

基于地址分配的 ZigBee 自愈算法

陶志勇¹, 高鹏涛²

(1 辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院, 辽宁 兴城 125105;

2 辽宁工程技术大学 研究生学院, 辽宁 兴城 125105)

摘 要: ZigBee 技术为低功耗、网络容量大、传输速率适中的具有自组织功能的无线通讯技术。通过地址分配和树路由算法的改进, 当网络中有路由节点坏死时, 不需要重新分配节点地址, 也不需要重组网络, 就能实现网络的自愈; 能有效提高网络的生存周期, 并在一定程度上解决了网络中孤节点的问题。通过 OPNET 仿真分析表明算法的可行性。

关键词: ZigBee; 自愈网; 地址分配; 树路由

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)10-0168-05

Self-Healing Network Design Based on Zigbee

TAO Zhi-yong¹, GAO Peng-tao²

(1 Institute of Electronics and Information Engineering, Liaoning Technical University, Xingcheng 125105, China;

2 Graduate Institute, Liaoning Technical University, Xingcheng 125105, China)

Abstract: ZigBee technology is a low-power wireless communication technology. It is a self-organizing network. Network capacity is large and the transmission rate is appropriate. In order to achieve self-healing network improved address allocation algorithm and tree routing algorithm. When routing node dead, the algorithm could achieve network self-healing. Algorithm did not have to re-allocate network addresses and rebuild the network. Algorithm can improve the network lifetime and solve the problem about no address node. Analyze the algorithm using simulation software of OPNET. Prove the feasibility of the algorithm.

Key words: ZigBee self-healing network; address assignment; tree routing

1 引言

无线传感器网络是由大量的能通过自组织形成网络的微型传感器组成的网络系统。网络的自愈功能, 对网络的稳定性、健壮性以及提高工作效率、减少损失有重大意义。ZigBee 是一种低成本、低功耗、低数据传输速率、短距离的无线网络技术。ZigBee^[1] 协议默认的地址分配算法为分布式地址分配算法 (Distributed Address Assignment Mechanism, DAAM)^[2]。DAAM 算法是 ZigBee 网络实现树路由协议的基础。但是这种算法限制了网络的容量, 容易出现节点因分配不到地址无法加入网络的“宽度不

足”问题^[3]。树路由没有考虑节点的负载均衡, 以及路由节点由于突发情况坏死的问题。当路由节点由于突发状况或能量耗尽而死亡时, 网络需要通过一种算法来实现自愈功能。将宽度不足与网络自愈的问题结合起来考虑, 通过改进地址分配机制和树路由算法, 实现 ZigBee 网络的自愈功能。

2 分布式地址分配算法及树路由算法简介

2.1 分布式地址分配算法

在分布式地址分配算法中, 协调器建立网络时定义了网络的最大深度 L_m 、最大路由子设备数 R_m 、最大子几点设备数 C_m 。通过一个函数计算父节点分

收稿日期: 2013-12-23; 修回日期: 2014-02-12

基金项目: 辽宁省教育厅科学科研基金项目(L2010167)

配给路由节点的地址块的大小,如式(1)所示,其中 d 表示当前网络深度。

$$C_{\text{skip}}(d) = \begin{cases} 1 + C_m \times (L_m - D - 1) & R_m = 1 \\ \frac{1 + C_m - R_m - C_m \times R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m} & R_m \neq 1 \end{cases} \quad (1)$$

当有新节点加入网络时,根据新节点的类型为其分配地址,当新节点为路由器时,通过式(2)分配;当新节点为终端节点时,通过式(3)分配。式(4)中给出设定 3 个参数后系统所能分配的最大地址范围。

$$A_{\text{child}} = A_{\text{parent}} + C_{\text{skip}}(d) \times (n - 1) + 1 \quad (2)$$

$$A_{\text{child}} = A_{\text{parent}} + C_{\text{skip}}(d) \times R_m + n \quad (3)$$

$$A_{\text{max}} = R_m \times C_{\text{skip}}(0) + C_m - R_m + 1 \quad (4)$$

2.2 树路由算法

在树路由算法中^[2],对于地址为 Addr,深度为 d 的 ZigBee 路由器^[4],如果满足表达式(5)中的条件,那么目的地址为 D 的设备是其子孙设备;

$$D > \text{Addr}$$

$$D < \text{Addr} + C_{\text{skip}}(d - 1) \quad (5)$$

如果目的设备是路由器的子孙设备,那么下一跳设备地址 NextAddr 可由式(6)得出。

$$D > \text{Addr} + R_m \times C_{\text{skip}}(d)$$

$$D < \text{Addr} + C_{\text{skip}}(d - 1)$$

$$\text{NextAddr} = D$$

终端子设备

$$D > \text{Addr}$$

$$D < \text{Addr} + R_m \times C_{\text{skip}}(d) + 1$$

$$\text{NextAddr} = \text{Addr} + 1 + \left\lceil \frac{D - (\text{Addr} + 1)}{C_{\text{skip}}(d)} \right\rceil \times$$

$$C_{\text{skip}}(d) \text{ 路由子设备} \quad (6)$$

如果目的设备不是该路由器的子孙设备,那么应当交给自己的父设备进行转发。但是如果自己已经是协调器,目的地址不在自己的子孙设备地址范围内,说明该地址不在网络内,将该帧扔掉,如公式(7)所示。

$$\text{Addr} = 0$$

$$D > \text{Addr} + C_{\text{skip}}(-1)$$

不存在地址为 D 的设备;

NextAddr = ParentAddr 由父设备进行转发。

(7)

2.3 孤节点及路由节点死亡问题

由于 DAAM 算法预设了参数 C_m 、 L_m 和 R_m ,当

节点因为参数的限制分配不到地址时,就会无法加入网络而成为孤节点,即“宽度不足”的问题。如今比较有效的解决思路可分为:通过改变节点的潜在父节点,改变局部网络拓扑的以减少孤节点;通过借地址或地址重新配置的方法来减少孤节点^[5]。但是这类方法都很大程度上增加了控制开销、额外通信开销,并在一定程度上破坏了原有的“位置——地址”关系。在算法解决孤节点问题的同时,随之而来的是树路由节点能量消耗的问题。假设某个路由节点为父节点时,可以分配的终端节点地址个数大于 $C_m \cdot R_m$,说明该算法有效地减少了孤节点问题。但是路由节点的子节点设备的增加,很大程度上增加了路由设备能量的消耗。当路由节点能量耗尽而死亡时,网络拓扑被破坏,就会导致局部甚至全网功能的瘫痪。

在预设参数 $C_m = 5$ 、 $R_m = 3$ 、 $L_m = 2$ 情况下,图 1 为 DAAM 算法地址分配示意图,图 2 为自愈算法地址分配示意图。通过两图的比较,可以看出图 1 中未连线的节点为孤节点,而且路由节点损耗严重,图 2 中自愈算法解决了孤节点分配地址问题,也合理解决了路由节点损耗问题,虚线部分表示当路由节点能量耗尽时,虚线连接的节点可由备份路由节点转发数据到协调器。

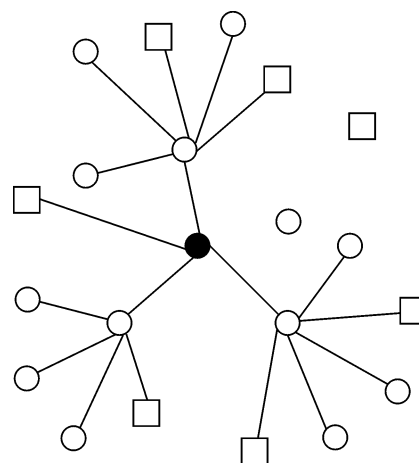


图 1 DAAM 算法示意图

3 算法模型

3.1 自愈地址分配算法

在 ZigBee 协议中,DAAM 定义地址空间内,可分配的地址上限为 $65\,535(2^{16} - 1)$ 个,而实际应用无线传感器网络中,几乎不会全部用完^[2]。这说

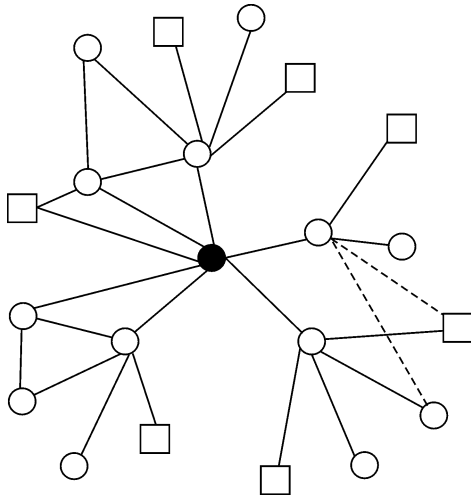


图2 自愈算法示意图

明通过参数设定网络容量后,总有剩余地址空间可以利用.因此在 DAAM 算法基础上设定全局变量 Mir 为镜像偏移量,实现对路由节点的备份.该参数的设定不仅在树状网络拓扑的基础上,改进了路由选择中计算下一跳地址的算法;而且在地址分配过程中拓宽了网络拓扑的宽度,使系统有更多的地址可以分配;既满足了网络拓展中孤节点对地址分配的需求,又不会因此而使网络的生存周期骤降.但这种地址分配算法存在一定的地址浪费现象,地址浪费的多少主要取决于系统节点总数 N 与预设参数 C_m 、 L_m 和 R_m 之间的关系,也取决于节点的分布状况.在节点均匀分布的前提下,根据实际情况合理的取得最优值使 $N > A_{\max} + R_m \times L_m$ 并且 $N < 2 \times A_{\max}$,使地址浪费最小.自愈算法流程如图 3 所示,当收到节点入网请求后,先判断节点类型,如果节点是路由节点,需要进行路由节点的父节点选择.在路由父节点选择时,优先选择网络深度较小的节点作为父节点,深度相同时,判断各个节点信号强度,选择合适的节点作为父节点.如果原地址有剩余,按式(8)对其进行地址

$$\text{Addr} = \text{Mir} \times A_{\max} + A_{\text{parent}} + C_{\text{skip}}(d) \times (n-1) + 1 \quad (8)$$

分配,其中初始时 $\text{Mir} = 0$, n 表示该父设备已分配的同类节点数.原地址分配完后,通过镜像偏移量 Mir 加 1 并计算地址在可分配范围内(小于 65 535),为路由节点分配地址,若地址再次分配完,判断系统是否是在初始化阶段.系统若在初始化阶段,说明此时该父节点的子路由节点已经备份完成,跳转到路

由父节点选择;若系统已经初始化完成,说明申请入网的节点是新增节点,此时跳转到镜像偏移量增加,为新节点分配地址.

如果申请入网的节点是终端节点,地址分配过程与路由节点类似,只是在终端父节点选择时,只考虑各个备选节点信号强度,不考虑网络深度,节点地址由式(9)给出,其中初始时

$$\text{Addr} = \text{Mir} \times A_{\max} + A_{\text{parent}} + C_{\text{skip}}(d) \times R_m + n \quad (9)$$

$\text{Mir} = 0$, n 表示该父设备已分配的同类节点数.这样就确保了在系统初始化阶段,为所有路由节点设置了备份节点,也可以避免节点一直分配不到深度较大的网络层中,同时也显示了系统解决孤节点问题的能力.

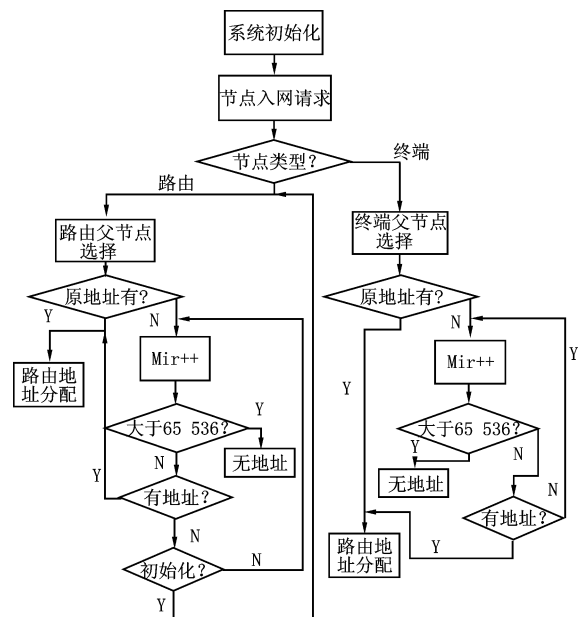


图3 自愈算法流程图

3.2 自愈树路由算法

对 ZigBee 原始的树路由协议进行改进,改进后流程图如图 4 所示.首先需要通过式(10)计算相对地址,然后通过 2.2 节

$$D' = D \bmod A_{\max} \quad (10)$$

的树路由理论判断地址范围,目的节点在本子孙范围内,采用式(11)计算下一跳节点地址.这时,需要这个下一跳节点

$$\text{NextAddr} = \text{Mir} \times A_{\max} + \text{Addr} + 1 + \left\lfloor \frac{D' - (\text{Addr} + 1)}{C_{\text{skip}}(d)} \right\rfloor \times C_{\text{skip}}(d) \quad (11)$$

是否还存在,如果存在,直接发送数据即可;如果下

一跳节点已经不存在,镜像偏移量加1,采用备用路由节点作为下一跳转发数据.目的节点不在本节点子孙范围内时,同样判断其父节点是否存在,原理与计算下一跳节点相同.

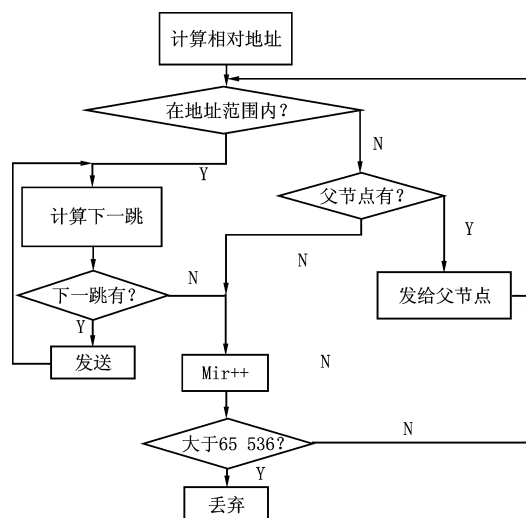


图4 树路由算法流程图

4 仿真分析

4.1 性能分析

(1) 生存时间

系统的生存时间是衡量自愈算法的主要参数,由于终端节点不转发数据,能耗较小,生存时间较长;所以以路由节点的平均生存时间 T 来表示系统生存时间,设节点的总能量为 E ,每次转发数据平均耗能为 E_T ,每分钟平均转发次数为 i .如式(12)所示,与 DAAM 算法相比,总能量 E 相同,由于路由节点的负载均衡, E_T 不变,但是 i 减小,生存时间 T 增大.

$$T = \frac{E}{E_T \times i} \quad (12)$$

(2) 地址分配率

假设系统的总节点数为 N ,分配地址的节点数为 N_c ,则系统的地址分配率 C 如式(13)所示,由于系统可分配地址的节点数 N_c 增大,地址分配率 C 增大.

$$C = \frac{N_c}{N} \quad (13)$$

(3) 通信开销

通信开销与算法效率有关,设初始化时系统的通信开销为 B ;以 B_i 表示每次转发失败所产生的通信开销, B_r 表示重新组网所产生的通信开销, B_T 表

示系统总通信开销.如式(14)所示,与 DAAM 算法相比,自愈算法中路由节点坏死时,采用备份路由节点转发数据,系统不需要重新组网, $B_r = 0$, B 相同, i 减小,所以通信开销 B_T 减小.

$$B_T = B + \sum_i^n B_i + B_r \quad (14)$$

4.2 系统建模

自愈算法与 ZigBee 原协议进行对比,通过仿真比较不同场景下的节点死亡数量,以及系统协调器接收到数据包的数量,对算法性能进行评估.仿真使用 Windows XP 平台上的 OPNET^[6] 进行建模,采用 3 层建模机制,分别介绍了网络拓扑、节点、进程模型^[7],并对仿真结果进行了分析.

针对系统对算法的要求,建立接近实际的仿真场景,系统生存时间仿真采用如下场景:在 $300 \text{ m} \times 300 \text{ m}$ 的正方形区域内设置两个场景,静止节点在区域中随机均匀分布,第一个场景中包含 200 个节点,第二个场景中包含 300 个节点;每个场景中心位置设置一个协调器,节点的发射功率为 0.02 W , C_m 、 R_m 和 L_m 的值分别设为 4、3、5,仿真种子设置为 130、128.

系统地址分配率与控制开销仿真采用如下场景:在 $300 \text{ m} \times 300 \text{ m}$ 的正方形区域内随机分配 N 个节点, $N = 100, 200, 300, 400, 500$,每组做 5 次实验取平均值, C_m 、 R_m 和 L_m 的值分别设为 6、4、8,仿真种子设置为 126、128、130、132、130.

4.3 仿真结果分析

仿真^[8]中通过对电源管理模块的设置,缩短了节点使用时间,以便于统计变量.收集节点死亡数量与时间的关系.图 5 所示为地址分配率对比曲线.仿真对比可以看出,自愈算法明显优于 DAAM 算法,地址分配率平均提高了 26%,这是由于自愈算法解决了孤节点问题,在提高了系统生存时间且不影响原有地址分配机会的基础上,尽可能的为孤节点分配了地址,这就有效的提高了地址分配率.

图 6 所示为 5 个场景下系统通信开销对比曲线,自愈算法在初始化时,已经完成了大部分通信开销,在路由节点能量耗尽后,又有备份节点分担路由压力,减少了重新组网和数据转发失败产生的额外通信开销,验证了自愈算法的可行性.

5 结束语

针对 ZigBee 组建的网络提出了一种自愈算法,

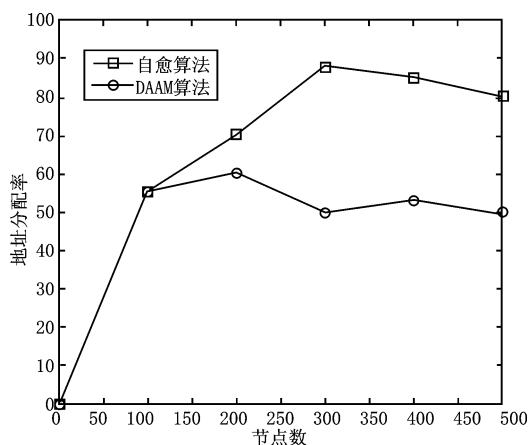


图5 地址分配率对比

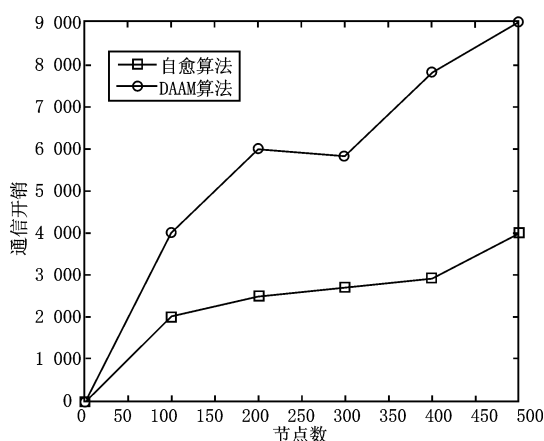


图6 通信开销对比

主要解决了路由节点能量耗尽或由于突发情况死亡导致的网络瘫痪问题。仿真结果表明,该算法可以大大提高网络的生存时间,网络实现了自组织以及自愈。但是算法也带来一些值得进一步研究的问题:两个节点传递数据能否实现最优路由选择;各个路由节点在转发数据过程中是否可以做到尽量使负载均衡;如果可以做到以上两点,就会进一步节约节点能量,延长网络寿命,从而拓宽自愈算法的实际应用范围。

参考文献:

- [1] Huang Li-Chien, Chang Hong-Chan, Chen Cheng-Chun, et al. A zigBee-based monitoring and protection system for building electrical safety[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(6): 1418-1426.
- [2] 金纯, 罗祖秋, 罗凤, 等. ZigBee 技术基础及案例分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [3] Panms, Tsai, Tsengy C. The orphan problem in ZigBee wireless networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2009, 8(11): 1573-1584.
- [4] 康小军. ZigBee 网络路由协议的研究与实现[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2008.
- [5] 任智, 李鹏翔, 姚玉坤, 等. 基于分段的 ZigBee 网络按需可扩展地址分配算法[J]. 通信学报, 2012, 33(5): 131-137.
- [6] 孙屹, 孟晨. OPNET 通信仿真开发手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [7] Vlajic N, Stevanovic D, Spanogiannopoulos G. Strategies for improving performance of IEEE802. 15. 4/ ZigBee WSNs with path-constrained mobile sink(S) [J]. Computer Communications, 2011, 34 (6): 743-757.
- [8] Xu Haiyan. Construction of energy-aware ZigBee network[C]//Proceedings of the 2011 10th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science (DCABES2011). Wuxi, Jiangsu, China: IEEE, 2011: 378-381.

作者简介:

陶志勇 男, (1978-), 博士生, 副教授. 研究方向为多媒体通信;

高鹏涛 男, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络.

(上接第 167 页)

- [9] Sou S, Tonguz OK. Enhancing VANET connectivity through roadside units on highways[J]. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 2011, 60(8): 3586-3602.
- [10] Abdrabou A, Zhuang W. Probabilistic delay control and road side unit placement for vehicular ad hoc networks with disrupted connectivity[J]. IEEE Journal

on Selected Areas in Communications, 2011, 29(1): 129-139.

作者简介:

王艳女, (1982-), 硕士研究生, 讲师. 研究方向为软件开发及数据库.