

文章编号: 1001-0920(2012)05-0697-06

# 基于离散粒子群优化的工业无线网多信道分配算法

高广恩, 刘全利, 王 伟

(大连理工大学 控制科学与工程学院, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 在充分考虑工业无线节点低能耗要求的基础上, 提出一种工业无线网发射功率调节算法. 在保证网络连通度的前提下, 使无线节点发射功率尽可能小. 同时, 利用离散粒子群优化算法, 提出一种解决工业无线网多信道分配问题的离散粒子群优化多信道分配算法(DPSO-CAA). 对标准离散粒子群优化算法加以改进, 提高了所提出算法的全局搜索能力. 通过将DPSO-CAA算法与已有算法进行的仿真对比实验, 表明了所提出的DPSO-CAA算法能有效地降低数据碰撞和同信道干扰, 而且能降低无线节点能耗.

**关键词:** 离散粒子群优化; 多信道分配; 工业无线网

**中图分类号:** TN925

**文献标识码:** A

## Multi-channel assignment algorithm of industrial wireless networks based on discrete particle swarming optimization

GAO Guang-en, LIU Quan-li, WANG Wei

(School of Control Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China.

Correspondent: LIU Quan-li, E-mail: liuql@dut.edu.cn)

**Abstract:** A dynamic transmitting power adjusting algorithm of industrial wireless networks is proposed based on a requirement of lower transmitting power. In the precondition of guaranteeing network connectivity, this algorithm makes transmitting power of wireless nodes as low as possible. A multi-channel assignment algorithm based on discrete particle swarming optimization(DPSO-CAA) for solving multi-channel assignment problem in industry wireless field is proposed. An improvement in the discrete particle swarming optimization algorithm is made to enhance the global search ability of DPSO-CAA. Through a simulation experiment of compare between the DPSO-CAA and some well-known algorithms, the results show that the probability of interference and data crash is decreased, and the energy efficiency of wireless nodes is improved.

**Key words:** discrete particle swarm optimization; multi-channel assignment; industry wireless networks

### 1 引言

随着无线通信技术的不断发展, 将无线技术应用于工业过程控制领域已成为一种可能. 工业现场具有复杂的电磁环境, 且对节点的能耗要求较高, 不允许频繁更换电池. 因此, 如何提高工业无线网的性能, 降低碰撞和同信道干扰便成为一个亟待解决的问题. 有效地分配和利用信道资源可降低无线网络内冲突的概率, 提高吞吐量, 改善全网性能, 进而降低节点能耗, 延长网络生存时间.

多信道分配问题已被证明属于NP难问题<sup>[1]</sup>. 在蜂窝网、认知无线电和无线局域网(Wi-Fi)等领域已有大量的研究成果. 文献[2]在考虑传输延时和服务

质量的情况下, 提出一种启发式信道分配机制; [3]引入智能种群的思想解决认知无线电中的动态信道分配问题; [4]提出一种动静结合的策略以解决多信道/多收发器网络的信道分配问题, 从而提高了网络吞吐量; [5]提出一种IEEE802.11网络的负载模型, 并在此模型基础上研究多信道分配问题, 以最大限度地提高网络吞吐量. 但由于拓扑结构和网络需求的不同, 不能将这些多信道分配算法直接移植到工业无线网络中.

粒子群算法是1995年由Eberhart等人<sup>[6]</sup>发明的一种仿生学算法. 文献[7]首次将粒子群优化(PSO)算法用于求解多信道分配问题, 但未充分考虑节点的

收稿日期: 2011-10-08; 修回日期: 2011-12-13.

基金项目: 国家863计划项目(2007AA041201-9).

作者简介: 高广恩(1981—), 男, 博士生, 从事无线传感网、工业无线的研究; 王伟(1955—), 男, 教授, 博士生导师, 从事嵌入式系统研究、设计及应用等研究.

能耗. 目前, 使用粒子群算法解决多信道分配问题的文献还很少. 为此, 本文提出一种使用粒子群算法并充分考虑节点能耗的多信道分配算法. 主要贡献在于: 1) 提出一种发射功率调节算法, 在保证网络连通度的前提下, 使无线节点发射功率尽可能的小, 大大降低了节点能耗. 2) 给出一种使用离散粒子群优化(DPSO)算法求解多信道分配问题的算法DPSO-CAA, 且对DPSO算法的要素进行了定义和详细说明. 3) 对标准的DPSO算法进行了改进, 提高了其全局搜索能力, 使其尽可能获得全局最优解. 最后, 通过仿真实验将DPSO-CAA和已有算法进行比较, 结果表明, DPSO-CAA有效地降低了数据碰撞和同信道干扰, 而且降低了无线节点能耗, 从而延长了网络生存周期.

## 2 粒子群算法

为了解决实际工程中的离散问题, Kennedy等人<sup>[8]</sup>于1997年提出了离散二进制粒子群算法. 采用二进制方式对粒子位置进行编码, 通过采用Sigmoid函数将速度约束于[0,1]区间, 进而代表粒子位置取1的概率. 文献[9]对[8]中的方法进行改进, 用于解决置换排列问题. 其中: 粒子用置换排列表示, 而速度则根据两个粒子的相似度来定义, 决定粒子位置变化的概率, 同时还引入变异操作防止最优粒子陷入局部极小. [10]通过重新定义粒子的位置、速度以及加减乘除等操作, 提出一种新的DPSO算法, 并用于求解旅行商问题; [11]在PSO算法的基础上提出了求解离散变量优化问题的DPSO算法. DPSO算法定义了粒子的离散位置来表示解空间, 在此基础上给出离散位置之间的差运算、离散速度之间的和运算、常数与离散速度之间的乘运算以及离散位置与离散速度之间的和运算. 由此可得DPSO算法的基本公式为

$$v_i(t+1) = c_1 \cdot v_i(t) \oplus c_2 \cdot (p_i(t) \ominus x_i(t)) \oplus c_3 \cdot (p_g \ominus x_i(t)). \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) \oplus v_i(t+1). \quad (2)$$

其中:  $x_i$  为第  $i$  个粒子的离散位置;  $v_i$  为第  $i$  个粒子的离散速度;  $p_i$  为第  $i$  个粒子的个体极值;  $p_g$  为种群的全局极值;  $c_1, c_2, c_3$  为相应的权值, 取值为 [0,1] 间的常数;  $\cdot, \oplus, \ominus$  分别表示 DPSO 算法中的乘法、加法和减法; 这些符号的具体含义及运算法则不同于连续 PSO 算法, 其具体含义在第 4 节有详细说明.

## 3 无线网络模型

在诸多文献中, 一般以无向图的形式来描述网络, 在此借鉴了这一思想<sup>[12]</sup>. 用一个无向图表示网络  $G = (H, E)$ . 其中:  $H = (h_1, h_2, h_3, \dots, h_N)$  为网络内节点的集合,  $N$  表示网络内节点的个数;  $E = (e_1, e_2,$

$e_3, \dots, e_M)$  为相邻节点间无线链路的集合, 在这里将其称作边,  $M$  表示网络内的总边数. 如果两个节点间存在一条边, 则当且仅当它们位于彼此的传输范围内. 当两个相邻边在同一时刻使用相同信道进行数据传输时, 此数据传输很可能失败. 用  $I(e)$  表示网络内与边  $e$  相冲突的边的集合.

### 3.1 无线传播模型

常见的无线传播模型包括<sup>[13]</sup>: 自由空间传播模型, Chan 传播模型, 衰减因子模型, 二径地面反射模型等. 这里采用二径地面反射模型, 并通过理论计算出节点的传播半径和发射功率的关系. 二径地面反射模型的公式如下:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L}. \quad (3)$$

其中:  $P_r$  为接收功率;  $P_t$  为发射功率;  $G_t, G_r$  分别为发射天线和接收天线的增益;  $h_t, h_r$  分别为发射天线和接收天线距离地面的高度;  $d$  为电磁波的传输距离;  $L$  为衰减因子.

### 3.2 干扰模型

在无线网络中, 通信范围和干扰范围有所不同. 在通信范围内, 两个节点能够彼此正确地接收到对方发送的数据包. 而干扰范围指的是, 两个节点在同一时刻同一信道传输数据可能发生碰撞的范围. 一般情况下, 干扰范围要大于通信范围. 在这里用跳数来描述通信范围和干扰范围, 节点 1 跳内的范围为通信范围, 节点 2 跳内的范围为干扰范围. 图 1 为干扰模型示意图. 图 1 中: 实线圆圈内的节点表示节点 1 通信范围内的节点, 点划线圆圈内的节点表示节点 1 干扰范围内的节点. 干扰范围和通信范围内的节点数目分别为 25 和 9, 两者相差近 3 倍. 采用节点 2 跳范围的干扰模型, 更接近真实的网络环境, 且可有效解决隐藏终端和暴露终端的问题.

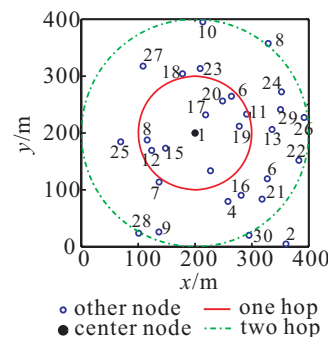


图 1 干扰模型示意图

## 4 DPSO-CAA

针对多信道分配问题, 要想完全消除节点间碰撞几乎是不可能的, 但可以尽可能地减小碰撞. 显然可用穷举搜索的方法解决此问题, 因为总的信道分配方案是有限的. 类似的边着色问题已被证明是 NP 难

问题, 所以很难在短时间内找到最优解. 在这里, 采用 DPSO 算法对其进行求解. 为每个边  $e$  分配一个信道  $C(e)$ . DPSO 算法中的粒子位置为网络内所有边信道分配, 每个粒子位置都是一个可行解. 粒子速度为一系列交换因子  $(i, j)$ , 表示每条边可能进行的信道切换. 其中:  $i$  表示边  $e$  的当前信道,  $j$  表示  $e$  将要切换到的信道.

#### 4.1 DPSO-CAA 的要素描述

文献 [10] 指出, DPSO 算法求解 TSP 问题的关键是根据问题领域定义粒子位置和速度, 并根据离散量的特点定义这些量的运算规律和粒子的运动方程. 相对于 TSP 问题, 多信道分配问题的粒子位置、速度及运算法则具有不同含义. 下面针对多信道分配问题给出 DPSO 算法的粒子位置、速度及其运算法则的描述.

##### 1) 粒子的位置.

粒子的位置  $P$  表示为一个由每条边所分配信道组成的  $M$  维向量,  $M$  表示网络内的边数.  $P$  的第  $i$  维表示第  $i$  条边所分配的信道号, 即

$$P = (c_1, c_2, \dots, c_M), \quad (4)$$

其中  $c_i \in \{1, 2, \dots, C\}$ , 这里  $C$  表示最大的信道数目.

##### 2) 粒子的速度.

使用交换算子  $(i, j)$  表示对应边的当前信道和将要切换到的信道. 速度的维数和位置的维数相同, 均为网络内的边数. 其每一维的交换算子均作用于对应的边, 表达式如下:

$$V = ((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_M, j_M)). \quad (5)$$

其中:  $i_k, j_k \in \{1, 2, \dots, C\}$ , 这里  $C$  表示最大的信道数目. 粒子的速度用于改变粒子的位置.

##### 3) 位置的减法.

两个位置  $P_1$  和  $P_2$  相减, 得到速度  $V$ , 即

$$V = P_1 \ominus P_2. \quad (6)$$

其含义为: 若将速度  $V$  作用于位置  $P_2$ , 则将得到位置  $P_1$ . 若  $P_1 = P_2$ , 则速度  $V$  中  $i_k = j_k$ .

##### 4) 位置与速度的加法.

粒子位置与粒子速度的加法运算实现了粒子的移动, 边所分配的信道号发生改变, 即

$$P_1 = P_2 \oplus V. \quad (7)$$

若粒子位置某维的信道值与粒子速度对应维的“当前信道值”相同, 则粒子位置此维的信道值用粒子速度对应维的“将要切换到的信道”值代替, 从而完成粒子位置信道值的更新. 当  $i_k = j_k$  时, 粒子位置不变, 即边所分配的信道值不变.

##### 5) 速度的加法.

粒子的两个速度相加得到新的速度, 即

$$V = V_1 \oplus V_2. \quad (8)$$

$$(i_k, j_k) = \begin{cases} (i_k^1, j_k^1), & \text{if } i_k^2 = j_k^2; \\ (i_k^2, j_k^2), & \text{if } i_k^2 \neq j_k^2. \end{cases} \quad (9)$$

其中:  $(i_k^1, j_k^1)$  和  $(i_k^2, j_k^2)$  分别表示速度  $V_1$  和  $V_2$  的第  $k$  维交换算子. 当  $V_2$  的第  $k$  维交换算子的“当前信道”和“将要切换到的信道”值相同时, 速度  $V$  的第  $k$  维交换算子等于速度  $V_1$  的第  $k$  维交换算子; 否则, 等于速度  $V_2$  的第  $k$  维交换算子. 速度加法的结果依旧是一个  $M$  维交换算子, 其同粒子位置相加的含义与式 (7) 相同.  $V_2$  较  $V_1$  有较高的优先级, 因此将全局最优分量放在速度公式的最后, 以增强其向全局最优靠拢的能力.

##### 6) 速度的数乘.

粒子速度的数乘定义为

$$V = c \cdot V_1, \quad (10)$$

其中  $c$  为位于  $[0, 1]$  的常数. 对于速度  $V_1$  中的  $M$  个交换算子, 以概率  $c$  被选中, 未被选中的交换算子强制赋值为  $(i_k, i_k)$ , 即保持原来信道, 不进行任何交换. 由此可见, 若  $c = 0$ , 则  $V$  中  $i_k = j_k$ ; 若  $c = 1$ , 则  $V = V_1$ .

##### 7) 变异因子.

位置变异表示除了速度的影响外, 选择某一条边改变其信道值, 边和信道值的选择都是随机的. 表达式为

$$P = c \cdot P_1, \quad (11)$$

其中  $c$  为位于  $[0, 1]$  的常数, 表示变异发生的概率. 在算法迭代过程中产生一个  $[0, 1]$  间的随机数和  $c$  比较, 若随机数大于  $c$ , 则表示不发生变异; 否则, 发生变异.  $c$  值越大, 发生变异的概率越高.

#### 4.2 发射功率调节算法

针对工业无线网络节点能耗要求高的特点, 本节提出调节节点发射功率算法. 首先给定一个网络内节点度的最小值  $D_{\min}$ , 也就是每个节点最少能和  $D_{\min}$  个节点通信. 在未调节发射功率之前, 节点的默认发射功率为 0 dBm. 首先判断网络内各个节点的度, 若其值大于  $D_{\min}$ , 则说明需要对其进行发射功率的调整, 直到达到所允许的最小值. 在调整过程中需综合考虑节点间的相互影响, 比如: A, B 两节点在彼此的通信范围内, 当调节 A 的发射功率时, 可能会导致 B 的度减小. 假如 B 的度正好为  $D_{\min}$ , 则减小 A 的发射功率可能会导致 B 的度小于  $D_{\min}$ , 这不是希望得到的结果. 显然, 当调节 A 的发射功率时, 其邻居节点的度最多减小的值为 1. 因此, 将网络内的节点度按照由小到大的顺序排序, 首先调节节点度小的节点, 最后调节节点度大的节点. 调节结果使每个节点的

度尽可能的小, 但又不小于  $D_{\min}$ . 当节点初始度值小于  $D_{\min}$  时, 逐步增加其发射功率, 直到节点发射功率达到最大值  $P_{\max}$  或节点度值不小于  $D_{\min}$  为止. 发射功率调节算法描述如下:

#### 算法 1 发射功率调节算法.

输入参数: 网络节点数目, 网络范围, 节点度最小值, 节点发射功率  $P$  为 0 dBm, 节点最小发射功率为 -88 dBm,

输出参数: 调节后节点发射功率, 节点度值及节点连接矩阵.

Step 1: 初始化网络节点位置.

Setp 2: 计算每个节点的度, 若节点初始度值  $D$  小于  $D_{\min}$ , 则置标志  $\text{Init\_}D = 1$ ; 若  $D$  大于  $D_{\min}$ , 则置  $\text{Init\_}D = 2$ ; 若  $D$  等于  $D_{\min}$ , 则置  $\text{Init\_}D = 3$ .

Step 3: 判断是否所有节点均进行了发射功率调节, 若完成, 则输出结果.

Step 4: 将未处理节点按度的大小由小到大排序, 选择节点度值最小的节点.

Step 5: 若  $\text{Init\_}D = 3$ , 则转 Step 7; 否则, 若  $\text{Init\_}D = 1$ , 则增加节点发射功率; 若  $\text{Init\_}D = 2$ , 则减小节点发射功率, 步长为 1 dBm.

Step 6: 重新计算所调节发射功率后节点的度值  $D$ , 当  $\text{Init\_}D = 1$  时, 若  $D < D_{\min}$  且发射功率小于  $P_{\max}$ , 则转 Step 5; 否则, 将此时发射功率  $P_{\text{current}}$  作为当前节点发射功率  $P$ ; 当  $\text{Init\_}D = 2$  时, 若  $D \geq D_{\min}$ , 则转 Step 5; 否则,  $P$  等于上一次的发射功率  $P_{\text{last}}$ , 记录对应度值.

Step 7: 设定当前节点邻居节点的最小发射功率为  $P$ , 防止邻居节点发射功率小于  $P$  而影响当前节点的度值.

Setp 8: 标记已处理节点, 转 Step 3.

### 4.3 改进算法

在引入发射功率调节算法的同时, 改进了 DPSO 算法, 称其为 DPSO-CAA. DPSO-CAA 融合了发射功率调节算法, 同时引入变异操作, 改进了 DPSO 算法易陷入局部最优解的不足, 从而提高了算法的全局搜索能力. 改进后的位置更新公式由式 (2) 改为

$$x_i(t+1) = c_m \cdot x_i(t) \oplus v_i(t+1). \quad (12)$$

其中:  $c_m$  为变异因子, 为位于  $[0,1]$  的常数, 表示变异发生的概率. 若位置发生变异, 则随机选择其中的某条边, 同时随机选择一个新的信道序号, 并将新的信道序号赋给选中的边. DPSO-CAA 的描述如下:

#### 算法 2 DPSO-CAA.

输入参数: 网络节点数目, 网络范围, 节点度最小值, 调节前节点发射功率, 以及与 DPSO 算法相关的

种群大小, 变异概率, 最大迭代次数;

输出参数: 信道分配结果, 及其对应的最小干扰值, 迭代运行次数.

Step 1: 初始化网络参数.

Step 2: 调用算法 1.

Step 3: 初始化种群、粒子位置和粒子速度.

Step 4: 当未达到最大迭代次数, 且所计算的全网干扰大小不为零时, 执行 Step 5; 否则, 输出结果.

Step 5: 按照式 (6)~(11) 定义的计算法则, 以及速度、位置公式 (1) 和 (12) 更新粒子速度和位置.

Step 6: 根据式 (13)~(16) 计算适应度值(全网干扰的总和).

Step 7: 更新个体最优位置和个体最优适应度值.

Step 8: 更新全局最优位置和全局最优适应度值, 转 Step 4.

### 4.4 性能指标

研究工业无线网络多信道分配算法的目的是尽量减小节点间的冲突, 同时降低每个节点的能耗, 延长节点生存周期. 因此分别用干扰大小和能耗作为算法性能好坏的指标.

为了便于计算, 需要用确切的数值来表示边与边间干扰的大小. 在 3.2 节提出的干扰模型的基础上, 将干扰大小进行量化, 即

$$U(\{(e, F(e)) | e \in E\}) = \min \sum_{e \in E} I(e, F). \quad (13)$$

$$I(e, F) = \sum_{u \in E \& u \neq e} 1/d(e, u, F). \quad (14)$$

$$d(e, u, F) = \begin{cases} +\infty, & F(e) \neq F(u); \\ 1, & F(e) = F(u) \& \\ & e, u \text{ have same node}; \\ D, & F(e) = F(u) \& \\ & e, u \text{ have not same node.} \end{cases} \quad (15)$$

$$D = \sum_{h_i, h_j \in H_{eu} \& h_i \neq h_j} L(h_i, h_j). \quad (16)$$

其中:  $U$  表示对于网络内的边集合  $E$ , 找到一个信道分配方案  $F$ , 使所有边的干扰之和最小.  $e$  表示网络内的任意一条边.  $F(e)$  表示边所对应的信道号, 取值范围为  $(1, 2, \dots, C)$ ,  $C$  表示信道个数.  $I$  表示边  $e$  在分配方案  $F$  下, 其所有干扰之和.  $d$  表示边  $e$  和边  $u$  的距离, 当边  $e$  和边  $u$  位于不同信道时, 其距离为  $+\infty$ ; 当边  $e$  和边  $u$  位于相同信道, 且它们存在相同节点时, 距离为 1; 当边  $e$  和边  $u$  位于相同信道, 且它们不存在相同节点时, 距离为  $D$ .  $H_{eu}$  表示边  $e$  和边  $u$  所包含节点的集合.  $L$  表示节点  $h_i$  和节点  $h_j$  的连接情况, 当  $h_i, h_j$  在彼此的干扰范围之内时  $L = 1$ ; 否则,

$L = 0$ .  $D$  为边  $e$  和边  $u$  所包含节点的  $L$  值之和. 多信道分配算法的目的就是找到一个最佳的分配方案  $F$ , 使网络内的干扰之和  $U$  尽可能的小.

节点能耗包括发射、接收、空闲和睡眠等4种状态下的能耗<sup>[14]</sup>. 在本算法中, 主要考虑调节发射功率对节点能耗的影响, 而对节点在接收、空闲和睡眠情况下的能耗未做特殊考虑, 因此可简化为以发射功率作为衡量节点能耗大小的指标, 有

$$E_{\text{all}} = \sum_{h \in H} E(h). \quad (17)$$

其中:  $E_{\text{all}}$  表示网络内所有节点发射功率能耗之和, 节点  $h$  为网络内任一节点,  $E(h)$  表示节点  $h$  的发射功率能耗.

## 5 仿真实验与分析

### 5.1 仿真环境的建立

为了测试所提出算法的性能, 在 AMD2.7GHz/2GB 的硬件环境下编写 Matlab 程序对算法进行测试. 实验内容包括将传统 DPSO 算法、贪婪算法和 DPSO-CAA 进行性能比较, 以验证 DPSO-CAA 的有效性, 并对比引入调节算法前后整个网络能耗情况的变化以及此调节算法对 DPSO-CAA 所能达到的最小干扰值的影响. 在仿真实验中, 以二径地面反射模型(3)作为发射功率调节算法的计算公式, 各种参数的选择如表1所示.

表1 仿真参数

参数	取值
网络范围/m <sup>2</sup>	400 × 400
节点数目	10~30
种群大小	30
发射/接收天线增益 $G_r$ /dB	1
发射/接收天线高度 $h_r$ /m	1
速度分量权值 $c_1$	0.5
个体最优权值 $c_2$	0.25
全局最优权值 $c_3$	0.25
变异因子 $c_m$	0.5
最小度值 $D_{\text{min}}$	2
发射功率 $P_t$ /dBm	-88 ~ 0
接收灵敏度 $P_r$ /dBm	-88
迭代次数	500

### 5.2 调整节点发射功率对节点能耗的影响

在保证网络连通度的前提下, 引入调节节点发射功率机制. 针对某一规模的网络, 重复100次实验, 求最后的平均值. 实验结果为节点发射功率调节前后的比值, 即

$$\text{Ratio} = P_{\text{ta}}/P_{\text{tb}}. \quad (18)$$

其中:  $P_{\text{ta}}$  为调节后的节点发射功率,  $P_{\text{tb}}$  为调节前的节点发射功率. 实验结果如图2所示.

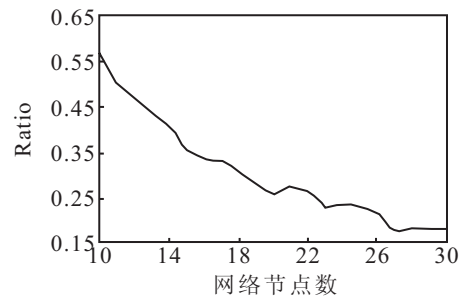


图2 发射功率变化曲线

由图2可见, 开始时随着网络规模的增加, 节点能耗逐渐减小, 当网络规模大到一定程度时, 此比值维持在0.2附近. 这是因为网络规模越大, 节点越密集, 节点发射功率调整至其最小值时便不能再减小了.

### 5.3 算法性能分析

为了分析所提出算法的性能, 当节点规模为20时, 使用上述3种算法求解. 3种算法均引入了发射功率调节算法. 表2给出了100次仿真后3种算法的迭代时间及最小干扰值均值.

表2 仿真结果

参数	传统 DPSO 算法	贪婪算法	DPSO-CAA
迭代时间/s	0.084	0.387	0.696
最小干扰值	3.765	1.21	0.525

由表2可以看出, 传统 DPSO 算法和贪婪算法收敛较快, 容易陷入局部极值; DPSO-CAA 引入变异因子, 增强了其全局搜索能力, 寻解结果更优. 由于 DPSO-CAA 扩大了在解空间的搜索范围, 其迭代时间与传统 DPSO 算法和贪婪算法相比, 相对较长.

图3描绘了初始值与最终值比值的分布情况. 由图3可见, 传统 DPSO 算法的最终值受初始值的影响很大, 不易跳出初始局部最优值寻找更加优化的结果. DPSO-CAA 摆脱了局部最优, 向全局搜索的能力更强.

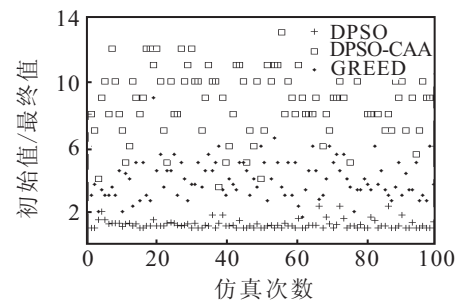


图3 初始值和最优值对比

是否采用发射功率调整机制, 对多信道分配问题的求解也有很大影响. 调节节点发射功率后, 不仅节约了节点能量, 也降低了 DPSO 算法的维数, 使算法所求得的网络干扰值更小.

图4给出了3种算法采用发射功率调节算法前后的仿真结果. 通过对比, 可以看出采用调节算法后,

网络干扰大幅减小,整个无线网络的碰撞概率大大降低.

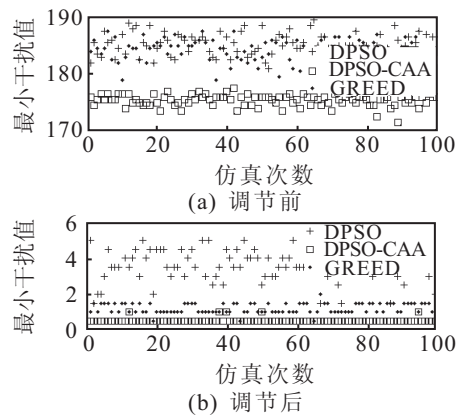


图 4 发射功率调节对 3 种算法的影响

从仿真结果可见, DPSO-CAA 在全局搜索能力和收敛性方面均优于贪婪算法和传统 DPSO 算法,并且所求的解优于其他两种算法,同时有效降低了节点能耗,从而延长了网络生存周期.

## 6 结 论

针对工业无线网络能耗要求较高的特点,本文提出了一种基于 DPSO 算法解决多信道分配问题的算法.同时,提出了一种发射功率调节算法,在保证网络连通度的前提下,使无线节点发射功率尽可能小,大大降低了节点能耗.给出了一种使用 DPSO 算法求解多信道分配问题的算法 DPSO-CAA,并对 DPSO 算法的要素进行了定义和详细说明.与标准 DPSO 算法相比, DPSO-CAA 全局搜索能力更强,可以使算法尽可能获得全局最优解.通过仿真实验将 DPSO-CAA 与已有的算法进行了比较,结果表明 DPSO-CAA 有效地降低了数据碰撞和同信道干扰,并降低了无线节点能耗,从而延长了网络生存周期.

## 参考文献(References)

[1] Raniwala A, Chiueh T C. Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network[C]. 24th Annual Joint Conf of the IEEE Computer and Communications Societies. Miami, 2005: 2223-2234.  
 [2] Tam Y H, Benkoczi R, Hassanein H S, et al. Channel assignment for multihop cellular networks: Minimum delay[J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2010, 9(7): 1024-1034.  
 [3] Doerr C, Sicker D C, Grunwald D. Dynamic control channel assignment in cognitive radio networks using swarm intelligence[C]. IEEE Global Telecommunications Conf. New Orleans, 2008: 1-6.

[4] Li X G, Xu C Q. Joint channel assignment and routing in real time wireless mesh network[C]. Wireless Communications and Networking Conf. Budapest, 2009: 1-6.  
 [5] Max S, Zang Y P, Zhou Y, et al. Model-based radio and channel assignment in IEEE 802.11 wireless mesh networks[C]. IEEE Globecom Workshops. Hawaii, 2009: 1-6.  
 [6] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization[C]. IEEE Int Conf on Neural Networks. Perth, 1995: 1942-1948.  
 [7] Wang J, Choi H S, Jung C Y. A distributed wireless channel assignment algorithm with collision reduction[C]. Int Symposium on Collaborative Technologies and Systems. Baltimore, 2009: 543-551.  
 [8] Kennedy J, Eberhart R. A discrete binary version of the particle swarm algorithm[C]. IEEE Int Conf on Computational Cybernetics and Simulation. Orlando, 1997: 4104-4108.  
 [9] Hu X H, Eberhart R, Shi Y H. Swarm intelligence for permutation optimization a case study of n-queens problem[C]. Proc of the 2003 IEEE Swarm Intelligence Symposium. Indianapolis, 2003: 243-246.  
 [10] Clerc M. Discrete particle swarm optimization, illustrated by traveling salesman problem[C]. New Optimization Techniques in Engineering. Berlin: Springer-Verlag, 2004: 219-239.  
 [11] 胡家声, 郭创新, 叶彬. 离散粒子群优化算法在输电网络扩展规划中的应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(20): 31-36.  
 (Hu J S, Guo C X, Ye B. Application of discrete particle swarm optimization to transmission network expansion planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(20): 31-36.)  
 [12] Shin M, Lee S J, Kim Y A. Distributed channel assignment for multi-radio wireless networks[C]. IEEE Int Conf on Mobile Adhoc and Sensor Systems. Florence, 2006: 417-426.  
 [13] 范晓静. 室内无线传播模型的研究与仿真[J]. 科技信息, 2010, (26): 527-529.  
 (Fan X J. Research and simulation of indoor radio propagation model[J]. Technology Information, 2010, (26): 527-529.)  
 [14] Ghazvini M H F, Vahabi M. Low energy consumption MAC protocol for wireless sensor networks[C]. 2nd Int Conf on Sensor Technologies and Applications. Serdang, 2008: 49-54.