

一种基于顺序博弈的 UWSNs 覆盖控制算法

钱 凌 翟玉庆

(东南大学计算机科学与工程学院 南京 211189)

摘 要 近年来,人们对海洋资源愈加重视,水下无线传感器网络在海洋数据监测、海洋军事、辅助导航等方面的应用引起了广泛关注。一个好的水下无线传感器网络覆盖控制,首先能够降低覆盖冗余,优化网络空间资源的配置;其次可以减少节点的能耗、降低网络的成本并延长节点的生命周期,使水下无线传感器网络可以更好地完成目标水域环境感知任务。提出了一种基于顺序博弈的水下无线传感器网络覆盖控制方法,用于优化水下无线传感器网络的覆盖控制,期望能够降低节点的能耗,均衡节点之间的能量,最终实现延长网络的生命周期的目标。仿真实验表明,该算法能够提高网络覆盖率和延长网络生命周期。

关键词 水下无线传感器网络,顺序博弈,覆盖控制,调整策略

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Coverage Control Algorithm Based on Sequential Game in UWSNs

QIAN Ling ZHAI Yu-qing

(School of Computer Science & Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract Recently, much attention has been paid to marine resources. Applications of underwater wireless sensor networks (UWSNs) in marine monitoring, underwater military defense, navigation and other aspects have caused wide concern. A good underwater wireless sensor network coverage control of UWSNs can reduce coverage redundancy and optimize the usage of the network resources. It can also reduce node energy consumption and prolong the life cycle of the node, so that the underwater wireless sensor network can better accomplish the goal of environment perception. This paper proposed a method of coverage control based on sequential game to optimize coverage control of underwater wireless sensor networks, which is expected to be able to reduce the energy consumption of the sensor nodes, balance the nodes energy, and achieve the goal of prolonging the network lifetime. Finally, we verified the effectiveness of the algorithm by simulation experiments in optimization of the network coverage and extension of the network life cycle.

Keywords Underwater wireless sensor networks, Sequential game theory, Coverage control, Adjustment strategy

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)^[1]由大量具有通信与计算能力的传感器节点自组织构成,可用于实时监测、感知和采集目标对象的信息。随着近年来传感技术、无线通信技术和微机电系统技术的不断发展,无线传感器网络日趋发展成熟,被应用到越来越多的领域。水下无线传感器网络(Underwater Wireless Sensor Networks, UWSNs)^[2]作为传感器网络在水下环境中的一种延伸,能够广泛地应用于水环境监测、海洋信息收集、海洋资源探测、沿海地区防御、军事入侵检测、辅助导航等众多水下场景,在水体监测和开发中发挥着重要的作用,受到了国内外研究机构和政府部门的广泛关注,相关研究人员进行了大量的研究工作,积极推动着水下无线传感器网络的技术发展和实际应用。

水下无线传感器网络是由随机部署的水下无线传感器节点通过自组织的方式连接起来的^[3]。水下无线传感器网络能够为促进海洋环境管理、资源保护、灾害监测、海洋工程、海上生产作业和海洋军事等活动提供更好的技术设备和信息平

台,因此得到了世界各国政府部门、工业界、学术界和科研机构的极大关注。美国海军研究局和空海战系统中心主持的海网 SeaWeb 项目早在 1998 年就开始了实际的水下组网实验^[4]。近几年,有更多的大学和研究机构活跃在该研究领域。我国在水下无线传感器研究方面起步较晚,但近些年我国开始重视水下无线传感器网络技术在军事、农业及环境监测等方面的应用和研究。水下无线传感器网络技术被列为国家“863”计划重点资助对象,并被纳入国家自然科学基金重点扶持项目^[5]。国内越来越多的高校和研究机构及企业如北京邮电大学、哈尔滨工程大学、东南大学、中国科学院声学所及清华大学等开始展开水下无线传感器网络相关研究。

网络覆盖是指通过对传感器节点的位置分布及感知功率的控制,实现对目标监测区域或对象的数据感知^[6]。由于节点的感知范围有限,单个节点的覆盖范围要远小于目标监测区域的面积,因此需要众多节点合作才能实现对目标的完全覆盖。网络覆盖控制问题研究的就是如何在给定节点数目的情况下,通过节点位置的选择和感知功率调整等方式使得网络中的节点相互协作,保证传感器网络完全覆盖或以较大概

本文受国家自然科学基金(61373139),江苏省自然科学基金(BK2012833),中国博士后科学基金(2014M560379)资助。

钱 凌(1982—),男,硕士,主要研究方向为智能网络;翟玉庆(1966—),男,博士,教授,主要研究方向为人工智能、信息安全和电子商务。

率覆盖被监测区域,并尽量减少冗余和网络资源的浪费,同时降低节点的能耗,延长网络的生命周期。网络覆盖控制的性能将直接影响传感器网络的服务质量,是水下无线传感器网络拓扑控制中的一个重要问题。

水下无线传感器网络的感知覆盖质量会影响网络的监测质量。每个传感器节点的内部都有一个小型的传感器,这个传感器能够监测节点周围的环境信息,但是传感器的感知范围有限,能够被传感器节点感知到的那部分区域称为被传感器节点覆盖。通过对节点感知功率的调节和节点位置的部署可以实现网络的覆盖控制,覆盖控制的性能会直接影响传感器网络对目标区域的监测质量,同时对节点的能耗也有一定的影响,对水下无线传感器网络而言具有重要意义。节点功率调节过程可以映射为一个顺序博弈过程,在收益函数的驱动下通过顺序地多次调节,节点功率能够达到一个稳定的均衡点,从而实现目标收益的优化。

本文的主要贡献如下:首先定义了水下无线传感器网络的覆盖模型和节点感知模型;然后通过建立传感器节点的顺序博弈模型,制定传感器节点的感知功率调整策略,及时调整传感器节点的感知功率;最后提出了一种基于顺序博弈的水下无线传感器网络覆盖控制算法 CCA。本文第 2 节阐述了背景知识和相关研究;第 3 节讨论了水下无线传感器网络模型和要研究的问题;第 4 节提出了一种基于顺序博弈的水下无线传感器网络覆盖控制算法 CCA;第 5 节对 CCA 算法进行了实验仿真;最后是总结。

2 相关研究

水下无线传感器网络的覆盖性问题不仅反映了网络所能提供感知服务的质量,而且通过合理的覆盖控制还可以使网络的空间资源得到优化,降低网络的成本和功耗,延长网络的寿命,使得网络更好地完成环境感知、信息获取和有效传输的任务。覆盖控制的性能会直接影响传感器网络对目标区域的监测质量,同时对节点的能耗也有一定的影响。近年来,随着水下无线传感器网络研究的开展,基于不同的应用需求,出现了很多适用于水下的传感器节点覆盖控制算法,这些算法基于水下无线传感网络的特性,从不同的角度设计了覆盖控制算法,期望能够提供更高质量的感知服务质量。文献[7]针对点覆盖的问题提出了一种基于能量的点覆盖控制算法,该算法是一种基于最大不相交集覆盖问题的启发式算法,能够有效地延长无线传感器网络的运行时间和生命周期,但是该算法仅适用于节点部署非常密集的传感器网络,当节点部署趋于稀疏时,算法的性能会面临严重的挑战。文献[8]提出了一种解决无线传感器网络中栅栏覆盖问题的算法,该算法定义了栅栏覆盖的最坏和最好情况,并针对这两种情况,提出了两种情况下的多项式时间复杂度算法,其可以较好地解决栅栏覆盖中的最坏和最好这两种情况。在区域覆盖中,由于传感器网络节点的冗余覆盖,经常会使用节点休眠调度算法来节省节点的能量、延长网络的生命周期。文献[9]通过对网络中随机部署的传感器节点进行划分,将这些传感器节点划分为多个不相交的集合,每一个集合中的节点都能实现对目标区域的完全覆盖,在同一个时刻只需激活一个集合的节点,让其他节点保持休眠状态以节省节点能量。当传感器网络中发生节点失效时,网络中可能会出现覆盖空洞的情况,针对该问题,文献[10]提出了一种无线传感器网络覆盖修复算法,该算

法首先使用分簇算法对网络中的节点进行分簇,当网络中节点的能量低于预设的最低能量阈值时,在该节点的感知范围内选择边界节点个数最多的冗余节点,将其唤醒,代替能量较低的那个节点进行工作。该算法的复杂度较低,能够有效地保持网络的覆盖率,保证网络的感知质量,同时延长网络的使用周期,但是该算法的修复效率受网络节点密度以及节点监测半径影响较大,算法的可扩展性较差。

水下传感器节点相比普通的陆上传感器节点来说,具有更强的智能性。传感器节点之间通过自组织的方式工作,节点之间既需要相互协作,又存在利益冲突,博弈论是具有利益冲突的参与者之间的策略选择,是有效分析智能实体间复杂冲突的数学工具,近年来在水下无线传感器网络研究领域有了一定的应用。顺序博弈是博弈理论中的一个非常重要的概念,采用顺序博弈的方法,通过建立顺序博弈模型使每个传感器节点在实现网络覆盖任务的同时均衡节点的能量消耗,对于延长传感器网络的生命周期来说具有重要的意义。近年来博弈理论已经在无线传感器网络中的拓扑控制、路由选择等领域有了一定的应用。文献[11]提出了一个无线传感器网络中基于节点剩余能量的博弈理论模型,在降低节点能耗的同时保持网络流量。文献[12]提出了一个基于非合作博弈和近似解的分布式算法,用于网络中节点的功率调整,并且当网络部署密集度增加的时候可以实现网络连通。文献[13]提出了一种叫做 TDMA(G-ETDMA)的分簇无线传感器网络能量有效的 MAC 协议,该协议可以降低网络中节点的能量消耗。文献[14]提出了一种基于非合作博弈的无线传感器网络功率控制算法,通过满足网络效用的最小要求来调整节点的发射功率。文献[15]提出了一种基于博弈理论的 MAC 方案,并提供了一种适合多跳无线传感器网络的中继选择机制,该方法可以在维持包转发成功率的同时保持良好的中继选择。

本文研究的是基于顺序博弈的拓扑覆盖控制算法,通过建立博弈模型,及时调整传感器节点的感知功率,在实现目标区域覆盖目标的同时,减少节点的能量开销。目标区域的有效覆盖和节点的能量利用率是水下无线传感器网络研究中的重要问题。

3 问题描述

水下无线传感器网络的主要任务就是监测区域内的环境参数,为了保证网络的监测质量,水下传感器节点通常会进行冗余部署。当节点部署完成并设定节点的感知半径以后,节点与节点之间的覆盖区域会有重叠,在这种情况下节点使用较大的感知半径会消耗较多的能量。对于一些监测精度和要求不是那么高的应用需求来说,冗余覆盖会使节点消耗不必要的能量。而对于水下传感器节点来说,节点的能量是至关重要的一个方面,当节点的电池耗尽以后,节点就会失效,所以节省节点的能量,延长节点的生存周期,对网络的性能至关重要。

为了提高水下传感器节点的能量有效性,本文提出了一种基于顺序博弈的覆盖控制算法。传感器网络中的节点均以最大的感知功率进行覆盖时会产生较大的覆盖冗余,同时节点会消耗较多的能量。水下传感器节点能量十分有限,在能量受限的水下无线传感器网络中,节约节点的能量非常重要。但是如果所有的节点均以较小的感知功率进行工作,那么目标区域的覆盖质量就会下降,严重的情况下可能会影响到网

络的监测性能。因此寻找一个节点感知功率的均衡点,使节点在完成覆盖任务的同时尽可能地减少能量的开销至关重要。本文运用顺序博弈理论对水下无线传感器网络的覆盖控制问题进行研究,通过构建节点感知功率的博弈模型,设计一种分布式的节点策略调整算法,根据节点自身和周围节点的情况,综合调节节点的感知功率,从而节省节点能量开销,均衡节点能量,延长网络生命周期。

3.1 网络模型

(1) 水下传感器网络覆盖模型

在本文的算法中,将目标监测区域划分为许多网格,网格的边长为 d ,其中 d 的大小远小于传感器节点的最大感知半径,即 $d \in R_{\max}$ 。水下传感器网络的网格划分如图 1 所示。

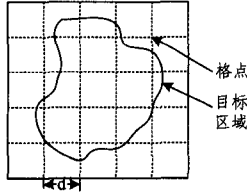


图 1 水下传感器网络的网格划分

经过划分,可以将目标区域的覆盖近似地看成网格区域的格点覆盖。因为所划分的网格非常的小,所以当传感器节点将网格的格点全部覆盖以后,目标区域也已近似地被完全覆盖了。其中网格划分时格点边长的大小决定了目标区域划分的粒度,划分网格的边长越短,所得的网格覆盖越接近于目标区域的覆盖。

(2) 传感器节点感知模型

在本文的算法中,使用的传感器节点的感知模型为二元感知模型,传感器节点的二元感知模型如式(1)所示:

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & d(i,j) < r \\ 0, & d(i,j) \geq r \end{cases} \quad (1)$$

其中, $d(i,j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$, p_{ij} 是指一个传感器节点 i 感知到一个格点 j 的概率,这个模型被称为传感器节点的二元感知模型或者 0-1 感知模型。 $d(i,j)$ 是指传感器节点 i 与格点 j 之间的距离。当 $d(i,j)$ 小于感知半径的时候,格点 j 被传感器 i 感知到的概率即为 1,当 $d(i,j)$ 大于感知半径的时候,格点 j 被传感器节点 i 感知到的概率为 0,即在传感器节点的覆盖区域内,目标格点可以被完全感知;在传感器节点的覆盖区域之外的格点,则不能被该传感器节点感知到。

3.2 相关假设

为了确保本文设计的算法可以在水下无线传感器网络中顺利执行,本节对整个系统作如下的假设:

(1) 节点随机均匀地分布在水下,当水下传感器节点部署完成以后,节点的位置不会随时间或外界条件的变化而发生改变,每个节点都可以获得自己的坐标。

(2) 传感器节点采用二元感知模型,其感知范围为以节点为中心、感知半径长度为半径的一个圆形区域,在感知范围内的区域可以被传感器节点监测到,否则不能被监测。

(3) 所有的普通节点都是同构的,即所有的节点具有相同的结构和初始能量。

(4) 节点部署密集,当所有的节点均以最大感知功率进行工作时,网络会产生较大的覆盖冗余。

(5) 网络的生命周期是指从水下无线传感器网络中的节点部署完成并初始化,到网络中出现第一个节点失效的这段时间。

3.3 相关定义

(1) 网络覆盖率

水下无线传感器网络的覆盖率是指网络中的区域在传感器节点的感知范围以内的时间与该网络运行的总时间的比例,对于基于网格划分的水下无线传感器网络来说,就是目标水域中的格点被传感器节点感知覆盖的时间占网络总工作时间的比例。假设传感器节点的感知半径设定为 R_i ,应用要求监测的目标水域面积为 S ,那么每个传感器节点可以感知覆盖目标水域中一个面积为 R_i 的圆,本节忽略节点部署在区域边界时使目标区域覆盖面积变小的影响,因此根据二元感知模型,每个传感器节点的覆盖面积为 πR_i^2 ,那么一个传感器节点能够覆盖整个目标监测水域的概率为 $p = \pi R_i^2 / S$ 。令 $p_1 = p$,如果传感器节点随机部署且不受周围节点的影响,那么当目标水域中有两个传感器节点的时候,目标水域可以被覆盖的概率为 $p_2 = 1 - (1 - p)^2$;以此类推,可以得出当目标水域中有 3 个传感器节点的时候,目标水域可以被覆盖的概率为 $p_3 = 1 - (1 - p)^3$;因此可以推出 n 个节点的覆盖概率是:

$$p_n = 1 - (1 - p)^n = 1 - (1 - \pi R_i^2 / L_x L_y)^n \quad (2)$$

其中, L_x, L_y 为目标区域所占网格的长度和宽度。

(2) 博弈模型

本节将水下无线传感器网络的覆盖控制问题建模成一个博弈 $G = \langle V, A, U(a) \rangle$,其中 V 是传感器节点的集合, A 是节点感知功率的策略集合, $U(a)$ 是传感器节点的收益函数集合。

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_N\} \quad (3)$$

$$A = \prod_{k=1}^n A_k \quad (4)$$

其中, $\forall V_k \in V, A_k = \{0, RS_1, RS_2, \dots, RS_x\}$,且 $0 < RS_1 \leq RS_2 \leq \dots \leq RS_x$ 。

$$A_{-k} = \prod_{k' \neq k} A_{k'} \quad (5)$$

$$U(a) = \{u_1(a), u_2(a), \dots, u_n(a)\} \quad (6)$$

其中, $a = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, a_k \in A_k, V_k \in V, a_{-k} = \{a_1, \dots, a_{k-1}, a_{k+1}, \dots, a_n\} \in A_{-k}$ 。

假设传感器节点的收益函数 $u_k(a)$ 为:

$$u_k(a) = N_k(a) \alpha \left(\frac{E_k(a)}{R_k(a)} \right)^\beta \quad (7)$$

其中, α 和 β 为可以调整的参数,通过对参数进行调整,可以使网络的拓扑覆盖模型适应不同的应用需求。 $N_k(a)$ 为传感器节点覆盖的格点数目函数, $E_k(a)$ 为传感器节点覆盖的剩余能量函数, $R_k(a)$ 为传感器节点感知半径函数。

令 $\Delta u_k = u_k(a_k, a_{-k}) - u_k(b_k, a_{-k}), \tilde{U}(a) = \sum_{V_k \in w} u_k(a)$,则有:

$$\begin{aligned} \Delta \tilde{U} &= \tilde{U}(a_k, a_{-k}) - \tilde{U}(b_k, a_{-k}) \\ &= \Delta u_k + \sum_{V_k \in w, i \neq k} \left\{ N_i(a_k, a_{-k})^\alpha \left(\frac{E_i(a_k, a_{-k})}{R_i(a_k, a_{-k})} \right)^\beta - \right. \\ &\quad \left. N_i(b_k, a_{-k})^\alpha \left(\frac{E_i(b_k, a_{-k})}{R_i(b_k, a_{-k})} \right)^\beta \right\} \\ &= \Delta u_k + \sum_{V_k \in w, i \neq k} \left\{ \frac{N_i(a_k, a_{-k})^\alpha E_i(a_k, a_{-k})^\beta}{R_i(a_k, a_{-k})^\beta} - \right. \\ &\quad \left. \frac{N_i(b_k, a_{-k})^\alpha E_i(b_k, a_{-k})^\beta}{R_i(b_k, a_{-k})^\beta} \right\} \\ &= \Delta u_k + \sum_{V_k \in w, i \neq k} \left\{ \right. \\ &\quad \left. \frac{N_i(a_k, a_{-k})^\alpha E_i(a_k, a_{-k})^\beta R_i(b_k, a_{-k})^\beta}{R_i(a_k, a_{-k})^\beta R_i(b_k, a_{-k})^\beta} - \right. \\ &\quad \left. \frac{N_i(b_k, a_{-k})^\alpha E_i(b_k, a_{-k})^\beta R_i(a_k, a_{-k})^\beta}{R_i(a_k, a_{-k})^\beta R_i(b_k, a_{-k})^\beta} \right\} \quad (8) \end{aligned}$$

根据 $N_k(a)$ 、 $E_k(a)$ 、 $R_k(a)$ 的定义,当 $i \neq k$ 时显然有 $N_i(a_k, a_{-k}) = N_i(b_k, a_{-k})$ 、 $E_i(a_k, a_{-k}) = E_i(b_k, a_{-k})$ 、 $R_i(a_k, a_{-k}) = R_i(b_k, a_{-k})$,所以可以得到 $\Delta \tilde{U} = \Delta u_k$,即 $\Delta \tilde{U}$ 与 Δu_k 的符号相同,因此本节所建立的 $G = \langle V, A, U(a) \rangle$ 是一个顺序潜在博弈模型。由文献[16]可得,顺序潜在博弈至少存在一个纯策略上的纳什均衡点。

4 CCA 算法

本节提出一个基于顺序博弈的水下无线传感器网络的覆盖控制算法(Coverage Control Algorithm, CCA),通过调整传感器节点的感知功率,使节点在满足覆盖要求的前提下,减少节点冗余覆盖,均衡节点的能量,减少节点的能量开销,使节点的寿命延长,从而最终使网络的生命周期得到延长。

4.1 初始化

首先对目标水域进行网格划分,然后将水下传感器节点随机地部署于目标区域水下环境,各传感器节点获得自己的坐标。设定传感器节点的初始通信半径和感知半径,将传感器节点的调整函数初始化设置为 $M(i) = 0$ 。

4.2 调整策略

为了建立一个有效的节点感知功率调整策略,在算法的执行过程中传感器节点根据自身的收益函数 $u_k(a)$ 来进行节点功率的调整。在每一轮算法中,传感器节点以概率 f_i 随机选择策略调整节点的感知功率, f_i 的表达式如下所示:

$$f_i = \begin{cases} \frac{\Delta u_i(a)}{\sum_{V_j \in V, M(j)=0} \Delta u_j(a)}, & \text{else} \\ 0, & M(i) \neq 0 \end{cases} \quad (9)$$

本轮被选择进行策略调整的传感器节点按照之前获得最大收益的策略对节点进行调整,策略调整公式如下所示:

$$a_i^\varphi = \max_{b_i \in A_i} u_i(b_i, a_{-i}^{\varphi-1}) \quad (10)$$

4.3 CCA 算法

根据以上的分析,本文的目标是通过调整传感器节点的感知策略,在满足覆盖的条件下尽可能地降低节点的能耗,均衡节点能量。本文提出了一个水下无线传感器网络中基于顺序博弈的覆盖控制 CCA 算法。在 CCA 算法中,通过建立顺序博弈模型,将传感器节点作为独立的博弈参与者,根据节点的状态逐个调整节点策略至合适等级,使得所获得的覆盖满足应用需求。CCA 算法的执行步骤如下所示:

Step 1 将目标水域进行网格划分,向网格中随机均匀部署传感器节点,节点部署完毕以后每个传感器节点获取自己的坐标位置。

Step 2 设置所有传感器节点的初始策略,并且初始化调整策略函数 $M(i) = 0$,初始化设置完成以后节点以广播的方式向周围发送通知报文消息。

Step 3 在第 φ 轮,根据调整概率公式 f_i ,随机地选择节点进行功率调整,当节点 i 在第 φ 轮进行功率调整以后将 $M(i)$ 设为 φ ,即 $M(i) = \varphi$ 。

Step 4 当节点间完成一次功率调整以后,以广播的方式向周围发送通知报文。

Step 5 重复执行 Step 2—Step 4。

4.4 复杂度分析

CCA 算法的复杂度主要由时间复杂度和报文复杂度构成,其中时间复杂度主要集中于 Step 3,整个算法总共进行了 n 轮的策略调整,Step 3 的时间复杂度是 $O(n)$,所以整个 TRA 算法的时间复杂度即为 $O(n)$,是可接受的。

5 仿真实验及结果分析

本节对前文所提出的 CCA 算法进行了实验仿真。讨论了功率调整策略数 χ 对网络覆盖率的影响,并进行了两组对比实验来测试 CCA 算法的网络覆盖率和网络生命周期。仿真程序使用 C# 语言编写。

5.1 实验环境

为了分析和比较本文所提出的 CCA 算法的性能,基于 Visual Studio 平台进行数据实验仿真,仿真程序使用 C# 语言编写实现。本节讨论了功率调整策略数 χ 对网络覆盖率的影响,并将本文所提出的 CCA 算法与文献[17]中的 OGDC 算法、RIS 算法进行了比较,通过两组对比实验来测试 CCA 算法的网络覆盖率和网络生命周期。在本文所模拟的实验环境中,采用 $80\text{m} \times 60\text{m}$ 的长方形区域作为水下传感器节点的分布区域,节点随机部署于该区域中,在实验中设置的一些节点参数和环境参数如表 1 所列。

表 1 实验参数

参数	数值
网络规模	$80\text{m} \times 60\text{m}$
普通节点初始能量	1J
Sink 节点初始能量	100J
发射功率	0.01J
感知功率	0.01J
通信半径	2m
感知半径	1m
网格边长	10cm

5.2 实验结果分析

首先通过仿真实验观察节点数量 N 对覆盖率的影响。当策略数 χ 分别取值 5, 7, 10 时,3 条曲线如图 2 所示。图 2 表明随着节点数 N 的增大,覆盖度逐渐增加,当 N 足够大时,覆盖率保持为 1,这是因为当节点部署密度过低时生成了满足完全覆盖的拓扑结构。从图 2 还可以看到策略数 $\chi = 10$ 的曲线明显高于其他 2 条曲线,因为策略数的增多使得节点可选择的覆盖半径增大,所以可以获得较高的覆盖率。

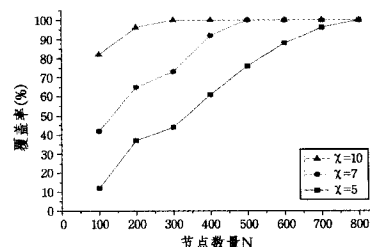


图 2 节点数量与覆盖率关系图

为了更直观地验证本文所提出的 CCA 算法的性能,通过仿真将 CCA 算法与 RIS 算法、OGDC 算法进行对比实验。图 3 显示了各算法在节点数目变化时网络覆盖率的变化趋势。从图中可以看到,CCA 的网络覆盖率要优于其他两种覆盖算法。当节点数目越来越大的时候,网络的覆盖率接近于 1。图 4 显示了各算法在不同节点数目的情况下,网络生命周期的情况。从图中可以看出随着节点数量的增多,网络的生命周期得到了延长,并且 CCA 算法相较于其他两种算法,网络生命周期更长,这是由于使用 CCA 算法使网络中节点的能量较为均衡,降低了因个别节点能量耗尽而导致网络生命周期缩短的情况。

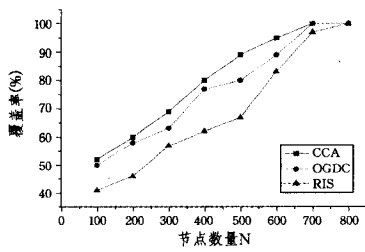


图3 网络覆盖率比较

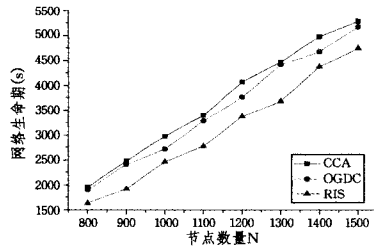


图4 网络生命周期比较

结束语 本文以水下无线传感器网络为背景,针对水下环境和水下传感器节点的特性,提出了一种基于顺序博弈的水下无线传感器网络的覆盖控制算法,运用顺序博弈理论对水下无线传感器网络的覆盖控制问题进行研究,通过建立博弈模型,设计了一种分布式的节点策略调整算法,根据节点自身和周围节点的情况,及时调整传感器节点的感知功率。仿真实验显示,本文提出的拓扑覆盖算法能够有效地优化网络的拓扑结构,均衡网络中节点的能量,延长网络的生命周期,适用于各种水下应用场景,并且能够针对各种场景的不同需求进行调整适应,可以为水下无线传感器网络的应用推广起到积极的参考意义。

参考文献

[1] 孙利民,李建中,陈渝. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005:138-153

[2] Heidemann J, Stojanovic M, Zorzi M. Underwater sensor networks: applications, advances and challenges[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society, 2012, 370(1958): 158-175

[3] Gkikopouli A, Nikolakopoulos G, Manesis S. A Survey on Underwater Wireless Sensor Networks and Applications[C]//2012 20th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED). Barcelona, Spain, July 2012

[4] Akyildiz I, Pompili D, Melodia T. Underwater Acoustic Sensor

Networks; Research Challenges[J]. Elsevier Ad hoc Networks, 2005, 3(3): 257-279

[5] 周莹. 水下无线传感器网络的研究和设计[D]. 西安:西安电子科技大学,2008

[6] Huang C F, Tseng Y C. The coverage problem in a wireless sensor network[C]//Proc. of the ACM Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. New York: ACM Press, 2003: 115-121

[7] Cardei M, Du D Z. Improving wireless sensor network lifetime through power aware organization [J]. ACM Wireless Networks, 2005, 11(3): 333-444

[8] Meguerdichian S, Koushanfar F, Potkonjak M. Worst and best-case coverage in sensor networks[J]. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2005, 4(1): 84-92

[9] Slijepcevic S, Potkonjak M. Power efficient organization of wireless sensor networks[C]//Proc. of the Int'l Conf. on Communications. Helsinki: IEEE Communication Society, 2001: 472-476

[10] 包旭, 巨永锋. 面向节点失效的无线传感器网络覆盖空洞修复算法[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(6): 1516-1519

[11] Valli R, Dananjayan P. Utility Enhancement by Game Theoretic Approach Using Square Grid Topology in WSN[C]//Process Automation, Control and Computing (PACC). 2011: 1-4

[12] Closas P, Pages-Zamora A, Fernandez-Rubio J A. A game theoretical algorithm for joint power and topology control in distributed WSN[C]//Acoustics, Speech and Signal Processing IC-ASSP, 2009: 2765-2768

[13] Raja P, Danajayan P. Game theory based ETDMA for intra-cluster wireless sensor network [C] // Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT). 2012: 272-276

[14] Zhu Yun, Xu You-yun, Liu Lu-lu, et al. A Power Control Algorithm Based on Non-cooperative Game for Wireless Sensor Networks[C]//Computational and Information Sciences (ICCIS). 2011: 718-721

[15] Lima C, de Abreu G T F. Game-theoretical Relay Selection strategy for geographic routing in Multi-hop WSNs[C]//Positioning, Navigation and Communication (WPNC). 2008: 277-283

[16] Monderer D, Shapley L. Potential games[J]. Games and Economic Behavior, 1996, 14: 124-143

[17] Zhang Hong-hai, Hou J C. Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks[J]. Journal of Ad Hoc and Sensor Wireless Networks, 2005

(上接第 205 页)

[2] 蔡晋辉,周泽魁. 机器视觉系统在桔瓣质量检测中的应用[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 129-132

[3] 全燕鸣,黎淑梅,成喜春,等. 基于机器视觉的果肉多类型异物识别方法[J]. 农业工程学报, 2011, 23(3): 162-166

[4] 李国辉,苏真伟,夏心怡. 基于不规则成像机器视觉的棉花白色异纤检测算法[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 164-167

[5] Heinemann P H, Varghese Z A, Morrow C T, et al. Machine vision inspection of Golden Delicious apples[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 11(6): 901-906

[6] 熊利荣,王树才. 基于机器视觉的鸭蛋裂纹自动检测[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(12): 3152-3154

[7] 王秀萍,何忠蛟. 不同照明条件下菌菇罐头中发丝的准确识别[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4): 264-271

[8] OpenCV 2. 3. 2 documentation[OL]. http://www.opencv.org.cn/opencvdoc/2.3.2/html/doc/tutorials/imgproc/histograms/back_projection/back_projection.html

[9] Hunt K J, Sbarbaro D, Zbikowski R, et al. Neural Networks for Control Systems—A Survey[J]. Automatica, 1992, 28(6): 1083-1112

[10] 徐阳,曹杰. 一种基于对比度阈值的改进 SIFT 算法[J]. 电子设计工程, 2012, 20(19): 174-177

[11] Hou Xiao-di, Zhang Li-qing. Computer Vision and Pattern Recognition[C]//IEEE Conference on 2007 (CVPR '07). 2007

[12] Achanta R, Hemami S, Estrada F, et al. Computer Vision and Pattern Recognition [C] // IEEE Conference on 2009 (CVPR 2009). 2009