

## 一种高效覆盖的水下传感器网络部署策略

黄艳<sup>①②</sup> 梁犇<sup>①</sup> 于海斌<sup>①</sup>

<sup>①</sup>(中国科学院沈阳自动化研究所工业信息学重点实验室 沈阳 110016)

<sup>②</sup>(中国科学院研究生院 北京 100039)

**摘要:** 传感器节点的部署直接关系到水下传感器网络的成本和性能。考虑到传感器节点间具有很强的协同能力, 该文提出一种基于检测融合的部署策略。采用 Neyman-Pearson 准则融合单元网格内所有传感器节点的检测信息, 实现正方形和正三角形两种单元网格的高效覆盖, 进而分别给出针对两种单元网格的监测区域网格划分方法, 从而确定监测区域需要的传感器节点数量以及放置的具体位置。通过仿真实验验证了该部署策略的有效性。结果表明, 与不采用检测融合时相比, 降低了传感器节点冗余度。使用相同数量的传感器节点, 新的部署策略能够在保证一定感知质量的基础之上获得更大的覆盖范围。

**关键词:** 水下传感器网络; 检测融合; 部署; 覆盖

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)05-1035-05

## A Deployment Strategy for Effective Coverage in Underwater Sensor Networks

Huang Yan<sup>①②</sup> Liang Wei<sup>①</sup> Yu Hai-bin<sup>①</sup>

<sup>①</sup>(Key Laboratory of Industrial Informatics, Shenyang Institute of Automation,  
Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

<sup>②</sup>(Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Sensor deployment is related directly to the cost and performance of underwater sensor networks. Considering great cooperative capability of sensor nodes, this paper presents a deployment strategy based on detection fusion. Neyman-Pearson criterion is adopted to fuse the detection information from all sensor nodes in one unit grid, which realizes highly efficient coverage for square and triangle unit grid. The grid plot methods of detection field are presented respectively for two types of unit grid. The number of sensor nodes to monitor the detection field and their locations are determined consequently. The effectiveness of proposed deployment strategy is verified by simulation experiments. The results indicate that sensor node redundancy is decreased in contrast to deployment strategy without detection fusion. With fixed quantity of sensor nodes, the new deployment strategy offers larger coverage area with the desired detection accuracy.

**Key words:** Underwater sensor networks; Detection fusion; Deployment; Coverage

### 1 引言

水下传感器网络是由大量易于部署, 具有水声通信与计算能力的低成本传感器节点构成的水下监视网络系统。由于可以广泛地应用于海洋数据收集、污染监测、辅助导航和战术监视等领域, 水下传感器网络引起了广泛的重视, 已成为当前研究热点之一<sup>[1]</sup>。

传感器节点的部署反映了传感器网络的成本和性能<sup>[2,3]</sup>。好的部署策略能很大程度地增强传感器网络的感知质量, 减少成本。一般而言, 反映传感器网络感知质量的覆盖问题<sup>[4]</sup>被认为是衡量部署效果的主要指标。传感器网络的覆盖问题

主要分为两类: 确定性覆盖和随机覆盖。监测区域的特性未知时, 传感器节点只能被飞行器或潜艇随机地放置在监测区域内, 需要研究的内容为随机覆盖问题。如果监测区域的大小和特性已知, 如何放置传感器节点, 以保证使用最少数目的传感器覆盖该区域成为需要研究的内容, 即确定性覆盖问题。确定性覆盖问题研究中通常基于预定义的形状设定静态传感器网络, 比如格栅形。由于水下传感器节点布设困难、成本较高, 水下传感器网络多采用确定性的布设方式。

传感器网络本质上是一个分布式系统, 网络中的传感器节点只有局部信息且覆盖范围小。但是, 传感器节点间具有很强的协同能力, 可以通过协同信息处理提高检测性能。为此, Wang Bang 等人<sup>[5,6]</sup>提出了信息覆盖这一概念, 并且研究了信息覆盖对参数估计的影响。Wang Wei 等人<sup>[7]</sup>从多个

2008-01-04 收到, 2008-12-22 改回

国家自然科学基金(60434030, 60725312, 60704046)和辽宁省青年人才基金(3040004)资助课题

传感器节点进行协同信息处理的角度刻画了检测覆盖区域。通过采用求和或者  $l^2$ -norm 融合准则融合多个传感器节点的检测信息,在虚警概率和漏检概率不变的情况下扩大了有效感知区域。Zou 等人<sup>[8]</sup>提出一种理论分析模型 TAM,用于分析 3 个传感器节点的协作检测能力以及采用六角形拓扑结构的传感器网络的传感器节点密度。

本文面向大量小声呐基阵组成的水下传感器网络,提出一种基于检测融合的部署策略。首先采用 Neyman-Pearson 准则融合单元网格内所有传感器节点的检测信息,实现正方形和正三角形两种单元网格的高效覆盖。进而分别给出对应的监测区域网格划分方法,从而确定监测区域需要的传感器节点数量以及放置的具体位置。通过仿真实验,比较采用与不采用检测融合时的性能,讨论参与融合节点的选择问题。

## 2 检测概率模型

### 2.1 单部声呐接收机的检测概率模型

考虑具有假设  $H_0$  和  $H_1$  的二元假设问题,  $H_0$  表示没有目标,  $H_1$  表示目标出现。假设各部声呐工作在被动接收方式,接收机输出服从高斯分布。这种假设适用于典型的被动声呐接收机,例如平方积分处理器<sup>[9]</sup>。接收机输出的概率密度函数分别为

$$p_N(x) = \frac{1}{\sigma_N \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - M_N)^2}{2\sigma_N^2}\right], \text{ 在 } H_0 \text{ 时} \quad (1)$$

$$p_{S+N}(x) = \frac{1}{\sigma_{S+N} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - M_{S+N})^2}{2\sigma_{S+N}^2}\right], \text{ 在 } H_1 \text{ 时} \quad (2)$$

其中  $M_N$ ,  $\sigma_N^2$  为输出噪声的均值和方差,  $M_{S+N}$ ,  $\sigma_{S+N}^2$  为信号加噪声的均值和方差。设接收机的检测门限为  $V_T$ , 令  $y_1 = (V_T - M_N)/\sigma_N$ ,  $y_2 = -(V_T - M_{S+N})/\sigma_{S+N}$ , 则第  $i$  部声呐的虚警和检测概率为

$$P_{F_i} = \int_{V_T}^{\infty} p_N(x) dx = 1 - \Phi(y_1) \quad (3)$$

$$P_{D_i} = \int_{V_T}^{\infty} p_{S+N}(x) dx = \Phi(y_2) \quad (4)$$

对于一般的信号处理系统常定义输出功率信噪比为  $d_i = (M_{S+N} - M_N)^2/\sigma_N^2$ 。不失一般性,令单独存在噪声时的均值  $M_N = 0$ 。在远距离探测的情况,可视为信号均方差远小于噪声均方差,即  $\sigma_{S+N} \approx \sigma_N$ , 因此有

$$y_2 = \sqrt{d_i} - V_T/\sigma_N = \sqrt{d_i} - y_1 \quad (5)$$

设目标声源级为 SL, 中心频率为  $f$ , 环境噪声级为 NL。所有的声呐基阵性能相同: 接收指向性指数为 DI; 能量检测的积分增益为  $5 \lg BT$ 。声信号在海洋中的传播损失采用以下模型<sup>[9]</sup>:

$$TL(R_i) = 20 \lg R_i + \alpha R_i \quad (6)$$

式中  $R_i$  为目标与第  $i$  部声呐接收机之间的距离(单位 m),  $\alpha$  为吸收系数(单位 dB/m)。当  $f < 10 \text{ kHz}$  时,  $\alpha = 0.007 f^2 + 0.263 f^2/(2.9 + f^2)$  (dB/km)。被动声呐方程为

$$DT = SL - TL(R_i) - NL + DI \quad (7)$$

式中  $DT = 5 \lg d_i - 5 \lg BT$  为检测阈。

### 2.2 融合系统的检测概率模型

分布式水声信号检测融合系统由融合中心和  $N$  部声呐组成。各部声呐根据相互独立的观测做出判决,并将判决结果送至融合中心。其中,用  $u_i$  表示第  $i$  部声呐的判决,  $u_i = 0$  表示判断没有目标,  $u_i = 1$  表示判断目标出现。融合中心对所有声呐的判决  $\mathbf{U} = (u_1, \dots, u_N)$  进行融合,并形成融合系统的最终判决  $u_0$ 。

Thomopoulos<sup>[10]</sup>证明了在给定的虚警概率下,为了获得最大的检测概率,最优化融合规则为 Neyman-Pearson 判决准则:

$$\delta(\mathbf{U}) = P(u_0 = 1 | \mathbf{U}) = \begin{cases} 1, & \Lambda(\mathbf{U}) > t \\ \gamma, & \Lambda(\mathbf{U}) = t \\ 0, & \Lambda(\mathbf{U}) < t \end{cases} \quad (8)$$

其中  $\delta(\mathbf{U})$  为给定向量  $\mathbf{U}$  时融合中心判断目标出现的概率,  $t$  为融合中心判决门限,  $\gamma$  为随机化因子,  $0 < \gamma < 1$ ,  $\Lambda(\mathbf{U}) = P(\mathbf{U} | H_1)/P(\mathbf{U} | H_0)$  为似然比。

融合中心的最优融合判决依赖于各部声呐的检测概率  $P_{D_i}$  和虚警概率  $P_{F_i}$ 。由式(8),可以求出融合中心的虚警概率  $P_F^f$  和检测概率  $P_D^f$ :

$$P_F^f = E[\delta(\mathbf{U}) | H_0] = \sum_{\mathbf{U}} \delta(\mathbf{U}) P(\mathbf{U} | H_0) \\ = \sum_{\Lambda(\mathbf{U}) > t} P(\mathbf{U} | H_0) + \gamma \sum_{\Lambda(\mathbf{U}) = t} P(\mathbf{U} | H_0) \quad (9)$$

$$P_D^f = E[\delta(\mathbf{U}) | H_1] = \sum_{\mathbf{U}} \delta(\mathbf{U}) P(\mathbf{U} | H_1) \\ = \sum_{\Lambda(\mathbf{U}) > t} P(\mathbf{U} | H_1) + \gamma \sum_{\Lambda(\mathbf{U}) = t} P(\mathbf{U} | H_1) \quad (10)$$

## 3 基于检测融合的部署策略

对于一个给定的监测区域,假设水下传感器网络中所有传感器节点具有相同的性能。已知 SL,  $f$ , NL,  $P_{F_i}$  和  $P_{D_i}^f$ , 为了保证目标在区域内的任一点都能达到期望的检测概率  $P_{\text{reqd}}$ , 或称为达到全覆盖,本文提出一种基于检测融合的部署策略。首先利用分布式检测融合算法实现单元网格的高效全覆盖,然后给出监测区域的网格划分方法。如图 1 所示,给出两个描述传感器节点性能的定义:

**定义 1** 保证达到期望的检测概率  $P_{\text{reqd}}$  条件下,目标与传感器之间的最大距离为  $R_{\text{reqd}}$ 。

**定义 2** 保证达到有效的检测概率  $P_{\text{effc}}$  条件下,目标与传感器之间的最大距离为  $R_{\text{effc}}$ 。

### 3.1 基于检测融合的单元网格覆盖

多个传感器节点可以组成多种类型的单元网格,比较常

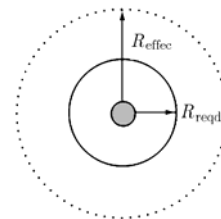


图 1 节点性能

见的有两种方式，如图 2 所示。其中，传感器节点位于单元网格的各个顶点，任意两个传感器节点之间的距离分别为  $D_S$  (正方形单元网格) 和  $D_T$  (正三角形单元网格)。通过把监测区域模型化为网格，监测区域达到全覆盖的问题就转化为单元网格达到全覆盖的问题。单元网格是否达到全覆盖，由  $D_S$  和  $D_T$  决定。如图 3 所示， $D_S$  和  $D_T$  的取值存在 3 种情况：情况 1 中  $D_S, D_T < 2R_{reqd}$ ；情况 2 中  $D_S = D_T = 2R_{reqd}$ ；情况 3 中  $2R_{reqd} < D_S, D_T < 2R_{effec}$ 。

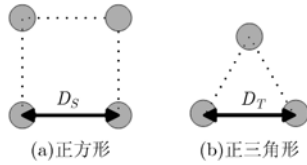


图 2 两种单元网格

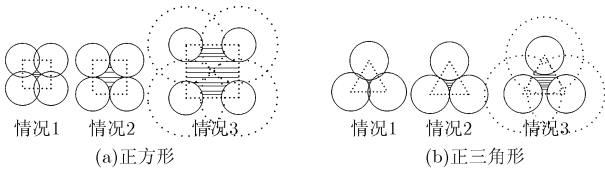


图 3 不同类型单元网格的 3 种情况

由定义 1 可知，每个以实线圆为边界的圆形区域内部达到全覆盖。为了实现整个单元网格的全覆盖，图 3 中的阴影区域必须实现全覆盖。当目标位于阴影区域中的某一点时，位于单元网格各个顶点的传感器节点都可以检测到目标，通过融合这些传感器节点的局部检测信息，可以提高对目标的检测概率。因此，对于位于阴影区域中的目标，按照下述步骤计算检测概率：

(1) 位于单元网格各个顶点的传感器节点，首先由式(6)和式(7)求出  $d_i$ ，然后对于给定的虚警概率  $P_{F_i}$ ，由式(3)，式(4)和式(5)求出  $P_{D_i}$ ；

(2) 已知参与融合的各传感器节点的检测概率  $P_{D_i}$  和虚警概率  $P_{F_i}$ ，再给定融合中心的虚警概率  $P_F^f$ ，由式(9)求出融合中心的判决门限  $t$  与随机化因子  $\gamma$ ，再由式(10)求出融合中心的检测概率  $P_D^f$ 。

存在使单元网格达到全覆盖的  $D_{Smax}$  和  $D_{Tmax}$ ，并且  $D_S = D_{Smax}$ ， $D_T = D_{Tmax}$  时整个网络的性价比最高。其中，情况 2 为临界情况。如果情况 2 时单元网格达到全覆盖则  $2R_{reqd} < D_{Smax}, D_{Tmax} < 2R_{effec}$ ，否则  $D_{Smax}, D_{Tmax} < 2R_{reqd}$ 。情况 2 时单元网格是否达到全覆盖取决于阴影区域的最小检测概率  $P_{min}$ 。

由于无法确定阴影区域内具有最小检测概率的点的位置，需要对该区域进行网格化，然后计算所有交点的检测概率。如果所有交点的检测概率都不低于  $P_{reqd}$ ，就认为达到全覆盖。网格化时步长的大小决定了判断的准确性，步长越小，

判断的准确性越高，可通过多次实验选定。步长选定后，就可以通过搜索求解  $P_{min}$ ，由此确定  $D_{Smax}$  和  $D_{Tmax}$  的范围，进而搜索求解得到  $D_{Smax}$  和  $D_{Tmax}$ 。

### 3.2 监测区域的网格划分

**3.2.1 正方形单元网格** 对于  $D_S$  取值存在的 3 种情况，正方形单元网格的参数如图 4 所示。虚线正方形区域为正方形单元网格中实现全覆盖的最大规则区域。 $r_s$  为传感器节点与虚线正方形区域的边界在  $x$  轴和  $y$  轴上的距离。其中， $r_s = \sqrt{R_{reqd}^2 - (D_S/2)^2}$ 。情况 2 和情况 3 中  $r_s = 0$ 。对于一个长为  $L$ ，宽为  $W$  的长方形监测区域，采用如下的网格划分方法：

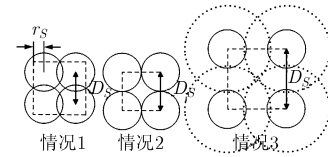


图 4 正方形单元网格的参数

(1) 距离底边界  $r_s$  处作一条与底边界平行的辅助线，同样地，距离左边界  $r_s$  处作一条与左边界平行的辅助线，两条辅助线相交于点  $o_s$ ；

(2) 以  $o_s$  为起点，分别以  $D_S$  为线段长度等分两条辅助线，如果  $(L - r_s)/D_S$  的余数不大于  $r_s$ ，与底边界平行的辅助线的等分线段个数  $N_{SL}$  为  $\lfloor (L - r_s)/D_S \rfloor$ ，否则为  $\lfloor (L - r_s)/D_S \rfloor + 1$ ，如果  $(W - r_s)/D_S$  的余数不大于  $r_s$ ，与左边界平行的辅助线的等分线段个数  $N_{SW}$  为  $\lfloor (W - r_s)/D_S \rfloor$ ，否则为  $\lfloor (W - r_s)/D_S \rfloor + 1$ ；

(3) 分别以两条辅助线上的等分点为起点以夹角  $90^\circ$  作射线，这样就将整个区域划分成正方形网格，各个正方形的顶点就为传感器节点的位置。

**3.2.2 正三角形单元网格** 对于  $D_T$  取值存在的 3 种情况，正三角形单元网格的参数如图 5 所示。虚线长方形区域为正三角形单元网格中实现全覆盖的最大规则区域。 $l_T$  和  $(w_{1T}$ 、 $w_{2T})$  分别为传感器节点与虚线长方形区域的边界在  $x$  轴和  $y$  轴上的距离。其中， $l_T = R_{reqd} \times \cos(\arccos(D_T/2R_{reqd}) + 60^\circ)$ ， $w_{1T} = \sqrt{R_{reqd}^2 - (D_T/2 - l_T)^2}$ ， $w_{2T} = \sqrt{R_{reqd}^2 - (D_T/2)^2}$ 。情况 2 和情况 3 中  $w_{2T} = 0$ 。对于一个长为  $L$ ，宽为  $W$  的长方形监测区域，采用如下的网格划分方法：

(1) 距离底边界  $w_{2T}$  处作一条与底边界平行的辅助线，同

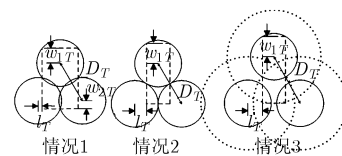


图 5 正三角形单元网格的参数

样地, 距离左边界  $-l_T$  处作一条与左边界平行的辅助线, 两条辅助线相交于点  $o_T$ ;

(2) 以  $o_T$  为起点, 以  $D_T$  为线段长度等分与底边界平行的辅助线, 如果  $(L+l_T)/D_T$  的余数不大于  $R_{\text{reqd}} - l_T$ , 与底边界平行的辅助线的等分线段个数  $N_{TL}$  为  $\lfloor (L+l_T)/D_T \rfloor$ , 否则为  $\lfloor (L+l_T)/D_T \rfloor + 1$ ;

(3) 以  $o_T$  为起点, 再以  $\sqrt{3}D_T/2$  为线段长度等分与左边界平行的辅助线, 如果  $(W-w_{2T})/(\sqrt{3}D_T/2)$  的整数部分为偶数且余数不大于  $w_{2T}$ , 与左边界平行的辅助线的等分线段个数  $N_{TW}$  为  $\lfloor (W-w_{2T})/(\sqrt{3}D_T/2) \rfloor$ , 否则为  $\lfloor (W-w_{2T})/(\sqrt{3}D_T/2) \rfloor + 1$ , 如果  $(W-w_{2T})/(\sqrt{3}D_T/2)$  的整数部分为奇数且余数不大于  $w_{1T}$ , 与左边界平行的辅助线的等分线段个数  $N_{TW}$  为  $\lfloor (W-w_{2T})/(\sqrt{3}D_T/2) \rfloor$ , 否则为  $\lfloor (W-w_{2T})/(\sqrt{3}D_T/2) \rfloor + 1$ ;

(4) 以与底边界平行的辅助线上的等分点为起点以夹角  $60^\circ$  和  $120^\circ$  作射线, 以与左边界平行的辅助线上的等分点为起点作与底边界平行的射线, 这样就将整个区域划分成正三角形网格, 各个正三角形的顶点就为传感器节点的位置。

从上面网格划分的过程可知, 采用正方形单元网格和正三角形单元网格时需要的传感器节点数分别为:  $N_S = (N_{SL} + 1) \times (N_{SW} + 1)$  和  $N_T = (N_{TL} + 1) \times (N_{TW} + 1)$ 。

## 4 仿真分析

### 4.1 仿真设置

仿真实验的参数设置为: 系统参数  $SL = 110\text{dB}$ ,  $f = 2000\text{Hz}$ ,  $NL = 55\text{dB}$ ,  $P_F = 0.1$ ,  $P_{\text{reqd}} = 0.9$ ; 传感器参数  $DI = 15\text{dB}$ ,  $BT = 4000$ ,  $P_{\text{effec}} = 0.5$ ,  $R_{\text{reqd}} = 12.2\text{km}$ ,  $R_{\text{effec}} = 16\text{km}$ 。

根据传感器网络的特点和实际应用的需求引入评判标准: 覆盖效率  $CE = C_{SN} / \sum_{i=1, \dots, N} A_i$ 。其中,  $A_i$  表示第  $i$  个传感器节点达到全覆盖的区域的面积,  $N$  表示传感器节点的数目,  $C_{SN}$  表示  $N$  个传感器节点协同工作达到全覆盖的区域的面积,  $C_{SN} = \bigcup_{i=1, \dots, N} A_i + A_F$ ,  $A_F$  为通过融合才达到全覆盖的区域的面积, 即阴影区域的面积。不采用检测融合时,  $A_F = 0$ 。覆盖效率反映了节点的冗余程度, 覆盖效率越高, 节点冗余度越小, 反之节点冗余度越大。

### 4.2 仿真比较

经过多次实验, 选定  $d = 0.1\text{km}$ 。求得情况 2 时阴影区域的最小检测概率分别为  $P_{S_{\min}} = 0.5854$  和  $P_{T_{\min}} = 0.8297$ 。可知,  $D_{S_{\max}}, D_{T_{\max}} < 2R_{\text{reqd}}$ 。然后分别求得  $D_{S_{\max}} = 20.3\text{km}$  和  $D_{T_{\max}} = 23.2\text{km}$ 。计算得到  $r_S = 6.8\text{km}$ ,  $l_T = 2.5\text{km}$ ,  $w_{1T} = 8.2\text{km}$ ,  $w_{2T} = 3.8\text{km}$ 。情况 2 时阴影区域不能达到全覆盖, 所以我们在情况 1 搜索得到了  $D_{S_{\max}}$  和  $D_{T_{\max}}$ , 这是阴影区域采用检测融合的情况。如果不采用检测融合, 对于正方形单元网格, 情况 2 时只要再增加一个传感器节点也能实现阴影区域的全覆盖; 对于正三角形单元网格, 情况 1 时只要  $D_T = \sqrt{3}R_{\text{reqd}} \approx 21.1\text{km}$  同样也能实现

全覆盖, 如图 6 所示。

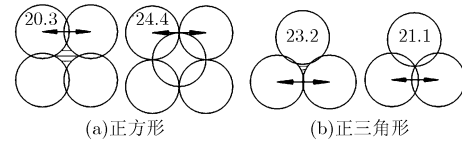


图 6 采用与不采用检测融合算法的比较

令  $L = 65\text{km}$ ,  $W = 45\text{km}$ , 使用 3.2 节的网格划分方法划分该监测区域, 如图 7 和图 8 所示。对于正方形单元网格, 图 7(a) 中  $N = 12$ ,  $C_{SN} = 5069\text{km}^2$ ,  $CE \approx 0.90$ ; 图 7(b) 中  $N = 17$ ,  $C_{SN} = 5937\text{km}^2$ ,  $CE \approx 0.75$ ; 对于正三角形单元网格, 图 8(a) 中  $N = 12$ ,  $C_{SN} = 5542\text{km}^2$ ,  $CE \approx 0.99$ ; 图 8(b) 中  $N = 12$ ,  $C_{SN} = 4974\text{km}^2$ ,  $CE \approx 0.89$ 。

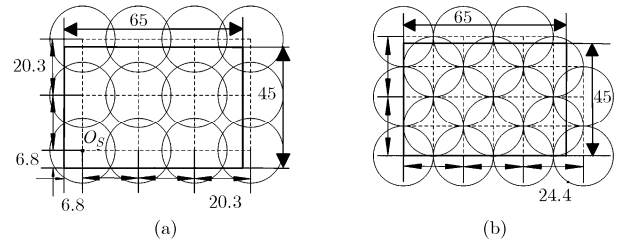


图 7 正方形单元网格划分的性能比较

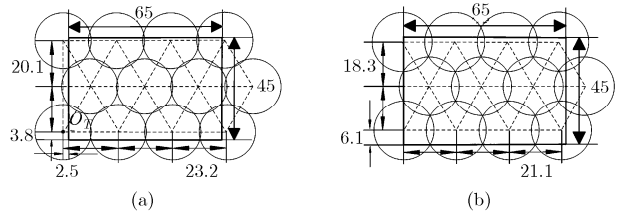


图 8 正三角形单元网格划分的性能比较

对于一个给定的监测区域, 通过比较可知: 单元网格为正方形时, 采用检测融合可以减少需要的传感器数量并且使覆盖效率提高了  $(0.90 - 0.75)/0.75 \approx 20\%$ ; 单元网格为正三角形时, 虽然采用与不采用检测融合需要相同数量的传感器, 但是采用检测融合使覆盖效率提高了  $(0.99 - 0.89)/0.89 \approx 11\%$ 。总之, 使用相同数量的传感器节点, 基于检测融合的部署策略可以获得更大的覆盖范围, 也就是在保证一定感知性能的情况下减少了成本。

### 4.3 参与融合节点的选择

当目标位于单元网格阴影区域中的某一点时, 除了位于单元网格各个顶点的传感器节点, 网络中该单元网格附近的一些传感器节点也可能检测到目标, 这里存在一个问题: 哪些传感器节点参与融合才是最优?

以正方形单元网格为例, 仿真场景如图 9 所示。  $S_i$  为第  $i$  个声呐基阵, 点  $Z$  为正方形单元网格中阴影区域的中心点,

目标在该点的检测概率为  $P_d$ 。仿真得到, 检测性能与参与融合节点个数  $n$  的关系, 如图 10 所示。 $S_1 \sim S_4$  参与融合时,  $P_d = 0.5854$ ;  $S_1 \sim S_8$  都参与融合时,  $P_d = 0.5948$ 。由于  $S_5 \sim S_8$  距离点  $Z$  较远, 所以参与融合后检测性能的改善较小。可见, 增加参与融合节点的数量可以提高检测概率, 但是不同位置的传感器节点对检测概率的贡献是不同的。实际应用中需综合考虑通信代价和融合增益, 来选择参与融合的节点。

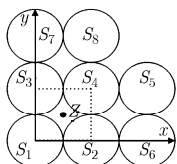
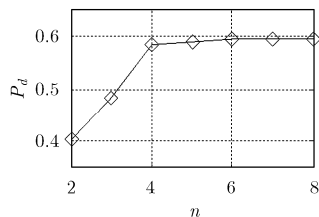


图 9 仿真场景

图 10  $P_d$  与  $n$  的关系

## 5 结论

在构建水下传感器网络时, 部署策略是首要考虑的问题。对于一个给定的监测区域, 至少需要多少传感器节点、如何部署才能实现保证一定服务质量的覆盖, 直接关系到整个传感器网络的成本和性能。本文提出了一种基于检测融合的部署策略。通过仿真比较采用与不采用检测融合时的性能可知, 使用相同数量的传感器节点, 基于检测融合的部署策略可以获得更大的覆盖范围。也就是, 在保证一定感知性能的情况下减少了成本。本文针对的是二维监测区域, 下一步的工作是考虑更为符合水下传感器网络应用环境的三维情况。

## 参 考 文 献

- [1] Heidemann J, Wei Ye, and Wills J, *et al.* Research challenges and applications for underwater sensor networking. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Las Vegas, 2006, 1: 228-235.
- [2] Onur E, Ersoy C, and Delic H, *et al.* Surveillance wireless sensor networks: Deployment quality analysis. *IEEE Network*, 2007, 21(6): 48-53.
- [3] Onur E, Ersoy C, and Delic H. Analysis of target detection

- probability in randomly deployed sensor networks. *IEEE Communications Letters*, 2007, 11(10): 778-780.
- [4] Huang C F and Tseng Y C. A survey of solutions to the coverage problems in wireless sensor networks. *Journal of Internet Technology*, 2005, 6(1): 1-8.
- [5] Bang Wang, Wei Wang, and Srinivasan V, *et al.* Information coverage for wireless sensor networks. *IEEE Communications Letters*, 2005, 9(11): 967-969.
- [6] Bang Wang, Kee Chaing Chua, and Srinivasan V, *et al.* Scheduling sensor activity for point information coverage in wireless sensor networks. *The 4th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad hoc and Wireless Networks*, Boston, April 2006: 1-8.
- [7] Wei Wang, Srinivasan V, and Kee-Chaing Chua, *et al.* Energy-efficient coverage for target detection in wireless sensor networks. *The 6th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, Cambridge, April 2007: 313-322.
- [8] Zou Xue-yu and Cao Yang. Collaborative detection probability of mobile target for coverage in large-scale WSN. *The 3rd International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Shanghai, Sept. 2007: 2710-2714.
- [9] 田坦, 刘国枝, 孙大军. 声呐技术. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 第 1 版, 2000: 195-205.  
Tian Tan, Liu Guo-zhi, and Sun Da-jun. *Sonar Technology*. Harbin: Publishing company of Harbin Engineering University, The 1st edition, 2000: 195-205.
- [10] Thomopoulos S C A, Viswanathan R, and Bougoulias D C. Optimal decision fusion in multiple sensor systems. *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, 1987, 23(5): 644-653.

黄 艳: 女, 1981 年生, 博士生, 研究方向为无线传感器网络、信息处理。

梁 骅: 女, 1974 年生, 博士, 副研究员, 研究方向为水声传感器网络、无线传感器网络、优化调度和系统仿真等。

于海斌: 男, 1964 年生, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为无线通信、分布控制系统及网络化制造等。