坐标和线条为改进的遗传算法优化之后所测得的未知节点的坐标,点化线标记的坐标和线条为改进的粒子群算法优化之后所测得的未知节点的坐标,点线标记的坐标和线条为果蝇优化算法优化后所测得的未知节点的坐标。由图中的坐标及其线条的重合度可以看出,果蝇优化算法所测得的坐标(点线坐标点及线条)几乎与节点的实际坐标(实线坐标点及线条)重合,改进的粒子群算法所测得的坐标(点化线坐标点及线条)与节点的实际坐标(实线坐标点及线条)有微小偏差,改进的遗传算法所测得的坐标(虚线坐标点及线条)与节点的实际坐标(实线坐标点及线条)有一定偏差。

即可表明果蝇优化算法在定位误差方面表现出很好的性能。

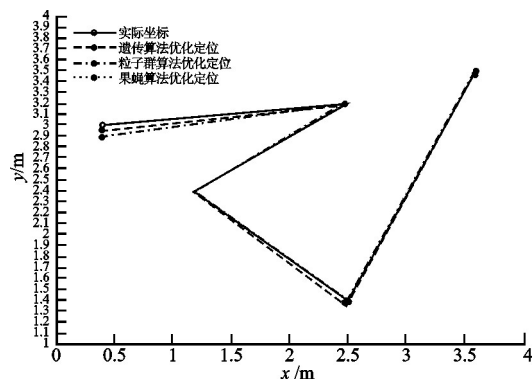


图 6 改进的果蝇优化算法与改进的遗传算法、改进的粒子群算法的定位比较图

4 结束语

将改进后的果蝇优化算法运用在无线传感器网络的节点定位中,该算法是通过缩小未知节点与信标节点之间的距离误差来提高未知节点的定位精度。实验表明改进的果蝇优化算法在无线传感网的节点定位中的优化效果较其他智能算法更好,定位精度更高收敛速度更快。

(下转第 120 页)

1.5%、三甲胺 1%、醛类 0.5%。

通过对响应曲线与仿真结果的分析,救灾食品变质的产品为海鲜类鱼肉,且为中度变质,系统可主动发送报警指令,蜂鸣器发出报警音,报警灯闪烁,由此证明,整个救灾食品变质实时监测系统运行正常稳定,且能正确分析出变质臭味中的所含成分,达到了设计目标。

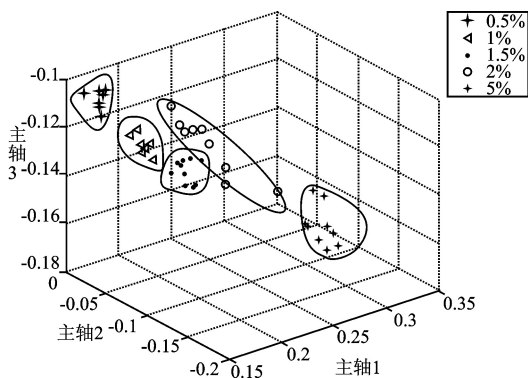


图 11 救灾食品变质气体仿真结果

6 结束语

为了减少救灾食品在运输途中的腐损率,引入

了人工嗅觉探测、无线通信等技术构建远程的监控网络,设计并实现了救灾食品运输变质实时监控系統,为救灾食品的运输带来了新的解决方案,其实用价值是非常大的,且硬件成本较低,实时性强,在救灾食品运输领域将会有很广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 杨宁,胡学军;单片机与控制技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [2] 张茹,孙松林,于晓刚;嵌入式系统技术基础[M].北京:北京邮电大学出版社,2006.
- [3] 崔莉,鞠海玲,苗勇,等;无线传感器网络研究进展[J].计算机研究与发展,2005,42(1):164-165.
- [4] 李光飞,李良儿;单片机C程序设计实例指导[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [5] 胡悦,王伟民.物联网无线传感器能耗优化 SIFT 算法的研究[J].科技通报,2013,9(29):98-101.

作者简介:

蒋晓玲 女,(1981-),硕士,讲师.研究方向为计算机及物联网应用.

(上接第 115 页)

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005:135-155.
- [2] Huang Z H, Li S H. The Study on WSN Node Positioning Algorithm Improvement [C]// 2012 International Conference on Computer Science and Service System. Nanjing, China: IEEE Press, 2012: 1248-1249.
- [3] 张丽虹.改进的 DV-Hop 无线传感器网络节点定位算法[J].微电子学与计算机,2012,29(9):171-174.
- [5] Yu K, Guo Y J, Hedley M. TOA-based distributed localization with unknown internal delays and clock frequency offsets in wireless sensor networks[C]// Signal Processing. San Fransisco: IET, 2009: 106-118.
- [4] 史亚东,陆健,陆林军.基于 RFID 技术和 FOA-GRNN 理论的高速公路道路关闭交通事件对车辆影响的判断模型[J].武汉理工大学学报,2012,34(3): 63-68.
- [5] Cuiling Liu, Lulu Zhang, Jinqi Wang. Application of FOA-GRNN to prediction of moisture content in crude oil of wellheat metering [J]. Computer Simulation, 2012,29(11):243-246.
- [6] Pan W T. Using fruit fly optimization algorithm optimized general regression neural network to construct the operating performance of enterprises model [J]. Journal of Taiyuan University of Technology. 2011, 29(4): 1-4.
- [7] Hongwen Xu, Weiming Yin, Yuxiang Shao, et al. Genetic algorithm for nodes location in wireless sensor network to monitor abrupt geological hazards[C]// International Workshop on Intelligent Systems and Applications, Wuhan, China: IEEE Press, 2009: 1-4.
- [8] 任剑锋,张永强.一种改进粒子群迭代优化的集成网络智能节点部署算法[J].计算机科学,2013,3(40): 183-186.

作者简介:

虞继敏 男,(1964-),博士,教授.研究方向为非线性控制、智能算法.

王海云 女,(1987-),硕士研究生.研究方向为智能算法、网络控制.