

# 无线传感器网络中 d-BIP 算法的改进

降爱莲, 田梅, 唐强

(太原理工大学 计算机科学与技术学院, 山西 太原 030024)

**摘要:**无线传感器网络的广播问题中,能量有效是其重要目标和首要难题。如果对广播算法进行优化就可以极大地节省节点能量、提高传输效率。所以在 d-BIP 算法的基础上,通过改进自适应定向天线模型调整波束宽度的方式,提出了性能更加优越的 c-d-BIP 算法。在建立支撑树时,每加入一个新节点,首先判断是否符合以增大波束宽度的方式来传输消息给新节点的条件,如果符合则以增大波束宽度的方式来传输消息,否则重新建立一个波束来传输。仿真结果表明 c-d-BIP 能有效地节约能量,特别在网络节点密度较大时性能更加优越。

**关键词:**无线传感器网络;广播算法;d-BIP;c-d-BIP

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)07-0177-04

## Improved Algorithm of d-BIP in Wireless Sensor Network

JIANG Ai-lian, TIAN Mei, TANG Qiang

(College of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** In wireless sensor network broadcasting problem, energy efficiency is the important goal and primary problem. If optimize the broadcast algorithm, node energy can greatly be saved and improve the transmission efficiency. A more superior performance new algorithm called c-d-BIP was proposed which was an improvement upon d-BIP, through improving the way of adjustment beam width. In the construction of the spanning tree, each to join a new node, firstly judge whether accord with the standard of increasing the beam width way to transfer messages, if meet the standard transfer news in the way of increasing the beam width, or establish a new beam to transmit. The simulation results show that c-d-BIP can be effective in saving energy, especially in the big density network, it shows more superior performance.

**Key words:** wireless sensor network; broadcast algorithm; d-BIP; c-d-BIP

## 0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是集信息采集、信息传输、信息处理于一体的综合智能信息系统<sup>[1]</sup>。在无线传感器网络中广播的应用极为广泛且频繁,其中最简单的就是以泛洪的方式来实现广播算法,但非常耗能,而且容易引起广播风暴<sup>[2]</sup>。为了避免这些缺点,研究人员提出了各种各样的改进算法,目的都是为了提供高效节能的广播算法<sup>[3]</sup>。文献[4]提出了BIP(broadcast incremental power)算法,它集中式的构造一棵支撑树,每一步选择能耗增量最小的节点加入支撑树,所以性能非常优越。文献[5]提出了d-BIP算法,它是基于定向天线的BIP算法。定向天线模型可以使通信信号集中到某一特定

区域(通常采用圆心在该转发节点的扇形区域表示,称作波束)并且可以任意转动方向波束宽度,区域外的节点收不到该消息,但是此波束不能无限小需要一个最小阈值 $\theta_{\min}$ <sup>[5]</sup>。

这种波束宽度和方向可以任意改变的定向天线模型叫自适应波束宽度定向天线模型,可以通过调整方向和宽度一次传输信号到多个邻节点。文中算法c-d-BIP是从定向天线模型调整波束方向和宽度的方法方面来改进d-BIP算法。仿真结果表明,此算法不仅能有效地节约能量而且能使能量消耗更加均衡,比d-BIP算法性能更优越。

## 1 算法设计

### 1.1 通信模型及相关定义

无线传感器网络可以用一个图 $G = (V, E)$ 来表示,  $V$ 是无线传感器网络中的节点集,  $E \subseteq V^2$ 是无线传感器中的边集,如果 $(u, v)$ 属于 $E$ 则表示从节点 $u$ 可以发送消息到节点 $v$ ,集合 $E$ 可以定义为 $E = \{(u, v) \in V^2 \mid d(u, v) \leq R\}$ ,最大通信半径为 $R$ 。

收稿日期:2011-11-28;修回日期:2012-02-29

基金项目:山西省回国留学人员科研资助项目(2010-30)

作者简介:降爱莲(1969-),女,副教授,硕士生导师,研究方向为智能信息处理、无线传感器网络、计算机图像处理与分析;田梅(1984-),女,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络广播与组播算法。

当节点  $u$  向节点  $v$  发送消息时,使用定向天线节点  $u$  的信号发射功率应为:

$$P_{uv} = \max(P_{\min}, \theta \frac{r_{uv}^\alpha + C_1}{360})$$

其中,  $P_{\min}$  为两节点之间通信所需能耗的最小阈值,  $\theta$  为其信号发射波束的宽度,  $r_{uv}$  为节点  $u$  与  $v$  之间的距离,  $\alpha$  为信号衰减参数,  $C_1$  为 MAC 层控制信息耗能<sup>[6]</sup>。而节点  $u$  向  $v$  发送一个单位消息时,节点  $u$  和  $v$  的功耗分别为  $P_u = p_w + p_{\text{trans}}$ ,  $P_v = p_{\text{rec}}$  其中,  $p_w$  为节点信号发射能耗,  $p_{\text{trans}}$  为信号调制、数据处理等能耗,  $p_{\text{rec}}$  为接收消息的能耗(信号解调等)<sup>[7]</sup>。在许多文献中都不考虑节点接收信号的能耗,因为节点间通信时,信号发射能耗占了整个通信能耗的绝大部分<sup>[8]</sup>。

最小化广播总能耗是最小化广播算法的设计目标,可以这样定义:  $E = \min_{R(A) \in \Omega(A), u \in R(A)} \sum P_u$ 。  $\Omega(A)$  代表广播中所有可能的转发节点集合,  $R(A)$  表示算法  $A$  产生的转发节点集合<sup>[9]</sup>。

### 1.2 d-BIP 算法描述

此算法利用固定宽度定向天线模型,分解定向天线消息为几个单播的定向天线消息。每个节点从它的邻节点第一次收到消息时,定向天线利用一个小波束分别转发该消息到其他各个邻节点,并且调整传输半径为能到达相应邻节点的最小半径。因此,该算法是将每次转发分解为几个一对一单播转发。

(1)以图 1 为例,假设,初始支撑树只包含源节点  $S$ 。选择一个能到达的最近的邻节点,即使能耗增量最小的邻节点,  $S$  的邻节点  $A$  加入支撑树。以固定宽度  $\theta$  半径  $d(S,A)$  的波束传输信息。

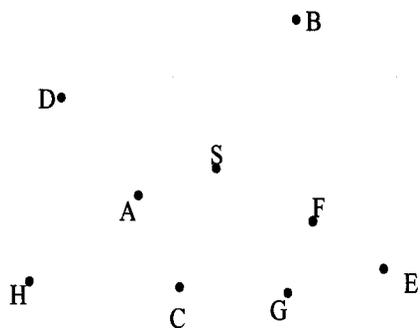


图 1 节点分布

(2)从  $S$  和  $A$  的邻节点中选择它们中最近邻节点加入树中,  $S$  的邻节点  $F$  加入树中。以固定宽度  $\theta$  半径  $d(S,F)$  的波束传输信息。

(3)选择下一个加入支撑树的节点,从  $S,A$  和  $F$  的邻节点中选择最近的一个,  $F$  的邻节点  $G$  加入树中。

(4)选择下一个加入的节点,  $F$  的邻节点  $E$  被选中,以  $\theta$  为宽度  $d(F,E)$  为半径传输信息。

(5)选择下一个加入的节点,  $A$  的邻节点  $C$  被选

中,以  $\theta$  为宽度  $d(A,C)$  为半径传输信息。

(6)其他节点同理,直到所有节点都加入支撑树。图 2 为 d-BIP 算法转发消息示意图。

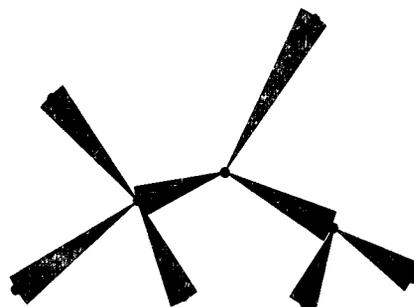


图 2 d-BIP 算法转发消息示意图

### 1.3 c-d-BIP 算法描述

此算法是集中式的基于最小支撑树的集中式的算法,性能非常优越,但要知道全网的拓扑信息。利用自适应定向天线模型,每次选择能量增量最小的节点加入支撑树,并且判断是否需要增加半径或增大圆心角来使该节点加入支撑树。判断是否增大圆心角时,先判断要发送消息的这个邻节点是否已经发送过消息,如果没发送过则以固定角度发送消息;如果已经发送过,先试着增大波束宽度到能覆盖该节点,判断波束宽度是否小于 90 度,如果小于 90 度则增大波束宽度成功;如果大于 90 度则放弃增大波束宽度,重新以固定宽度传输消息。实验过程中选取多个临界点 60 度、90 度、120 度、150 度。结果证明当选取 90 度时节能效果最佳,所以本算法选取临界点为 90 度。

算法:

(1)以图 1 为例,假设,初始支撑树只包含源节点  $S$ 。选择一个能到达的最近的邻节点,即使能耗增量最小的邻节点,  $S$  的邻节点  $A$  加入支撑树。以  $\theta$  为宽度  $d(S,A)$  为半径波束传输信息。

(2)从  $S$  和  $A$  的邻节点中选择它们中最近邻节点加入树中,  $S$  的邻节点  $F$  加入树中。此时  $S$  已经转发过消息,增大节点  $S$  的宽度到能覆盖  $A$  和  $F$  节点。判断波束宽度是否小于 90 度,结果大于 90 度则放弃增大波束宽度,重新以  $\theta$  为宽度  $d(S,F)$  为半径传输信息。

(3)选择下一个加入支撑树的节点,从  $S,A$  和  $F$  的邻节点中选择最近的一个,  $F$  的邻节点  $G$  加入树中,以  $\theta$  为宽度  $d(F,G)$  为半径传输信息。

(4)选择下一个加入的节点,  $F$  的邻节点  $E$  被选中。此时  $F$  已经发送过消息,增大节点  $F$  的宽度到能覆盖  $E$  和  $G$  节点,判断波束宽度小于 90 度,增大宽度成功,所以传输半径增大为  $d(F,E)$ 。

(5)选择下一个加入的节点,  $A$  的邻节点  $C$  被选中,以  $\theta$  为宽度  $d(A,C)$  为半径传输信息。

(6)其他节点同理,直到所有节点都加入支撑

树。图 3 为 c-d-BIP 算法转发消息示意图。

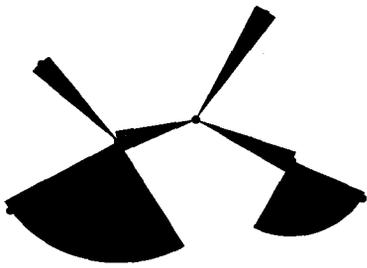


图 3 c-d-BIP 算法转发消息示意图

分析算法的计算复杂度时,由于 c-d-BIP 算法还是基于 Pim 算法的,所以他的复杂度还是  $O(N^3)^{[10]}$ 。

## 2 仿真及结果分析

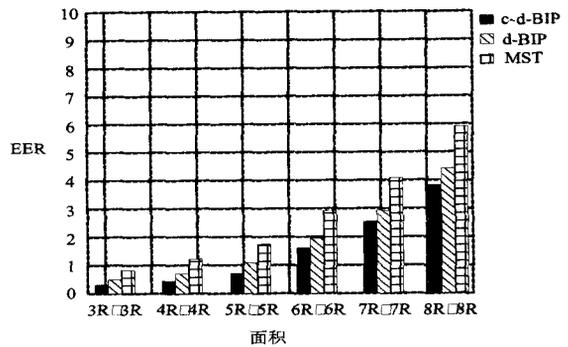
在仿真实验中,对 MST(minimum spinning tree)算法<sup>[11]</sup>、d-BIP 算法、c-d-BIP 算法进行比较,以 MST 算法为基准来评估 d-BIP 算法和 c-d-BIP 算法的性能,并且找出算法需要进一步改进的方向。MST 算法是基于支撑树的集中式算法,利用 Prim 算法求解相应的 MST,从源节点发出广播消息每一步选择能量消耗最小的边加入 MST 中,然后分别调节转发节点的功率来转发消息,直到所有节点都收到广播消息<sup>[4]</sup>。所以 MST 算法是基于边权的性能取决于 Prim 算法的复杂度。

在实验中 MST 算法和 d-BIP 算法使用的是波束宽度固定的天线模型,宽度固定为  $\theta$ 。c-d-BIP 算法使用的是节点发出宽度可变的光束的通信模型,宽度可以大于  $\theta$ 。在仿真实验中选取两个  $\theta$  值分别为  $5^\circ$  和  $20^\circ$ 。为了使比较结果更可信,选择两种不同的网络模型: $\alpha = 2, C_1 = p_{trans} = 0$  和  $\alpha = 4, C_1 = 8 \cdot 10^7, p_{trans} = 2 \cdot 10^7$ <sup>[12]</sup>。

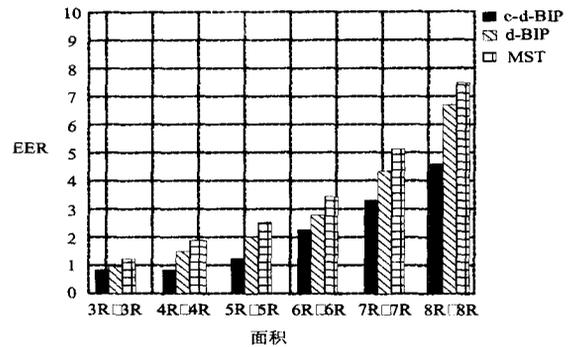
假设节点数量  $n = 100$ ,节点静止并且最大传输半径  $R = 250m$ 。节点被随机放置在网络区域,区域的大小取  $9R \times 9R, 8R \times 8R, 7R \times 7R, 6R \times 6R, 5R \times 5R, 4R \times 4R, 3R \times 3R$ 。并且假设节点具有良好的 MAC 层,所有节点都能收到广播消息<sup>[11]</sup>。总能量消耗为  $E = \sum_{u \in R(A)} P_u$ ,  $P_u$  的大小取决于传输半径和定向天线的光束宽度。用  $E$  的值和全向天线的泛洪算法来比较,即用平均能耗比 EER (Expanded Energy Ratio) 来衡量广播算法的性能。分别计算三种算法的平均能耗比 EER 的值;  $EER = \frac{E}{E_{flooding}} \times 100$ , 其中  $E_{flooding} = n(R^\alpha + C_1 + p_{trans})$ <sup>[5]</sup>。比较结果见图 4。

结果显示,随着网络密度增加,三个算法的平均能耗比均呈现下降趋势。还可以观察到第一种网络模型

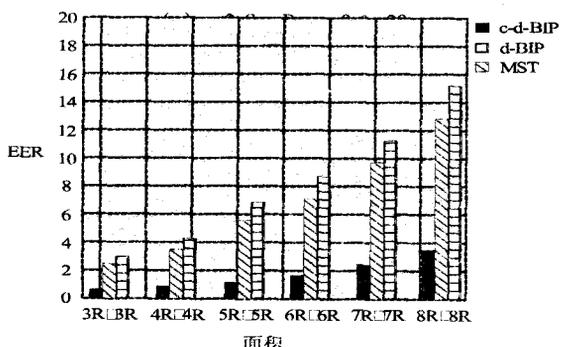
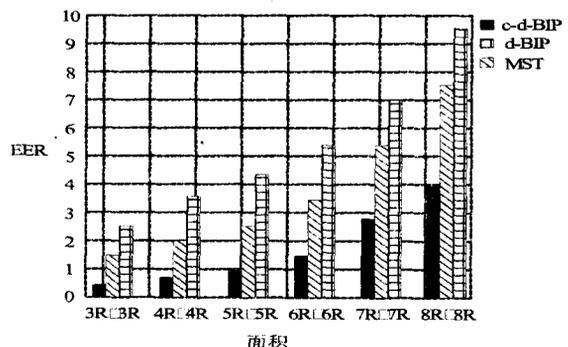
的 MST 算法消耗的能量比 d-BIP 算法的多。这是因为 d-BIP 算法的每一步迭代中,每次选择一个与树中节点建立通信链路所造成的能耗增加量最少的节点加入到树中。第二种网络模型也显示同样的结果,只是 d-BIP 和 MST 算法消耗能量的差距更小一点。可以看出 d-BIP 算法的网络性能优于 MST 算法。



(a)  $\alpha = 2, C_1 = P_{trans} = 0, \theta = 5$



(b)  $\alpha = 4, C_1 = 8 \cdot 10^7, P_{trans} = 2 \cdot 10^7, \theta = 5$



(d)  $\alpha = 4, C_1 = 8 \cdot 10^7, P_{trans} = 2 \cdot 10^7, \theta = 20$

图 4 MST 算法、d-BIP 算法和 c-d-BIP 算法在不同网络模型下的 EER 比较结果

比较图 a 和图 c 点对点的定向天线模型,在波束较小的情况下能耗更小,这是因为 MST 算法和 d-BIP 算法能耗与宽度  $\theta$  线性相关。而 c-d-BIP 算法的能耗几乎和宽度  $\theta$  无关,因为 c-d-BIP 算法宽度可变,最小宽度  $\theta$  几乎很少使用。

MST 算法和 d-BIP 算法每个消息值发送给一个节点,而 c-d-BIP 算法一个消息可以同时发送给多个节点,所以在密度较大的网络中 c-d-BIP 算法的性能优于 MST 和 d-BIP 算法。

### 3 结束语

文中以基于点对点的定向天线模型的 d-BIP 算法为基础,提出了一种改进的 c-d-BIP 算法。实验证明 c-d-BIP 算法使用了波束宽度可以改变的通信模型在节点密度较大的网络结构中,使用 c-d-BIP 算法比定向天线的 MST 算法和 d-BIP 算法性能更优越。接下来的工作可以在 d-RBOP 算法中引入波束宽度可以改变的通信模型以进一步改进 d-RBOP 算法。因为以一个宽度较大的传输光束来传输信号给两个或更多邻节点比以一个较小的光束来一个个的传输信号给这几个节点的效率要高很多。

#### 参考文献:

[1] 李应娣,单志龙.无线传感器网络定向扩散路由协议研究[J].计算机技术与发展,2010,20(4):40-43.  
 [2] 李德英,陈文萍.无线传感器网络能量高效综述[J].计算

机科学,2008,35(11):8-12.

[3] 崔吉,徐桂云.无线传感器网络的概述[J].山东通信技术,2006,16(4):28-31.  
 [4] Wieselthier J E,Nguyen G D,Ephremides A. On the construction of energy-efficient broadcast and multicast trees in wireless networks [DB/OL]. 2000. <http://www.ee.washington.edu/research/nsl/class/565/2002wtr/wieselthier.pdf>.  
 [5] Cartigny J,Ingelrest F,Simplot-Ryl D. Localized LMST and RNG based minimum-energy broadcast protocols in ad hoc networks[J]. Ad Hoc Networks,2005,3(1):1-16.  
 [6] 李政,李德英.无线自组织网络中能量有效的广播与组播[J].软件学报,2010,21(8):2023-2036.  
 [7] Ramanathan R. On the performance of ad hoc networks with beam forming antennas[DB/OL]. 2001. <http://www.ir.bbn.com/~ramanath/pdf/mobihoc01-beamform.pdf>.  
 [8] 陈帅,钟先信,廖晓纬.无线传感器网络节点实现模型[J].计算机技术与发展,2007,17(3):176-178.  
 [9] 唐勇,周明天.无线传感器网络中最小化能量广播算法[J].通信学报,2007,28(4):80-86.  
 [10] Guo S,Yang O W W,Leung V C M. Energy-aware multicasting in wireless ad hoc networks;a survey and discussion[J]. Elsevier Computer Communications, 2007, 30(4): 2129-2148.  
 [11] Argali M,Hubaux J P,Enz C. Minimum-energy broadcast in all-wireless networks:NP-completeness and distribution issues[DB/OL]. 2002. <http://www.sigmobile.org/mobicom/2002/papers/p044-cagalj.pdf>.  
 [12] Rodoplu V,Meng T H. Minimum energy mobile wireless networks[J]. Selected Area in Comm,1999,17(8):1333-1344.

(上接第 176 页)

得到了很大的提高,对于加速 PCI Express 设备在嵌入式计算和通信平台中的推广应用具有一定的促进作用。

#### 参考文献:

[1] 马鸣锦,朱剑冰,何红旗,等. PCI,PCI-X 和 PCI Express 的原理及体系结构[M].北京:清华大学出版社,2007.  
 [2] PCI-SIG. PCI Express 2.0 Base Specification Revision 0.9 [S].2006.  
 [3] PCI-SIG. PCI Express Card Electromechanical Specification Revision 1.0[S]. 2002.  
 [4] Budruk R,Anderson D,Shanley T,et al. PCI Express System Architecture [M]. [s. l.]: Addison - Wesley Developer's Press,2003.  
 [5] Xilinx. Virtex5 Integrated Endpoint Block for PCI Express Designs[EB/OL]. 2009. <http://www.xilinx.com/support/documentation/>.  
 [6] Xilinx. Virtex5 FPGA RocketIO GTP Transceiver User Guide

[EB/OL]. 2009. <http://www.xilinx.com/support/documentation/>.

[7] Xilinx. LogiCORE IP Endpoint Block Plus v1.11 for PCI Express[EB/OL]. 2009. <http://www.xilinx.com/support/documentation/>.  
 [8] 廖寅龙,田泽. FC 网络通信中 PCIe 的接口的设计与实现[J].航空计算技术,2010(4):127-130.  
 [9] 王伟,傅其祥.基于 PCIe 总线的超高速信号采集卡的设计[J].电子设计工程,2010(5):43-45.  
 [10] 崔骞,高小鹏,龙翔.加权轮询策略的 PCI Express DMA 控制器的设计与实现[J].微计算机信息,2010(23):156-158.  
 [11] 单天昌,陆达.基于 FPGA 的 PCI 接口 DMA 传输的设计与实现[J].计算机技术与发展,2010,20(4):215-218.  
 [12] 徐欣,于红旗.基于 FPGA 的嵌入式系统设计[M].北京:机械工业出版社,2005.  
 [13] 孙航.Xilinx 可编程逻辑器件应用与系统设计[M].北京:电子工业出版社,2008.