

# 无线传感网络中的节点边缘分布方法

周运<sup>1\*</sup>, 詹华伟<sup>2</sup>

(1. 河南师范大学 计算机与信息技术学院, 河南 新乡 453007;

2. 河南师范大学 物理与信息工程学院, 河南 新乡 453007)

(\*通信作者电子邮箱 zhouyun88@126.com)

**摘要:**针对基站仅能部署在监控区域边缘这个新问题,形式化定义了节点边缘分布问题。为用最少的基站尽可能多地覆盖监控区域,提出了一个有多项式时间复杂性的部署算法。算法分为两个阶段,首先分析了初始部署的覆盖率,当初始覆盖率大于保证覆盖率时,减少初始部署集的大小是可能的;然后,改进算法以递增的方式来改进初始部署集,以实现在满足最大覆盖率的前提下最小化最终部署集。实验结果显示了在3种不同的测试环境下,算法的覆盖率和部署集均优于随机部署算法,是部署无线传感节点的有效方法。

**关键词:**基站;边缘分布;覆盖;多项式时间;部署集

**中图分类号:** TP393.1 **文献标志码:** A

## Border node placement method in wireless sensor networks

ZHOU Yun<sup>1\*</sup>, ZHAN Hua-wei<sup>2</sup>

(1. College of Computer and Information Technology, Henan Normal University, Xinxiang Henan 453007, China;

2. College of Physics and Information Engineering, Henan Normal University, Xinxiang Henan 453007, China)

**Abstract:** Because the base stations can only be placed at the border of the monitored area, the border placement problem was formally defined. For the goal to place the minimum number of base stations to cover as much as possible the monitored areas, an improved placement algorithm with polynomial time was proposed. The coverage percentage of initial algorithm was analyzed first. When initial coverage percentage is larger than guaranteed coverage percentage, it is possible to reduce the size of initial placement set. Finally, placement set was gradually improved to achieve the minimum of placement set. The results indicate that the coverage percentage and placement set of the proposed algorithm are superior to random algorithm in different test environments.

**Key words:** base station; border placement; coverage; polynomial time; placement set

## 0 引言

微型无线传感器部署在移动目标上收集信息,并把收集到的信息传送到中心节点来存储和分析,具有较强的实用性和广泛的应用前景。例如,文献[1-2]研究了用无线传感器实时测量和跟踪泥石流,方法是把无线传感器投进泥石流中,在沿岸部署一些固定的基站。当位于河床的传感器随着泥石流一起从上游流经基站时,沿岸的基站就能收集到移动传感器发送的传感数据。类似的应用还包括水文监测<sup>[3]</sup>、传输带监控等系统。

目前已有很多关于无线传感网络节点部署的探讨,文献[4-5]利用聚类的方法来平衡部署代价和能量维持,尽可能地延长传感网络的寿命;文献[6]提出一个概率统计模型来解决传感节点的部署问题;文献[7-8]研究了视频传感节点在不同应用环境下的部署策略,提出了线性规划模型来解决这类传感节点的部署;文献[9]使用 Delaunay 三角化和 Voronoi 图来决定最佳性能覆盖和最坏性能覆盖,提出了一个最优多项式时间算法解决这个问题;文献[10]研究了无线传感网络中的节点非均匀分布方法,提出了一个能耗模型;文献[11-12]考虑了无线传感网络的部署策略和连通性,提出了一个整数线性规划近似算法;文献[13]提出了一个实现全覆

盖和  $k$ -连通的贪心算法;文献[14]研究了三维空间里的节点分布问题,提出了一个多目标渐进优化算法来实现目标区域的最大覆盖。

但目前关于传感节点部署策略的研究大多集中于监控区域内的节点部署,像泥石流监测这样的应用,只能将基站部署在监控区域的边缘来收集监控区域内的节点信息,这方面的研究还比较少。本文形式化定义了边缘部署问题,提出了一个有多项式时间复杂性的两阶段部署算法来解决这个问题。

## 1 问题模型和形式化定义

### 1.1 问题模型

$A$  表示区域集合,包括监控区域及其边缘区域。 $T$  表示监控区域集合,它是  $A$  的子集。 $B$  表示基站的集合,命名为部署集。 $R_b$  和  $R_s$  分别表示基站和移动传感器的通信半径,假设传感器的通信范围是圆形区域,传感器和基站之间的数据传输采用单跳通信。由于大多数通信协议因为可靠性都采用对称通信方式,可以用式(1)计算基站的有效通信范围。

$$R = \min(R_b, R_s) \quad (1)$$

为简单起见,用  $R$  表示通信范围。显然,通信风暴可以保证在基站和传感器之间的对称通信。规定如果基站覆盖一个监控区域,则覆盖区域中的任意点。按照基站位置和通信范围

收稿日期:2011-08-17;修回日期:2011-12-12。 基金项目:河南省教育厅自然科学基础研究计划项目(2010B520012)。

作者简介:周运(1978-),男,河南信阳人,讲师,硕士,主要研究方向:语义 Web、无线传感网络; 詹华伟(1979-),男,河南汝南人,讲师,硕士,主要研究方向:无线通信。

来计算基站的通信覆盖,设基站部署在点  $b \in B$  上,另一个点  $p \in T$  的覆盖情况可以用式(2)表示。

$$C(B, T) = \{p | \exists d(b, p) \leq R, b \in B, p \in T\} \quad (2)$$

式(2)用于计算监控区域的覆盖,所以基站对监控区域的覆盖率可以用式(3)确定。

$$CP(B, T) = Area(C(B, T)) / Area(T) \quad (3)$$

其中:函数  $Area(\cdot)$  是区域的面积,覆盖率是覆盖区域与整个区域面积的比率。本文假设传感器的移动模型在监控区域里是不变的,所以覆盖率也可以看作是传感数据的收集率。

### 1.2 形式化定义

对于  $A, T, R$  和  $B$ ,用  $CP_{min}$  表示保证覆盖率,可部署基站的区域  $D = A - T$ 。如果部署集  $B$  对  $T$  的覆盖率大于或等于  $CP_{min}$  (即  $CP(B, T) \geq CP_{min}$ ),边缘部署问题即是寻找一个最小部署集  $B$ ,即最小化  $|B|$ 。

## 2 最大覆盖率

由于基站只能部署在监控区域的边缘,如果监控区域内的一些点距边界的距离大于通信范围,100% 的覆盖率是不可能的。下面首先分析在理想情况下的最大覆盖率,理想情况是指基站能部署在区域  $D$  内的任意位置。然后讨论实际情况下的最大覆盖率,实际情况是指相邻基站之间有一定的距离。为实现最大覆盖率用无限多的基站这种情况是不考虑的。

### 2.1 理想情况下的最大覆盖率

图1为两个监控区域  $T$  和区域  $A$  之间关系的例子。

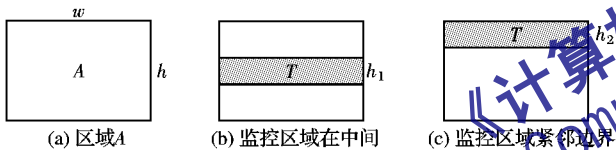


图1 最大覆盖率示例

图1(a)表示一个  $w \times h$  矩形区域  $A$ ,图1(b)表示一个  $w \times h_1$  的监控区域  $T$  位于区域  $A$  的中间。在图1(b)中,基站可以部署在监控区域的顶部和底部边缘,如果沿着两个边界以连续的方式部署基站(两个相邻基站间的距离为0),图1(b)的最大覆盖率可用式(4)计算:

$$CP_{max} = \begin{cases} \frac{2R}{h_1}, & h_1 > 2R \\ 100\%, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

最大覆盖率不仅受监控区域  $T$  影响,也受监控区域  $T$  在区域  $A$  中的位置影响。图1(c)显示一个  $w \times h_2$  的监控区域位于区域  $A$  的上边界,这样,基站的部署区域只能靠近监控区域的底部边界,因此,图1(c)的最大覆盖率可用式(5)计算:

$$CP_{max} = \begin{cases} \frac{R}{h_2}, & h_2 > R \\ 100\%, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

通过这两个例子可以得知最大覆盖率受通信范围、监控区域的形状和所处位置影响。监控区域内到监控区域最近边界的距离大于通信范围的点都是不能被覆盖的。因此,计算最大覆盖率应该考虑区域  $A$ 、监控区域  $T$  和通信范围  $R$ 。计算最大覆盖率的算法如下。

#### 算法1

输入 区域  $A$ , 监控区域  $T$ , 通信范围  $R$ 。

输出 最大覆盖率  $CP_{max}$ 。

- 1) 置覆盖区域集合  $T'$  为空。
- 2) 选择一个监控区域  $t \in T$ 。

3) 选择区域  $t$  的一个边缘位置  $u$ 。

4) 选择区域  $T$  内一个未被覆盖的点  $v$ 。

5) 如果点  $u$  和点  $v$  之间的欧氏距离  $d(u, v) \leq R$ , 将点  $v$  所在的单位区域加入到集合  $T'$ , 转向4); 否则, 直接转向4)。

6) 如果区域  $T$  内的点都已经过检查, 则转向3) 重新选择一个  $t$  的边缘位置  $u$ 。

7) 如果区域  $t$  所有可部署基站的边缘位置都检查过, 转向2) 重新选择一个监控区域  $t$ , 直到所有监控区域都选择一次, 算法结束。

8) 返回  $CP_{max} = Area(T') / Area(T)$ 。

### 2.2 实际情况下的最大覆盖率

理想情况下总能实现最大覆盖率,但无穷大的部署集对实际情况是不可行的。现在分析理想情况和实际情况下最大覆盖率的关系,图2显示了在实际情况下未覆盖的区域,基站  $v$  和  $u$  之间最短距离是  $x$ , 设监控区域的高度大于2倍的通信范围,这样可以忽略对面基站的覆盖,基站之间的虚线矩形是理想情况下的覆盖区域,实线弧形是实际情况下的通信范围的边界,理想情况和实际情况下覆盖区域的差在图2中用“未覆盖区域”标注,未覆盖区域面积  $U$  用式(6)计算:

$$U = x \left( R - R \cos \frac{\alpha}{2} \right) - \left( \pi R^2 \frac{\alpha}{2\pi} - \frac{R^2 \sin \alpha}{2} \right) = xR \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) - \frac{R^2}{2} (\alpha - \sin \alpha) \quad (6)$$

其中  $R \sin(\alpha/2) = x/2$ 。然后用式(7)计算在实际情况下的最大覆盖率:

$$CP_{max, real} = CP_{max} \times \frac{Rx - U}{Rx} \quad (7)$$

算法1和式(6)~(7)能确定实际情况下的最大覆盖率,因为对实际情况下最大覆盖率的分析是基于相邻基站之间边界是直线,所以最大覆盖率应该是一个平均值。

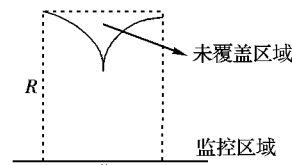


图2 实际情况下未覆盖区域

## 3 边缘部署算法

现在提出一个多项式时间算法来解决基站的边缘部署问题。

#### 算法2

输入 区域  $A$ , 监控区域  $T$ , 通信范围  $R$  和保证覆盖率  $CP_{min}$ 。

输出 部署集  $B$ 。

1) 如果  $CP_{min} > CP_{max}$ , 则报告错误情况  $E1$ , 显示输入是不可解的。

2) 如果  $CP_{min} < CP_{max}$ , 用算法3建立一个初始部署集  $B'$ 。

3) 评估初始部署集, 如果初始部署集不能满足保证覆盖率, 则报告错误情况  $E2$ 。

4) 如果初始部署集通过评估, 用算法4进行改进产生一个最终的部署集  $B$ 。

### 3.1 初始化算法

初始化算法的目标是建立初始部署集  $B'$ , 算法采用文献[15]中基于网格的算法, 用于解决区域覆盖问题。在此算法

中,任何网格线的分割点都被认为是候选位置。根据边缘部署问题的特点,用两个方法来提升最终部署集的质量:一个是检查候选位置是否覆盖任何监控区域,只有能至少覆盖一个监控区域的位置才被选进初始部署集;另一个是把基于观察的一些位置放入初始部署集,如网格线和监控区域边界的分割点,因为它们紧邻监控区域,能提供高覆盖率。

### 算法3

输入 可部署区域  $D = A - T$ 。

输出 初始部署集  $B'$ 。

1) 置  $B' = \{D \text{ 的网格点}\}$ 。

2) 对于每一个  $p \in B'$ , 如果点  $p$  不能覆盖任何  $t \in T$ , 则  $B' = B' - \{p\}$ 。

3) 对于每一条网格线  $l$  以及每一个  $t \in T$ , 如果  $l$  和  $t$  在  $p$  点相交, 则  $B' = B' \cup \{p\}$ 。

4) 返回初始部署集  $B'$ 。

下面分析算法3的时间复杂性:用  $w, h$  和  $m$  分别表示区域  $A$  的宽、高和监控区域  $T$  的数量, 因为网格线的数量是  $(h/s) \times (w/s)$ , 第1)步用  $O(mwh/s^2)$  时间来产生网格线的分割点, 并且检查它们是否在任何可部署区域; 第2)步需要  $O(mwh/s^2)$  时间来检查初始部署集中的每一点是否覆盖任何监控区域; 第3)步类似于第1)步, 其时间复杂性需要  $O(mwh/s^2)$  时间。这样, 算法3的整个时间复杂性是  $O(mwh/s^2)$ 。显然, 网格距离是一个控制计算资源的指标, 因为时间复杂性和网格距离的平方成反比。

### 3.2 评估初始部署集

评估过程负责检查保证覆盖率和现实覆盖率之间的关系, 如果初始部署集的覆盖率小于保证覆盖率, 报告错误情况  $E2$ 。因为输入已经通过第一次检查, 边缘部署问题应该是可解的, 处理  $E2$  的一个方法是减少网格距离  $s$ , 因为网格距离影响分割点的数量, 然后覆盖率可能随着分割点数量的增加而增加。然而, 减少网格距离导致需要更多的计算能力。根据上一节的分析, 计算资源是反比与网格距离的平方。因此, 评估过程是在覆盖率和计算资源之间进行一个折中。

### 3.3 算法改进

如果初始部署集的覆盖率大于保证覆盖率, 减少初始部署集的大小是可能的。用  $n$  表示初始部署集的大小, 不可能产生所有  $2^n$  种组合来确定一个最小的可行部署集。因此, 用一种递增的方式来改进初始部署集, 以满足多项式时间复杂性的需要。

图3中虚线和实线圆分别表示递增基站前后的覆盖区域, 递增之前的覆盖率已经包含之前基站的覆盖区域, 如虚线圆的上部。

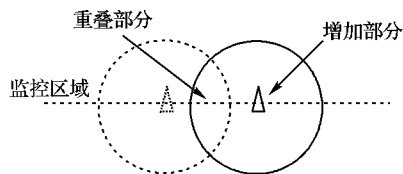


图3 递增基站前后覆盖关系

递增之后基站的覆盖区域分为两部分:重叠部分和增加部分。重叠部分不增加覆盖率, 因为重叠部分已经被之前的基站覆盖过, 只有增加部分能增加整个覆盖率。基于此, 设计一个评估函数来评估初始部署集中的每一个元素, 因为只有增加部分能增加整体覆盖率, 所以用式(8)计算出的增加面积来作为评估函数:

$$Add(p) = Area(C(p, T - C(B_{pre}, T))) \quad (8)$$

其中:  $p$  和  $B_{pre}$  分别表示递增前后的基站。改进的设计目标是快速地扩大覆盖率直到满足保证覆盖率要求, 所以在实现保证覆盖率之前先选择一个有最大增加部分的基站进入部署集。

### 算法4

输入 初始部署集  $B'$  和保证覆盖率  $CP_{min}$ 。

输出 最终部署集  $B$ 。

1) 置部署集  $B$  为空。

2) 如果当前部署集  $B$  的覆盖率小于保证覆盖率  $CP_{min}$ , 计算每个点  $p \in B'$  的增加面积; 否则, 算法结束。

3) 按增加面积对  $B'$  进行降序排序。

4) 取排序后的  $B'$  中的第一个  $p$  点, 计算  $B' = B' - \{p\}$  和  $B = B \cup \{p\}$ , 转向2)。

5) 返回最终部署集  $B$ 。

算法4的时间复杂性:用  $n$  表示初始部署集的大小, 即  $|B'| = n$ , 第2)步需要  $O(n)$  时间, 如果采用快速排序算法第3)步需要  $O(n \log n)$  时间, 这样, 整个改进算法的时间复杂度是  $O(n^2 \log n)$ 。

值  $n$  是初始部署集的大小而不是部署程序的初始输入, 所以进一步分析时间复杂度来说明原始输入的影响。在原始部署集中的元素由两部分组成: 网格线间的分割点和网格线与监控区域边界之间的分割点, 网格线间的分割点数量是  $O(mwh/s^2)$ , 对每一个监控区域, 如果监控区域是凸面体, 它的边界和网格线之间的分割点大多是  $2 \times (h/s) \times (w/s)$ , 因为监控区域的数量是  $m$ , 网格线和监控区域边界之间的分割点总数是  $O(mwh/s^2)$ , 因此, 初始部署集的大小是  $O(mwh/s^2)$ , 改进算法的整个时间复杂度是  $O((mwh)^2 \log(mwh/s^2)/s^4)$ 。

## 4 性能仿真

通过比较文献[15]中基于网络的随机改进算法和本文提出的改进算法在3种测试环境下的仿真结果来评估算法的性能。基于网络的随机改进算法用部署区域内网格线间的分割点作为初始部署集, 该算法仅用算法3的第1)步来产生初始部署集, 然后从初始部署集中随机选择一个点进入最终部署集中直到满足保证覆盖率。

### 4.1 环境参数

3种测试环境分别为一个大监控区域、10个小监控区域和6个带状区域, 通信范围设为5m。参数分别如表1所示。

表1 环境参数设置

区域类型	大小	个数
区域A	100 m × 100 m	1
大型监控区域	50 m × 50 m	1
小型监控区域	20 m × 20 m	10
带状监控区域	10 m	6

### 4.2 初始化算法性能分析

根据初始部署集 ( $|B'|$ ) 比较算法3和基于网络的随机算法, 图4显示了3种测试环境下网格距离从1~14m的初始部署集的大小, 可以看出在3种测试环境下初始部署集的大小随着网格距离的增加迅速减小。原因是网格线的分割点数量是反比于网格距离的平方, 当网格距离从1增加到10, 大小应该减少到1/100。但这两种算法产生的部署集大小的

差距在不同测试环境下不同,在大型监控区域下,算法 3 产生的部署集大小比基于网格的算法小 90%;在小型和带状监控区域下,算法 3 和基于网格的算法差别很小。当网格距离变大时算法 3 产生的部署集大小比基于网格的算法更大,因为初始部署集还考虑了网格线的分割点和监控区域的边界。

4.3 改进算法性能分析

现在分析初始化算法 3、基于网格的算法、改进算法 4 和随机改进算法的 4 种组合在算法 2 下产生的保证覆盖率从 20% 到 100% 的性能,网格距离设为 2。对于同一保证覆盖率,更小的部署集是更好的选择,因为部署需要的开销更少。初始部署集可用算法 3 和基于网格的算法两种选择来产生,最终部署集可用改进算法 4 和随机改进算法两种选择来产

生。

图 5 是在不同部署集大小情况下的覆盖率。从初始部署集中递增节点到最终部署集,直到实现保证覆盖率,这种递增处理使得部署集大小和相应覆盖率都增加,每条线的末端表示在初始部署集中没有更多点可以利用,也意味着初始部署集中的所有点都包括进最终部署集中。

在图 5 中,覆盖率收敛到算法 3 和基于网格的算法。显然,在覆盖率方面,初始化算法 3 比基于网格的算法提供更好的部署集,覆盖率的增长速度按降序排序依次是改进的初始化算法 3、基于网格的改进算法、随机初始化改进算法和基于网格的随机改进算法。这个趋势在 3 中测试环境下完全相同,因此,改进算法 4 比随机改进算法产生更优的部署集 B。

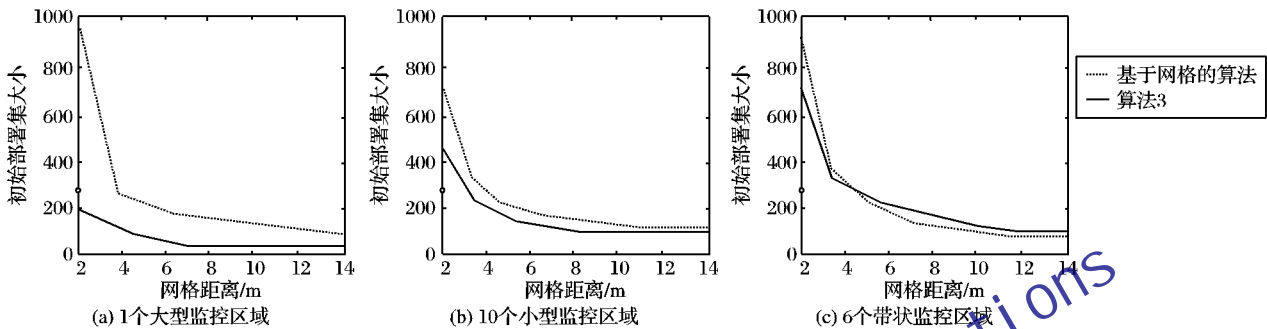


图 4 初始部署集大小对比

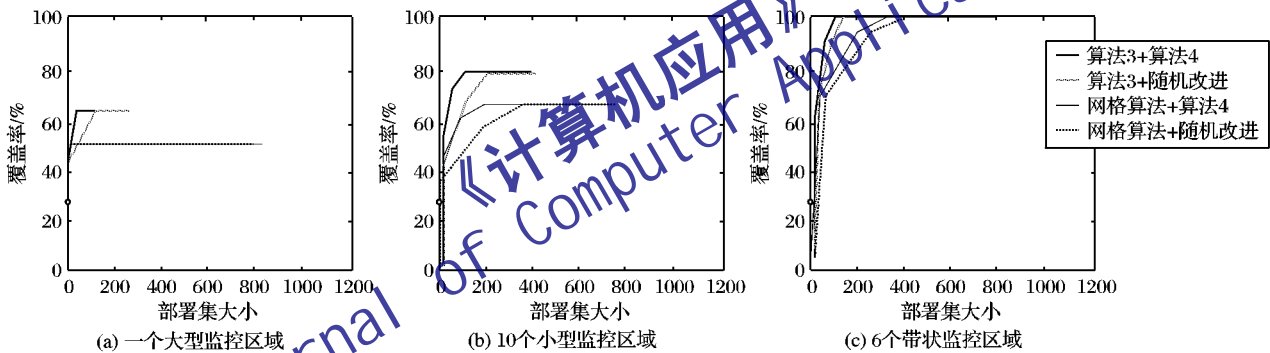


图 5 不同大小部署集下的覆盖率

5 结语

考虑基站节点只能部署在监控区域的边缘这类问题,形式化定义了边缘部署问题和最优化目标。首先分析了理想部署下的最大覆盖率和实际部署下的平均覆盖率,提出了一个有多项式时间复杂度的算法来解决边缘部署问题。仿真结果显示提出的算法能用一个更小的部署集实现更大的覆盖率。未来还计划分析连续空间内的边缘部署问题,以及利用监控区域的地理特征来增大部署集的覆盖范围等。

参考文献:

[1] LEE H C, CHO C Y, KING C T, et al. Design and implementation of non-autonomous mobile wireless sensor for debris flow monitoring [C]// Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 1062 - 1064.  
 [2] LEE H C, LIU C J, YANG J, et al. Using mobile wireless sensors for in-situ tracking of debris flows [C]// Proceedings of ACM, the 6th Conference on Embedded Network Sensor Systems. New York: ACM Press, 2008: 407 - 408.  
 [3] POMPILI D, MELODIA T, AKYILDIZ I F. Deployment analysis in underwater acoustic wireless sensor networks [C]// Proceedings of

the 1st ACM International Workshop on Underwater Networks. New York: ACM Press, 2006: 48 - 55.  
 [4] GAMWARIGE S, KULASEKERE C. A cluster based energy balancing strategy to improve wireless sensor networks lifetime [C]// Proceedings of International Conference on Industrial and Information Systems. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2007: 403 - 408.  
 [5] ALAZZAWI L K, ELKATEEB A M. Scalability analysis for wireless sensor networks routing protocols [C]// Proceedings of International Conference on Advanced Information Networking and Applications. New York: ACM Press, 2008: 139 - 144.  
 [6] CARTER B, RAGADE R. A probabilistic model for the deployment of sensors [J]. IEEE Sensors Applications Symposium, 2009, 16 (3): 7 - 12.  
 [7] LIN Y T, SALUJA K K, MEGERIAN S. Cost efficient wireless camera sensor deployment strategy for environment monitoring applications [C]// Proceedings of IEEE GLOBECOM Workshops. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2008: 1 - 6.  
 [8] JINGBIN Z, TING Y, SON S H. Deployment strategies for differentiated detection in wireless sensor networks [C]// SECON'06: Proceedings of the 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2006: 316 - 25.

$$A = \log \frac{p(y | H_1)}{p(y | H_0)} = \sum_{k=1}^N \frac{\sum_{l=1}^{2b_k} P_{k,l}^{(1)} p_{n,l}^k}{\sum_{l=1}^{2b_k} P_{k,l}^{(0)} p_{n,l}^k} = \sum_{k=1}^N \frac{\sum_{l=1}^{2b_k} P_{k,l}^{(1)} \exp\left(-\frac{(y_k^l - h_k u_k^l)^2}{2\sigma^2}\right)}{\sum_{l=1}^{2b_k} P_{k,l}^{(0)} \exp\left(-\frac{(y_k^l - h_k u_k^l)^2}{2\sigma^2}\right)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \eta \quad (11)$$

其中:  $p_{k,l}^{(m)} = P(s_i^{(k)} \in (\tau_{k,l}^{\min}, \tau_{k,l}^{\max}) | H_m)$ , 即表示当监测现象为  $H_m$  时, 第  $k$  个节点作第  $l$  类决策的概率;  $y_k^l$  表示融合中心收到的第  $k$  个节点的第  $l$  种决策。

在式(11)中的门限值集和决策位数的解是 NP 问题, 很难用最优化工论或工具来进行解答。因此, 本文用 Monte Carlo 的方法在决策位数  $b_k$  分别为 1, 2, 3 的情况下进行仿真模拟。为减少仿真时间, 取网络节点数  $N = 10$ 。

图 6 是决策位数  $b_k = 1, 2, 3$  的情况下, 系统检测概率与虚警概率的关系曲线图。由图 6 可知, 上传一位决策的策略具有最优检测性能。这是因为大多数情况下, 无线传感器网络中节点之间的链路质量是相似的, 一旦某一个链路出现严重衰落, 多位决策将为系统带来大量的误差, 并需要更多质量良好的链路来平衡。因而传感器节点上传一位决策的策略不仅能节省传感器节点的能量和带宽, 还有利于提高系统的检测性能。

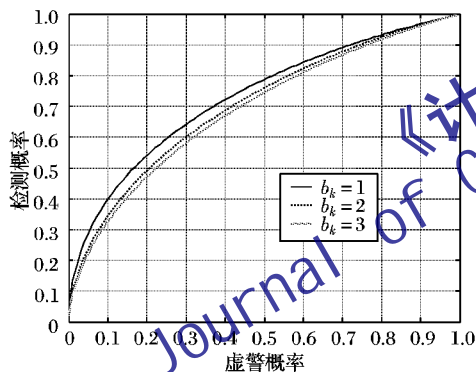


图 6 不同决策位数下系统检测、虚警概率关系

## 6 结语

本文对衰落信道环境、误码率、衰落信道对检测概率的影

响以及最优决策位数进行了详细的理论分析和仿真试验。结果表明: 1) 无线传感器网络中信号传输时受到瑞利衰落的乘性干扰和噪声的加性干扰; 2) 信道衰落必然伴随着误比特, 且在瑞利信道中, 误码率将一直维持在一个较高的水平; 3) 瑞利衰落下的网络检测概率明显低于理想信道, 且当网络虚警概率为 0.1 时, 网络检测性能下降将近 60%; 4) 传感器节点上传一位决策的策略不仅能节省传感器节点的能量和带宽, 还有利于提高系统的检测性能。

## 参考文献:

- [1] 翟建设, 李娜, 吴青. 基于分簇的无线传感器网络簇内数据融合算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(11): 134 - 136.
- [2] 夏怡凡, 鲁万波. 衰减信道下的决策融合问题[J]. 数理统计与管理, 2008, 27(6): 1127 - 1133.
- [3] 侯飞, 刘群. 基于次序编码的无线传感器网络数据融合算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(9): 2510 - 2513.
- [4] JAYAWEEERA S K. Large system performance of power constrained decentralized detection with analog local processing [C]// 2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2005: 1083 - 1088.
- [5] 任秀丽, 田洋. 传感器网络中基于预处理证据理论的数据融合[J]. 计算机应用, 2011, 31(7): 1993 - 1994.
- [6] LI D, WONG K, HU Y *et al.* Detection, classification, and tracking of targets [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2002, 19(2): 17 - 29.
- [7] MARK P W, ZHUANG WEIHUA. 无线通信与网络 [M]. 李骞, 郭继昌, 译. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [8] PROAKIS J P, SALEHI M. Communication systems engineering [M]. New Jersey: Pearson Education, 2002.
- [9] 陈义平, 卞红雨, 时颖. 瑞利衰落信道下 DCSK 系统性能分析[J]. 通信技术, 2007, 40(10): 7 - 10.
- [10] HOLGER K, ANDREAS W. Protocols and architectures for wireless sensor networks [M]. 邱天爽, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [11] 高晨. 多径衰落信道对传输信号的影响[J]. 信息技术, 2008, 16(8): 1123 - 1125.
- [12] 李燕君, 王智, 孙优贤. 资源受限的无线传感器网络基于衰减信道的决策融合[J]. 软件学报, 2007, 18(5): 1130 - 1137.
- [13] CHEN BIAO, JIANG RUIXIANG, KASETKASEM T, *et al.* Channel aware decision fusion in wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(12): 3454 - 3458.

(上接第 807 页)

- [9] WU C H, LEE K C, CHUNG Y C. A Delaunay triangulation based method for wireless sensor network deployment [J]. Computer Communications, 2007, 30(7): 2744 - 2752.
- [10] CARDEI M, YANG Y, WU J. Non-uniform sensor deployment in mobile wireless sensor networks [C]// WoWMoM 2008: 2008 International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2008: 1 - 8.
- [11] BAI X, KUMAR S, XUAN D, *et al.* Deploying wireless sensors to achieve both coverage and connectivity [C]// Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2006: 131 - 142.
- [12] BAI X, YUN Z, XUAN D, *et al.* Deploying four-connectivity and full-coverage wireless sensor networks [C]// Proceedings of the 27th Conference on Computer Communications. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2008: 296 - 300.
- [13] BAI X, XUAN D, YUN Z, *et al.* Complete optimal deployment patterns for full-coverage and  $k$ -connectivity wireless sensor networks [C]// Proceedings of the 9th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2008: 401 - 410.
- [14] KANG C W, CHEN J H. Multi-objective evolutionary optimization of 3rd differentiated sensor network deployment [C]// Proceedings of the 11th Annual Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation Conference. New York: ACM Press, 2009: 2059 - 2064.
- [15] DHILLON S S, CHAKRABARTY K. Sensor placement for effective coverage and surveillance in distributed sensor networks [J]. Wireless Communications and Networking, 2003, 5(3): 1609 - 1614.