

文章编号:1000-582X(2010)04-088-04

# 改进的 WPAN 网状自适应树路由算法

江禹生,何 芳

(重庆大学 通信工程学院,重庆 400044)

**摘 要:**为扩大无线个人区域网(WPAN)的网络覆盖范围,增强网络的可靠性,研究了网状自适应树算法应用于大规模网络可能产生的地址溢出问题。通过将整个网络划分为更小的子网络,利用分区方法构建分区网状自适应树,并结合分区网状自适应树的分层拓扑结构,提出一种改进的网状自适应树路由协议算法。实验结果表明,该算法在不增加路由开销和网络负载的情况下扩大了网络覆盖范围,并有效减小了端到端时延,提高了报文发送成功率和通信效率,在不同规模的网络中均保持了较好的性能,为提高无线个域网的覆盖性和可靠性提供了理论依据。

**关键词:**无线个域网;路由协议;网状自适应树;分区

中图分类号:TP393

文献标志码:A

## Improved WPAN meshed adaptive tree routing algorithm

JIANG Yu-sheng, HE Fang

(Department of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

**Abstract:** To expand network coverage and enhance the reliability of wireless personal area network (WPAN), the problem of address overflow resulting from applying the meshed adaptive tree algorithm in large-scale mesh network was studied. By dividing the entire network into smaller sub-networks, the subarea meshed adaptive tree was constructed. An improved meshed adaptive tree routing algorithm was proposed employing the hierarchical topology structure of the subarea meshed adaptive tree. Experimental results show that the algorithm expands the network coverage without increasing the routing overhead and the network load. It also effectively reduces the end-to-end delay and increases the packet delivery ratio and communication efficiency. It maintains a good performance in the networks with different scales and provides a theoretical basis for enhancing the coverage and reliability of WPAN.

**Key words:** WPAN; routing protocols; meshed adaptive tree; subarea

IEEE802.15.5<sup>[1]</sup>工作组目前正致力于开发一个标准,使 mesh 网络应用于 WPAN 中。无线 mesh 网络基于路由目的已经提出了各种路由协议方案,如跨层路由、多径路由和分级路由等<sup>[2-4]</sup>。针对具体的网络,文献<sup>[5-8]</sup>提出一些树算法,树算法的优点是可以不经过路由发现实现路由。其中,簇树<sup>[9]</sup>算法已经被 Zigbee<sup>[10]</sup>联盟采用。但簇树算法存在以

下问题:地址分配僵硬、单点失败(SPF)和无最优路径问题。为此,文献<sup>[11]</sup>提议 IEEE 802.15.5 标准采用自适应块寻址(ABA)进行逻辑地址分配和网络自配置,并在网络初始化过程中,构建了一个自适应树(AT),通过实现节点间的网状连接,进一步提出网状自适应树(MAT)<sup>[12]</sup>。采用 MAT,可以找到传送数据报文的最短路径,并可以有效避免单点失

收稿日期:2009-11-20

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2008AA01Z202)

作者简介:江禹生(1961-),男,重庆大学副教授,主要从事宽带无线接入理论与技术、宽带网络通信技术、图像处理及视频图像传输方向研究,(Tel)13452989258;(E-mail)jys@cqu.edu.cn。

败(SPF)。然而,在 MAT 逻辑地址分配和网络自配置中,如果等待分配地址的节点数目大于可分配的地址总数,此时将会产生地址溢出,导致地址分配失败。而且,如果网络协调器不能适应网络拓扑,它仅仅只能记录树的顶层,从而失去树底层的信息。可采取的解决办法是把网络分成更小区域<sup>[13]</sup>或者扩大地址空间。为此,将“分区”方法应用到 WPAN mesh 网络中,将网络划分成若干个逻辑分区,构建了一种新的分区网状自适应树,并提出了一种改进的分级网状自适应树路由算法以适应分区 MAT 网络拓扑。

## 1 网状自适应树(MAT)

### 1.1 MAT 初始化

MAT 初始化分 2 个阶段:关联和地址分配。在关联阶段,从根节点开始,其它节点逐渐加入网络,形成树形。但此时还不是 MAT,因为节点还没有被分配地址。节点可接受的子节点数目没有限制,采用接受度(AD)来表示节点接受的意愿度。当正在接入的节点收到多个联合回应,它将选择最高 AD 的节点来连接。使用 AD 增加节点成功接入网络的机会,并避免单个节点超负载。没有新的节点要加入网络后,表明树已经到达底端,通过自上而下的顺序计算每个树枝的节点数,如图 1 所示。括号中的数字表示该树枝下的节点数。当根节点收到所有树枝的信息后将开始地址分配。

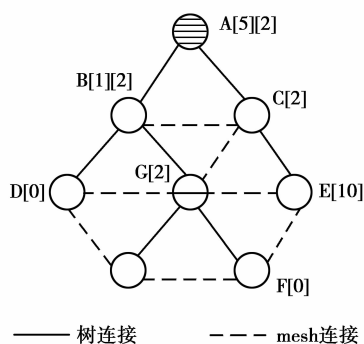


图 1 网状自适应树(MAT)

在地址分配阶段,根节点首先检查网络中的节点总数是否小于可用的地址总数,如果大于可用的地址总数,将发生地址溢出,地址分配失败, MAT 假设没有地址溢出。然后,根据节点的实际数目和所需的地址数分配一个连续的地址块给它下面的每个树枝,直到到达树的底端。此时形成了 AT,并且每个节点保存一个 AT 表(ATT)<sup>[14]</sup>(表中数据格式

如图 2 所示)跟踪它所在的树枝。AT 形成后,通过添加节点间的网状连接形成 MAT, MAT 类似于一个网格,但每个节点来看,它依然是一个树。任意两个连接节点通过网状连接都将对方看作一个子节点,并为对方增加一个 ATT 入口。例如,节点 B 可以将节点 C 看作子节点,反之亦然。

类型	起始地址	结束地址	优先级	下一跳
:	:	:	:	:

图 2 自适应树数据格式

### 1.2 MAT 的运行

MAT 形成后,节点可通过 ATT 表路由数据报文。例如,节点 B 收到或产生一个数据报文后,将检查目的地址是否属于它的树枝地址,若是,将沿此树枝路由数据报文;如果目的地址不在节点 B 的树枝中,数据报文将被路由到节点 B 的父节点。通过采用网状连接,节点能找到更短的路径路由数据包。例如,节点 B 到节点 E 的路径为 B-G-E,如果仅采用树连接,路径为 B-A-C-E。而且节点 G 连接失败后,节点 B 依然可以通过节点 C 路由数据报文,避免了单点失败(SPF)发生。在 MAT 运行中,如果有多余地址,依然允许节点加入到树的任何层,如果节点超出地址范围,将在树枝中局部调整地址分配,如果节点数目或网络拓扑发生较大变化,网络需要重新进行初始化,然而这样就导致了网络的重复开销。为解决此问题和地址分配阶段的地址溢出,提出一种分区网状自适应树。

## 2 改进的 MAT 协议

### 2.1 分区 MAT 初始化

1) 根节点和子根节点互连,可通过 AODV<sup>[15]</sup>路由协议进行路由发现和路由维护。根节点和子根节点将建立路由表保存路由信息。

2) 子根节点或子树节点周期广播子树建立报文(如图 3 所示),新节点收到报文后,将自己的节点类型更新为子树节点,选择深度最小的子树节点作为自己的父节点,并在父节点的地址上加 1 作为自己的地址。然后它将返回一个子树更新报文(如图 4 所示)给父节点,父节点再上传至上一级,直至子根节点。新节点加入网络后,继续广播子树建立报文,并向邻居节点发送互连请求,建立与邻居节点的路由路径,形成网状树形网络。

报文类型	节点地址	节点类型	深度	接受度 AD	子节点数目
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

图 3 子树建立报文

报文类型	目的地址	节点地址	节点类型	子节点数目	路由表
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

图 4 子树更新报文

3)子根节点根据子树节点的实际数目和所需的地址数分配一个连续的地址块给它下面的每个树枝,直到树的底端。子树节点收到分配的地址块后把第一个地址作为自己的地址,其它的分配给它的后代子树节点,并且每个子树节点保存一个 ATT 跟踪它所在的树枝。

以上通过将网络划分成更小的子网络,组成分区 MAT。如图 5 所示,它有两层结构,第一层为根节点与子根节点的互连,第二层为划分后的各个分区子树。

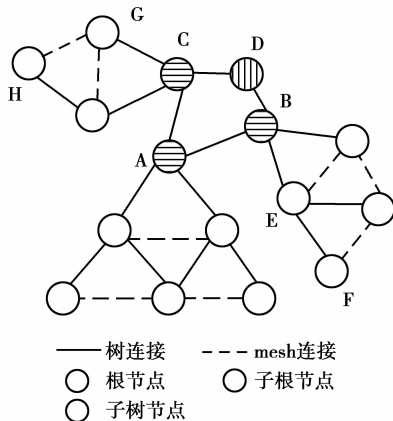


图 5 分区网状自适应树

### 2.2 分区 MAT 路由算法

分区 MAT 树建立后,形成了一个分级网络结构。而且,这两层结构采取不同的路由方式。根节点与子根节点间和分区内采用先应式路由,子根节点间采用按需路由。由于根节点与子根节点为网络形成前人为选定,因此根节点与子根节点可以预先保存一个 ATT,记录到达彼此的路径信息,当网络拓扑发生变化时,节点发送更新报文,根节点和子根节点收到更新报文后更新自己的 ATT,使得路由信息及时准确。在每个分区 MAT 内,可采用已有的 MAT 路由方式。如果目的节点是路由节点的后代(mesh 连接的邻居节点也可作为子节点),路由节点将直接将数据报文传送给目的节点,如果目的节点

地址超出其地址范围,将数据报文转发给父节点。

如果直至子根节点仍没有发现路由信息,这时将采用按需路由,由于 AODV 是一种典型的按需路由,在此选取 AODV 作为子根节点间的路由方式。广播路由由请求报文 RREQ 给其它子根节点,如果一个收到 RREQ 消息的子根节点具有路由来满足该路由请求,那么该子根节点产生一个 RREP 消息。根节点收到数据报文后根据记录的路由路径传送到目的节点。

### 2.3 分区 MAT 的维护

子树节点可以通过检查父节点周期发送的子树建立报文来确定与父节点的连接,并通过侦听来自邻居节点的 Hello 消息来确定其连接性。节点通过广播 Hello 消息来提供自己的连接性信息,如果连接断裂,那么检测出问题的节点将广播一个 TTL 值为最小值的 RREQ 进行局部路由修复,如果在某段时间内没有收到 RREP,节点增加 TTL 值继续尝试修复。这个过程持续到收到 RREP 或 TTL 达到最大值。其中 TTL 的最大值和最小值可根据具体的网络设定。如果发现多种路由修复路径,将选择最优路径激活已选择的路由。

## 3 性能分析

采用网络模拟软件 NS2 对分区 MAT 进行性能模拟。随机选取 100-800 节点,形成分区 MAT 树拓扑,根节点位于网络中心,水平、垂直邻点之间的距离均为 10 m,通信半径为 6 m。数据速率为 250 Kbps(2.4 GHz ISM 频段)。无线传播模型为 two ray ground。实验采用 CBR (Constant Bit Rate)数据源,设定发送速率为每秒 1 个数据包,物理层每个包的大小为 127 bt<sup>[16]</sup>。每隔 10 s 产生一个业务流,总模拟时间是 2 000 s。模拟结果如图 6~8 所示。

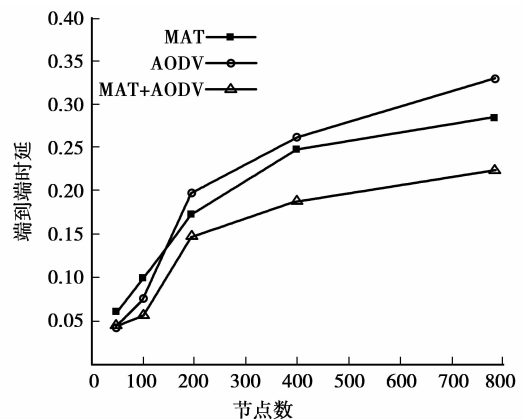


图 6 端到端时延

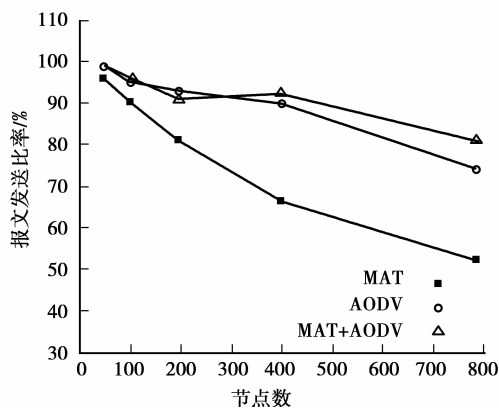


图7 报文发送比率

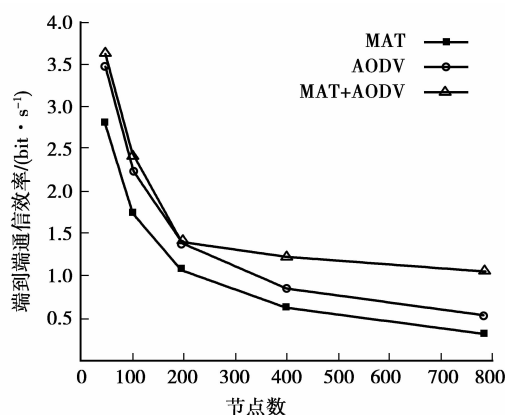


图8 端到端通信效率

通过比较可以看出,当网络中节点数目较少时,文中所提出的路由算法综合性能比较接近于AODV,而优于MAT。当网络节点数目较多时,该算法明显优于另外两种算法。因为MAT虽然可以很快地选择到目的节点的路径,减小了端到端时延,但由于不考虑网络中的业务流量等因素,通信效率较低,并且在网络节点较多时,节点要保持路由表更新,给网络带来的负载较大,成功发送报文的比率也明显减少。AODV协议不需要维持路由表,大大降低了路由维持的开销,但它更适用于移动性高而负载较低的网络,在网络负载较大时,其性能明显下降。这是因为随着网络规模的增大,利用广播机制进行路由查找会消耗很多网络资源,能量的较大损耗减小了报文发送比率,降低了网络通信效率。

#### 4 结 语

分析了网状自适应树算法应用于WPAN mesh存在的问题,构建了一个分区网状自适应树拓扑结构,针对该结构提出了分级路由协议算法,并通过NS2模拟实验,将该算法与已有的MAT和AODV

协议进行比较分析。今后的工作可以在现有的基础上,进一步完善WPAN mesh路由协议,并测试其在实际网络中的性能。

#### 参考文献:

- [1] IEEE 802.15.5 WPAN Task Group. IEEE 802.15.5 WPAN™ session information [EB/OL]. (2010-03-16) [2009-09-13] <http://ieee802.org/15/pub/TG5.html>.
- [2] IANNONE L, KHALILI R, SALAMATIAN K, et al. Cross-layer routing in wireless mesh networks [J]. *Computer Networks*, 2005(3): 445-487.
- [3] PHAM P P, PERREAU S. Increasing the network performance using multi-path routing mechanism with load balance [J]. *Ad Hoc Networks*, 2004, 2(4): 433-459.
- [4] HUANG W W, PENG Y L, WEN J, et al. Energy-efficient multi-hop hierarchical routing protocol for wireless sensor networks [C] // 2009 International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing (NSWCTC), April 25-26, 2009, Wuhan, Hubei, China. Harbin: IEEE Harbin Section, 2009: 469-472.
- [5] CHO K, LEE M Y, KO D L, et al. An efficient multicast routing in IEEE 802.15.5 networks [C] // 2009 International Conference on Information Networking (ICOIN). Thailand: IEEE, 2009: 1-3.
- [6] FARIBORZI H, MOGHAVVERMI M. EAMTR: energy aware multi-tree routing for wireless sensor networks [J]. *IET Communications*, 2009, 3(5): 733-739.
- [7] PUDLEWSKI S, SHENOY N, AL-MOUSA Y, et al. A hybrid multi meshed tree routing protocol for wireless ad hoc networks [C] // 2008 5th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS). Atlanta, GA: IEEE, 2009: 635-640.
- [8] KIM T, KIM D, PARK N, et al. Shortcut tree routing in ZigBee networks [C] // 2007 2<sup>nd</sup> International Symposium on Wireless Pervasive Computing (ISWPC). USA: IEEE, 2007: 42-47.
- [9] HESTER L, HUANG Y, ALLEN A, et al. NeuRFon netform: A self-organizing wireless sensor network [C] // Proceedings of the 11th IEEE ICCCN Conference. Miami, Florida, USA: IEEE, 2002: 364-369.
- [10] FECHNER J. ZigBee in industrial applications [C] // Proceedings of the 2006 International Conference on Power Electronics Intelligent Motion and Power Quality, May 30- June 1, 2006, Nurnberg, Germany. Nurnberg, Germany: [s. n.], 2006: 61-62.

(下转第97页)

- [5] FWU J K, DJURIC P M. EM algorithm for image segmentation initialized by a tree structure scheme [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6 (2): 349-352.
- [6] HILL P R, CANAGARAJAH C N, BULLD R. Image segmentation using a texture gradient based watershed transform [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12 (12): 1618-1633.
- [7] LUO H W, MA S L, XU Z Y. Mumford-shah segmentation for microscopic image of the urinary sediment [C]// 1st International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, July 6-8, 2007, Wuhan, China. [S. l.]: IEEE, 2007:861-863.
- [8] JIANG X, NIE S D. Urine sediment image segmentation based on level set and mumford-shah model [C]// IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, July 6-8, 2007, Wuhan, China. [S. l.]: IEEE, 2007: 1028-1030.
- [9] LI Y M, ZENG X P. A new strategy for urinary sediment segmentation based on wavelet, morphology and combination method [J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2006, 8(4): 162-173.
- [10] 冯象初,甘小冰,宋国乡. 数值泛函与小波理论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- [11] 张二虎,刘世昌,胡涛. 一种基于熵的图象分割方法[J]. 微电子学与计算机, 1998(4): 43-45.  
ZHANG ER-HU, LIU SHI-CHANG, HU TAO. A new method of image segmentation based on entropy [J]. Microelectronics and Computer, 1998 (4): 43-45.
- [12] 李国宽,彭嘉雄. 基于小波变换的红外成像弱小目标检测方法[J]. 华中理工大学学报, 2000, 28(5): 69-70.  
LI GUO-KUAN, PENG JIA-XIONG. Infrared imaging dim target detection based on wavelet transform [J]. HuaZhong University of Science and Technology, 2000, 28(5): 69-70.
- [13] 李国宽,彭嘉雄,李红. 基于向量小波变换的小目标检测方法[J]. 华中理工大学学报, 2000, 28 (1): 73-75.  
LI GUO-KUAN, PENG JIA-XIONG, LI HONG. Small target detection based on multi-wavelet transform [J]. HuaZhong University of Science and Technology, 2000, 28 (1): 73-75.
- [14] 彭静,章宝歌,刘小明. 一种基于边界特征的二维最大熵分割算法[J]. 计算机与数字工程, 2008, 36(7): 18-19.  
PENG JING, ZHANG BAO-GE, LIU XIAO-MING. An improved 2D-maximum entropy method based on the characteristic of boundary [J]. Computer and Digital Engineering, 2008, 36(7): 18-19.
- [15] 刘京南,陈从颜,余玲玲,等. 一种快速二维熵阈值分割算法[J]. 计算机应用研究, 2002, 19(1): 67-70.  
LIU JING-NAN, CHENG CONG-YAN, YU LING-LING, et al. A fast two-dimensional entropy threshold method [J]. Application Research of Computers, 2002, 19(1): 67-70.
- [16] MALLT S, ZHONG S. Characterization of signals from multi-scale edges [J]. IEEE Transactions on PAMI, 1992, 14(7): 710-732.

(编辑 侯湘)

~~~~~

(上接第91页)

- [11] IEEE Std 802.15.5-2009. IEEE recommended practice for information technology-telecommunications and information exchange between systems-ocal and metropolitan area networks-specific requirements part 15.5: mesh topology capability in wireless personal area networks (WPANs)[S]. New York:IEEE, 2009.
- [12] ZHENG J L, LEE M J. A resource-efficient and scalable wireless mesh routing protocol [J]. Ad Hoc Networks, 2007, 5(6):704-718.
- [13] LIU G K, SHAN C L, WEI G, et al. Subarea tree routing in multi-hop wireless ad hoc networks [C]// 11th IEEE Singapore International Conference on Communication Systems, ICCS 2008, Nov. 19-21 2008, Guangzhou, Guangdong, China. [S. l.]: IEEE, 2009: 1695-1699.
- [14] ZHENG J L. Wireless mesh personal area networks: system design and analysis [D]. New York: The City University of New York, 2006.
- [15] PEI T R, ZENG W L, ZHANG Z X, et al. An improved hierarchical AODV routing protocol for hybrid wireless mesh network [C]// 2009 International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing (NSWCTC) April 25-26, 2009, Wuhan Hubei, China. [S. l.]: IEEE Harbin Section, 2009: 588-583.
- [16] ZHENG J L, LEE M J. A comprehensive performance study of IEEE 802.15.4 [S]. [S. l.]: John Wiley & Sons Inc, 2006.

(编辑 侯湘)