#### 文章编号: 1672-2892(2011)02-0158-07

# 无线多媒体传感器网络部署控制算法

赵 静,曾建潮

(太原科技大学 复杂系统与智能计算实验室, 山西 太原 030024)

摘 要:已有的无线多媒体传感器网络(WMSNs)研究针对传感器放置在目标区域内的情况进行,且没有考虑节点通过云台的转动获得的整个可能感知区域对覆盖率的影响。本文首先针对节点放置点高于目标区域的应用进行研究,综合考虑节点感知区域和可能感知区域,建立了延时和无延时感知模型,并针对不同的感知模型提出了传感器网络部署控制算法(IVPDCA),算法中改进了虚拟势场算法,定义了节点质量的概念来表示节点间覆盖重叠的大小,建立受力模型,使得节点在合力作用下进行重新部署,同时关闭冗余节点,既延长了网络寿命,又提高了区域覆盖率。仿真结果验证了算法的有效性。

关键词:无线多媒体传感器网络;确定性感知区域;可能感知区域;延时覆盖;无延时覆盖 中图分类号:TN915.43;TP919.8 **文献标识码:**A

## A deployment-controlling algorithm for wireless multimedia sensor networks

ZHAO Jing, ZENG Jian-chao

(Complex System and Computational Intelligence Lab, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan Shanxi 030024, China)

**Abstract:** As for the existing research on coverage of Wireless Multimedia Sensor Networks(WMSNs), applications of sensor being in target region are paid more attention to, and the effect of the whole possible sense area on coverage ratio is not taken into consideration. Aiming at different applications of sensor being higher than target region, a classification taxonomy is presented, in which these applications are fallen into two categories: delayed coverage and non-delayed coverage. Then a Deployment-Controlling Algorithm (IVPDCA) is put forward. Force model of improved virtual potential fields is established, and the sensor's mass is defined to exhibit the overlap between sensors. Redundant sensors are shut off and the coverage of networks can be enhanced by re-deploying sensors. Simulation results are presented for demonstrating the effectiveness of the proposed approach.

**Key words:** wireless multimedia sensor network; deterministic sensing area; possible sensing area; delayed coverage; non-delayed coverage

无线多媒体传感器网络覆盖研究中,常用的扇形感知模型<sup>[1-7]</sup>,仅考虑了传感器的瞬时感知范围,没有考虑 云台转动下传感器的可能感知区域。虚拟势场法<sup>[8]</sup>,假设节点四周具有虚拟场,对进入场中的其他节点产生排斥 力,使节点从密集区域扩散到稀疏区域,增加区域覆盖率<sup>[9-10]</sup>。本文针对节点位置高于目标区域的情形,从监测 任务对时间的需求出发,综合考虑节点确定性和可能的感知区域,建立延时、无延时感知模型;引入格点理论和 质量概念,建立节点受力模型,改进虚拟势场法,开发传感器网络部署控制算法。提出相关度概念,为活跃节点 建立相关度序列,当活跃节点能量耗尽时,唤醒休眠的邻居节点,延长网络寿命。

## 1 节点位置高于目标区域的感知模型

1.1 概念

1) 确定性感知区域与可能感知区域

由于节点高于目标平面,其感知区域在目标平面上为椭圆形,如图1中的阴影部分。假设视频传感器的云台

**收稿日期**: 2010-07-06; 修回日期: 2010-11-11 **基金项目**: 国家自然科学基金资助项目(60572161) 可进行竖直、水平方向的转动,则传感器可能监测到整个区域,即图中的圆形区域。

2) 竖直角度与绝对竖直角度

传感器位置高于目标平面时,过安置点且平行于目标区域的平面设为 安置平面,令安置点为坐标原点,通过节点且垂直于安置平面的平面为 xz坐标平面,并相应定义坐标轴。竖直角度为传感器安置时在 xz 平面中相对 于正 x 轴的偏角 (0° → 180°),如图 2 中的  $\alpha$ 。绝对竖直角度为 xz 平面中传 感器相对于正 z 轴的角度  $\beta$ 。

3) 水平角度

令安置点为坐标原点,过原点建立相互垂直的 x, y 轴,构成 xy 平面。 水平角度即为该平面中传感器相对于正 x 轴的夹角 θ,见图 3。

4) 延时覆盖与无延时覆盖

若监测允许延时,则可令云台以某速度转动以实现延时完全覆盖;若 监测要求实时进行,则节点一旦被安置好,云台的竖直角度、水平角度不 可变化。

5) 感知圆锥、轴切面与轴切面三角

视频传感器能够感知的最大三维空间是圆锥体,见图 4。过圆锥中心 轴且垂直于锥底的轴切面可将该圆锥分成两部分,轴切面与圆锥表面相交 所得的三角形切面称为轴切面三角。

6) 邻居节点

相互间距离不大于2R的节点。

7) 节点的相对质量

在节点*i*的感知区域中建立格点,格点被节点*j*感知到的数量定义为 节点*j*相对于节点*i*的相对质量。

8) 相关度

活跃节点与其邻近的休眠节点距离的倒数定义为该休眠节点相对于 该活跃节点的相关度。活跃节点邻近且休眠的节点按相关度大小排序后, 形成该活跃节点的相关度序列。当该活跃节点消亡时,按其相关度序列唤 醒睡眠节点。

9) 瞬时覆盖率与单位时间覆盖率

某时刻目标区域能够被节点监测的面积与总面积之比称为区域的瞬 时覆盖率;通过云台转动,经过单位时间,目标区域能够被节点监测到的 区域面积与总面积之比称为单位时间覆盖率。

#### 1.2 覆盖应用分类

感知模型适用于不同环境,须进行相应部署。针对节点放置点高于 目标平面的情形,根据监测的延时要求,可将覆盖分为延时覆盖与无延 时覆盖。

1) 放置点高于目标平面且无延时覆盖

此类应用称为 A 类应用。节点一经放置,便不再转动,于是节点 在目标平面的确定性感知区域为椭圆,且与可能感知区域相同。如图 5, 这种放置的绝对竖直角度  $\alpha + \theta < 90^\circ - \alpha$ 。

2) 放置点高于目标平面且延时覆盖

此类应用称为 B 类应用。节点在目标平面的确定性感知区域为椭圆,但通过节点的转动可获得超出确定性感知区域的可能感知区域。

#### 1.3 感知模型

1) A 类感知模型

感知圆锥被目标平面所切,在目标平面上形成椭圆形的确定性感知区域,传感器安置后不再转动,确定性感





Fig.5 Lateral view and vertical view of A class 图 5 传感器的 A 类放置

知区域与可能感知区域相同,如图6所示。

感知模型可用五元组 ( $P, H, \varphi_1, \varphi_3, \alpha$ ) 描述。其中 P 表示感知圆锥在地面上的投影 中心坐标; H 为节点距目标平面的高度;  $\varphi_1$  表示节点安置的竖直角度;  $\varphi_3$  为节点 的水平角度;  $\alpha$  为节点视角偏移量,即视角的一半。如图 5,已知  $\theta = |90 - \varphi_1| - \alpha$ , 故椭圆长半径 a 与短半径 b 为:

$$L_{\rm l} = \tan\left(2\alpha + \theta\right) - \tan\theta \tag{1}$$

$$L_2 = \tan \left(2\alpha + \theta\right) - 2\tan \left(\alpha + \theta\right) + \tan \theta \tag{2}$$

$$a = MP = NP = \frac{1}{2} \times (H \times L_1)$$

$$b = \frac{H \times L_1 \times L_2}{2 \times \sqrt{L_1^2 - \frac{4\sin^2 \alpha}{\cos^2(\alpha + \theta)}}}$$
(4)

2) B 类感知模型

如图 7, 若用 *O* 表示节点在目标平面的投影中心坐标, *R* 表示可能感知区域的 半径, *H* 表示安置点距离目标平面的高度, *φ*<sub>1</sub>表示节点安放的竖直角度, *φ*<sub>3</sub>表示 节点安放的水平角度, *α* 表示节点的视角偏移量, *τ* 表示延时,即通过云台的转动 感知可能感知区域所用的时间,则感知模型可用八元组(*O*,*P*,*R*,*H*,*φ*<sub>1</sub>,*φ*<sub>3</sub>,*α*,*τ*)表示。

## 2 算法

借鉴虚拟势场方法,按照节点感知区域被邻近节点覆盖的面积计算节点质量,建立受力模型。

#### 2.1 针对 A 类感知模型的算法描述

目标区域随机部署节点后,须关闭冗余节点,并针对关闭冗余节点时区域覆 盖率下降问题,设计覆盖增强算法,控制节点角度,保证网络覆盖率。

1) 睡眠控制策略

在感知区域中建立 p行q列的格点,行等分扇形夹角,列等分半径,如图 8 所示。并定义格点覆盖参数 Cg<sub>jpq</sub>来表示节点 j 的第 p行q列的格点是否被覆盖, 被覆盖时其值为 1,否则为 0。

定义 Racg;为节点 j 的感知区域格点覆盖率:

$$Racg_{j} = \frac{\sum_{p=1}^{p_{num}} \sum_{q=1}^{q_{num}} Cg_{jpq}}{p_{num} \times q_{num}}$$

当  $Racg_i \ge \varepsilon$  (阈值),节点 j 成为冗余节点,被关闭后进入睡眠状态。

2) 唤醒控制策略

为唤醒睡眠节点,定义了与活跃节点*i*相邻近的睡眠节点*j*的相关度概念。描述如下:

$$Cd_{ij} = \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}$$
(6)

式中(x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>)与(x<sub>j</sub>, y<sub>j</sub>)表示活跃节点 *i* 和睡眠节点 *j* 的坐标。建立 *i* 的相关度系列,当其能量耗尽时,按该系列唤醒睡眠节点。

3) 相对质量计算

相对质量 *M<sub>ij</sub>* 描述了节点*i* 的感知区域被邻居节点覆盖的情况。其值为节点*i* 的感知区域的格点被邻居节点覆盖的个数,如下式:

$$q_{ij} = \sum_{p=1}^{p_{\text{num}}} \sum_{q=1}^{q_{\text{num}}} Cg_{ijpq}$$
(7)

式中: Cgiing 为格点覆盖参数,节点 i 感知区域的格点被节点 j 覆盖时,其值为 1,否则为 0。



Fig.8 Grid points of sense sector 图 8 感知区域格点的建立

(5)





图 7 B 类感知模型

(3)

第9卷

4) 节点转动控制策略

首先,将扇形的转动简化为椭圆中心点在合力的作用下绕节点位置进行螺旋式圆周运动;其次,为了关闭尽

可能多的冗余节点,令节点以最大竖直角度绕节点位置水平转动,当监测到 的环形区域均被邻居节点感知时,再令节点以较小的竖直角度绕节点水平转 动,循环执行上述操作,直到竖直角度为 0。如图 9,节点感知椭圆中心点 先以最大竖直角度沿箭头逆时针转动到未被监测到的方向,如果全部被监测 则转动 1 周后,中心点从 P 点移到 Q 点继续逆时针转动,一直重复上述转动, 直至找到未被监测的位置。引入虚拟势场理论,假设节点 *i* 周围存在虚拟势 场,进入该场的节点 *j* 受到排斥力 F<sub>ii</sub> 的作用:

$$\boldsymbol{F}_{ij} = \begin{cases} k \frac{M_i M_{ij}}{r_{ij}^2} \boldsymbol{r}_{0ij}, & r \leq 2R \text{ and } q_{ij} \neq 0\\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$
(8)

式中: *R*为感知半径,超出 2*R*的质心点之间不存在力的作用; *k*表示场强; *r*<sub>0ij</sub>为单位向量,表示力的方向,从 节点 *j*的感知椭圆中心指向节点 *i* 的感知椭圆中心; *r*<sub>ij</sub>为节点 *j* 的感知椭圆中心与节点 *i* 的感知椭圆中心的距离; *M*<sub>i</sub>为节点 *i* 的质量。用下式描述节点 *i* 的感知椭圆中心的合力:

$$F_{i} = \sum_{j=1}^{m} k \frac{M_{i}M_{ij}}{r_{ij}^{2}} r_{0ij}$$
(9)

节点合力沿感知方向的分力 *F*<sub>para</sub> 决定了节点转动角度,当 *F*<sub>ipara</sub> >0(即分力方向与感知方向相同)时,节点转动角度是 *F*<sub>ipara</sub> 倍数;当 *F*<sub>ipara</sub> <0(即分力方向指向圆心,与感知方向相反)时,由圆周运动的向心力模型来控制节 点转动角度 *ω*<sub>i</sub>。

$$F_{ipara} = F_i \cos\theta \tag{10}$$

$$= \begin{cases} k_{\omega}F_{ipara}, & F_{ipara} > f_{thre} \\ \sqrt{\frac{-F_{ipara}}{M_i R_{cen}}}, & F_{ipara} < -f_{thre} \end{cases} \tag{11}$$

式中: $\theta$ 表示节点合力相对于感知方向的偏角; $k_{o}$ 为转角系数,可以控制转动角度的大小; $f_{thre}$ 表示受力门限, 绝对值小于受力门限,则认为达到受力平衡; $R_{cen}$ 为椭圆中心点到原点的距离。

otherwise

2)

 $F_{tan}$ 为椭圆感知区域中心点所受合力沿切线的分力,决定了节点的转动方向,当 $F_{tan} > 0$ 时,节点逆时针转动;当 $F_{tan} < 0$ 时,节点顺时针转动。

$$F_{\rm tan} = F_i \sin\theta \tag{1}$$

节点*i*受到邻居节点的排斥力作用如图 10 所示。其中, *P*, *A*, *B*和 *C*分别是 4 个感知椭圆的中心点; *PQ*为 *P*的感知方向; *f*<sub>1</sub>和 *f*<sub>2</sub>表示 椭圆 *A*, *B*相对于 *P*的排斥力;由于椭圆 *C*相对于 *P*质量为 0,所以它 们之间的排斥力为 0; *f*<sub>1</sub>, *f*<sub>2</sub>的合力为 *f*<sub>3</sub>; *f*<sub>3</sub>沿着椭圆 *P*切线方向的 分力为 *f*<sub>4</sub>; *f*<sub>3</sub>沿着节点感知方向 *PQ*的分力为 *f*<sub>5</sub>,节点沿着分力 *f*<sub>4</sub>的 方向运动, *f*<sub>5</sub>为向心力,决定转动角度。转动角度如式(12),然后重 新进行上述操作,直到其沿感知方向的分力 *F*<sub>ipara</sub>小于受力门限,节点 停止转动并达到平衡状态,若所有节点均达到平衡状态,则网络达到 平衡状态。





#### 2.2 针对 B 类感知模型的算法描述

节点随机部署在目标区域后,由于位置不可改变,且受最大感知距离影响,单个节点的可能感知区域是固定 的。为了关闭尽量多的冗余节点,节点以螺旋方式旋转,故仅需要确定椭圆转动速度,以满足特定单位时间(或 延时)覆盖率的要求,并根据相关度来判断冗余节点,将其关闭或唤醒。





设定相关度门限,超出门限的节点为冗余节点,将其关闭:将节点的邻近冗余节点按照相关度排序,当该节 点能量耗尽时,按相关度系列唤醒节点。

2) 相对质量计算

同A类感知模型。

3) 节点转动方向控制

同A类感知模型。

4) 节点转动速度确定

延时(转速)是影响覆盖率的重要因素。假设节点的感知方向均匀随机部署,则目标区域中某个子区域被 k 个 节点监测到的概率符合泊松过程[11-12]:

$$Pr[N(A) = k] = e^{-\lambda\mu(A)} \frac{(\lambda\mu(A))^{k}}{k!}, \ k \in N_0$$
(13)

式中: A为目标区域;  $\lambda$ 为单位面积上的传感器个数;  $\mu(A)$ 为某个节点可感知 的面积; k 为区域内监测到任意一点的传感器个数; N<sub>0</sub>为非负整数。由此可知, 若已知节点感知面积,区域A中任意一点至少被1个节点感知的概率为<sup>[1]</sup>:

$$f_{\text{area}} = Pr[N(A) \ge 1] = 1 - e^{-\lambda \mu(A)}$$
(14)

当单位时间内节点的转动角度小于2π时,其感知区域面积为μ,即图 11 中的阴影区域。St<sub>1</sub>表示椭圆面积;Ss<sub>2</sub>表示阴影部分除椭圆外的面积;a<sub>1</sub>表示 椭圆的长轴。

$$a_{\text{sum}} = \sum_{i=1}^{n} 2a_i \tag{15}$$

$$s_n = (R - a_{\rm sum})^2 \tag{16}$$

$$\mu_1 = St_1 + Ss_2 = St_1 + \frac{1}{2} \left[ v_1 (R^2 - s_1) \right]$$
(17)

而当节点转动角度小于 4π 且大于 2π 时,其感知区域面积为 μ, 如图 12 中的阴影区域,其中 Sh<sub>i</sub>表示阴影环形的面积。

$$\mu_2 = St_2 + Ss_2 + Sh_1 = St_2 + Sh_1 + \frac{1}{2} [(v_2 - 2\pi)(s_1 - s_2)]$$
(18)

由此可推导出转速 v"与区域覆盖率的制约关系。该关系用于控制节点以相 应的速度进行螺旋式旋转,以满足特定的单位覆盖率:

$$Shm = \sum_{i=1}^{n-1} Sh_i$$

$$ka = \frac{1}{\lambda} (1 - f_{\text{area}}) \tag{20}$$

$$\mu_n = 2 \left[ \frac{ka + Sh_m + St_n}{s_n - s_{n-1}} + \pi(n-1) \right]$$
(21)

## 3 仿真

#### 3.1 针对 A 类感知模型的仿真

假设传感器同构,感知半径为60m,感知扇形夹角2α为45°,目标区域为500m×500m,节点个数为125, 为感知区域建立5行20列的格点。

图 13 中的初始部署覆盖率为 68.6%; 算法虽然关闭了 3 个冗余节点, 但是区域覆盖率却在执行 22 步后提高 到 82.9%并达到区域平衡, 图中横坐标和纵坐标分别表示目标区域边长, 单位为米。图 14 给出了覆盖率变化曲 线,纵坐标为覆盖比例,横坐标为执行步骤。

10 次重复实验,受力门限取 0.005 时,实验数据见表 1。表 1 中, $\overline{N}$ 为目标区域中部署的节点数; $P_{max}$ 为算 法执行后的覆盖率;  $\overline{\Delta p}$  为覆盖率增长;  $\overline{t_s}$  为平均执行步长;  $\overline{N_{clo}}$  为平均关闭的节点数;  $\overline{N_{ac}}$  为平均活跃节点数。

Fig.11 Sense area of velocity less than  $2\pi$ 图 11 速度小于 2π的感知面积



图 12 速度小于 4π的感知面积

(19)



由此可得结论:当节点数量较少时,算法能够大幅度地提高 目标区域覆盖率;当节点数量较多时,算法能够关闭大量冗余节 点,且通过调整节点的放置,将区域覆盖率保持在较高的水平。

#### 3.2 针对 B 类感知模型的仿真

假设部署的 N 个传感器同构,最大感知半径为 60 m,感知扇 形夹角 2α = 40°, 目标区域为 500 m × 500 m, 为感知区域建立 5 行 20 列的格点,相关度门限为 0.05,随机部署后的冗余节点数为

 $N_{\text{rand}}$ ,区域内节点强度  $\lambda = \frac{N - N_{\text{rand}}}{500 \times 500}$ ,计算达到单位时间覆盖率  $f_{\text{area}}$ 时节点的转动速度,再按节点受力模型计算 转动方向。图 15 为 10 个节点的初始部署,覆盖率为 9.3%。图 16 显示节点转动 3.28 rad 得到的单位时间内的覆 盖率为 52.7%。

取 10 次重复实验数据进行统计。表 2 数据对应的相关度门限为 0.05,表 3 数据对应的节点个数为 200,针 对不同的相关度门限进行仿真实验。其中, $\overline{N}$ 为目标区域中部署的节点数; $\overline{f_{ini}}$ 为初始部署平均覆盖率; $\overline{f_{area}}$ 为 单位时间覆盖率;  $C_{\text{orr}}$ 为相关度门限;  $\Delta p$ 为覆盖率增长  $\overline{f_{\text{area}}} - \overline{f_{\text{ini}}}$ ;  $\overline{N_{\text{clo}}}$ 为平均关闭的冗余节点数;  $\overline{N_{\text{ac}}}$ 为平均活 跃节点数; Amit 为单位时间的转动角度。





x/mFig.16 Coverage of unit-time,  $f_{area} = 52.7\%$ 图 16 单位时间覆盖, farea = 52.7%

可见,当节点数量较少时,调整节点的转动速度,能够达 到特定单位时间覆盖率的要求;当节点数量较多时,能够关闭 冗余节点,且仅需转动较小角度就可以将单位时间覆盖率保持 在较高水平。

可见,当节点数量较多时,可通过调整相关度门限来关闭 更多的冗余节点,算法调整节点转动速度来达到较高的单位时 间覆盖率。

表 2 10 次重复实验平均结果

Га	ble2 Mean	results of 1	0 experime	ents of B cla	ISS
	$\overline{N}$	50	100	200	
	$\overline{f_{\rm ini}}$	37.2%	58.7%	82.6%	
	$\overline{f_{\text{area}}}$	91.3%	91.6%	90.1%	
	$\Delta \overline{p}$	54.1%	32.9%	7.5%	
	N <sub>clo</sub>	0	1	1	
	$\overline{N_{\rm ac}}$	50	99	199	
	$\overline{A_{\text{unit}}}$	3.12	1.15	0.16	

表 3 对 200 个传感器的 10 次实验平均结果	
Table3 Mean results of 10 experiments of 200 sensors	5

$\overline{N}$	200	200	200	200
$\overline{f_{\rm ini}}$	82.6%	82.4%	81.2%	82.3%
$\overline{f_{\text{area}}}$	90.1%	90.6%	89.7%	89.0%
$\Delta \overline{p}$	7.5%	8.2%	8.5%	6.7%
$\overline{N_{\rm clo}}$	1	2	6	25
$\overline{C_{\text{orr}}}$	1/20	1/30	1/50	1/100
A <sub>unit</sub>	0.16	0.18	0.20	0.35

表110次重复仿真实验统计结果

10

15

execution steps

Fig.14 Coverage ratio curve

图 14 覆盖率变化曲线

20

25

30

Õ

Table1 Mean results of 10 experiments of A class					
$\overline{N}$	50	100	200	300	
$\overline{P_{\max}}$	41.8%	69.5%	91.7%	95.5%	
$\Delta \overline{p}$	4.9%	10.1%	9.9%	4.6%	
$\overline{t_{\rm s}}$	24	26	26	26	
$\overline{N_{\rm clo}}$	1	7	49	120	
$\overline{N_{\rm ac}}$	49	93	151	180	

## 4 结论

引进格点理论和质量概念,建立受力模型,基于改进的虚拟势场方法控制节点的转动,在关闭冗余节点的情况下,仍然增加或保持了网络的覆盖率;同时利用泊松过程理论确定节点速度,达到要求的单位时间覆盖率。仿 真实验验证了算法的有效性和正确性。

### 参考文献:

- Ma H D,Liu Y H. On coverage problems of directional sensor networks[C]// Proc. of the Int'l Conf. on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks(MSN 2005). Berlin:Springer-Verlag, 2005:721-731.
- [2] Ma H D,Liu Y H. Correlation based video processing in video sensor networks[C]// 2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing. Maui:[s.n.], 2005,2:987-992.
- [3] Cai Y,Lou W,Li M,et al. Target-oriented scheduling in directional sensor networks[C]// 26th IEEE International Conference on Computer Communications. Anchorage:[s.n.], 2007:1550-1558.
- [4] Ai J,Abouzeid A A. Coverage by directional sensors in randomly deployed wireless sensor networks[J]. Journal of Combinatorial Optimization, 2006,11:21-41.
- [5] Tezcan N, Wang W. Self-orienting wireless multimedia sensor networks for maximizing multimedia coverage[C]// IEEE Int'l Conf. on Communications. Beijing:[s.n.], 2008:2206-2210.
- [6] Tezcan N, Wang W. Self-orienting wireless multimedia sensor networks for occlusion-free viewpoints[J]. Computer Networks, 2008,52(13):2558-2567.
- [7] Adriaens J,Megerian S,Potkonjak M. Optimal worst case coverage of directional field-of-view sensor networks[C]// Proceedings of 3rd Annual IEEE Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks(SECON). Reston,VA,USA:[s.n.],2006: 336-345.
- [8] Khatib O. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots[J]. Int. Journal of Robotics Research, 1986, 5(1):90-98.
- [9] Wang X, Wang S, Ma J J. An improved particle filter for target tracking in sensor system[J]. Sensors, 2007,7(1):144-156.
- [10] Zou Y, Chakrabarty K. Sensor Deployment and Target Localization Based on Virtual Forces[C]// Proc. IEEE INFOCOM. San Francisco:[s.n.], 2003:1293-1303.
- [11] Liu B,Towsley D. On the coverage and detectability of large-scale wireless sensor networks[C]// Modeling and Optimization in Mobile,Ad-Hoc and Wireless Networks. Sophia-Antipolis,France:[s.n.], 2003.
- [12] Liu B, Towsley D. A study of the coverage of large-scale Sensor networks[C]// IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems. Fort Lauderdale:[s.n.], 2004:475-483.

## 作者简介:



**赵** 静(1974-),女,太原市人,在读博 士研究生,主要研究方向为无线多媒体传感器 网络.email:zhaojing 740609@163.com. 曾建潮(1963-),男,太原市人,博士,教授, 主要研究方向为智能计算、进化计算及复杂系统 建模与仿真.