



# 西南大學

## 专业学位论文选题报告

姓 名 郭良振

学 号 112017321032723

学位类别 工程硕士

学科专业 计算机技术

培养单位 计算机与信息科学学院

校内导师 赵亦欣

校外导师 何东瀛

西南大学研究生院

年 月 日填

校内导师	赵亦欣	职称	副教授	工作单位	西南大学
校外导师	何东瀛	职称		工作单位	
拟选论文题目	ZigBee 多信道网络控制系统的调度方法研究				
关键词 (3-5 个)	轮询调度, 令牌通信, 容错机制, 实时性系统				
论文选题来源 (请在相应栏目中划“√”)					
国家级 教改项目	省部级 教改项目	区县级 教改项目	校级 教改项目	其他	
				√	
<p><b>选题依据及意义:</b></p> <p><b>选题依据:</b></p> <p>现代工业领域广泛采用传感器, 实时监控工业生产中的过程参数, 用于分析、优化和协调, 实现工业产量增加, 产品质量提高。无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks, WSN) 是其中的技术之一<sup>[1]</sup>, 工业自动化技术与传感器相结合, 从下层到上层各个维度垂直发展, 推动工业从传统生产向智能生产迈进<sup>[2]</sup>。目前无线接入方式多元化, 有短距离无线通信技术和广域网通信技术<sup>[4]</sup>, 其中工业无线技术领域已经形成 ISA100.11a、WirelessHART 和我国自主研发的 WIA-PA 和 WIA-FA 标准。目前一方面行业标准化产品渗透率不断提升, 另一方面事实是行业企业市场占有率并不高。主要壁垒是与现有 IT 系统融合程度、成本等其他原因, 上游技术、产品平台、方案等的供给方与下游用户的需求不匹配。</p> <p>ZigBee 技术是一种低速短距离传输的无线协议, 底层采用 802.15.4 标准规约的 MAC 层与物理层<sup>[3]</sup>。ZigBee 技术从 2004 年开始推出版本至今, 已经发展了数十年, 技术趋于成熟和完善<sup>[5]</sup>。通过大幅简化协议 (不到蓝牙技术协议的 1/10), 降低了对通信控制器的要求, 而且 ZigBee 免收协议专利费, 每块芯片的价格大约为 2 美元<sup>[6][7]</sup>。ZigBee 技术凭借低功耗、时延短、低成本的特点, 在工业控制系统的实时控制领域得到广泛的认可。采用 ZigBee 技术开发工业无线网络控制设备节点以及搭建测控系统网络, 对中小规模的自动化企业来说优势十分明显, 竞争力很强。</p> <p>基于 ZigBee 通信技术, 布置大规模的无线传感器节点用于现场设备和外界环境的信息数据的感知采集, 并将边缘侧数据上传至控制中心进行协同处理、实时控制和监测。基于边缘计算的能力赋能和为数据实时服务的效率赋能, 控制中心能实时监控工业现场的状况, 及时发现问题, 减少生产过程中的安全问题, 给企业降低生产成本<sup>[8][9]</sup>。</p> <p>工业上实时性指系统在事件发生后, 在不同量级的时间范围内做出反应<sup>[10]</sup>。工业控制对实时性的需求分为三个等级: 工业级的控制需求要求响应时间在 1s 左右即可, 而过程级控制一般需要响应时间在 10~100ms 以内, 运动控制要求响应时间在 1ms<sup>[11]</sup>。某公司重项研发项目提出具有实时性要求的无线传感器网络控制系统 (Wireless Sensor Network Control System, WSNCS), 由于 ZigBee 无线技术数据传输可靠、成本低等特点, 选择 ZigBee 方案。项目定位 100ms 的实时控制需求, 期望网络控制系统 1s 刷新周期内轮询节点设备的数量达到 50 个。</p> <p>自动化领域国际厂商 Emerson 推出的无线实时控制系统在 1s 的刷新周期下支持 12 个设备接入数, 引用 Emerson 接入设备容量科学估算公式 Emerson's Smart Wireless Gateway Capacity Estimator 得出<sup>[8][12]</sup>, 以接入 50 台设备计, 需要 4s 的通信时间, 实时性远远达不到保证<sup>[13]</sup>。NXP 恩智浦半导体公司作为 ZigBee Alliance 成员企业, 在 ZigBee 技术研</p>					

发和应用方面积累了丰富经验<sup>[13]</sup>。以 NXP JN516X 系列 ZigBee 芯片为例, 搭载 ZigBee 芯片的两个设备节点请求应答时间为 14ms, 设备节点切换目标地址时间为 7ms, 假设系统存在一个 100ms 的实时控制的节点分组。1s 刷新周期下, 接入设备为 29 台, 比 Emerson's Smart Wireless Gateway 采用的实时控制系统增加 17 台接入设备<sup>[9][14]</sup>。仍然达不到项目要求的 50 台的设备接入数。

因此, 在 ZigBee 无线网络有限带宽资源和通信速率的约束下, 保证控制的实时性和提高带宽资源利用率成为亟待解决的问题<sup>[15]</sup>。此外, 对于自动化过程生产来说, 设备节点由于外界因素等其他原因产生故障。在降低企业运行成本、不影响工业生产的前提下, 如何快速响应并恢复系统网络的正常运转, 提高系统鲁棒性, 是一个值得考量和引起重视的问题。通过对现有的网络系统轮询调度机制进行分析、建模仿真, 优化并设计轮询调度机制, 提高轮询节点数量, 充分利用信道资源<sup>[16]</sup>。

在多信道协议的原理和研究方面, 相关学者做了些工作和实验。文献基于不同节点能够同时在两个或两个以上的信道上进行 CSMA/CA 冲突避免, ZigBee 设备节点具有当前时刻的信道唯一性, 即在某个时刻只能工作在一个物理信道上<sup>[17]</sup>。ZigBee 设备具有物理发送器和接收器, 同一时刻只能处于发送或者接收任意一种状态, 工作于半双工通信模式。

基于分簇的研究, 相关文献中簇头使用一致的物理信道。通过时分复用方式依次占用该主信道, 簇内的所有节点由簇首节点管理, 即簇头分配不同的物理信道给簇内节点, 以避免相互干扰。文献提出不分簇的网络拓扑结构, 即实现网络系统内所有节点呈现星型、树型或者网状结构, 每个节点对信道的使用是通过主动发起申请获取, 而不是事先配置固定占用。这种方式容易产生通信冲突和碰撞, 对于网络的运行状态不可知, 鲁棒性不强<sup>[18]</sup>。

网络系统在长时间运行中因某些客观原因可能存在故障节点, 为了保证高质量服务, WSN 必须能够在执行必要的恢复操作之前检测故障传感节点。Mukhopadhyay 等人提出用于无线传感网络可靠性分析的马尔科夫模型<sup>[18]</sup>, Bein 等人从容错性和可靠性角度研究了无线传感器网络的覆盖问题, 提出了三种容错部署模型<sup>[19]</sup>。

基于以上的研究现状及文献, 提出一种多信道的网络控制系统调度。将网络中所有节点最大化数据传输和数据融合能力, 分成若干个簇, 通过算法计算出网络中簇的个数以及簇内设备节点的数量<sup>[20]</sup>。每个簇内分配唯一的数据融合通信信道, 簇间主从通信采用固定控制信道, 同时创新性地簇内采用令牌机制传输, 实现簇内和簇间通信独立进行, 能够最大化网络控制系统的设备接入规模, 实现企业生产最大化, 利润最大化。

#### 选题意义:

(1) 优化轮询调度方法, 系统轮询周期内提升轮询节点设备数量, 扩大网络规模, 提高产品竞争力。

(2) 创新检错、容错机制设计, 提高快速诊断能力, 降低维护时间, 减少运维压力, 提高系统鲁棒性。

(3) 设计隐形令牌通信, 缩减冗余帧对带宽资源的占用, 提高网络通信效率。

## 参考文献

- [1]Aponte-Luis,JuanAntonioG ómez-Gal á n,etc.An Efficient Wireless Sensor Network for Industrial Monitoring and Control[J].Sensors , 2018,18(1):182-197.
- [2]康钊. 2018 年物联网产业报告 [EB/OL]. 运营商世界网, 2019-01.
- [3]洪晓松, 王家胜, 张哲凯, 等. ZigBee 智能控制系统应用现状 [J]. 中国照明电器, 2017 (3).
- [4]关欣, 罗松, 赵小飞, 硕天鸾等.物联网白皮书 [EB/OL]. 中国信通院, 2018-12.
- [5]陈景运, 周祥平. ZigBee 技术在工业控制领域的应用 [J]. 无线电工程, 2006, 36 (06): 61-64.
- [6]向名哲.基于 ZigBee 的工业自动化控制系统数据通讯的研究 [D]. 华北电力大学(北京), 2016.
- [7]Dilahmed J. Real-time control systems with delays researchs[D]. Lund Institute of Technology, 2018.
- [8]Reference Manual 00809-0200-4420, Emerson™ Wireless 1420 Gateway Rev HD July 2017.
- [9]JN-AN-1035,Application Note,Calculating ZigBee Data Rates,NXP Rev. 1.2 — 19 May 2016.
- [10]Hristu D. Stabilization of systems with communication constraints[C]. American Control Conference, 2000,78(4):2342-2346.
- [11] Hongzhu Yue, Qijie Jiang.Research on data aggregation and transmission planning with Internet of Things technology in WSN multi-channel aware network(2018) [J]The Journal of Supercomputing.
- [12] A Polling-Based Transmission Scheme Using a Network Traffic Uniformity Metric for Industrial IoT Applications. [J] Sensors. 2018,15(4):636-651.
- [13]汪科.工业控制中的 ZigBee 技术分析及研究 [J]. SCIENTIST 科学家, 2017 (1).
- [14]Enas F.Khairullah, MainakChatterjee.Queue based scheduling in single and multi channel dynamic spectrum access networks[J].Pervasive and Mobile Computing Volume 46, June 2018, Pages 73-95,2018,46(18):73-95.
- [15]Haroon Khan, Mian Ahmad Jan, Muhammad Alam,etc.A Channel Borrowing Approach for Cluster-based Hierarchical Wireless Sensor Networks[J].Mobile Networks and Applications,2018,12(34):124-135.
- [16]Xujing Li, Anfeng Liu, Mande Xie,etc.Adaptive Aggregation Routing to Reduce Delay for Multi-Layer Wireless Sensor Networks[J].Sensors,2018,18(4):78-106.
- [17]Hoon Oh, Chi Trung Ngo.A Slotted Sense Multiple Access Protocol for Timely and Reliable Data Transmission in Dynamic Wireless Sensor Networks[J].IEEE Sensors Journal,2018,18(5):2184-2194.
- [18]Shihong Hu; Guanghui Li.Fault-Tolerant Clustering Topology Evolution Mechanism of Wireless Sensor Networks[J].IEEE Access,2018,6(369):28085-28096.
- [19] Zhengwang Ye, Tao Wen, Zhenyu,etc. A security fault-tolerant routing for multi-layer non-uniform clustered WSNs[J]. Journal on Wireless Communications and Networking,2016:192.
- [20]Sasmita Acharya, C.R.Tripathy.An ANFIS estimator based data aggregation scheme for fault tolerant Wireless Sensor Networks[J].Journal of King Saud University Computer and Information Sciences,2016,30(3):334-348.

### **主要研究内容，拟解决的关键问题以及预期达到的目标：**

#### **主要研究内容**

1. ZigBee 通信，无线自组网，制定节点间网络通信协议。
2. ZigBee 网络控制系统拓扑结构的设计，边缘簇内令牌通信与簇间主从通信，以及簇内数据融合的研究。
3. ZigBee 通信策略设计，研究可兼顾实时数据上传及通信性能的轮询调度策略，对于控制实时性要求的数据，实现边控制运算边快速上传；对于采样节点采集的数据，以更长的通信周期上报数据的研究。
4. 网络控制系统的多信道资源分配，实现簇内和簇间通信独立进行，互不干扰。
5. ZigBee 网络控制系统容错机制设计，研究网络控制系统中心快速定位故障节点以及数据通信冲突避免的研究。

#### **拟解决的关键问题：**

1. 网络控制系统资源和条件达到极限下的系统单个通信周期节点轮询网络规模的问题。
2. 簇内通信与簇间通信数据冲突避免的问题。
3. ZigBee 网络控制系统的多信道资源分配。

#### **预期达到的目标：**

开发 ZigBee 网络控制系统，设计一种轮询调度机制。网络控制系统中心协调器节点完成网络系统节点的配置，及轮询调度的执行。

1. 实现网络控制系统 ZigBee 设备节点一对一正常通信。
2. 实现以协调器节点为主站，簇首为从站的主从通信。
3. 实现簇内簇首节点与簇内各节点的隐形令牌通信。
4. 轮询状态下实现多信道资源分配和簇内数据、簇间数据独立传输的轮询机制。
5. 簇内节点在边缘侧实现数据融合。
6. 实现控制性数据实时上传的要求，在通信周期内完成所有节点数据的上传。

## 主要研究方法:

### 一、网络控制系统的拓扑结构设计

网络控制系统传统连接的节点数能力分析,以星型拓扑结构为例,如图1所示。网络控制系统中所有节点使用 ZigBee 单一物理信道进行通信,不进行分簇,建立星型拓扑结构。

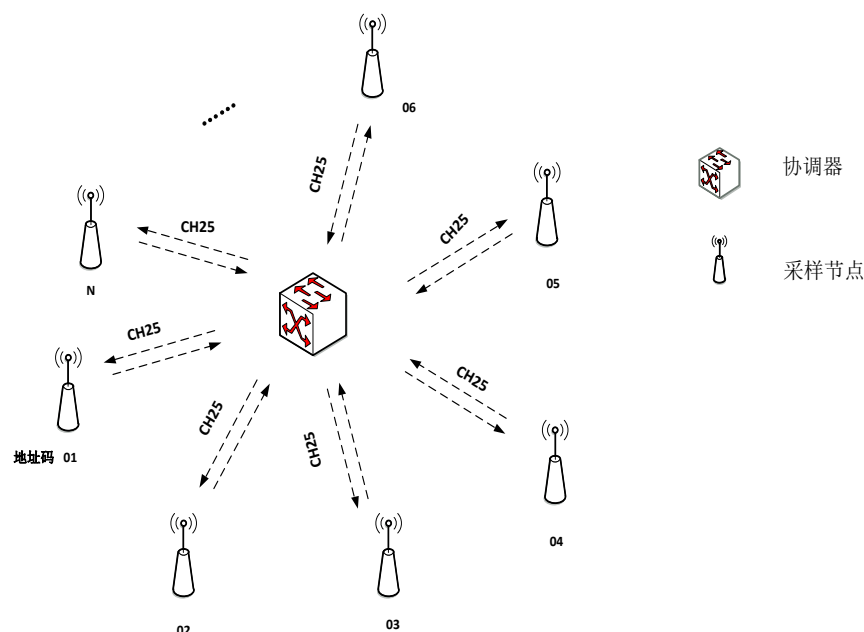


图1 星型拓扑结构

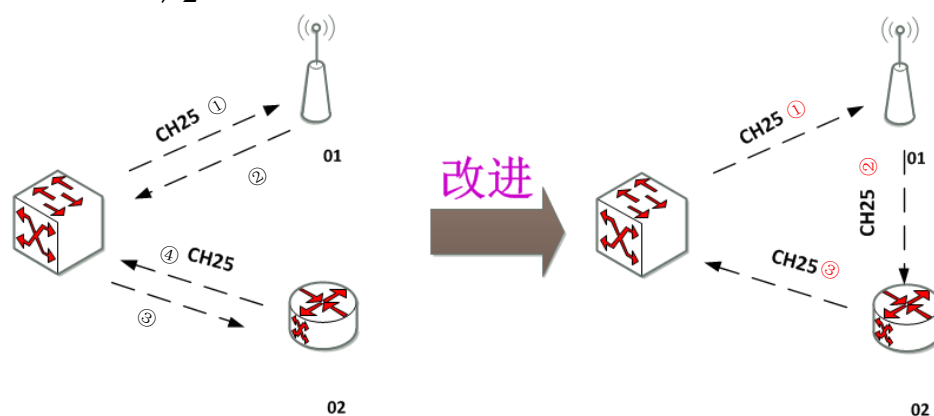
设单独轮询一个节点,请求应答通信事务所需要的时间记为  $T=14ms$ ,  $T_{total}=1s$  表示协调器轮询底层所有节点的总时间,协调器的 ZigBee 模块轮询切换目标节点本地地址的时间为  $t_{change}=7ms$ ,网络控制系统中存在一个  $100ms$  实时控制的节点分组,由一个采样设备节点和一个控制设备节点组成。则系统可容纳的节点个数为:

$$\frac{T_{total}}{T + t_{change}} = 29 \text{ 个}$$

不满足 50 个设备接入数的要求。

### 二、网络控制系统分簇方案的设计与改进

从星型拓扑结构中,已有学者将采样节点和控制节点组成的实时控制的节点分组串联成控制回路,能够减少  $T/2$  的通信事务时间,如图2所示。



减少  $T/2$  通信事务时间

图2 串联组成控制回路

在学者研究的基础之上,不失一般性地,对于网络控制系统中的一般采样节点也采用

类似的组织结构，能够减少冗余帧的通信事物时间。将网络控制系统中的一般采样节点使用分簇的思想，即将网络控制系统中的所有采样节点分成若干个簇，每个簇的组织结构如图 3 所示：

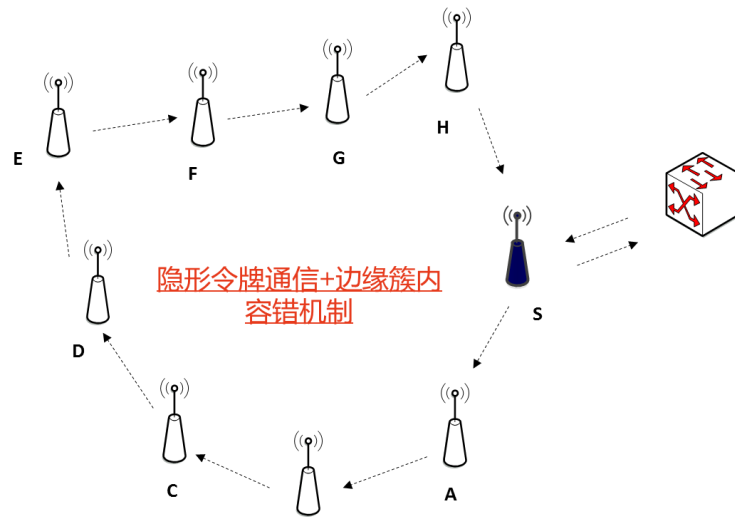


图 3 一般采样节点组簇

簇内各个节点收到轮询请求帧后，将自身的数据加到请求帧的后面，作为通信隐形令牌，传递给下一节点，进行簇内数据融合。与星型拓扑的结构相比，在相同采样设备节点数的前提下，由原先的  $iT$  时间缩减到  $\frac{(i+2)T}{2}$ 。节省的时间可以用来轮询调度其他簇，极大地扩大网络控制系统的设备接入数。

对于一般采样节点组成的边缘簇，每个边缘簇选择一个 ZigBee 传感设备作为簇首节点，所有节点都有一个唯一的地址码 ID 标识，簇首节点具备数据融合功能。即协调器按照地址码依次增加的规律配置边缘簇内节点 ID。簇内采用隐形令牌通信机制，要求同一边缘簇中的地址码应配置为连续增加，不可发生随机跳变。一般采样节点边缘簇的规则约束如图 4 所示。

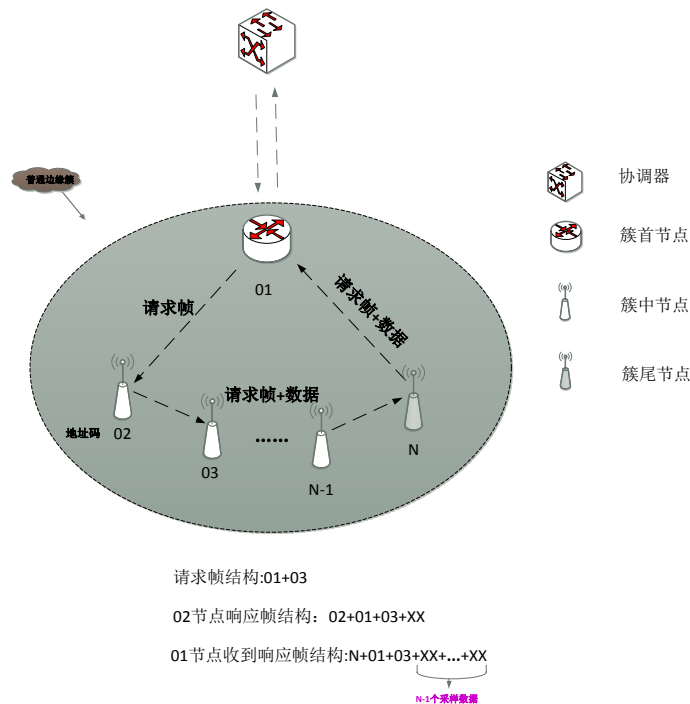


图 4 一般采样节点簇的规则约束

### 三、轮询调度机制分析及改进

1、网络控制系统中所有采样节点使用 ZigBee 单一物理信道进行通信。协调器节点对

网络设备节点进行轮询时，底层各边缘簇首节点地址码与协调器之间遵守主从通信机制，底层各边缘簇内节点采用通信隐形令牌的方式进行信息传输，以避免多节点同时通信，产生通信碰撞的问题。令牌是一种特殊的数据段，作用是允许节点进行数据发送，正常运行时，一个站点只有持有令牌传输时才能发送数据。簇内通信机制是由边缘簇中地址码最小的节点接收到轮询请求后，将自身的采样数据加到请求的末尾，视为通信隐形令牌，发送至边缘簇的下一个节点中，重复以上步骤。直至簇尾接收到请求指令与其他边缘节点的信息，将所有数据转发至簇首节点。簇首节点最后将所有数据进行整合、筛选，响应给协调器。ZigBee 单信道组簇通信如图 5 所示。

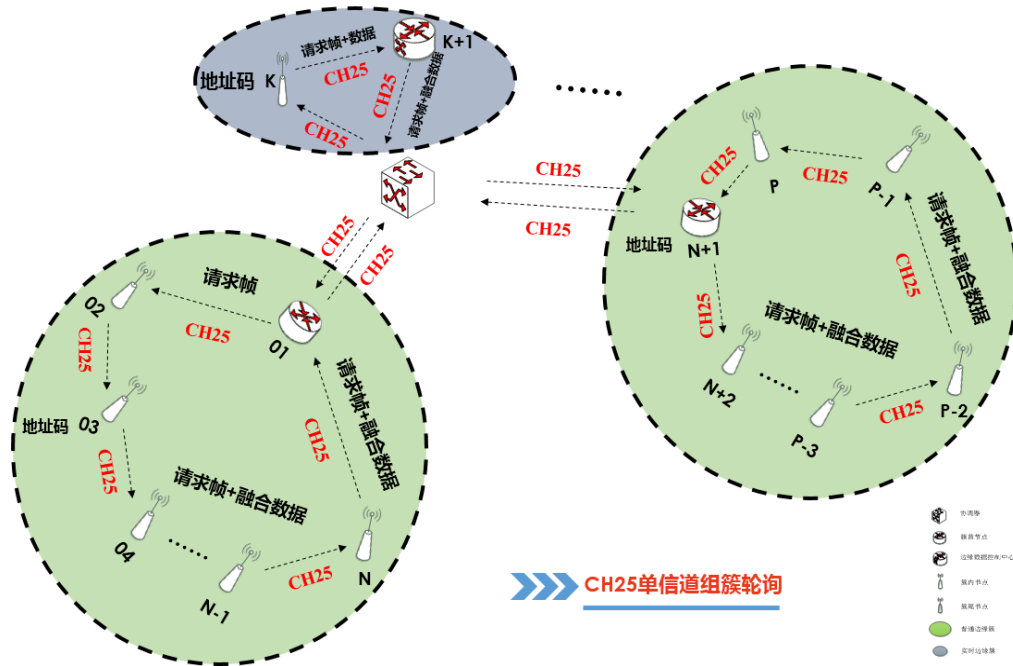


图 5 ZigBee 单信道组簇通信

如前述，请求应答通信事务周期  $T = 14ms$ ，协调器轮询底层所有节点的总时间  $T_{total} = 1s$ ，协调器的 ZigBee 模块切换轮询目标节点本地地址的时间  $t_{change} = 7ms$ ，则系统可容纳的节点个数为：

$$10 \left\lfloor \frac{2i \times \left( 100 - m \times \left( t_{change} + \frac{3T}{2} \right) \right)}{(i+2)T + 2t_{change}} \right\rfloor + 2m = 42 \text{ 个}$$

其中， $m$  表示控制回路的个数， $m=1$ ， $i$  表示一个边缘簇中的节点个数， $i=4$ 。在此种网络通信拓扑结构下，不满足 50 个设备接入的要求。

2、轮询调度的目标就是为了实现系统轮询周期内增加可轮询节点的数目。在网络控制系统节点组簇的基础上，研究分析网络控制系统中使用 ZigBee 多信道进行通信。ZigBee 通信在 ISM (Industrial Scientific Medical) 频段上，支持 16 个无线信道，信道分布如图 6。

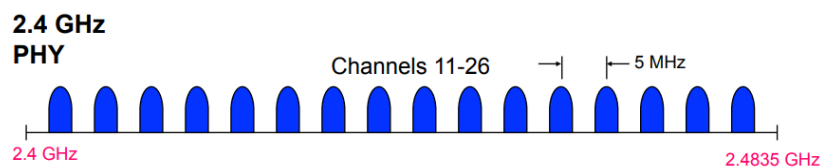


图 6 ZigBee 于 2.4G 频段信道分布

ZigBee 在 2.4GHZ 频段上通道信道计算公式如下：



$$F_c = [2405 + 5(k-11)] \text{MHz}, (k=11,12,\dots,26)$$

簇内分配唯一数据信道，簇间和控制回路使用固定控制信道 CH25。采用簇内令牌通信与簇间主从通信方式，簇内通信与簇间通信独立进行。多信道分簇拓扑结构，保证簇内簇间通信独立进行，互不干扰。轮询调度机制改进如图 7 所示。

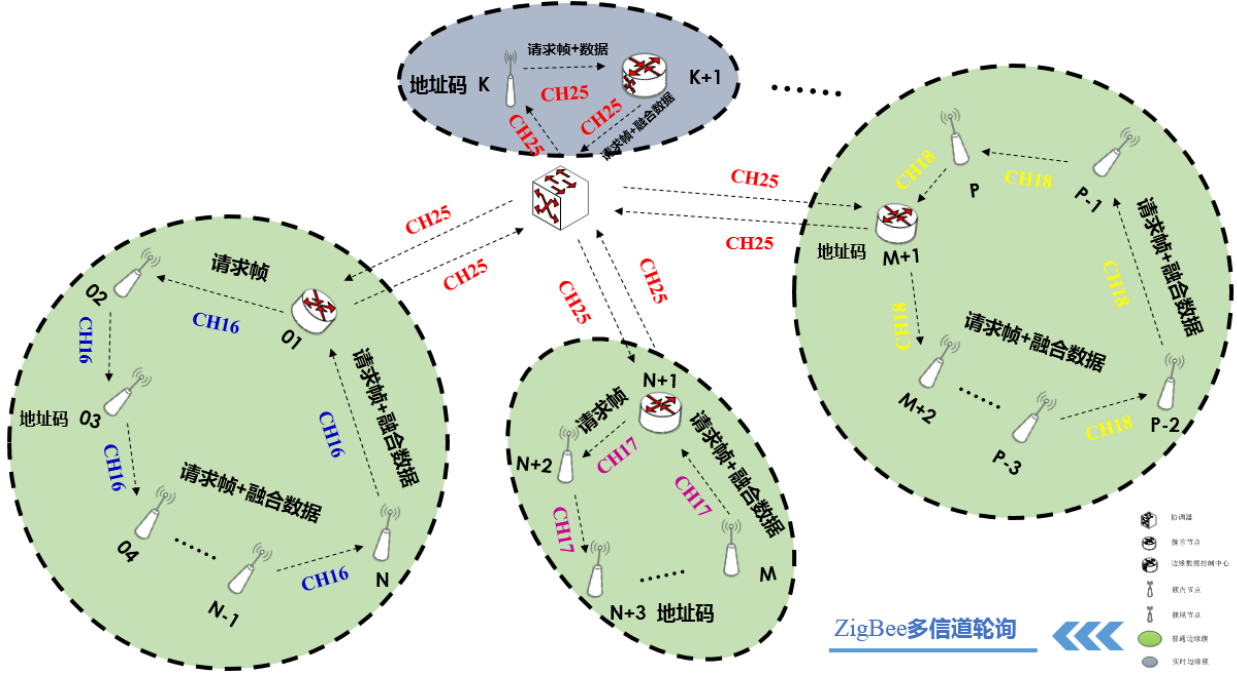


图 7 ZigBee 多信道轮询通信

对每一个边缘簇独立分配一个信道，协调器使用 CH25 与所有边缘簇进行通信，对于实时控制要求的回路也工作在 CH25 信道上。

对于一般采样节点边缘簇：

- 协调器切换目标地址指向 01 簇首节点，使用 CH25 向边缘簇中簇首发起轮询请求，需要  $t_{\text{change}} + \frac{T}{2}$ ，
- 01 簇首节点收到请求后，切换成 CH16，并转发报文给簇内节点，需要  $t_{\text{change}} + \frac{T}{2}$ ，
- 发送完成之后，簇首节点切换回 CH25 响应簇的融合数据给协调器，需要  $t_{\text{change}} + \frac{T}{2}$ 。

之后是多信道独立通信流程，有两个数据流向。一个数据流向是协调器使用信道 CH25 轮询下一个边缘簇，另一个数据流向是第一个边缘簇内节点以通信隐形令牌方式使用信道 CH16 簇内通信。簇内与簇间通信独立进行流程如下：

对于第一个边缘簇，

- 簇首节点响应完协调器后，切换回 CH16，等待簇尾节点发来响应帧，需要  $t_{\text{change}}$ 。
- 簇首节点收到融合数据之后，切换信道 CH25，等待下一周期协调器的轮询。

对于第二个边缘簇，

- 协调器切换地址指向 (N+1) 号目标地址，使用 CH25 向边缘簇中 (N+1) 号簇首节点发起轮询请求，需要  $t_{\text{change}} + \frac{T}{2}$ ，
- (N+1) 号簇首节点收到请求后，切换成 CH17，并转发报文给簇内节点，需要  $t_{\text{change}} + \frac{T}{2}$ ，
- 发送完后，(N+1) 号簇首节点切回 CH25 融合数据响应给协调器，需要  $t_{\text{change}} + \frac{T}{2}$ 。

轮询一个普通边缘簇时间需要  $4t_{\text{change}} + 3\frac{T}{2}$ 。

对于实时控制回路：

- i. 协调器切换目标地址为控制回路边缘数据采样中心。使用 CH25 向回路边缘数据采样中心发起轮询请求，需要  $t_{change} + \frac{T}{2}$ ，
- ii. 边缘数据采样中心使用 CH25 将请求连同自身数据以隐形令牌方式组帧转发至簇尾边缘数据控制中心，需要  $\frac{T}{2}$ ，
- iii. 边缘数据控制中心需将边缘数据采样中心所执行的部分控制运算结果进行整合，执行控制输出并封装成帧，使用 CH25 直接上传响应给协调器，需要  $\frac{T}{2}$ 。

轮询一个实时控制类型的边缘簇时间需要  $t_{change} + 3\frac{T}{2}$ 。

仅考虑网络中存在一个  $100ms$  数据实时控制回路，为保证簇内簇首节点响应数据可靠性，网络系统轮询周期  $T_{total} = 500ms$ ，簇首节点信道切换时间  $T_{channel} = 10ms$ 。要求单个簇内数据令牌通信总时间不超过  $500ms$ ，数据融合应答通信时间  $T_{fuse} = (7+l)ms, l=1,2,...,n$ ，则簇内通信时间为  $T_{cluster} = \frac{n(T_{fuse}^1 + T_{fuse}^n)}{2}$ ，其中  $T_{fuse}^l$  为第  $l$  个设备节点融合数据响应给下一个设备节点的时间。簇内组成 10 个一般采样节点的簇， $T_{cluster} < 500ms$  则系统可容纳的节点个数为：

$$5i \times \left[ \frac{100 - m \left( t_{change} + \frac{3T}{2} \right)}{3T_{channel} + t_{change} + \frac{3T}{2}} \right] + 2m = 52 \text{ 个}$$

满足设备接入数的要求。

#### 四、容错机制的设计

对于一般采样节点组成的簇，建立容错机制。由于网络控制系统运行中设备节点发生故障等原因，边缘簇中节点收到前序节点的轮询请求，通过信道转发出去以后，原因导致后序节点未收到请求，形成簇内通信死锁的问题。设计了一种定时触发+主动上传的容错机制方案。具体如下：

在底层各节点在接收到第一次轮询请求帧时，将启动请求超时定时器，其定时长度为  $T_{ch} (T_{ch} > T_{total})$ ，请求超时定时器启动时相当于消息时钟同步操作。当在  $T_{ch}$  时间内，第二次请求发送到该节点，节点将请求帧连同自身信息，以令牌的方式转发至下一个节点，同时对请求超时定时器重启计数；当超过  $T_{ch}$  时间，该故障设备右邻节点根据请求超时定时器的计数溢出定时触发，主动上传采样数据。以通信隐形令牌的方式继续传递，直到簇首节点收到簇尾节点发来的簇内的融合数据，簇首节点将簇中所有节点数据响应给协调器。协调器收到数据帧之后，通过和请求帧进行比对，能够快速定位故障节点的位置。

边缘簇内节点运行正常，以通信隐形令牌方式完成数据融合传递，则簇首节点收到簇尾节点的响应帧如下，

正常通信簇尾节点响应帧结构：

$$N + 01 + 03 + \underbrace{XX + \dots + XX}_{N-1 \text{ 个采样数据}}$$

若边缘簇内，以簇首节点为第一个节点，簇内第  $x$  个设备节点故障异常，则簇首节点收到簇尾节点的响应帧如下，

节点异常簇尾节点响应帧结构：

$$N + (x+1) + 03 + \underbrace{XX + \dots + XX}_{N-x \text{ 个采样数据}}$$

容错机制设计流程和通信示意图如图 8 和图 9 所示：

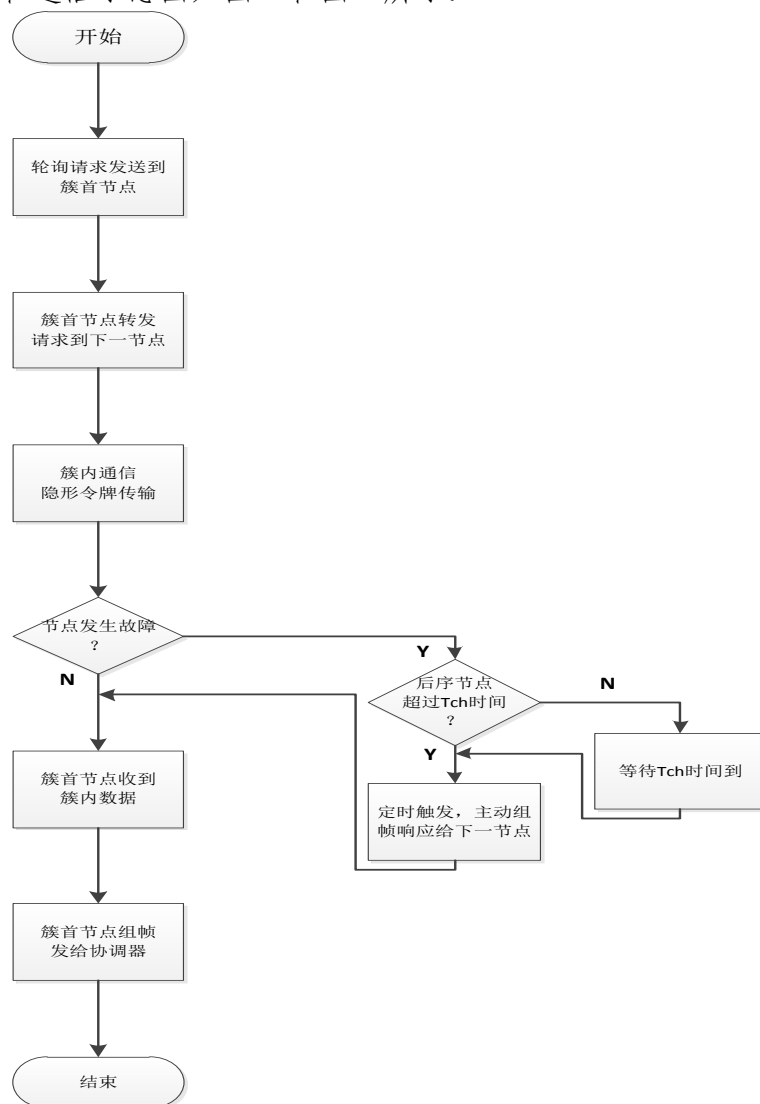


图 8 容错机制设计流程

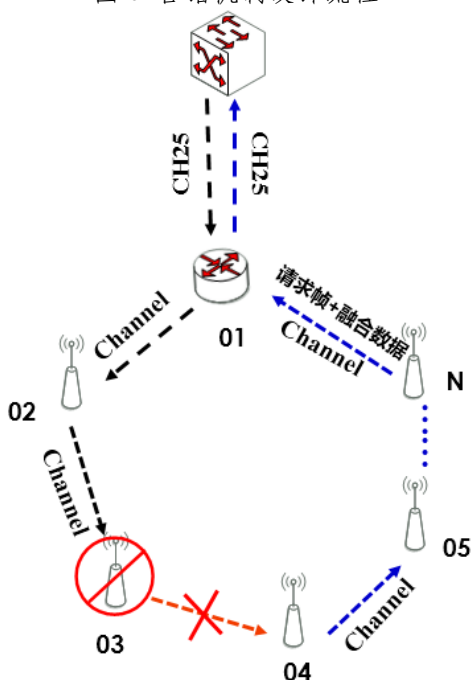


图 9 容错机制设计通信示意图

### 实施方案及计划:

- (1) 数据库查阅资料, 整理相关内容; (已完成)
- (2) 硬件器件选型, 搭建硬件开发平台, 设计连接 ZigBee 模块的最小系统板及其他外围电路, 完成基本的数据采集和 ZigBee 通信; (已完成)
- (3) 2019 年 4-5 月, 制定网络系统节点间通信协议, 完成数据发送的协议封装和收据接收的协议解析;
- (4) 2019 年 6-7 月, 完成网络协调器使用单信道对节点组簇的通信实现;
- (5) 2019 年 8 月, 完成网络协调器使用多信道对节点组簇的通信实现;
- (6) 2019 年 10-11 月, 完成网络系统基于定时触发、主动上传的容错功能实现;
- (7) 2019 年 12 月, 在平台上完成系统联调, 测试, 以及系统运行测试改进, 完成项目开发;
- (8) 2020 年 1 月-2020 年 3 月, 构思并撰写毕业论文。

校内导师对开题报告的评语:

导师签名:

年 月 日

校外导师对开题报告的评语:

导师签名:

年 月 日

以下部分由培养单位填写:

开题报告专家组成员组成情况

组成	姓名	职称	所在单位	从事专业	本人签名
组长	黄伟	副教授	西南大学	计算机控制技术	
组员	赵亦欣	副教授	西南大学	计算机控制技术	
	王宇俊	副教授	西南大学	智能机器人	
	于同奎	副教授	西南大学	复杂经济系统	
	张凤翔	副教授	西南大学	实时嵌入式系统	
秘书	段宝燕	学生	西南大学	计算机技术	

开题报告专家组意见:

( 主要对开题报告选题、论据, 研究内容、方案及方法等做出评价 )

开题报告评议结果 ( 通过、不通过 ):

组长签名:

年 月 日

培养单位意见:

负责人签名 ( 公章 ):

年 月 日

注: 本表一式三份, 经审核通过后培养单位、导师、研究生各留一份。