

DOI:10.3969/j.issn.1673-4785.201304030

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20130603.1601.003.html>

带时延约束的连通目标覆盖最大化生命周期问题

梁俊斌^{1,2}, 刘明²

(1. 广西大学 计算机与电子信息学院, 广西 南宁 530004; 2. 中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:在无线传感器网络中, 如何确保网络服务质量(如覆盖、连通)同时最大化网络生命周期是研究的热点和难点. 在延时敏感的应用(如火灾、爆炸等灾害监测)中, 传感器节点必须在有限的时间内传送它们的数据到汇聚节点. 为了研究这种应用下的连通目标覆盖, 提出了一种带时延约束的连通目标覆盖问题(DCCTC). 首先, 将DCCTC建模成为限高的最大覆盖树问题(HLMCT), 并证明它是NP-Complete的. 然后, 设计了一种快速启发式算法HLCWGC求解HLMCT问题. 仿真实验和理论证明, HLCWGC在时延约束下获得的网络生命周期比已有的算法要好. 具有较高的应用价值和理论意义.

关键词:无线传感器网络; 连通目标覆盖; 最大化生命周期; 时延约束; 能量有效

中图分类号:TP393 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-4785(2013)04-319-08

中文引用格式: 梁俊斌, 刘明. 带时延约束的连通目标覆盖最大化生命周期问题[J]. 智能系统学报, 2013, 8(4): 319-325.

英文引用格式: LIANG Junbin, LIU Ming. Lifetime maximization for delay constraint connected target coverage [J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2013, 8(4): 319-325.

Lifetime maximization for delay constraint connected target coverage

LIANG Junbin^{1,2}, LIU Ming²

(1. School of Computer and Electronic Information, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The issue of guarantying the QoS (target coverage, network connectivity, etc.), and simultaneously maximizing the lifetime in wireless sensor network is a hot topic, yet difficult subject of study. In some delay-sensitive sensor networks, sensors must transmit data to sink-node within a limited time in order to monitor the critical physical environment (fires, explosions, etc.). To study connected target coverage in such delay-sensitive sensor networks, we propose to examine the delay-constraint connected target coverage (DCCTC) problem. The study, specifically, includes of: 1) modelling DCCTC problem as a Height Limited Maximum Cover Tree (HLMCT) problem and proving it is NP-complete 2) developing a fast heuristic algorithm, named HLCWGC (height-limited communication weighted greedy cover) to solve the HLMCT problem. Simulation results and theoretical researches show that HLCWGC algorithm is better than the existing algorithms in the delay-constraint sensor networks.

Keywords: wireless sensor networks; connected target coverage; lifetime maximization; delay constraint; energy efficiency

无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点, 通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织网络系统^[1-2]. 在环境监测、军事等许多应用中, 无

线传感器网络的部署就是为了使得目标能够尽可能长地被持续监测且节点感知的数据有效传送到汇聚节点, 即连通目标覆盖问题. 此外, 在灾害监测等应用中, 如火情监测、化学品监测等, 传感器节点必须在有限的时间内将它们的数据传送到汇聚节点, 否则将有可能导致网络失效. 在这种时延敏感的无线传感器网络应用中, 除了需要考虑目标覆盖和网络连通之外, 还需要考虑数据的时延. 到目前为止, 虽

收稿日期: 2013-04-15. 网络出版日期: 2013-06-03.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61103245); 广西自然科学基金资助项目(2012GXNSFBA053163).

通信作者: 刘明. E-mail: 258187069@qq.com.

然人们已经在连通目标覆盖问题上做了大量的工作,但是都没有考虑到网络中数据的时延。

根据网络的连通性要求不同,连通目标覆盖问题可以分为以下3种:不考虑连通的目标覆盖问题、单连通的目标覆盖问题、多连通的目标覆盖问题。

1) 不考虑连通的目标覆盖问题是指传感器节点只需要保证将所有目标覆盖即可,而传感器节点感知数据可以通过其他方式(如分层网络)到达汇聚节点。这类问题已经被大量研究^[3-6]。Sijepcevic^[3]提出了一种不考虑网络连通的算法来保证整个区域都被覆盖;M. Cardei 等^[4]将离散目标覆盖问题建模为 NP 完全的不相交集合覆盖问题;M. Caidei 等^[5]扩展了他们在文献[4]中的方案,提出了一种可相交集合覆盖问题,比如一个节点可以同时多个覆盖集合中;M. Caidei 等^[6]进一步扩展他们的工作,他们假设每个节点有多个感知范围来覆盖目标。

2) 单连通的目标覆盖问题是指传感器节点需要保证将所有目标覆盖的同时,还需要保证传感器节点感知数据至少有一条经过传感器节点的路径到达汇聚节点。Lu^[7]考虑了节点具有多感知范围的能量模型,通过建立一个虚拟的网络骨干,使得网络中所有节点要么在骨干上,要么是骨干上节点的邻居,然后在骨干的基础上考虑目标覆盖。但是在文献[7]中,节点能量模型仅考虑了感知能量,并且建立的面向整个网络的骨干并不是必需的。Zhao^[8]考虑了节点在进行数据接收和数据发送时的能量消耗,能实现网络内节点能量消耗的整体减少,但是没有考虑如何均衡节点的能量消耗。Zhao 等^[9]将连通目标覆盖(CTC)问题建模成最大覆盖树(MCT)问题,并且证明了最大覆盖树(MCT)问题是 NP 完全问题,给出了最大覆盖树(MCT)问题解的一个上界。然后,提出一个近似算法 App_MCT 和一个贪婪算法 CWGC 来解决 MCT 问题。在 CWGC 算法中,网络中的每个节点和每条边都被赋予一个权值。利用贪婪策略,选择合适的节点和边构造一棵覆盖整个网络区域的树。仿真实验的结果表明,App_MCT 和 CWGC 在保证覆盖率的条件下有效延长网络生命周期。

3) 多连通的目标覆盖问题是指传感器节点需要保证将所有目标覆盖的同时,还需要保证传感器节点感知数据至少有多条经过传感器节点的路径到达汇聚节点。Li 等^[10]首先证明 k 连通的目标覆盖问题是 NP 难的,然后提出了 2 种启发式算法在满足 k 连通和目标覆盖的前提下选出尽可能少的节点工作。

根据网络的覆盖要求不同,连通目标覆盖问题

可以分为以下 2 种:单覆盖要求的连通覆盖问题^[7-11]和多覆盖要求的连通覆盖问题^[12-14]。综上所述,已有的连通目标覆盖算法都是针对网络覆盖要求或连通要求展开的相关工作,但是它们在网络时延敏感的实际应用中并不适合,因为它们导致的网络时延有可能是应用难以接受的。因此本文针对网络时延敏感的应用,对带时延约束的无线传感器网络连通目标覆盖进行研究。

1 网络模型及问题定义

1.1 网络模型

分别用 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$ ($|S| = N$) 和 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_M\}$ ($|P| = M$) 表示网络中的节点集合和被监测的目标集合。用 R 来表示网络中惟一的汇聚节点,即:Sink S 、 P 和 R 就组成了整个网络的拓扑关系,网络可以用有向图 $G = (V, E)$ 进行表示,其中 $V = S \cup P \cup R$,而 E 由网络中的通信边(由 2 个节点作为端点的边)和监测边(由一个节点和一个监测对象作为端点的边)构成。如果 $|s_i - s_j| < R_c$,则 $(s_i, s_j) \in E$;如果 $|s_i - p_j| < R_s$,则 $(s_i, p_j) \in E$ 。其中 R_c 表示通信半径, R_s 表示监测(感知)半径。

用 $S_s(\tau)$ 表示在一段固定的操作时间 τ 内,所有参与了目标监测的节点的集合;用 $S_r(\tau)$ 表示在一段固定的操作时间 τ 内,所有参与了数据转发和通信的节点的集合;用 $S_a(\tau)$ 表示在一段固定的操作时间 τ 内,所有处于工作状态的节点的集合。因此,有 $S_a(\tau) = S_s(\tau) \cup S_r(\tau)$, $S_a(\tau) \subseteq S$ 。

假设网络具有如下特点:1) 每个节点在固定操作时间 τ 内,不会改变自己的工作/睡眠状态(Active/Sleep 状态);2) 每个节点的采样频率都相同;3) 数据无法汇聚;4) 单跳之间的时延相同,忽略 MAC 层的睡眠等待时间和包之间的冲突等。

1.2 问题定义

无线传感器网络中,通常把网络中节点感知的数据传送到汇聚节点的最大延时称为该网络的最大时延。在不考虑数据包与数据包之间碰撞的前提下,可以简单地用路由跳数来评价路由时延。因此在基于树的路由模型下的连通目标覆盖问题中,可以用汇聚节点为根的路由树的高度表示成该网络的最大时延。

定义 1 带时延约束的连通目标覆盖问题(delay-constraint connected target coverage problem, DC-CTC)。

在网络中,存在 M 个地理位置已知的监测目标和 N 个传感器节点,而用户要求的延时约束为 Δ ,则

DCCTC 问题就是在保证目标被完全覆盖的前提下,如何通过调度节点的工作/睡眠状态,均衡节点的网络消耗,从而最大化网络生命周期.其中,目标被完全覆盖指所有的目标均在至少一个节点的感知半径内;延时约束则是目标点的数据通过工作节点的单跳或者多跳在不超过 Δ 时间内送到 Sink.

定义 2 覆盖树问题^[9] (MCT).

给定一个有向图 $G=(V,E)$ 和节点的初始能量 $E_0(s)$, 通过找到一系列的树 $T(\tau_1), T(\tau_2), \dots, T(\tau_x)$ 和它们的操作时间 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_x$ 使得网络生命周期 L 最大化.

将问题数学化表示为

$$\begin{aligned} \max L &= \sum_{i=1}^x \tau_i; \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^x E(s, T(\tau_i)) &\leq E_0(s), \forall s \in S. \end{aligned}$$

用 $T(\tau) = (S_s(\tau) \cup S_r(\tau), E(\tau))$ 表示在操作时间 τ 内构建的高度受限的树. $T(\tau)$ 的特性如下: 1) 树根是 Sink 节点; 2) 树的叶子是负责采样的节点; 3) 每个目标至少与一个叶子节点相连.

在 $T(\tau)$ 中, 每个节点的能量消耗模型^[9] 为

$$E(s, T(\tau)) = \begin{cases} e_s B(\tau) + e_{\text{trans}} B(\tau), & s \in S_s(\tau) \text{ and } s \notin S_r(\tau); \\ (e_{\text{trans}} + e_r) B(\tau) D(s, T(\tau)), & s \notin S_s(\tau) \text{ and } s \in S_r(\tau); \\ e_s B(\tau) + e_{\text{trans}} B(\tau) + \\ \quad (e_{\text{trans}} + e_r) B(\tau) D(s, T(\tau)), & s \in S_s(\tau) \cap S_r(\tau); \\ 0, & s \notin S_s(\tau) \text{ and } s \notin S_r(\tau). \end{cases}$$

式中: $T(\tau)$ 代表在操作时间 τ 内构建的一棵树, $B(\tau)$ 代表在操作时间 τ 内节点采集到的数据包的数量; e_s 和 e_r 分别表示感知和传输 1 bit 数据的能耗, e_{trans} 表示节点发送能量, $e_{\text{trans}} = e'_{ij} = e_t + b \cdot d_{ij}^\alpha$, 其中节点 s_i 是发送节点, s_j 是接收节点, d_{ij} 是 s_i 和 s_j 之间的距离, α 表示路径衰减因子, e_t 和 b 是常量; $D(s, T(\tau))$ 表示节点 s 在 $T(\tau)$ 中的后代节点数.

定义 3 限高的覆盖树问题 (height limited maximum cover tree problem, HLMCT).

给定一个有向图 $G=(V,E)$ 、最大树高 H 和节点的初始能量 $E_0(s)$, 通过找到一系列高度限定为 H 的树 $T(\tau_1), T(\tau_2), \dots, T(\tau_x)$ 和它们的操作时间 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_x$ 使得网络的生命周期 L 最大.

问题数学化表示为:

$$\begin{aligned} \max L &= \sum_{i=1}^x \tau_i; \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^x E(s, T(\tau_i)) &\leq E_0(s), \forall s \in S; \end{aligned}$$

$$\text{Height}(T(\tau_i)) \leq H, 1 \leq i \leq x.$$

定理 1 HLMCT 问题是 NP-Complete 的.

证明 因为 MCT 问题^[9] 是假设限高 $H = \infty$ 时 HLMCT 的一个特例, MSC 问题^[5] 是假设限高 $H = 1$ 时 HLMCT 的一个特例. 根据约束策略^[15], 因为 MCT 问题和 MSC 问题是 NP-Complete 的, 所以 HLMCT 也是 NP-Complete 的. 证毕.

2 时延约束的连通目标覆盖启发式算法

本文设计了一个加权通信的限高覆盖树贪婪算法 (height-limited communication weighted greedy cover, HLCWGC) 来解决 HLMCT 问题.

2.1 HLCWGC 算法描述

HLCWGC 只需要输入网络的基本参数 S, P, R 和操作时间 τ , 经过计算即可输出一系列高度受限的覆盖树 T_1, T_2, \dots, T_x .

为了便于描述, 首先定义需要用到的一些符号: S_l 为存活节点集合, S_s 为存活节点中能覆盖目标的目标集合, P_s 为能被节点 s 覆盖的目标集合, w_s 为节点在 HLMWCT 算法中的路径权值, $W(s)$ 为节点 s 的贡献, $s \in S_s, R(s, T)$ 为在树 T 中节点 s 到 Sink R 的路径, $R(s, T) = \langle s, s_1, \dots, R \rangle$;

$\bar{R}(s, T)$ 为 $R(s, T)$ 中除了源点 s 和终点 R . HLCWGC 算法的描述如下:

- 1) $S_l = S, S_s = \emptyset, x = 1$;
- 2) for each $s \in S_l$;
- 3) $E_r(s) = E_0(s)$;
- 4) if $P_s \neq \emptyset, S_s = S_s \cup \{s\}$; end if;
- 5) end for
- 6) while $\bigcup_{s \in S} P_s = P$ and $S_l \neq \emptyset$,
- 7) phase 1:
- 8) for each link $(s_i, s_j) w_{ij} = e'_{ij} \times E_0(s_i) / E_r(s_i)$;
- end for
- 9) Build a tree with HLSPT algorithm
- 10) phase 2:
- 11) $S'_s = \emptyset, P' = \emptyset, T_x = \emptyset, \tau_x = \tau$;
- 12) while $P' \neq P$,
- 13) Find a sensor s^* with max profit $W(s^*)$
- 14) $S'_s = S'_s \cup \{s^*\}, P' = P' \cup P_{s^*}$;
- 15) for each $s \in \bar{R}(s^*, T_x)$
- 16) $w_s = w_s + (e_{\text{trans}} + e_r) B(\tau) \times w_{s^*} / E_r(s)$
- 17) end for
- 18) end while
- 19) phase 3:

20) for each $s \in S'_x, T_x = T_x \cup R(s, T_x)$; end for

21) for each $s \in T_x, \tau_x = \min(\tau_x, \frac{E_r(s)}{E_s(\tau_x, T_x)} \tau_x)$

22) for each $s \in T_x, E_r(s) = E_r(s) - E(s, T_x(\tau))$;

end for

23) Remove some nodes and edges according to Rule 1; $x = x + 1$;

24) end while

算法1)~5)是初始化过程,算法产生的每一个覆盖树都会工作固定时长 τ .把没有能量或者是能量不足以维持系统操作时间 τ_i 的节点叫做低能量节点;把那些虽然能量富裕,但是最小跳数超出 H 的节点叫做孤远节点.在每个构建新的覆盖树操作时间之前,将所有低能量节点和孤远节点从网络中删除后,网络图中仅存在有效的节点.

算法中每一轮结束的时间为

$$\tau_k = \min(\tau, \min_{s \in T_k} (\frac{E_r(s)}{E_s(\tau, T_k)} \tau)).$$

算法的每个覆盖树的构建都包含3个阶段,在第1个阶段7)~9)一棵连接各个存活节点的能量有效的限高树被构造;第2阶段10)~18)行,算法贪婪的选取节点来覆盖所有的目标;第3阶段19)~22)更新节点的能量.

在第1阶段,算法为网络中每条有向边赋权值,比如有向边 $\langle s_i, s_j \rangle$ 的权值为

$$w_{ij} = \frac{e_{ij}^t \times E_0(s_i)}{E_r(s_i)}.$$

接下来一棵限高的树被构造,因为在网络中构建一棵最小权值限高树是 NP-Complete 的.所以提出了一个启发式算法来构造最小权值的限高树,限高的最小权值树构造算法(HLSPT)的描述如下.算法返回了节点在树中的路径权值.

Construct a minimum communication weight tree

1) for each node s do;

Level(s) = 0; dad(s) = 0; dad1(s) = 0; hops(s) = 0; W(s) = 0; Status(s) = “offtree”; visited = 0;

2) for each edge $\langle s, R \rangle \in G$ do;

3) Level(s) = 1; dad(s) = s ;

W(s) = $W_{ij}(s, u)$; Status(s) = “fringe”;

4) end

5) while there is at least one “fringe” status node in G do;

6) select a fringe node v with the smallest weight among all “fringe” nodes;

7) Status(v) = “intree”;

8) for each edge $\langle u, v \rangle \in G$ do;

9) if Status(u) = “fringe” and Level(v) + 1 $\leq H$ and W(v) > W(u) + $W_{ij}(u, v)$ then

10) Level(u) = Level(v) + 1; Status(u) = “fringe”; dad(u) = v ; W(v) = W(u) + $W_{ij}(u, v)$;

11) end if

12) if Status(u) = “offtree” and Level(v) + 1 $\leq H$ then

13) Level(u) = Level(v) + 1; Status(u) = “fringe”; dad(u) = v ; W(v) = W(u) + $W_{ij}(u, v)$;

14) end if

15) end for

16) end while

17) Queue Q ; Stack S_k ; EnQueue(Q, R);

hops(R) = 0; dad1(R) = -1; visited(R) = 1;

18) While not Empty(Q)

19) $v = \text{DeQueue}(Q)$;

20) for each edge $\langle u, v \rangle \in G$ do;

21) if visited(u) = 0 then

22) EnQueue(Q, u); hops(u) = hops(v) + 1;

dad1(u) = v ; visited(u) = 1;

23) else if W(v) + $W_{ij}(u, v) < W(\text{dad1}(v)) + W_{ij}(u, \text{dad1}(v))$ and hops(u) > hops(v) then

24) dad1(u) = v ;

25) end if

26) end for

27) end while

28) for each node u such that Status(u) = “off-tree” do

29) dad(u) = dad1(u); $v = \text{dad1}(u)$; PushStack(S_k, u);

30) while dad1(v) $\neq -1$ do;

31) if Level(v) + hops(u) - hops(v) $\leq H$ then

32) break;

33) else

34) dad(v) = dad1(v); PushStack(S_k, v); $v = \text{dad1}(v)$;

35) end if;

36) end while

37) while not EmptyStack(S_k)

38) $x = \text{popStack}(S_k)$ $y = \text{dad}(x)$; W(x) = W(y) + $W_{ij}(x, y)$;

39) end while

40) end for

在第2阶段,采用贪婪策略选取相应的节点覆

盖所有的目标.算法首先给每个节点 s 赋予一个权值 $\text{Profit}(s)$:

$$\text{Profit}(s) = \frac{|P_s - P_s \cap P'|}{w_s}.$$

式中: $|P_s - P_s \cap P'|$ 代表处于节点 s 的感知范围而没有被覆盖的那些目标的集合, w_s 是节点 s 的权值,即 $R(s, T)$ 中所有边权值之和.然后算法始终选取用于最大权值的节点 (13) 来覆盖目标直到所有的目标都被覆盖为止.当某个节点 s 被选中作为采样节点后,那么 $R(s, T)$ 上的节点将更新它们的路径权值 (算法 16) 行).

在第 3 阶段,算法将选中的叶子节点以及 $R(s, T)$ 加入树 T 中,同时根据能量模型更新这些节点的能量.

2.2 限高的最小权值树构造算法 (HLSPT) 描述

算法输入的是经过规则 1 处理的图 G , 输出的是一棵最小权值树 T . 其中该树 T 是以 Sink 为根, 以图 G 中所有的有效传感器节点作为它的子孙.

算法 1)~4) 行是算法的初始化过程, 对每个节点 u 初始化了它在树 T 中的层次 $\text{Level}(u)$ 、父亲节点 $\text{dad}(u)$ 、节点的路径权值 $W(u)$ 、节点的最小跳数 $\text{hops}(u)$ 、节点在树中的状态 $\text{Status}(u)$ 、节点在最小跳数算法中的父亲 $\text{dad1}(u)$.

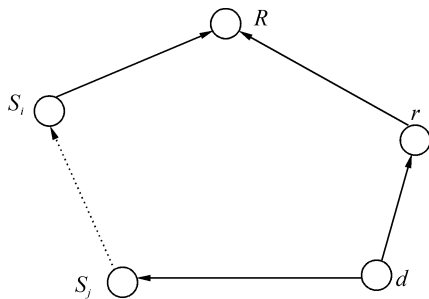


图 1 限高树的示例

Fig.1 Illustration of a height-limited tree

算法 5)~16) 行仿照 Dijkstra 算法, 构造一棵限高的最小权值树, 但是这棵树并不是图 G 的生成树, 因为部分节点虽然在离 Sink 跳数比较近, 但是在仿 Dijkstra 算法中却不会被选中. 比如: 在图 1 中, 节点 d 虽然可以两跳路径 $\langle d, r, R \rangle$ 到达 R , 但是它的路径权值要大于路径 $\langle d, S_j, \dots, S_i, R \rangle$ 的权值, 所以 d 不会被加入到路径 $\langle d, r, R \rangle$ 中. 由于树高的限制, 可能 $\langle d, S_j, \dots, S_i, R \rangle$ 超过了高度限制, 所以 d 也不能加入到 $\langle S_j, \dots, S_i, R \rangle$ 构成路径 $\langle d, S_j, \dots, S_i, R \rangle$.

算法 17)~27) 行使用了一个数据结构队列 Q 来对图 G 进行层遍历, 用 $\text{dad1}(u)$ 表示在节点 u 在层遍历中的父亲节点, $\text{hops}(u)$ 表示节点 u 距离

Sink 的最小跳数.

算法 28)~40) 行, 每个在仿 Dijkstra 算法运行后仍然为“offtree”状态的节点, 启发式地寻找一条满足限高的最小加权路径到达 Sink, 并更改相应节点的路径权值. 其中算法 29)~36) 行, “offtree”状态的节点寻找一条满足限高的最小加权路径, 并将路径上的节点 push 到一个堆栈中. 算法 37)~39) 行, 更改新路径上新加进节点的权值.

3 仿真实验与结果分析

在仿真实验中, 将 HLCWGC 算法与其他 3 种算法 CWGC、HLMSC-EWARE、HLMSC-SPT 进行比较. CWGC 不考虑延时的约束, 与 HLCWGC 算法一样, 采用贪婪策略选取节点, 但是生成网络骨干的方法与 HLCWGC 不同. HLMSC_SPT 中源节点采样到数据都通过最小路径传输到 Sink, 但是采取一种贪婪策略^[5]选取源节点. HLMSC-EWARE 是考虑延时约束后的 MSC 算法, 使用贪婪策略^[5]选取源节点, 但是采取 HLSPT 算法生成的限高加权树传输数据. 在网络最大时延和网络生命周期 2 个评价标准下评估算法 HLCWGC、CWGC、HLMSC-EWARE、HLMSC-SPT.

假设每个节点的能量初始为 20 J, 各种参数设置为 $e_t = 50$ nJ/bit、 $b = 100$ pJ/m⁴、 $\alpha = 4$ 、 $e_r = 150$ nJ/bit、 $e_s = 150$ nJ/bit; 数据的采样频率为 10 kB/s^[16]. 节点的感知半径为 $R_s = 20$ m, 传输半径为 $R_c = 40$ m. 假设网络生命周期上界为 L_{LP} , 其大小可以采用枚举的方法来获取. 所有节点随机地散布在 100 m×100 m 的区域内, Sink 节点位于区域的中心.

实验 1 测量 HLCWGC 算法与 τ 的关系. 固定网络中传感器节点数为 60, 目标数为 20, 取 $\tau = 0.1\%$ 、 0.2% 、 0.4% 、 0.6% 、 0.8% 、 1% L_{LP} 时, 设置网络时延上限 H 为 20 和 10 时, 得到的结果绘制成图 2.

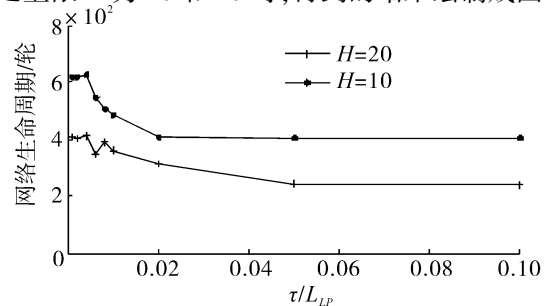


图 2 HLCWGC 算法生命周期与 τ 的关系

Fig.2 The relationship of HLCWGC algorithm's lifetime with τ

在图2中,可以看到网络生命周期随 τ 的减少呈现出递增的趋势.但是, τ 越小,则HLCWGC构造的树的数量就越多,这会增大算法的开销.因此,在以下的实验中,将在网络生命周期和算法开销两方面进行平衡,取 $\tau = 1\%L_{IP}$.

实验2 测量HLCWGC算法与网络节点的关系.假设网络中有20个目标,分别测试传感器节点数量为50、60、70、80、90、100、110、120、130时算法的性能.在网络时延约束为20、10、5 3种情况下比较各种算法对网络生命周期的影响.

首先,设置网络时延约束 $H = 20$,得到的结果如图3.

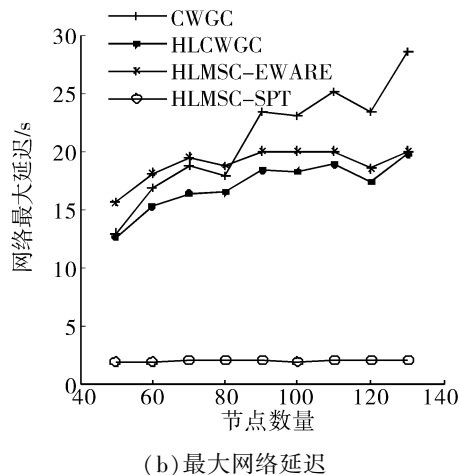
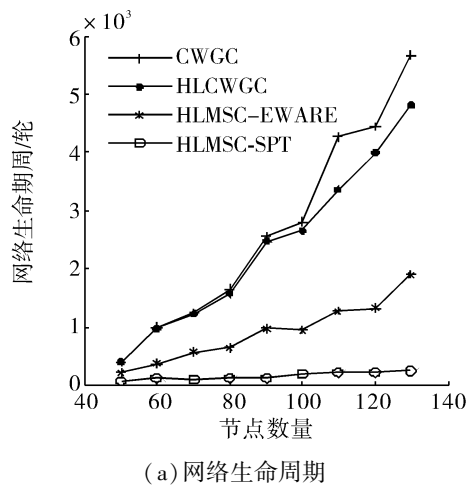


图3 网络时延约束为20时算法比较

Fig.3 Comparison when the delay of network is 20

从图3中可以看到,在 H 为20的约束条件下,HLCWGC和HLMS-WARE算法产生的网络生命周期虽然比CWGC算法要短,但是CWGC算法产生的网络延时却要远远大于HLCWGC和HLMS-WARE算法.由于HLCWGC和HLMS-WARE算法都是采用相同的HLSPT算法生成树,惟一不同的是选取源节点的贪婪算法不同,所以HLCWGC算法

产生的生命周期只是稍微大于HLMS-WARE算法,但是要远远大于HLMS-SPT算法.

然后,设置网络时延约束 $H = 10$ 和5时,得到的结果如图4和图5.

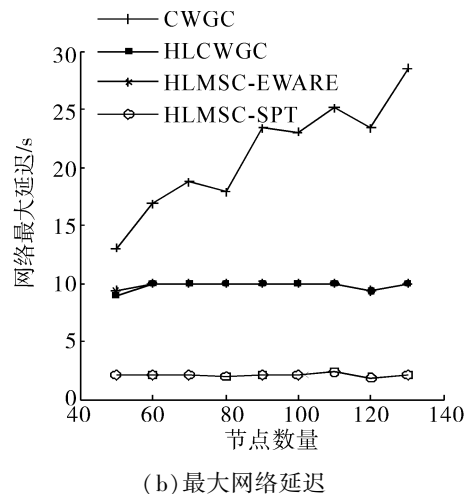
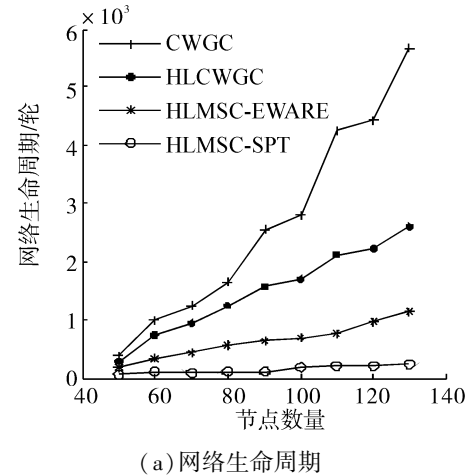
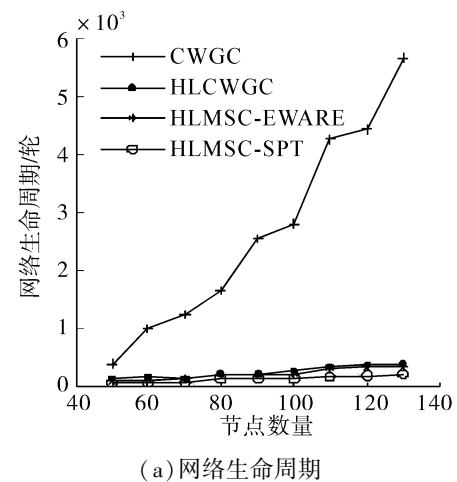


图4 网络时延约束为10时算法比较

Fig.4 Comparison when the delay of network is 10



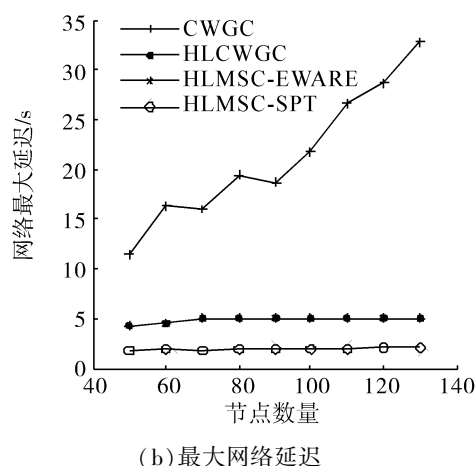


图5 网络时延约束为5时算法比较

Fig.5 Comparison when the delay of network is 5

从图4和图5中可以看到在网络时延约束为10和5的情况下,HLCWGC算法生成的生命周期都要比HLMS-WARE和HLMS-SPT要好,在网络最大延时方面CWGC算法的最大延时相对于其他算法而言是十分巨大的,HLCWGC和HLMS-WARE的网络最大延时差不多,HLMS-SPT的延时最小,但是它的网络生命周期也是最小的。

4 结束语

针对时延敏感的无线传感器网络应用,提出了带时延约束的连通目标覆盖问题。本文首先将带时延约束的连通目标覆盖问题建模成限高的最大覆盖树问题,然后证明了限高的最大覆盖树问题是NP-Complete的,最后设计了一种快速的启发式算法HLCWGC来解决限高的最大覆盖树问题。仿真结果表明,HLCWGC在保证覆盖的前提下,获得比已有算法更长的网络生命周期。未来的工作将考虑网络的容错性及更高目标覆盖程度等,使得网络满足时延约束的前提下网络的生命周期最大。

参考文献:

- [1] 任丰原,黄海宁,林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282-1291.
REN Fengyuan, HUANG Haining, LIN Chuang. Wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2003, 14(7): 1282-1291.
- [2] 崔莉,鞠海玲,苗勇,等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(1): 163-174.
CUI Li, JU Hailing, MIAO Yong, et al. Overview of wireless sensor networks[J]. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(1): 163-174.
- [3] SLIJEPCEVIC S, POTKONJAK M. Power efficient organization of wireless sensor networks[C]//IEEE International Conference of Communications (ICC). Beijing, China, 2001: 472-476.
- [4] CARDEI M, DU Dingzhu. Improving wireless sensor network lifetime through power aware organization[J]. Wireless Networks, 2005, 11(3): 333-340.
- [5] CARDEI M, THAI M T, LI Yingshu, et al. Energy-efficient target coverage in wireless sensor networks[C]//24th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM). Miami, USA, 2005: 1976-1984.
- [6] CARDEI M, WU Jie, LU Mingming, et al. Maximum network lifetime in wireless sensor networks with adjustable sensing ranges[C]//IEEE International Conference of Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). Montreal, Canada, 2005: 1-5.
- [7] LU Mingming, WU Jie, CARDEI M, et al. Energy-efficient connected coverage of discrete targets in wireless sensor networks[C]//International Conference of Computer Networks and Mobile Computing (ICCNMC). Zhangjiajie, China, 2005: 137-147.
- [8] ZHAO Qun, GURUSAMY M. Lifetime maximization using observation time scheduling in multi-hop sensor networks[C]//IEEE/CreateNet International Workshop on Broadband Advanced Sensor Networks (BroadNets). Boston, USA, 2005: 1-5.
- [9] ZHAO Qun, GURUSAMY M. Lifetime maximization for connected target coverage in wireless sensor networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008, 16(6): 1378-1391.
- [10] LI Deying, CAO Jiannong, LIU Ming, et al. K-connected target coverage problem in wireless sensor networks[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2007, 46(1): 20-31.
- [11] WU Lidong, DU Hongwei, WU Weili, et al. Approximations for minimum connected sensor cover[C]//32nd IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM). Turin, Italy, 2013: 1424-1432.
- [12] GU Yu, LIU Hengchang, ZHAO Baohua. Target coverage with QoS requirements in wireless sensor networks[C]//IEEE International Conference on Intelligent Pervasive Computing (IPC). Jeju Island, Korea, 2007: 35-38.
- [13] BOUKERCHE A, PAZZI R, ARAUJO R. A fast and reliable protocol for wireless sensor networks in critical conditions monitoring applications[C]//7th ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM). Venice, Italy, 2004: 157-164.
- [14] YU Zuoming, TENG Jin, LI Xinfeng. On wireless network coverage in bounded areas[C]//32nd IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM). Turin, Italy, 2013: 1752-1760.
- [15] AREY M R, JOHNSON D S. Computers and intractability: a guide to the theory of NP-Completeness[M]. New York: W.H.Freeman, 1979: 210-216.
- [16] CHANG J H, TASSIULAS L. Maximum lifetime routing in wireless sensor networks[J]. IEEE/ACM Transactions on

Networking, 2004, 12(4): 609-619.

作者简介:



梁俊斌, 男, 1979 年生, 副教授, 主要研究方向为无线传感器网络.



刘明, 男, 1985 年生, 硕士, 主要研究方向为无线传感器网络.

2013 第 6 届计算智能与设计国际会议 (ISCID2013) 2013 6th International Symposium on Computational Intelligence and Design

Dear colleagues and friends

2013 6th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID2013) will take place in Hangzhou, China, between 28—29 October, 2013. This symposium provides an idea-exchange and discussion platform for the world's engineers and academia to share cutting-edge information, address the hottest issue in computational intelligence and design, explore new technologies, exchange and build upon ideas. We're certain you will find the city of Hangzhou and the surrounding area to be most pleasant and it will be our distinct pleasure to welcome each of you to the ISCID in October 2013.

Publication

The proceedings of ISCID2013 will be published by IEEE Computer Society Conference Service Publishing (CPS), and indexed by EI. All proceedings of ISCID2008—2012 have been indexed by EI, and included in the digital libraries (CSDL, IEEE Xplore, IEEE IEL).

Sponsors

Zhejiang University, China

University of Bristol, UK

IEEE Nanjing Computational Intelligence Chapter (Technical co-sponsor)

Tsinghua University, China

Zhejiang Sci-Tech University, China

Important dates

Deadline for paper submission: June 11 (extended to) July 1, 2013

Notification of acceptance/rejection: July 8, 2013

Camera-ready and early registration: July 15, 2013

Conference: 28—29 October, 2013

Contact person

If you have any inquiries regarding registration or your registration status, please contact

Linna Zhu (Zhejiang University, China)

Affiliation: College of Computer Science at Zhejiang University, Hangzhou, China

Phone: +86-15068186792

E-mail: iscid2013@gmail.com

Website: <http://iukm.zju.edu.cn/iscid/index.html>