

Research on Directional K -Coverage Control Algorithm for Wireless Video Sensor Networks*

ZHANG Meiyang¹, CAI Wenyu^{2*}

(1. Department of Electrical Engineering, Zhejiang Water Conservancy and Hydropower College, Hangzhou 310018, China;
2. School of Electronics and Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: As a hot topic of Wireless Video Sensor Networks (WVSNs), directional coverage algorithms have aroused extensive attention by many researchers; however, K directional coverage problem has not been studied in-depth. Due the K directional coverage problem is NP-complete problem, it is difficult to get to solve in polynomial time. This paper designed a distributed heuristic algorithm within one-hop neighbor, which obtains perceived direction of the directional sensor nodes by cooperative scheduling, so as to maximize the total time which targets are covered by at least K directional sensor nodes. Finally, the simulation results verified the coverage performance of the proposed DS- K -Coverage algorithm exceeding Greedy-Algorithm and Random-Coverage algorithm.

Key words: wireless sensor networks; video sensor networks; directional sensing; K -Coverage coverage algorithm
EEACC: 6150P **doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2013.05.024**

无线视频传感器网络有向感知 K 覆盖控制算法研究*

张美燕¹, 蔡文郁^{2*}

(1. 浙江水利水电学院电气工程系, 杭州 310018; 2. 杭州电子科技大学电子信息学院, 杭州 310018)

摘要: 作为无线视频传感器网络的一个研究热点, 有向覆盖控制理论引起了很多研究者的广泛关注, 但是有向 K 覆盖问题还未得到深入研究。由于最大 K 有向覆盖问题属于 NP-complete 问题, 所以难以在多项式时间内得到求解, 因此设计了一种简单的分布式启发式算法, 在一跳邻居范围内对传感器节点的感知方向进行协同调度, 使得目标集合被有向 K 覆盖的时间最大。最后通过仿真比较了有向感知 K 覆盖 DS- K -Coverage 算法、贪婪算法 Greedy-Algorithm、随机覆盖算法 Random-Coverage 的覆盖性能。

关键词: 无线传感器网络; 视频传感器网络; 有向感知; K 覆盖控制算法

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2013)05-0728-06

随着图像/视频等具有方向特性的传感器日益广泛使用, 无线视频传感器网络得到了迅猛发展。作为新一代的传感器网络^[1], 无线视频传感器网络^[2]可以获取监测区域更为细粒度的数据。但是, 与传统的全向传感器网络不同, 无线视频传感器网络对环境数据的感知受到视域 FoV (Field of View) 的限制, 即只有在工作方向上才可以有效感知, 其他方向上则不能, 有向传感器可以切换到不同的方向, 而每个方向覆盖有限角度的感应范围。有些文献将基于有向感知模型的传感器节点所构成的网络称为有向传感器网络, 视频传感器网络就是典型的有向感知传感器网络。对视频传感器节点而言, 它对环境的感知受“视角”的限制, 是具有方向性的。由于

有向传感器节点的感知角度受限, 感知方向的不同会导致对目标区域的覆盖能力差异。假设大量的有向传感器节点通过随机部署, 分布在一组离散目标的周围, 由于节点分布的随机性和感知能力的方向性导致某些目标没有被覆盖, 或者其覆盖度很低, 因而限制了网络的生存期, 降低了感知资源的利用率。因此, 目前研究假设有向传感器节点可以在若干个方向上调节使其工作在最优方向上, 提高目标覆盖质量, 以延长网络生存期。但是现有的基于全向感知模型的覆盖控制理论成果^[3]不能直接应用于无线视频传感器网络中, 迫切需要设计出适合无线视频传感器网络的有向覆盖控制算法^[4-5]。

作为目前传感器网络领域的一个热点, 有向覆

项目来源: 浙江省自然科学基金项目 (LQ12F03006); 国家自然科学基金项目 (61102067)

收稿日期: 2013-02-04 **修改日期:** 2013-03-26

盖控制理论研究引起了很多研究学者的广泛关注^[6-12]。但是这些理论研究只能针对某些特定假设,基础理论与实际应用之间存在着较大的差距。而且,有些传感器网络中对监测区域或目标的覆盖质量具有特殊的要求,因此要求监测区域中的每个目标点至少被 K 个不同传感器节点同时覆盖,称为有向 K 覆盖问题。针对有向传感器网络的区域目标覆盖问题,本文研究无线视频传感器网络的最大有向 K 覆盖范围问题,通过调度视频传感器节点的覆盖方向,在覆盖约束的前提下最大化有向 K 覆盖范围和目标。

1 相关文献

大规模随即投放方式很难一次性将数目众多的视频传感器节点放置在适合的位置,很容易造成检测区域覆盖的不合理,因此,在视频传感器网络初始部署后,需要采用相应的覆盖控制策略以使得网络完全或以较大概率覆盖被监测区域。而且,视频传感器节点的有向感知特性给解决无线视频传感器网络覆盖问题带来了全新的技术挑战,现有研究成果大都面向全向感知模型,即假设网络中传感器节点的感知范围是一个以节点为圆心,半径为其感知距离的圆形区域,而视频传感器网络由节点感知受方向性限制,其感知范围是一个以节点为圆心,半径为其感知距离的扇形区域。研究视频传感器网络的 K 覆盖控制策略对于提高整个视频传感器网络的监测性能,改善监测质量具有至关重要的作用。

目前,基于有向感知模型的覆盖控制算法得到了许多学者的研究。Slijepcevic^[13]等人利用传感器节点间的空间冗余性,将所有节点划分为多个不相交的覆盖集,通过轮流工作延长网络的生存期,互不相交的覆盖集越多意味着网络生存期越长。Tao^[14]等人提出可旋转的有向感知模型,使用感知连通子图的方法将网络划分为多个部分,从而降低算法的时间复杂度。Alhussein等人^[15]提出离散目标的最少节点最大覆盖(MCMS)问题,寻找最少的节点来覆盖最多的目标,最后给出了求解问题的整数线性规划、集中式和分布式贪婪算法。Cai等人^[16]提出了有向多覆盖集(MDCS)问题,应用混合整数规划方法提出 Progressive、Prog-Resd 和 Feedback 集中化的启发式算法。Wu等人^[17]则基于概率模型研究最小 K 覆盖集 MKCS (Minimal K -Coverage Set) 问题。除此之外,国内外还有一些研究专注于基于有向感知模型的覆盖控制研究,而有向传感器网络的 K 覆盖问题尚处于起步阶段。Liu等人^[18]提出有向 K 覆

盖(Directional K -Coverage)的概念,然后基于概率论方法设计数学模型,预测网络 DKC 性能与随机部署的有向节点密度之间的函数关系。

综上所述,无线视频传感器网络的有向感知 K 覆盖控制算法还没得到彻底解决。本文假设有向传感器节点可在几个覆盖方向中切换,根据传感器节点的覆盖方向协同优化,实现覆盖区域和目标的最大化有向覆盖。

2 最大有向 K 覆盖问题

视频传感器节点的有向感知模型(Directional Sensing Model)指视频传感器节点的感知范围是一个以节点 $P(x, y)$ 为圆心、半径 R 为其感知距离、夹角为 α 的扇形区域,扇形区域的中心线 \vec{V}_p 角度为 θ ,如图1所示,因此,每个有向感知节点模型都可以用一个五元组 $\langle x, y, R, \alpha, \theta \rangle$ 来表示,分别表示每个有向感知节点的中心位置坐标,感知半径,感知视角 FoV (Field of View) 及感知方向角。

定义1 有向覆盖:若目标 O 被节点 $N(x, y, R, \alpha, \theta)$ 有向覆盖,则意味着 O 到 N 的距离小于 R ,且向量 \vec{NO} 的方向位于 $(\theta - \frac{\alpha}{2}, \theta + \frac{\alpha}{2})$ 。

本文假设扇形区域的中心线 \vec{V}_p 角度 θ 都是从 X 轴正半轴为 0 开始,逆时针方向选择逐渐变大,最后 2π 结束, $\theta \in [0, 2\pi)$ 。

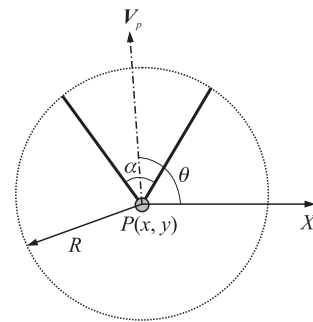


图1 有向感知节点模型

根据以往文献的研究,对于图论中的有向 K 覆盖问题,有以下定理:

定理1 设 C 是面积为 A^* 的凸集, S_1, S_2, \dots, S_n 为互相全等,面积等于 A 的凸集。假定 S_i 随机地落在 C 上,则 C 的每一点至少被 K 块 S_i 覆盖的概率为 $(A^* \rightarrow \infty, \frac{n}{A^*} = \rho)$:

$$\text{Prob} = \exp\{-K\rho A^* \exp(-\rho A) [1 + \dots + \frac{(\rho A)^K}{K!}]\} \quad (1)$$

根据概率式(1)和预先设定的 K 覆盖概率就可以计算出所需的传感器节点数量,但是需要大量的传

传感器节点,尤其是对于有向覆盖节点,因此有向 K 全覆盖在实际使用过程中并不适用,本文研究的有向 K 覆盖属于目标覆盖。有向 K 覆盖算法模型如图2解释:假设覆盖区域内存在四个有向传感器节点和三个目标,四个有向传感器节点处于特定方向,因此,目标1被节点1、节点2和节点4覆盖,目标2被节点2和节点4覆盖,目标3被节点2和节点3覆盖,所有目标都至少被2个有向传感器节点所覆盖,因此满足有向 $K=2$ 覆盖。在无线视频传感器网络的实际应用中,有些目标点要求至少被 K 个不同的传感器节点同时覆盖,因此,必须最大限度地保证目标节点集的有向 K 覆盖。本文接下来将建立有向 K 覆盖问题的最优化理论模型,给出精确的整数线性规划形式 ILP (Integer Linear Programming) 描述。

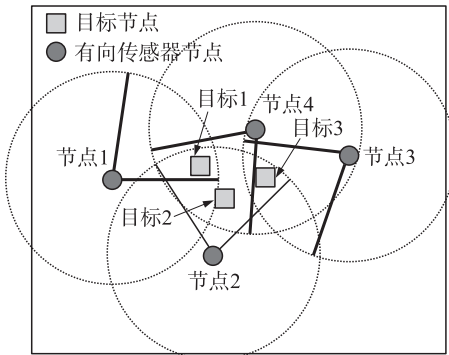


图2 视频传感器网络覆盖模型

假设给定监测区域存在目标点集合 $M = \{M_j | j = 1, 2, \dots, m\}$ 和有向传感器节点集合 $N = \{N_i | i = 1, 2, \dots, n\}$, 每个有向传感器存在 P 个覆盖方向, D_{ip} 表示第 i 个有向传感器的第 p 个覆盖方向, 每个有向传感器的生存周期为 L_i 。所有的覆盖方向集合 $D = \{D_{ip} | N_i \in N, p = 1, 2, \dots, P\}$ 可分为 W 个不相交覆盖方向子集 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_w | D_x \cap D_y = \emptyset, \forall x \neq y, x \in \{1, 2, \dots, W\}, y \in \{1, 2, \dots, W\}\}$, 每个覆盖方向子集的工作时间为 $T_i \geq 0$ 。假设存在如下变量 $x_{i,p}^w$:

$$x_{i,p}^w = \begin{cases} 1 & \text{如果 } D_{ip} \in D_w \\ 0 & \text{如果 } D_{ip} \notin D_w \end{cases}$$

$$\forall i = 1, \dots, N, p = 1, \dots, P, w = 1, \dots, W \quad (2)$$

定义2 最大有向 K 覆盖问题 ($K=1, 2, 3$): 通过不相交覆盖方向子集交替工作, 在保证每个目标点都被 K 个有向传感器覆盖的前提下, 尽量使不相交覆盖方向子集的联合工作时间最大。

由此可以得到以下的最优化模型:

优化目标:

$$\max \sum_1^K T_k \quad (3)$$

约束条件:

$$\sum_{p=1}^P x_{i,p}^w \leq 1 \quad (4)$$

$$\sum_{M_j \in D_{ip} \in D} x_{i,p}^w \geq K \quad \forall M_j \in M, w = 1, \dots, W \quad (5)$$

$$\sum_{w=1}^W \sum_{p=1}^P x_{i,p}^w \cdot T_i \leq L_i \quad (6)$$

式(3)表示不相交覆盖方向子集的联合工作时间最大, 也即监测区域的目标点集合被 K 覆盖的时间最大, 式(4)表示特定某个传感器一个时刻只能存在一种方向, 式(5)表示任何一个目标点都至少被 K 个有向传感器所覆盖, 式(6)表示每个传感器的工作时间不能大于其生存周期。由于最大 K 有向覆盖问题属于 NP-complete 问题, 因此难以在多项式时间内得到求解。本文后续将寻求一种分布式的次优算法求解最大有向 K 覆盖问题, 简称 DS- K -Coverage 算法。

目前求解最大有向 K 覆盖问题的贪婪算法 (greedy algorithm) 是一种计算复杂度较低的简单算法, 其基本思想是: 有向覆盖节点以覆盖目标数最多的方向作为工作方向。基本的贪婪算法总是基于节点自身的覆盖信息独立地选取工作方向, 因此有向覆盖节点不需要与邻居节点交换信息, 消息开销小, 计算很简单, 但是由于没有与邻居节点协调地为目标合理分配覆盖资源, 容易遗漏孤立的目标。本文根据最大有向 K 覆盖问题的优化模型, 研究一种分布式的有向感知 K 覆盖控制算法, 并与贪婪算法进行算法性能比较。

3 有向感知 K 覆盖控制算法

本文研究的有向感知 K 覆盖控制问题属于 NP 完全问题, 所以上节的整数线性规划问题不能在多项时间内解决, 而且大规模无线视频传感器网络的全局信息很难采集, 因此必须寻找更具实用性的分布式次优解法。本文给每个有向传感器节点分配一个唯一的 NID 标签值, 在一跳有向邻居节点范围内, NID 较小的有向邻居节点比 NID 较大的有向邻居节点先做决策。通过设计一种简单的分布式启发式算法对有向传感器节点的感知方向进行调度, 使得目标集合被 K 覆盖的时间最多。如何构建不相交的有向覆盖集是一个 NP 完全问题, 因此, 本文研究的有向感知 K 覆盖控制属于分布式次优算法。本文提出的有向感知 K 覆盖控制算法综合考虑节点每个方向所覆盖的所有目标数及这些被覆盖目标被所有一跳邻居节点有向覆盖的次数, 以这两个指标作为效用函数中的关键参数, 决定节点选择每个方向的最大概率。

有向感知 K 覆盖控制算法假设每个有向感知节点都能分辨目标, 每个目标都有 OID 编号。因此, 在

一跳有向邻居节点范围内,每个有向感知节点都维护了一张包含自身及所有邻居节点的各方向目标集合:

$$OB_{N_i} = \begin{bmatrix} OC_1^1 & OC_2^1 & \cdots & OC_{|N_i|}^1 \\ OC_1^2 & OC_2^2 & \cdots & OC_{|N_i|}^2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ OC_1^P & OC_2^P & \cdots & OC_{|N_i|}^P \end{bmatrix} \quad (7)$$

上式中 $|N_i|$ 为有向节点 N_i 的所有一跳邻居节点数(包含自身), $OC_{N_i}^j$ 和 OC_i^j ($i=1, \dots, |N_i|, j=1, \dots, P$)代表节点 N_i 和第 i 个邻居节点的第 j 个方向所包含的目标OID编号集,如果第 j 个方向未包含任何目标,则为 \emptyset 。

每个节点根据自身的方向目标集合,计算出自身每个方向的效用函数值,效用函数值表示有向节点覆盖某个目标或目标集合时,有向节点对网络覆盖质量的贡献。每个方向效用函数值是包含自身在内所有邻居节点的方向目标集合的函数,通过遍历目标被有向覆盖的情况,获得如下目标被节点覆盖的目标节点集合:

$$OM_{N_i} = [NM_1 \quad NM_2 \quad \cdots \quad NM_{m^*}] \quad (8)$$

上式中 NM_q 代表第 q 个目标被有向覆盖的节点集合, $\|NM_q\|$ 代表集合中节点数量。如果满足 $\|NM_q\| \geq K$ ($\forall q=1, \dots, m$),那么所有 m^* 个目标都有可能满足有向 K 覆盖。由于每个节点都能接收到所有一跳邻居节点的方向目标集合,因此本算法其实质是一跳节点覆盖范围的所有有向覆盖信息进行最佳方向决策。根据方向目标集合和目标节点集合可以计算节点各个方向的效用函数值:

$$\omega_{N_i}^p = f(OB_{N_i}, OM_{N_i}) = \frac{\|OC_{N_i}^p\|}{l_{OC_{N_i}^p}} \quad (9)$$

上式中 $\|OC_{N_i}^p\|$ 代表 $OC_{N_i}^p$ 集合中的所有目标数量,如果 $OC_{N_i}^p = \emptyset$,那么 $\|OC_{N_i}^p\| = 0$; $l_{OC_{N_i}^p}$ 代表 $OC_{N_i}^p$ 集合中的所有目标被所有邻居节点有向覆盖的次数,当 $l_{OC_{N_i}^p} = 0$ 的特殊情况下规定 $\omega_{N_i}^p = 1$ 。上述定义的效用函数值表明:如果节点某一方向所覆盖的目标越多,即 $\|OC_{N_i}^p\|$ 越大,或者被某一方向所覆盖的目标越少的邻居节点覆盖,即 $l_{OC_{N_i}^p}$ 越小,该方向的效用函数值越大,节点选择该方向的概率越高。前述的贪婪算法以自身覆盖目标数最多的方向作为工作方向,并没有考虑邻居节点的覆盖情况,因此并没有达到优化目标。本文提出的效用函数值相比较于只考虑自身每个方向覆盖目标数贪婪算法,还考虑了所有一跳邻居节点的有向覆盖情况,因此可以在一跳邻居节点范围内实现协同优化调度。

如果单纯按最大效用函数值选择方向有以下问题:假如计算得到的效用函数值大小相同,则会产生冲突,无法准确地获取最佳方向。因此,本文的有向感知 K 覆盖控制算法以最大概率为归一化的效用函数值 $\hat{\omega}_{N_i}^p$ 随机选择该方向,该方向的归一化效用函数值越大,选择该方向的概率越大。

$$\hat{\omega}_{N_i}^p = \frac{\omega_{N_i}^p}{\sum_{p=1,2,\dots,P} \omega_{N_i}^p} \quad (10)$$

$$\text{Max}\{\text{Prob}\} = \hat{\omega}_{N_i}^{p^*} = \max\{\hat{\omega}_{N_i}^p, p=1, 2, \dots, P\} \quad (11)$$

综上所述,有向感知 K 覆盖控制算法的工作流程如下:无线视频传感器网络部署完成后,视频传感器节点扫描各个覆盖方向上的目标信息,并与其一跳邻居节点交换目标信息,然后计算每个覆盖方向的效用函数值,选取效用函数值为最大概率选择自身的工作方向,最后将自己的方向决策通知其一跳邻居节点。同时,有向感知 K 覆盖控制算法中进而还可以扩展考虑节点的剩余能量:将一个工作时间间隔成为一轮,在每轮时间末期,一跳邻居节点范围内交换剩余能量信息,依据自身剩余能量值决定是否在下一轮是否休眠,节点集按序完成有向覆盖的任务,从而延长网络生存时间。由于篇幅关系,这部分算法扩展本文暂不做具体研究。

因此,有向感知 K 覆盖控制算法DS-K-Coverage算法流程图可如图3所示。

```

初始化:网络拓扑结构 $G(N, E)$ 及目标集合 $M$ 分布
%每一轮时间周期内重新选择
for(Round=1, ..., T)
{
  所有节点发送Beacon消息(含节点ID, 每个方向覆盖目标)
  %按节点序号在一跳邻居范围内自行遴选方向
  for(i=1, ..., N)
  {
    1.收集所有一跳邻居节点的数据,更新方向目标集合 $OB_{N_i}$ 
    if( $d\|N_i, N_j\| \leq R$ ) then  $N_j \in Neighbor(N_i)$ 
    2.遍历所有的目标集合 $M$ ,计算覆盖每个集合的节点方向
    3.根据遍历结果计算本节点所有方向的效用函数值
     $\omega_{N_i}^p = f(OB_{N_i}, OM_{N_i}) = \frac{\|OC_{N_i}^p\|}{l_{OC_{N_i}^p}}$ 
    4.计算每个方向的归一化效用函数值
     $\hat{\omega}_{N_i}^p = \frac{\omega_{N_i}^p}{\sum_{p=1,2,\dots,P} \omega_{N_i}^p}$ 
    5.以效用函数值为概率随机选择覆盖方向
    Max{Prob}= $\hat{\omega}_{N_i}^{p^*} = \max\{\hat{\omega}_{N_i}^p, p=1, 2, \dots, P\}$ 
  }
}

```

图3 有向感知 K 覆盖算法伪代码

4 仿真结果

本文利用MATLAB仿真软件对比有向 K 感知

覆盖 DS-K-Coverage 算法、求解 K 覆盖的贪婪算法 Greedy-Algorithm、传感器随机选择工作方向的随机覆盖算法 Random-Coverage 三种算法的性能。

仿真场景如下: $N=50$ 个传感器节点和 $M=30$ 个目标随机分布在 100×100 区域内, 节点感知半径为 20, 感知视角 α 为 120° , 有向覆盖的起始方向角分为 2 种情况, 如图 4 所示: (1) 特定起始角度: 感知方向角以 X 轴正半轴为 0 开始, 满足特定 $\theta + (\alpha/2) \in (0, \alpha, 2\alpha, \dots, 2\pi]$, 即按感知视角 α 等分 2π ; (2) 随机起始角度: 感知方向角 θ 以 X 轴正半轴为 0 开始, 满足随机分布 $\theta + (\alpha/2) \in (0, 2\pi]$ 。为了验证过程简单, 本次仿真采用了特定起始角度的方式。

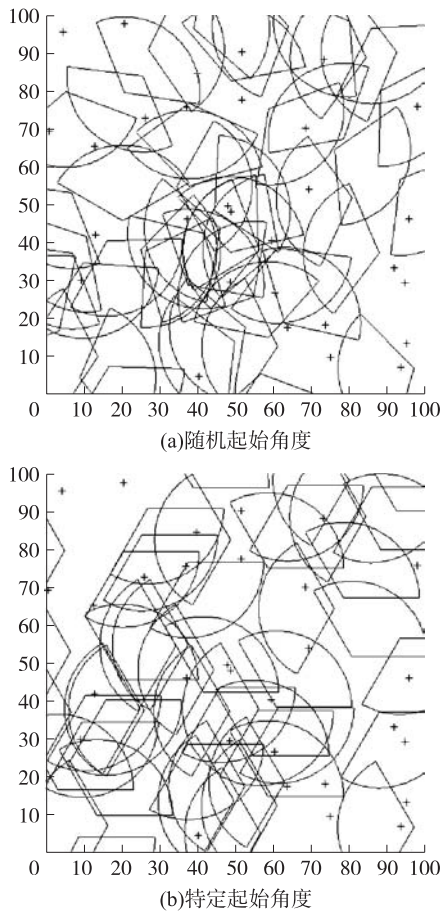


图4 两种不同起始角度覆盖 ($N=50, \alpha=120^\circ, M=30$)

图 5 为有向 K 感知覆盖 DS-K-Coverage 算法和贪婪算法 Greedy-Algorithm 的覆盖结果, 相比较随机覆盖算法 Random-Coverage, 显而易见, 有向 K 感知覆盖 DS-K-Coverage 算法相比随机覆盖算法能覆盖更多的目标, 而且相比贪婪算法, 也具有更多的覆盖性。接下去本文定义了一个量化指标来衡量各种算法的覆盖质量。

定义 3 盲区比例: 所有没有被 K 覆盖的目标数所占总目标数的比例为盲区比例, 覆盖性能比较就是比较盲区比例的大小, 盲区比例越小覆盖性能越好。

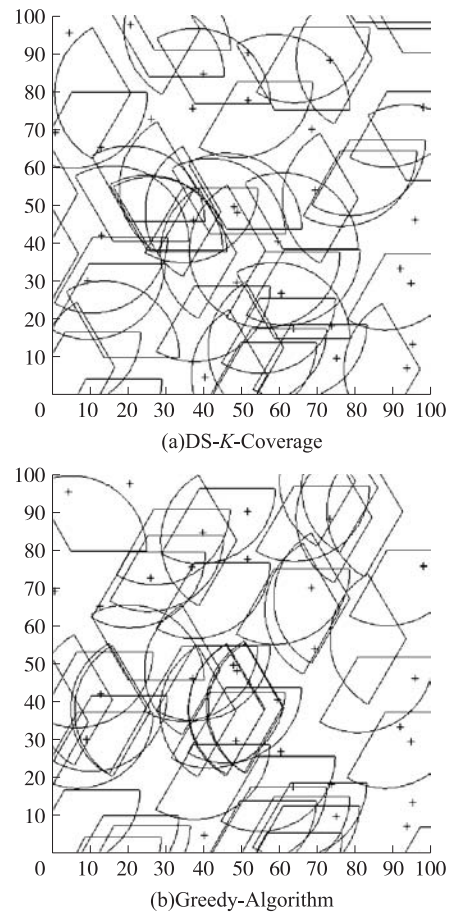


图5 DS-K-Coverage 算法与贪婪算法比较
($N=50, \alpha=120^\circ, M=30$)

当需要覆盖目标数变化时, 仿真中设置 $M=10 \sim 50$ 个目标随机出现在 100×100 区域的随机地点。然后比较本文提出的有向 K 感知覆盖 DS-K-Coverage 算法、求解 K 覆盖的贪婪算法 Greedy-Algorithm 和随机覆盖算法 Random-Coverage 所获得的盲区比例, 有向多覆盖选择最常用的两种情况: $K=1$ 或 2, 所有结果都是 10 次模拟实验的平均抽样结果。仿真结果如图 6 所示, 有向 K 感知覆盖算法相比随机覆盖算法能降低盲区比例, 特别是当 $K=2$ 覆盖时。但是由于 DS-K-Coverage 算法中覆盖方向的选择是具有概率性的, 因此并不能保证每次仿真过程获得的结果都具有优越

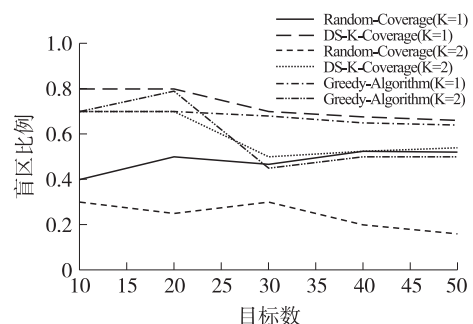


图6 DS-K-Coverage 算法与贪婪算法、随机覆盖算法比较

性,只是在统计结果上优于贪婪算法 Greedy-Algorithm 和随机覆盖 Random-Coverage 算法。

5 结语

本文针对无线视频传感器网络中的有向 K 重覆盖问题,假设有向传感器节点可在几个覆盖方向中切换,根据传感器节点的覆盖方向协同优化,实现覆盖区域和目标的最大化有向覆盖。本文利用网络有向覆盖的冗余特性,设计一种简单的分布式启发式算法对有向传感器节点的感知方向进行调度,使得目标集合被 K 覆盖的时间最多。与求解最大有向 K 覆盖问题的贪婪算法一样,有向感知 K 覆盖控制算法也属于一种一跳覆盖范围内的分布式方法。最后,使用仿真实验验证了算法性能,特别相比较于随机覆盖算法,能大大减低覆盖盲区比例。下一步工作将根据无线视频传感器网络中的多向覆盖特性研究图像信息的协同压缩传输技术。

参考文献:

- [1] Akyildiz F, Su W, Sankarasubramanian Y, et al. A Survey on Sensor Networks[J]. IEEE communication Magazine, Aug 2002; 102-114.
- [2] 马华东,陶丹. 多媒体传感器网络及其研究进展[J]. 软件学报,2006,17(9):2013-2028.
- [3] 任彦,张思东,张宏科. 无线传感器网络中覆盖控制理论与算法[J]. 软件学报,2006,17(3):422-433.
- [4] Ma H, Tao D. Multimedia Sensor Network and Its Research Progresses[J]. Journal of Software,2006,17(9):2013-2028.
- [5] Ma H D, Liu Y H. Some Problems of Directional Sensor Networks [C]//Proc. of the Int'l Journal of Sensor Networks,2006,11(3).
- [6] 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.
- [7] 陶丹,马华东. 有向传感器网络覆盖控制算法[J]. 软件学报,2011,22(10):2317-2334.
- [8] 温俊,蒋杰,窦文华. 公平的有向传感器网络方向优化和节点调度算法[J]. 软件学报,2009,20(3):644-659.
- [9] 李靖,王汝传,黄海平等. 有向传感器网络覆盖控制策略[J]. 通信学报,2011,32(8):118-127.
- [10] Fusco G, Gupta H. Selection and Orientation of Directional Sensors for Coverage Maximization [C]//Proc. of the 6th Annual IEEE Conf. on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks. New York: IEEE Press,2009:1-9.
- [11] 黄帅,程良伦. 一种基于虚拟力的有向传感器网络低冗余覆盖增强算法[J]. 传感技术学报,2011,24(3):418-422.
- [12] 符祥,石丹丹,曾接贤. 一种新的有向传感器网络覆盖增强算法[J]. 传感技术学报,2012,25(10):1458-1462.
- [13] Slijepcevic S, Potkonjak M. Power Efficient Organization of Wireless Sensor Networks. IEEE Int'l Conf. on Communications,2001.
- [14] Tao D, Ma H D, Liu L. Coverage-Enhancing Algorithm for Directional Sensor Networks. In: Cao J, et al. eds. Proc. of the MSN 2006. LNCS 4325, Berlin: Springer-Verlag,2006:256-267.
- [15] Alhussein J A, Abouzeid A. Coverage by Directional Sensors in Randomly Deployed Wireless Sensor Networks[J]. Journal of Combinatorial Optimization,2006,11:21-41.
- [16] Cai Y L, Lou W, Li M L, et al. Target-oriented Scheduling in Directional Sensor Networks [C]//Proc. of IEEE Infocom 2007, 2007:1550-1558.
- [17] Liu L, Ma H D, Zhang X. On Directional k-coverage Analysis of Randomly Deployed Camera Sensor Networks [C]//Proc. of the IEEE ICC 2008. New York: IEEE Press,2008:2707-2711.
- [18] Wu Y A, Yin J P, Li M, et al. Efficient Algorithms for Probabilistic k-coverage in Directional Sensor Networks [C]//Proc. of the Int'l Conf. on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing,2008:587-592.



张美燕(1983-),女,讲师,从事无线传感器网络、新型能源技术、物联网技术等研究,主持浙江省自然科学基金1项,参与浙江省厅级项目多项。近年来发表论文10余篇,被三大索引收录6篇,申请发明专利和实用新型专利6项;



蔡文郁(1979-),男,博士,副教授,主要从事无线通信、物联网、无线传感网及嵌入式技术研究。主持和参与国家自然科学基金2项、浙江省自然科学基金3项、国家863计划项目2项、国家海洋局专项1项、省重大科技专项1项,横向课题10余项。近年来发表论文30余篇,被三大索引收录10余篇,申请专利及软著20余项,授权10余项。