

# 传感器网络节点分层动态 ID 分配算法

唐 剑<sup>1,2</sup>, 史浩山<sup>1</sup>, 杨 奇<sup>1</sup>, 李雪松<sup>1,2</sup>

(1. 西北工业大学 电子工程系, 陕西 西安 710072; 2. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘 要:**集成了传感器、微机电系统和网络 3 大技术而形成的无线传感器网络(WSN)是一种全新的信息获取和处理技术。无线通信模块是 WSN 节点最耗能的部件,节点标识是 WSN 节点每次通信必不可少的,减少发送数据量能够明显提高节点使用寿命,从匿名网络的角度考虑传感器网络节点分配问题,在分析了现有未知匿名网络标识分配算法缺陷的基础上,指出命名算法实现过程的 3 个阶段,并提出一种新的具有高效节能特性的分布式传感器网络节点分层动态 ID 分配(LDIA)算法,应用 NS2 仿真环境对该算法进行了验证,并同 DFS 算法、0-1-Split 算法、L-P 算法以及 W&L 算法对比,仿真研究结果表明,该算法不仅能够满足 WSN 部署方便、成本低廉、灵活的可扩展性,而且具有高效、节能等特性。

**关键词:**无线传感器网络;唯一节点命名;匿名网络;分层动态 ID 分配

**中图分类号:** TP301.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)06-0047-05

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是当前国际上备受关注的、多学科高度交叉的前沿热点研究领域,广泛应用于各个领域<sup>[1]</sup>。WSN 与 Ad hoc 网络一样是一种自组织的网络,因此网络的拓扑结构很难事先确定。关于网络拓扑结构的发现以及网络边界确定问题的解决,是有效解决网络安全问题、路由问题以及许多重要的网络管理问题的基础。要实现网络拓扑结构的发现必须能够识别网络中的节点,要求网络中的每一个节点必须有全局唯一的 ID。考虑到 WSN 节点的固有特点,在部署前为每个 WSN 节点静态分配 ID 将受到成本、功耗、扩展性等问题的限制,为了更有效地解决网络安全问题、路由问题、节能问题以及许多重要的网络管理问题,必须采用新的机制与算法实现 WSN 部署后为每一个节点动态分配一个全局唯一的身份标识。

## 1 相关研究

关于 WSN 网络节点标识 ID(Identification)目前采用的解决方法主要有 2 种:①预置节点 ID,即在为节点程序存储器烧入程序代码时设置不同的节点 ID,如 Berkeley 的 mica2 节点,该方法仅适用于试验环境下;②利用节点位置信息作为节点 ID,如 GPS 定位信息;但是 GPS 设备造价高、能耗大,并不能满足 WSN 网络节点的特定要求。

早在 1996 年由 Yamashita M. 等人开始有关匿名网络问题的研究<sup>[2-3]</sup>,相关成果有匿名网络中节点分配标签<sup>[4]</sup>、匿名网络广播时间问题<sup>[5]</sup>、未知网络中的有效通信<sup>[6]</sup>。2000 年, P. Fraigniaud 等人在充分研究匿名网络中网络节点标识算法基础上,分析比较了深度优先遍历树(DFS)算法、二叉树(0-1-Split)算法、标签传递(L-P)算法以及 3 种唤醒与标号(W&L)算法<sup>[7-9]</sup>。但是这几种算法都是建立在已经形成树型的网络逻辑结构的基础上,仅仅讨论了节点 ID 的生成与分配问题,汤波等提出一种以概率理论为基础的概率命名

\* 收稿日期:2008-01-25

基金项目:国防基础研究计划资助项目(K1804060127);教育部博士点基金资助项目(20050699037)

作者简介:唐 剑(1970-),男,湖南浏阳人,讲师,博士生,主要从事目标检测与跟踪等研究;

E-mail:mytatg@mail.nwpu.edu.cn

史浩山(1946-),男,河南开封人,教授,博士生导师,主要从事多媒体通信、图像处理、智能计算等研究。

算法<sup>[10]</sup>,该算法简单易行,但是为了保证重名概率较低,往往需要分配较大的命名空间。命名空间利用率低,网络的可扩展性差。本文将 WSN 看作是一种特殊的匿名网络加以讨论,并提出一种新的节点 ID 分配算法。

## 2 节点 ID 动态分配算法

### 2.1 WSN 节点 ID 分配算法基本思想

3 边测量是一种常用的 WSN 网络节点定位方法,其原理如图 1 所示,它用多个锚节点与目标节点之间的距离来计算目标节点的物理坐标位置<sup>[9]</sup>。WSN 中无线广播信息的扩散过程如图 2 所示,一个以信息发出点为圆心的多个环形区域,如图 3 所示,类似 3 边测量任意一个区域  $P$  的位置将由距离 3 个已知节点( $A_1, A_2, A_3$ )的跳数唯一确定,而且区域  $P$  的大小是一跳通信距离。基于以上分析,算法假设 WSN 中存在有限个(至少 3 个)全局可识别的节点,称为 sink 节点,网络中的所有节点(包括 sink 节点)对将要组建的网络结构是完全无知的,除 sink 节点外网络中其它节点没有全局唯一的身份标识。节点 ID 分配算法的基本思想是由 sink 节点广播消息发起算法,接收到消息的节点记录自己所处层次的跳数并转播扩散,再根据节点自身所处层次位置选择所属主 sink 节点(Master sink)并计算出节点 ID,根据节点与 sink 节点之间的隶属关系建立 sink 节点的管理域(以 sink 节点为中心,所有隶属于该 sink 节点的字节节点覆盖的区域称为该 sink 节点的管理域),由 sink 节点负责管理域内所有的节点得到域内唯一的 ID,节点 ID 由 2 部分组成:sink 节点 ID 和域内部 ID。下面算法实现过程中只需要继续讨论如何获得域内部节点 ID。



图 1 3 边测量节点定位方法  
Fig. 1 Trilateration technique



图 2 WSN 无线广播扩散过程  
Fig. 2 WSN multihop propagation

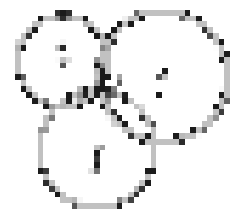


图 3 多跳区域定位方法  
Fig. 3 Multihop location

### 2.2 算法实现的 3 个阶段与步骤

WSN 网络中的节点在部署初期并不知道其他节点的存在,也不知道整个网络的拓扑结构,甚至没有可以辨识的节点 ID,因此它们需要发现彼此的存在以及彼此之间的连接关系(整个网络的拓扑结构),这也是实现节点 ID 动态分配算法的基础。在 WSN 中实现节点 ID 分配算法通常分为 3 个阶段:

阶段 1 网络逻辑结构的建立阶段:在 WSN 的物理结构的基础上,建立整个网络的逻辑结构;

阶段 2 匿名节点通过算法生成节点 ID;

阶段 3 验证节点 ID 全局唯一性:为网络内的所有节点分配全局唯一的节点 ID,以便在以后的分布式事务处理过程中,能够在网络范围内确切地定位数据源与命令源。

文献[4]涉及的算法仅仅考虑和实现了第 3 个阶段,显然综合考虑 3 个阶段设计的算法才具有实用性。

首先,sink 节点一跳通信域内的节点作为第 1 层子节点接收到消息并转播扩散到第 2 层,第 3 层再转播直至扩散到 WSN 网络边缘,如此建立起以 sink 节点为圆心的多层环形结构。WSN 中每个节点根据自己所处的位置选择层次距离最近的 3 个 sink 节点作为计算节点 ID 的锚节点,并以节点 ID 最小的 sink 节点作为主根节点(Master root)。根据主根节点与锚节点的坐标位置以及节点所处层次位置计算出匿名传感器节点的 ID。算法可以为每个 sink 节点的管理域内所有的匿名传感器节点分配管理域内唯一的节点 ID。

由 sink 节点作为父节点发起的节点分层动态 ID 分配算法步骤如下:

步骤 1  $S \rightarrow W$ : StartMessage( $T_s, L_{S_i}, S_i, P_{S_i}$ )

步骤 2  $W \rightarrow W$ : StartMessage( $T_{ws}, L_{S_i} + 1, S_i, P_{S_i}$ )

步骤 3  $A \rightarrow S$ : QueryMessage( $T_A, I_A, S_i$ )

步骤 4  $S \rightarrow A$ : AssignMessage( $T_A, I_A, ID_A, S_i$ )

步骤 5  $W \rightarrow A$ : RequestMessage( $T_W$ )

**步骤6**  $A \rightarrow W$ :  $\text{DeclareMessage}(T_w, ID_A, S_{\text{table}}, L_{\text{table}})$

在该算法描述中,参与者有3类:具有全局唯一标识的 sink 节点  $S$ ,等待分配 ID 的匿名传感器节点  $W$ ,已经获得节点 ID 的传感器节点  $A$ 。

$T_s$ 、 $T_A$ 、 $T_{ws}$  和  $T_w$  分别为  $S$ 、 $A$  和  $W$  的时间戳,  $L_{S_i}$  为消息传输将要到达的层次;  $P_{S_i}$  为 sink 节点  $S_i$  的位置信息;  $I_A$ 、 $ID_A$  分别为传感器节点  $A$  临时身份标识和最终唯一身份标识;  $S_{\text{table}}$ 、 $L_{\text{table}}$  分别为传感器节点  $A$  保存的 sink 节点列表和对应的层次列表。格式  $S \rightarrow W$ :  $\text{StartMessage}$  表示主体  $S$  向主体  $W$  发送消息  $\text{StartMessage}(S_1, S_2, S_3)$

算法描述说明如下:

1) 由 Sink 节点  $S_i$  发起的算法,通过广播的方式将  $\text{StartMessage}$  消息传播给匿名传感器节点  $W$ ,  $L_{S_i}$  初始值设置为 1;

2) 能直接接收到  $S_i$  发出消息的节点都是  $S_i$  通信域(一跳通信覆盖范围)内的  $W$  节点,必须通过转发才能令所有的  $W$  节点接收到  $\text{StartMessage}$ ,转发时  $L_{S_i}$  递增;

3)  $W$  节点接收到并保存 3 个不同的 Sink 节点标识  $S_i$  (顺序满足  $S_1 < S_2 < S_3$ ) 和对应的层次 ( $L_{S_1}$ 、 $L_{S_2}$ 、 $L_{S_3}$ ) 即可计算节点临时身份标识  $I_A$ ;

4) 具有临时身份标识  $I_A$  的节点  $A$  需要向主根节点  $S_i$  发出  $\text{QueryMessage}$  要求验证节点 ID 的唯一性,主根节点  $S_i$  返回  $\text{AssignMessage}$  确认 ID 的唯一性;

5) 新加入的匿名传感器节点  $W$  通过第 5)、6) 步的消息可以直接从邻居节点获得的  $S_{\text{table}}$  和  $L_{\text{table}}$  中计算出自己的  $I_A$ ,再经历 3)、4) 步确认 ID 的唯一性;

6) 节点临时身份标识  $I_A$  的计算方法很多我们只选择最简单的举例说明:

$$I_A = L_{S_1} + L_{S_2} + L_{S_3} + D$$

$D$  为节点  $A$  相对  $S_1$  的方位编码(利用 3 bit 表示 8 个方位),  $P_{S_3}$ 、 $P_{S_2}$  相对  $P_{S_1}$  的关系可计算获得。

### 3 算法性能分析与仿真比较

#### 3.1 算法仿真参数设置

1) 节点一跳通信距离的设定

节点一跳通信距离  $J$  (无线发射距离)取决于发射功率的设定,如 mica2 节点 ( $J < 100$  m) 采用 cc1000 无限射频芯片,通过控制 cc1000 发射功率可以调节通信距离。算法中选择  $J$  需要考虑避免节点 ID 重名冲突问题,仿真显示 99% 的重名冲突发生在一跳通信距离内,因此,需要在保证每个节点的通信可达性前提下选择最小的无线发射距离,这里选择:

$$D_i = \max(d_{ij}), \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad J = \min(D_i), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$d_{ij}$  表示任意一对匿名传感器节点 ( $i, j$ ) 之间的距离,  $n$  表示传感器节点中节点数量。

2) 最大层次深度的选择

节点命名空间大小取决于层次深度的设置,深度设置越大,WSN 网络的可扩展性越好,但节点命名空间利用率越低,节点能耗将增加。最大层次深度的选择设定为任意 2 个 sink 节点间的最大距离跳数比较合适。

3) 最大响应时间  $T_1$  的设定

在仿真过程中为了识别 WSN 的边界节点并自动结束仿真,需要设定最大响应时间  $T_1$ 。如果  $T_{ws} + T_1 < T_{\text{current}}$ , ( $T_{ws}$  节点发送  $\text{StartMessage}$  消息时戳,  $T_{\text{current}}$  节点当前时间), 节点没有收到任何具有  $L_{S_i} + 1$  的  $\text{StartMessage}$  消息,认为  $\text{StartMessage}$  传播到 WSN 的边界节点。设定  $T_1$  需要考虑  $\text{StartMessage}$  无线传输时间  $T_2$ 、物理层无线冲突等待时间  $T_3$ 、子节点消息处理时间  $T_4$ ,因此设定如下:

$$T_1 = 2(2T_2 + T_3 + T_4)$$

#### 3.2 算法仿真比较

在 NS2 仿真环境中,对 DFS 算法、0-1-Split 算法、L-P 算法、W&L 算法、概率命名算法与分层动态 ID 分配算法仿真试验,仿真参数设定:节点数  $n = 100, 200, 300, 400, 600, 800, 900, 1\ 200, 1\ 600, 1\ 800$ , 传感器网络节点间距 20 m, 网格状分布于矩形水平区域内,考虑到 Berkeley 的 mica2 节点有效通信距离小于 100 m,

因此传感器网络节点的有效通讯距离分别按近、中、远距离设为 25 m、50 m、100 m, 试验数据结果如下图所示。

### 1) 算法收敛时间与节点数目关系图



图 4 不同节点传输距离下算法收敛时间

Fig. 4 Convergence time under different node transmission distance

### 2) 算法节点平均能耗与节点数目关系图



图 5 不同传输距离下算法节点平均能耗

Fig. 5 Average energy consume under different transmission distance

### 3) 算法命名空间利用率与节点数目关系图



图 6 不同传输距离下算法命名空间利用率

Fig. 6 Use efficiency of namespace under different transmission distance

由于 DFS 算法、0-1-Split 算法、L-P 算法、W&L 算法目标是实现节点 ID 分配的唯一性, 因此在命名空间利用率方面具有最佳效果, 但是这几种算法基于某种固定的网络或者树型结构, 不能很好地满足 WSN 网络特殊的可扩展性要求。通过上面图 4-图 6 可以看出 LDIA 算法无论在节点平均能耗方面还是在算法收敛时间方面都不错, 当然采用概率命名算法无需发送接收数据因此能耗最低且收敛速度快, 但为了保证重名概率低, 就要求命名空间远大于节点数目, 因此命名空间利用率较低。在网络节点数目小于 500 时具有很好的效果。

### 3.3 算法性能分析

通过分析算法工作原理与仿真试验数据, 利用下表对本文提出的 LDIA 算法与以往提出的算法性能进行简单的比较分析。

表 1 算法性能分析表

Tab. 1 Performance analysis of all algorithm

算法名称	命名空间 利用率	实现性	扩展性		重名 概率	效率	适应性
			节点加入	网络合并			
DFS	100%	需要节点 可以辨识	不能	不能	0	受网络规 模影响大	差
0-1-Split	100%	需要先建立 二叉树结构	不能	不能	0	受网络规 模影响大	差
L-P	100%	需要树型 结构支持	不能	不能	0	受网络规 模影响较大	差
W&L	100%	需要节点 可以辨识	不能	不能	0	受网络规 模影响较小	差
概率命名	0.02%	算法极其 简单易实现	任意	有条件	可控	不受网络 规模影响	较好
LDIA	0.01% - 0.09% 随 节点数增加变高	算法简单 易实现	任意	无限制	可控	受网络规 模影响小	好

表中分析说明每种算法都有各自的特点,算法优劣是相对的,不同的算法针对不同度目标提出,比如 DFS、0-1-Split、L-P、W&L 算法重点在 ID 分配,针对提高命名空间利用率问题,概率命名针对算法简单易实现和低功耗,LDIA 不仅算法简单易实现,更突出了 WSN 网络的适应性和扩展性。

## 4 结论

以往提出的 DFS 算法、0-1-Split 算法、L-P 算法以及 W&L 算法等,是建立在以 sink 节点为根的生成生成树已经生成,并且相邻节点之间能够彼此识别的基础上,重点解决节点 ID 的动态分配问题。概率命名算法虽然简单、节能,但只能保证重名冲突概率较小,同时需要较大的命名空间,命名空间利用率低,而且网络可扩展性受限于命名空间。与此相比 WSN 节点分层动态 ID 分配算法不仅具高效、节能、信息交互次数少等特点,此外在可扩展性、解决节点动态加入与退出等问题具有更好的可实现性。

### 参考文献:

- [ 1 ] Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramanian Y, et al. Wireless Sensor Networks: A Survey Computer Networks[J]. The International Journal of Computer and Telecommunications Networking,2002,38(4):393-422.
- [ 2 ] Yamashita M, Kameda T. Computing on Anonymous Networks I Characterizing the Solvable Cases Parallel and Distributed Systems[J]. IEEE Transactions on,1996,7(1):69-89.
- [ 3 ] Yamashita M, Kameda T. Computing on Anonymous Networks II Decision and Membership Problems Parallel and Distributed Systems[J]. IEEE Transactions on,1996,7(1):90-96.
- [ 4 ] Fraigniaud P, Pelc A, Peleg D, et al. Assigning Labels in Unknown Anonymous Networks[C]//Proc 19th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing. Portland, Oregon, USA:ACM,2000.
- [ 5 ] De Marco G, Pelc A. Faster Broadcasting in Unknown Radio Networks[J]. Information Processing Letters,2001,79:53-56.
- [ 6 ] Gargano L, Pelc A, Perennes S, et al. Efficient Communication in Unknown Networks[J]. Networks,2001,38:39-49.
- [ 7 ] Boldi P, Vigna S. Computing Anonymously with Arbitrary Knowledge[C]//Proc 18th Annual ACM Symp on Principles of Distributed Computing. New York, USA:ACM,1999:181-188.
- [ 8 ] Kranakis E. Symmetry and Computability in Anonymous Networks: A Brief Survey[C]//Proc 3rd Int Conf on Structural Information and Communication Complexity. Ottawa, Ontario:Carleton University Press,1997:1-16.
- [ 9 ] Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad hoc Networks [J]. Telecommunication Systems - Modeling, Analysis, Design and Management,2003,22(1/4):267-280.
- [ 10 ] 汤 波,周明天. 无线传感器网络节点命名算法的研究[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2005,33(12):54-56. TANG Bo, ZHOU Mingtian. Research on Unique Node Naming Algorithm in Wireless Sensor Networks [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2005, 33(12):54-56. (in Chinese)

(编辑:徐楠楠)

(下转第 56 页)

**Abstract:** Simulation Model Validation is one of the key content in modeling and simulation VV&A. The methods of simulation model validation include time domain, frequency domain and time – frequency analyses. Though the methods of time domain and frequency domain are used widely, the analytic means is considered single. However the methods of time – frequency analyses have particular advantage. The application of wavelet transform has been involved in many fields in recent years, for example, signal processing, pattern recognition and fault diagnosis etc. The paper attempted to apply wavelet transform to simulation model validation. The basic theory and property of multi – resolution analysis on wavelet transform are applied, based on the idea that the signal characteristic is described by using the wavelet transform coefficients. On the basis of multi – scale decomposition of wavelet transform, the output sequences of the simulation model and real system are divided into low frequency and high frequency parts, and the consistence test method based on the discrete wavelet transform coefficients is built according to their respective characteristics. The application example is given and the validity of the method proved.

**Key words:** simulation model validation; discrete wavelet transform; multi – resolution analysis; consistence test

(上接第 32 页)

## The Analysis of Channel Characteristic of UAV High Speed Data Link Based on Sea Atmospheric Guide

BAI Yang, LIANG Jun, ZHANG Qiang, XUE Guo – hong

(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** Because the evaporation of seawater and the onflow of the sea breeze, the atmospheric humidity dimension with altitude in range of offing, it makes Atmospheric Guide. The high speed data link of unmanned aerial vehicle(UAV) is affected badly by the multiple channels of atmospheric guide in sea navigating. The APM model is made for computing the transmittal loss, which shows that the energy fastens on the Atmospheric Guide, so strong branches and dispersion are caused. By combining the reality radar echo figures and the mechanism, the model of dispersion discrete multiple channels is given. The course of academic analysis and idiographic actualizing methods of the model are expatiated, which can provide an important theory basis for the measurement of the channel characteristic.

**Key words:** high speed data link; atmospheric guide; dispersion channel model; discrete channel model

(上接第 51 页)

## Layered Dynamic Identification Assigning Algorithm for Wireless Sensor Network

TANG Jian<sup>1,2</sup>, SHI Hao – shan<sup>1</sup>, YANG Qi<sup>1</sup>, LI Xue – song<sup>1,2</sup>

(1. School of Electronics and information, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** Sensor network, which is made by the convergence of sensor, micro – electro – mechanism system and networks technologies, is a novel technology about acquiring and processing information. Wireless communication module is the most important component of the energy consumption on the WSN node boards, node identity is necessary in each communication with others. We consider the wireless sensor network (WSN) as a unknown anonymous network (UAN) and analyze the disadvantage of assigning distinct identities which have been proposed to nodes of an UAN. The paper discusses the three phases of the identity assigning, then presents a new Layered Dynamic Identification Assigning (LDIA) algorithm for WSN, which is a distributed and energy efficient solution. The performance of the LDIA is verified under the NS2 simulation environment and in comparison with the DFS、0 – 1 – Split、L – P and W&L methods, and a number of experiments are performed under the NS2 Simulation Environment. The simulation results indicate that the proposed algorithm can satisfy the requirements for flexible deployment, low cost, high scalability and it is more effective.

**Key words:** wireless sensor network (WSN); unique node identification; anonymous network; layered dynamic ID assigning