

一种基于多目标遗传优化的无线多媒体传感器网络节能覆盖方法

沙 超^{1,2,3}, 王汝传^{1,2,3} 黄海平^{1,2,3} 孙力娟^{1,2,3}

(1. 南京邮电大学计算机学院, 江苏南京 210003; 2. 江苏省无线传感网高技术研究重点实验室, 江苏南京 210003;
3. 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 江苏南京 210003)

摘 要: 提出一种基于多目标遗传优化的节能覆盖方法. 以节点不同开启顺序建立个体基因组, 采用双交叉保留优秀个体, 在保证覆盖度的同时, 开启尽可能少的节点. 本方法延长了网络生命期, 均衡了网络中各节点能耗, 同 D-Greedy 及 DCS-dist 等方法相比, 也表现出了较好的性能.

关键词: 无线多媒体传感器网络; 多目标遗传; 网络覆盖度; 网络生命期

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2012) 01-0019-08

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.01.004

An Energy-Saving Coverage Scheme Based on Multi-Objective Genetic Algorithms in Wireless Multi-Media Sensor Networks

SHA Chao^{1,2,3}, WANG Ru-chuan^{1,2,3}, HUANG Hai-ping^{1,2,3}, SUN Li-juan^{1,2,3}

1. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu 210003 China;

2. Jiangsu High Technology Research Key Laboratory for Wireless Sensor Networks, Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210003, China;

3. Key Lab of Broadband Wireless Communication and Sensor Network Technology, Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210003, China)

Abstract: An energy-saving coverage scheme is proposed based on multi-objective genetic algorithms. Genomes are established according to the different opening sequences of nodes and the outstanding individuals are preserved due to the double cross operation which could open as little as possible nodes when meeting certain network coverage requirement. This method could extend the network life, and balance the network energy consumption. It obtains satisfactory performance compared to D-Greedy and DCS-dist methods.

Key words: wireless multimedia sensor networks; multi-objective genetic; network coverage; network lifetime

1 引言

当前多数覆盖问题都针对全向感知的无线传感网, 常采用休眠冗余节点^[1]、调整节点分布^[2]或添加新节点^[2]等方法. 然而随着多媒体传感网的出现, 现有的一些方法已不能适用. 而传感网的随机部署方式^[3]及硬件资源限制^[4], 使得其能耗问题尤为突出^[5]. 多媒体传感网需感知较大数据量的图像及音视频信息, 并进行处理和实时传输, 这对其能效提出了更为严格的要求^[6].

Tian 等^[1]提出基于节点状态调度的分布式覆盖算

法; Zhang 等^[7]提出分布式节点密度控制算法, 根据节点邻居和自身位置计算相互覆盖关系; Xu 等^[8]采用整数序列编码遗传算法, 找出网络最小覆盖子集; H Chen 等^[9]把网络划分为网格, 用贪心法找最小覆盖子集. 在无线多媒体传感网中, Adriaens^[10]利用最佳多项式时间算法解决了视频传感网中“最坏情况覆盖”问题; 文献[6]通过相邻节点间的调度实现最大数量目标覆盖; 此外, Ma 等人^[4]也研究了有向传感网中的覆盖问题.

本文构建一种多目标遗传优化的无线多媒体传感网覆盖方案. 建立网络最大和最小密度下的覆盖模型,

收稿日期: 2009-12-16; 修回日期: 2011-06-28

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60973139, No. 61003039, No. 61003236, No. 61170065, No. 61171053, No. 61100199, No. 60903181); 江苏省科技支撑计划(工业)项目(No. BE2010197, No. BE2010198, No. BE2011844); 江苏省级现代服务业发展专项资金, 江苏省高校自然科学基金基础研究项目(No. 09KJB520009, No. 10KJB520013, No. 10KJB520014, No. 11KJB520014, No. 11KJB520016); 高校科研成果产业化推进项目(No. JH10-14); 国家和江苏省博士后基金(No. 20100480048); 江苏高校科技创新计划项目(No. CX10B-196Z, No. CX10B-197Z, No. CX10B-198Z, No. CX10B-199Z, No. CX10B-200Z); 江苏省六大高峰人才项目(No. 2008118); 教育部高校博士学科点专项基金(No. 20103223120007); 江苏省计算机信息处理技术重点实验室基金(No. KJS1022)

确定合适的撒播节点数;以网络最大运行轮次和部署节点数为依据,建立初始个体;采用双交叉和最优基因组突变法,完成个体交叉和变异;最终得到若干最合适的个体.

2 方法描述

2.1 网络模型

2.1.1 无线多媒体传感器网络节点传感模型

与传统全向感知模型^[4]不同,多媒体节点的传感区域为扇形^[11],如图 1 中的扇形 OA_1A_2 . 其中, θ 为多媒体节点 O 的传感扩张角且认为 $0 < \theta < \pi$; r 为节点感知半径. 定义每个多媒体节点都拥有 K 个可能的虚拟传感区域,且 $K = 2\pi/\theta$ (这里设 2π 可以被 θ 整除).

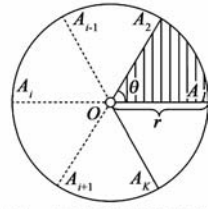


图1 无线多媒体传感器节点传感模型

2.1.2 网络节点部署密度

在传感网中,为保证覆盖度,需部署的最大和最小密度分别为 $\rho_{\max} = \frac{2}{\sqrt{3}r^2}$ 和 $\rho_{\min} = \frac{2}{3\sqrt{3}r^2}$ ^[3],如图 2. 当密度大于 ρ_{\max} 时,将出现冗余节点^[3],而当密度小于 ρ_{\min} 时,将出现传感盲区. 将该结论推广到多媒体传感网可知,需部署节点的最大和最小密度分别为 $\rho'_{\max} = \frac{2K}{\sqrt{3}r^2}$ 和

$$\rho'_{\min} = \frac{2K}{3\sqrt{3}r^2}.$$

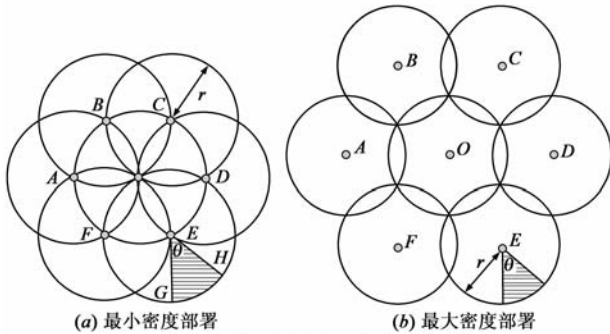


图2 全向传感器节点在网络中的部署情况

然而,多媒体节点要达到上述部署要求,必出现多重重叠. 为此,图 3 提出改进的部署方案. 黑色点处部署两个节点,灰色点仅部署一个节点. 图 3(a)是以最小密度部署时的覆盖方案,当移除任一节点时,将出现传感盲区. 令其网络边缘一行灰色节点的个数为 L ,且一共撒播 M 行节点. 于是易知,图 3(a)中的网络总面积:

$$S_1 = \frac{1}{2} r^2 \sin \theta [(M-1)(2L-1)] + 2(L-1) \left(\pi r^2 \frac{\theta}{2\pi} - \frac{1}{2} r^2 \sin \theta \right) \quad (1)$$

网络中部署的节点总数(这里不妨设 M 为奇数):

$$n_1 = 2 \left[\frac{(M-1)}{2} (2L-1) + (L-1) \right] - 2L \quad (2)$$

于是,网络完全覆盖情况下的节点最小部署密度:

$$\rho'_{\min} = \frac{n_1}{S_1} = \frac{2ML - 2L - M - 1}{\frac{1}{2} r^2 \sin \theta (2ML - M - 4L + 3) + 2(L-1) \frac{\pi r^2}{K}} \quad (3)$$

不妨令 $L = M$,并对 ρ'_{\min} 在 $M \rightarrow \infty$ 时求极限得:

$$\lim_{M \rightarrow \infty} \rho'_{\min} = \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{2M^2 - 3M - 1}{\frac{1}{2} r^2 \sin \theta (2M^2 - 5M + 3) + 2(M-1) \frac{\pi r^2}{K}} = \frac{2}{r^2 \sin \theta} \quad (4)$$

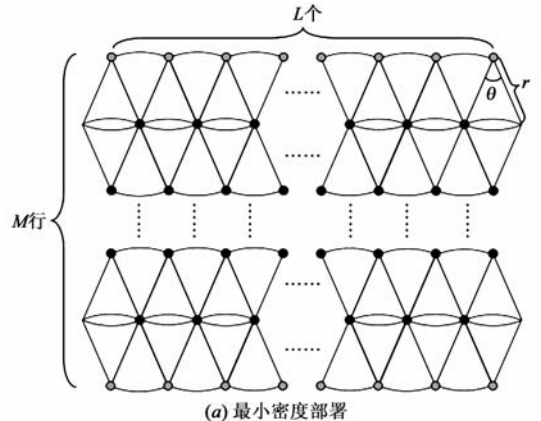
图 3(b)是节点在网络全覆盖情况下,以最大密度部署时的方案,此时,除边缘节点以外的任何节点的传感区域都可被其若干邻居节点完全覆盖. 此时,图 3(b)中的网络总面积可近似表示为:

$$S_2 = \frac{1}{2} L(M-1) r^2 \tan \frac{\theta}{2} \quad (5)$$

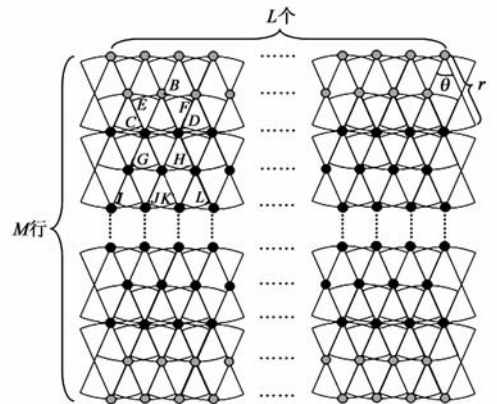
且网络中部署的节点总数(这里仍设 M 为奇数):

$$n_2 = 2 \left[\frac{(M-1)}{2} (2L-1) + L \right] - 2(2L-1) = 2L \times M - 4L - M + 3 \quad (6)$$

同理,网络中多媒体节点的最大部署密度:



(a) 最小密度部署



(b) 最大密度部署

图3 定向传感器节点在网络中的部署情况

$$\rho''_{\max} = \frac{n_2}{S_2} = \frac{2L \times M - 4L - M + 3}{\frac{1}{2}L(M-1)r^2 \tan \frac{\theta}{2}} \quad (7)$$

仍令 $L = M$, 并对 ρ''_{\max} 在 $M \rightarrow \infty$ 时求极限得:

$$\begin{aligned} \lim_{M \rightarrow \infty} \rho''_{\max} &= \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{2L \times M - 4L - M + 3}{\frac{1}{2}L(M-1)r^2 \tan \frac{\theta}{2}} \\ &= \frac{4}{r^2 \tan \frac{\theta}{2}} \end{aligned} \quad (8)$$

2.1.3 格点网络模型

这里采用格点模型^[12]估算网络覆盖度. 然而, 若格点间距设置不合理, 将出现节点无法覆盖任何一个格点的情况, 如图 4(a). 由此这里规定 $d < r$.

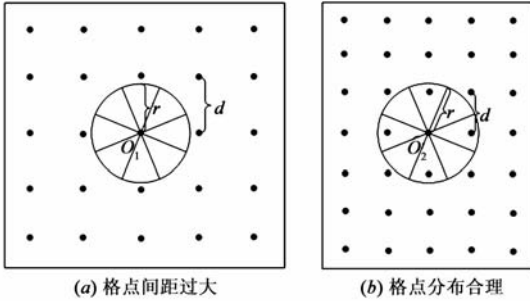


图4 网络中格点分布情况对多媒体节点覆盖性能的影响

2.2 能量有效的网络遗传编码方案

2.2.1 初始个体建立

令所有节点初始能量相同且可工作 B 个时间段. 假设网络要达到的覆盖度为 η ($0 < \eta < 1$), 则理论上所需开启的最少节点数量 $N_{\min} = \lceil S \times \eta \times \rho''_{\min} \rceil$, 其中, S 是网络总面积. 于是有式(9)成立:

$$T_{\max} \times N_{\min} \leq n \times B \quad (9)$$

T_{\max} 是理论上的网络最大生存轮次, n 是网络中需要部署的节点总数, 且这里认为:

$$n = (\rho''_{\max} + \rho''_{\min}) \times S/2 \quad (10)$$

由此可以得到理论上的网络最大生存轮次:

$$T_{\max} = \left\lfloor \frac{S \times (\rho''_{\max} + \rho''_{\min}) \times B}{2 \lceil S \times \eta \times \rho''_{\min} \rceil} \right\rfloor \quad (11)$$

定义一 T_{\max} 行 n 列矩阵, 即初始个体, 如式(12).

$$T_{\max} = \begin{bmatrix} q_{13}^0[1] & q_{15}^0[2] & \cdots & q_{11}^0[18] & q_{16}^0[19] & q_{17}^0[20] \\ q_7^0[1] & q_2^0[2] & \cdots & q_{20}^0[18] & q_9^0[19] & q_8^0[20] \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{11}^0[1] & q_{15}^0[2] & \cdots & q_{19}^0[18] & q_3^0[19] & q_{10}^0[20] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_{T_{\max}} \end{bmatrix} \quad (12)$$

个体中每行为一个基因组, 表示所有节点的一个遍历次序. $q_i^j[a]$ 为基因, 即一个节点. a 是该基因在基因组中的序号, i 是节点标号 ($1 \leq i \leq n$), j 为传感方向

编号 ($1 \leq j \leq K$) 且初值为 0. 同时, 定义一个 T_{\max} 行的单列向量 $\mathbf{P}^T = \{P_1, P_2, \dots, P_{T_{\max}}\}$ 与该矩阵相对应. 向量中每个元素分别对应个体中每一行基因组, 用以记录对应的网络覆盖度.

2.2.2 面向网络覆盖度的首次基因遍历

见初始个体首次遍历的伪代码.

对每行基因组, 依次遍历其各基因, 称为“首次遍历”, 其伪代码中的标识定义如下:

(1) $Point[w]$: 编号为 w 的格点. 若该格点被节点 i 的第 m 个传感方向覆盖, 则 $Point[w] \in q_i^m[a]$;

(2) $f(Point[w])$: 当前编号为 w 的格点被覆盖的情况. 若该值为 1 则格点被覆盖, 否则未被覆盖;

(3) $Connection$: 表征网络当前所有开启节点间连通性. 若连通, 则该值为 1, 否则 $Connection = 0$;

(4) $Avg_Dis(m)$: 对于所有满足 $Point[w] \in q_i^m[a]$ 的格点 (假设共有 λ 个), 计算它们与节点 i 之间的距离均值, 即式(13), 其中 $d(Point[w], i)$ 表示编号为 w 的格点与节点 i 的距离.

$$Avg_Dis(m) = \sum_{Point[w] \in q_i^m[a]} d(Point[w], i) / \lambda \quad (13)$$

计算 $q_i^j[a]$ 的 K 个传感方向可能覆盖的格点数 (8 - 10 行). 若所有格点都被覆盖, 则令 $j = 0$ 且休眠该节点, 否则取覆盖格点数最多的方向为节点传感方向. 若此方向不唯一, 取 $Avg_Dis(j)$ 最小者对应的方向, 若仍不唯一, 则随机选择. 当节点传感方向确定后, 将其传感区域内所有格点标记为已被覆盖状态 (17 - 19 行), 并判断网络覆盖度是否达到要求. 若达到, 则判断连通性 (21 - 27 行). 当满足连通性时, 遍历下一行基因组, 直到网络中可工作节点数小于 N_{\min} 或已遍历完所有 T_{\max} 行基因组为止. 若有基因组失效, 则在该行再次生成一个基因组, 重新遍历. 当某行新生成基因组的次数超过阈值, 则个体遍历结束 (28 - 30 行).

个体遍历结束后, 计算各有效基因组对应的实际覆盖度, 并将基因组按其对应覆盖度大小排列. 将各行的覆盖度赋给列向量 \mathbf{P}^T 中对应的元素.

2.2.3 面向网络连通性的二次基因遍历

首次遍历后并不能保证网络连通, 如图 5(a). 黑色点是开启的节点, 圆形区域为其通信范围, 白色点是休眠节点. 可以看出, 网络中的活跃节点分属于 3 个互不可达的连通子图.

为此, 进行二次遍历. 如式(14a), 二次遍历开始位置为首次遍历结束时的下一个基因所在位置, 且只遍历休眠节点. 当所遍历到节点的通信范围被已开启的节点完全覆盖时, 将不再开启此节点, 否则开启该节点. 一旦网络中各活跃节点完全连通, 二次遍历过程终止, 如式

(14b), 其中, 拥有虚线圆形通信范围的节点就是在二次遍历中开启的节点. 由以上分析易知, 二次遍历在最坏情况下的时间复杂度为 $O(T_{\max} \times (n - N_{\min}))$.

二次遍历中, 仅开启对网络连通有贡献的节点. 令各活跃节点为图中的点, 且若两个节点间距小于其通信

半径, 则可形成一条边. 由此, 该网络将形成若干个连通子图. 当且仅当开启当前节点后, 网络中连通子图的数量将减少时, 认为该节点有贡献, 如图 5(c) 中的灰色节点. 二次遍历开启的节点只负责网络连通, 不参与传感.

初始个体首次遍历的伪代码

```

01:   $l = 1$ ; //个体遍历从第 1 行开始
02:  if (网络中可继续工作的节点数目  $> N_{\min}$ ) && ( $l \leq T_{\max}$ ) //判断个体遍历是否结束
03:  {  $Times = 0$ ; //Times 代表当前基因组最多可以重新生成的次数
04:    for ( $a = 1$ );  $a \leq n$ ;  $a++$ )  $q_i^m[a] = 0$ ; //各基因初始值都为 0
05:    for ( $w = 1$ ;  $w \leq n'$ ;  $w++$ )  $f(Point[w]) = 0$ ; //依次遍历各个格点, 初始化状态下所有格点都没有被覆盖
06:    for ( $a = 1$ ;  $a \leq n$ ;  $a++$ ) //遍历该行基因组中的各基因
07:    { for ( $m = 1$ ;  $m < K$ ;  $m++$ ) //遍历每个节点的 K 个不同的传感方向
08:      { for ( $w = 1$ ;  $w \leq n'$ ;  $w++$ ) //遍历所有格点
09:        { if ( $f(Point[w]) \neq 1$ ) && ( $Point[w] \in q_i^m[a]$ )  $q_i^m[a]++$ ; //判断若格点是否被当前节点的当前传感方向覆盖
10:          //判断若格点是否被当前节点的当前传感方向覆盖
11:        if ( $q_i^1[a] = q_i^2[a] = \dots = q_i^m[a] = 0$ )  $j = 0$ ; //若所有格点都被覆盖, 则该节点休眠
12:        else if (Max {  $q_i^1[a], q_i^2[a], \dots, q_i^m[a]$  } 不唯一)
13:        { 比较所有取得最大  $q_i^j[a]$  值的基因对应的  $Avg\_Dis(j)$ ;
14:          if (Min {  $Avg\_Dis(j)$  } 唯一) 选取此时  $j$  对应的方向作为当前节点  $i$  的传感方向;
15:          else 在所有取到 Min {  $Avg\_Dis(j)$  } 的传感方向中, 任选一个作为节点  $i$  的传感方向;
16:        else  $q_i^j[a] = \text{Max} \{ q_i^1[a], q_i^2[a], \dots, q_i^m[a] \}$ ;
17:        for ( $w = 1$ ;  $w \leq n'$ ;  $w++$ )
18:        { if ( $Point[w] \in q_i^j[a]$ ) //对于所有被当前节点传感方向覆盖的格点
19:           $f(Point[w]) = 1$ ; //将其标记为已被覆盖的状态
20:        if ( $\sum_{w=1}^n f(Point[w]) / n' > \eta$ ) //判断当前的网络覆盖度是否已达到要求
21:        { if (Connection = 1) //若在满足覆盖度的同时满足连通性
22:           $l++$ ; 转 02 行; //遍历下一行基因组
23:        else
24:        { 开始二次遍历;
25:          if (Connection = 1) //若二次遍历后满足连通性
26:           $l++$ ; 转 02 行; //遍历下一行基因组
27:          else 转 28 行; } } //二次遍历后, 仍无法保证网络连通性, 则该基因组失效
28:         $Times++$ ;
29:        if ( $Times < 10$ ) 重新生成一个新的基因组, 转 04 行;
30:        else 当前个体遍历结束, 转 02 行; //遍历下一行的基因组
31:      else 当前个体遍历结束;

```

$$T_{\max} \left\{ \begin{array}{c} \text{首次遍历结束处的基因} \quad \text{二次遍历开始处的基因} \\ q_{13}^2[1] \quad q_5^0[2] \dots q_{11}^3[18] \quad q_{16}^0[19] \quad q_7^0[20] \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ \underbrace{\hspace{10em}}_n \end{array} \right\} \quad (14a)$$

$$T_{\max} \left\{ \begin{array}{c} \text{二次遍历后开启的用于保持网络连通的节点} \\ q_{13}^2[1] \quad q_5^0[2] \dots q_{11}^3[18] \quad q_{16}^0[19] \quad q_7^0[20] \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ \underbrace{\hspace{10em}}_n \end{array} \right\} \quad (14b)$$

2.2.4 网络中可工作节点的判别准则

节点用于传感和通信的能耗基本相当, 由此, 首次

遍历开启节点的能耗是二次遍历时开启的节点能耗的 2 倍. 为此做如下定义, $Cov(\Psi)$ 和 $Con(\Psi)$ 代表节点 Ψ 在网络一轮内所耗单位能量.

$$Cov(\Psi) = \begin{cases} 1, & \text{节点 } \Psi \text{ 在首次遍历时被开启} \\ 0, & \text{节点 } \Psi \text{ 在首次遍历时未被开启} \end{cases}$$

$$Con(\Psi) = \begin{cases} 0.5, & \text{节点 } \Psi \text{ 在二次遍历时被开启} \\ 0, & \text{节点 } \Psi \text{ 在二次遍历时未被开启} \end{cases}$$

据此, 可用式 (15) 来判别任意节点 Ψ 在第 l 个生命周期轮次, 是否还可以继续工作.

$$R(\Psi) = \begin{cases} 1, & \text{if } \left(B - \sum_{i=1}^{l-1} (Cov(\Psi) + con(\Psi)) \right) > 1 \\ 2, & \text{else} \end{cases} \quad (15)$$

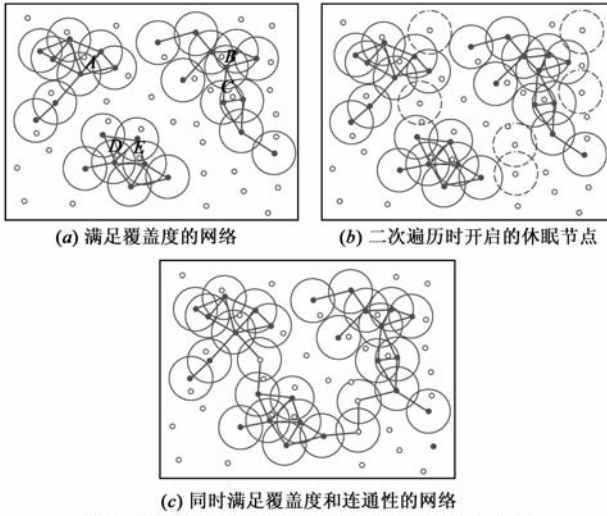


图5 基因组二次遍历时的网络连通与覆盖情况

当个体准备开始第 l 行 ($l \leq T_{\max}$) 遍历之前, 首先判断式(16)是否成立, 若成立, 则可以继续遍历, 否则, 个体遍历结束.

$$\sum_{\Psi=1}^n R(\Psi) \geq N_{\min} \quad (16)$$

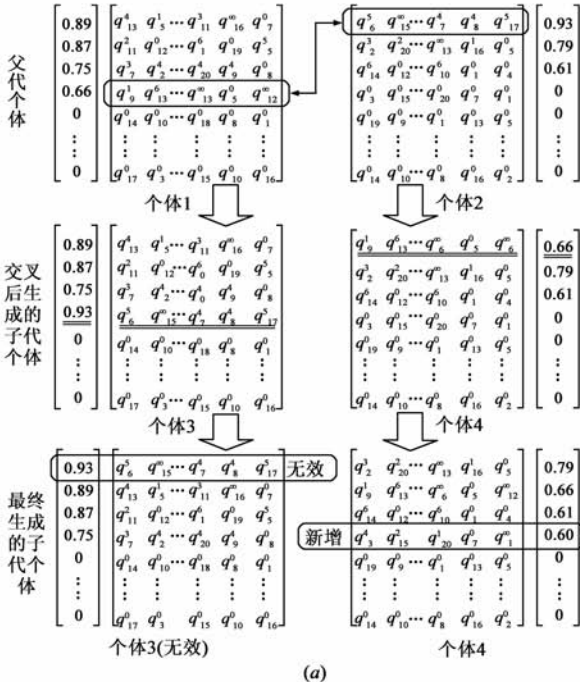
2.3 适应度函数及个体选择

对于任意个体 δ , 定义其适应度函数为:

$$f(\delta) = \alpha \times l + \beta \times \left(\sum_{i=1}^l P_i \right) / l \times \Phi \quad (17)$$

α 和 β 分别是网络生命期和平均覆盖度的权值, l 是有效基因组个数, Φ 是覆盖度放大因子, 定义 $\Phi = 100$.

对于任意两个个体, 假设其对应的生命期分别为



l_1 和 l_2 ($l_1 > l_2$), 有式(18)成立. 其中 P_i 和 P'_i 分别是这两个个体中对应基因组的网络覆盖度.

$$\alpha \times l_1 + \beta \times \left(\frac{\sum_{i=1}^{l_1} P_i}{l_1} \right) \times \Phi > \alpha \times l_2 + \beta \times \left(\frac{\sum_{i=1}^{l_2} P'_i}{l_2} \right) \times \Phi \quad (18)$$

由此, α 和 β 需要满足式(19):

$$\frac{\alpha}{\beta} > \left(\frac{\sum_{i=1}^{l_2} P'_i}{l_2} - \frac{\sum_{i=1}^{l_1} P_i}{l_1} \right) \times \frac{1}{(l_1 - l_2)} \times \Phi \quad (19)$$

遗传算法一般采用轮盘策略选择个体^[12]. 然而该策略可能会淘汰部分适应度较高的个体. 为此, 这里先淘汰适应度较小的个体, 保证子代质量. 假设子代与父代个体总数为 M , 选择适应度最大的 ξ 个个体, 再根据式(20), 选出若干新个体.

$$P_{rs} = f(\delta) / \sum_{\tau=1}^{\xi} f(\tau) \quad (20)$$

2.4 双交叉操作

易知, 网络中共存在 $n! \times K^n$ 种可能的节点开启方式. 当 n 稍大时, 寻求最优解的搜索空间将十分巨大. 而遗传算法可以使搜索空间大为减小, 且能够同时找到多个 Pareto 解集^[12]. 这里设计一种个体模型双交叉方法, 生成子代个体:

(1) 在当前种群中, 任选两个个体, 作为双交叉的父个体, 如图 6(a) 中的个体 1 和个体 2;

(2) 将个体 1 中最后一行有效基因组与个体 2 中的第 1 行有效基因组交叉互换, 生成个体 3 和 4.

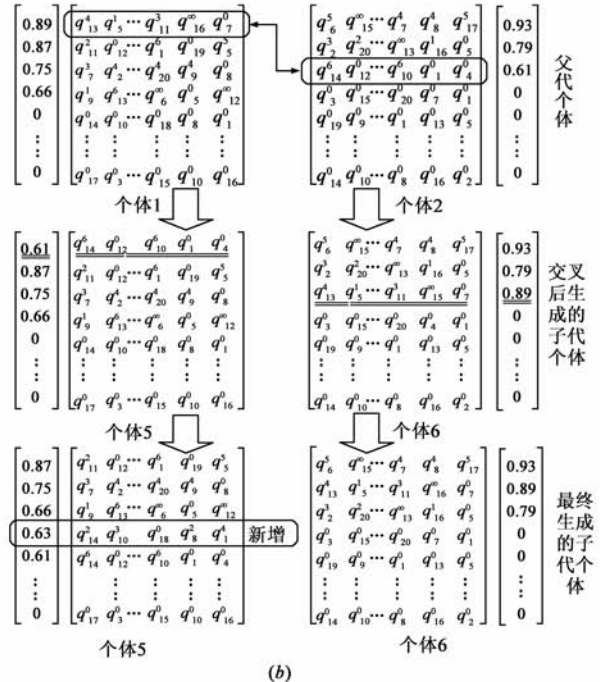


图6 个体之间的双交叉过程

(a)考察子代个体交叉而来的基因组是否有效.若子代个体适应度小于父代个体,则将其丢弃;

(b)若交叉后的基因组有效,则从该子代个体第一行无效基因组开始,重新执行首次和二次遍历.一旦式(16)满足,则终止.

(c)无论子代个体在上述过程后,是否产生新的基因组,该个体都将被保留.

(3)同理,将个体1中的第1行有效基因组与个体2中的最后一行有效基因组交叉互换,生成个体5和6,如图6(b),按同样方法验证有效性;

(4)由式(16),重新计算所有有效子代个体适应值.

3 仿真结果与分析

3.1 网络仿真环境

我们在VC++6.0及Matlab下进行实验.节点均匀分布,节点数量、感知距离、扩张角度等根据实验要求设置.同时,在真实节点上,对采样能耗、运算能耗、可用采样分辨率及节点电路单位能耗等参数进行了物理实测.仿真参数如表1.

表 1 参数设置			
仿真参数	符号	参数值	单位
网络规模	S	150×150	m^2
格点间距	d	5	m
每个节点可运行的轮次	B	100	轮
网络覆盖率要求	η	60%	
个体交叉概率	P_c	0.5	
个体变异概率	P_m	0.1	
网络生命周期权重	α	0.5	
网络覆盖度权重	β	0.5	

3.2 仿真实验结果

我们分别对部署了不同感知能力多媒体节点的3类网络验证.在网络规模为 $150m \times 150m$ 时,根据式(4)、(8)和(10)知,这3类网络中需要部署的节点数分别为166个、116个和108个.

由图7可知,3类网络的生命期都随遗传代数的增加而提高且趋于稳定.这是由于个体间反复进行双交

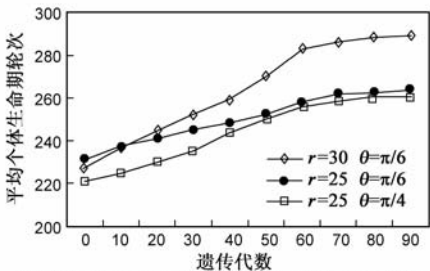


图7 网络生命周期轮次随遗传代数的增加而变化的情况

叉,使优秀个体逐代保留.而当 $r = 30m$ 时,经过遗传后的网络生命期最长,超过280轮.

当 $r = 25m$ 且 $\theta = 60^\circ$ 时,遗传在70代左右稳定,而另两种情况下,都是在60代左右稳定.这是因为 r 和 θ 较大时,网络中部署的节点数和各节点的传感方向较少,个体空间小,算法收敛快.

图8中,当 $r = 25m$ 且 $\theta = 90^\circ$ 时,覆盖度提升幅度最大.因为节点传感方向选择性小,为达到覆盖度,需开启较多节点.而当 $r = 30m$ 时,覆盖度提升空间最小,经过90代遗传,只提升了不到0.47%.当 $r = 25m$ 且 $\theta = 60^\circ$ 时,覆盖度达到稳定时所经历的遗传代数最多,收敛速度最慢.

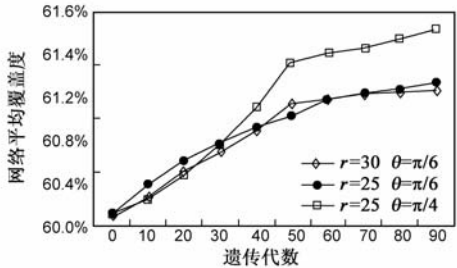


图8 网络覆盖度随遗传代数的增加而变化的情况

图9和图10是本文方法与DCS-dist^[13]与D-Greedy^[14]方法的对比.在达到同样覆盖度时,本方法比DCS-dist开启的节点数少.但随着网络覆盖度要求的提升,本方法下需开启的节点数将稍多于DCS-dist.这是因为此时网络中节点的感知区域将出现重叠,而DCS-dist采用了分布式邻居节点通信模式,在一定程度上避免了重叠现象.

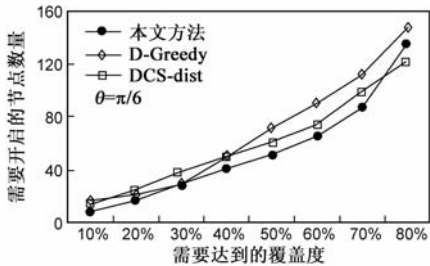


图9 三种方法下所需要开启的节点数比较($\theta=60^\circ$)

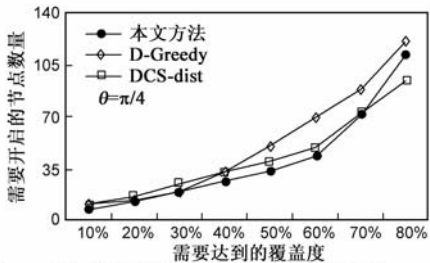


图10 三种方法下所需要开启的节点数比较($\theta=90^\circ$)

由于D-Greedy对每个参与覆盖的节点都设置了优先级,因此,在要求达到的覆盖度较低时,开启的节点

较少,和本文方法相当.但随着覆盖度要求的提升,重叠同样不可避免,而 D-Greedy 并未采用相应的优化策略,导致其效率最低.

在图 11 中,当 α 取值较大时,适应值在遗传各代中的增长幅度的变化相对较大,不利于个体空间的稳定.而当 β 取值较大时,虽然适应值变化量又太小,不利于优秀个体的产生.相对而言,当 α 和 β 取值接近时的适应度函数最合适.

由图 12 和图 13 可知,当交叉率和变异率分别取 0.5 和 0.1 时,网络生命期较长且平稳增长.而当交叉率和变异率较大时,虽然网络生命期也较长,但波动较大,甚至还出现了负增长.相反,当交叉率和变异率较小时,网络生命期增长速度缓慢,也不利于优秀个体的产生.

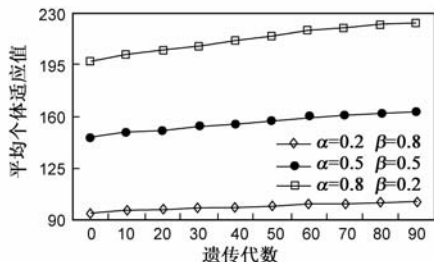


图11 不同权值下的个体适应值随遗传代数变化情况

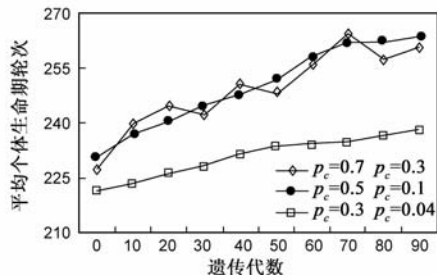


图12 不同交叉和变异概率下的网络生命期变化情况

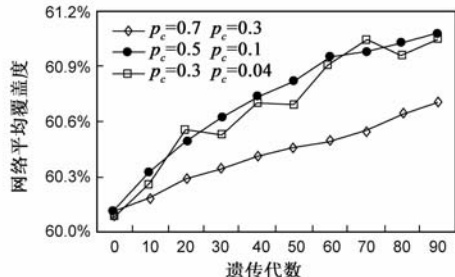


图13 不同交叉和变异概率下的网络平均覆盖度变化情况

4 小结

本文构建一种无线多媒体传感网节能覆盖方法.以网络最大运行轮次数和部署节点数为依据,建立初始个体,采用双交叉和最优基因组突变法,完成个体间的交叉和变异.仿真结果表明,本文方法在保证网络达到一定覆盖度的同时,最大化地延长了网络生存期,并

均衡了各节点的能耗.

参考文献

- [1] D Tian, N D Georganas. A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks[A]. Proc First ACM Int'l Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications[C]. New York: ACM Press, 2002. 32 - 41.
- [2] Ghosh A. Estimating coverage holes and enhancing coverage in mixed sensor networks[A]. Proc of the 29th Annual IEEE Int'l Conf on Local Computer Networks[C]. New York: IEEE Press, 2004. 68 - 76.
- [3] 毛莺池, 刘明, 陈力军, 陈道蓄, 谢立. DELIC: 一种高效节能的与节点位置无关的传感器网络覆盖协议[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(2): 187 - 195.
Mao Y C, Liu M, Chen L J, Chen D X, Xie L. DELIC: A distributed energy-efficient location-independent coverage protocol in wireless sensor networks[J]. Journal of Computer Research and Development, 2006, 43(2): 187 - 195. (in Chinese)
- [4] Ma HD, Liu YH. On Coverage problems of directional sensor networks[A]. International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks[C]. LNCS 3794, 2005. 721 - 731.
- [5] 凡高娟, 王汝传, 黄海平, 孙力娟. 基于容忍覆盖区域的无线传感器网络节点调度算法[J]. 电子学报, 2011, 39(1): 89 - 94.
FAN Gao-juan, WANG Ru-chuan, HUANG Hai-ping, SUN Li-juan. Tolerable coverage area based node scheduling algorithm in wireless sensor networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(1): 89 - 94. (in Chinese)
- [6] Jing Ai, Alhussein A Abouzeid. Coverage by directional sensors in randomly deployed wireless sensor networks[J]. Journal of Combinatorial Opti-mization, 2006, 11(1): 21 - 41.
- [7] H Zhang, J C Hou. Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks[J]. Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, 2005, 1(1 - 2): 1 - 15.
- [8] Y Xu, X Yao. A GA approach to the optimal placement of sensors in wireless sensor networks with obstacles and preferences [A]. Proc of IEEE Consumer Communications and Networking Conference[C]. Las Vegas, NV, USA, 2006. 127 - 131.
- [9] H Chen, H Wu, N F Tzeng. Grid-based approach for working node selection in wireless sensor networks[A]. IEEE International Conference on Communications[C]. USA: IEEE Press, 2004. 3673 - 3678.
- [10] Jacob Adriaens, Seapahn Megerian, Middrag Potkonjak. Optimal worst-case coverage of directional field of view sensor networks[A]. Sensor and Ad Hoc Communications and Networks[C]. Reston, VA, USA: IEEE Perss, 2006, (1): 336 - 345.
- [11] 陶丹, 孙岩, 陈后金. 视频传感器网络中最坏情况覆盖检测与修补算法[J]. 电子学报, 2009, 37(10): 2284 - 2290.

TAO Dan, SUN Yan, CHEN Hou-jin. Worst-case coverage detection and repair algorithm for video sensor networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(10): 2284 – 2290. (in Chinese)

- [12] 段国强. 基于多目标遗传算法的无线传感器网络动态覆盖问题研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007. 15 – 16.
Duan Guo-qiang. Study of Dynamic Coverage Problem in Wireless Sensor Networks Based on Multi-objective Genetic Algorithms[D]. Shang Hai: Shang Hai Jiao Tong University, 2007. 15 – 16. (in Chinese)
- [13] Yanli Cai, Wei Lou, Minglu Li. Cover set problem in directional sensor networks[A]. Future Generation Communication and Networking [C]. Jeju-Island, Korea: IEEE Press, 2007, (1): 274 – 278.
- [14] Cheng Weifang, Li Shanshan, Liao Xiangke, Changxiang Shen, Chen Haitao. Maximal coverage scheduling in random-

ly deployed directional sensor networks[A]. Parallel Processing Workshops [C]. Xi'an, China: IEEE Press, 2007. 68 – 73.

作者简介

沙 超 男, 1983 年生, 江苏南京人, 南京邮电大学计算机学院讲师, 主要研究方向是无线传感器网络技术.

王汝传 男, 1943 年生, 安徽合肥人, 南京邮电大学计算机学院教授、博士生导师, 主要研究方向是计算机软件、计算机网络、信息安全、移动代理和虚拟现实技术等. E-mail: wangrc@njupt.edu.cn

黄海平 男, 1981 年生, 福建三明人, 南京邮电大学计算机学院副教授, 主要研究方向是无线传感器网络和信息安全.

孙力娟 女, 1963 年生, 江苏南京人, 南京邮电大学计算机学院教授、院长、博士生导师, 主要研究方向是无线传感器网络、计算机软件在通信中的应用和信息安全.