

文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2021R_2021072315351220210723154735311182953002

检测时间:2021-07-23 15:47:35

检测文献: 009

作者: 养方式

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

图书资源

优先出版文献库

学术论文联合比库

互联网资源(包含贴吧等论坛资源)

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

互联网文档资源

源代码库

CNKI大成编客-原创作品库

个人比库

时间范围: 1900-01-01至2021-07-23

检测结果

去除本人文献复制比: 7.7%

跨语言检测结果: 0%

去除引用文献复制比: 4.7%

总文字复制比: 7.7%

单篇最大文字复制比: 3.9% (7063_谭正永_检测技术与自动化装置)

重复字数: [1914]

总段落数: [3]

总字数: [24746]

疑似段落数: [3]

单篇最大重复字数: [959]

前部重合字数: [109]

疑似段落最大重合字数: [1123]

后部重合字数: [1805]

疑似段落最小重合字数: [109]



指 标: ☐ 疑似剽窃观点 ☒ 疑似剽窃文字表述 ☐ 疑似整体剽窃 ☐ 过度引用

表 格: 0

公 式: 没有公式

疑似文字的图片: 0

脚注与尾注: 0

1.1% (109) 1.1% (109) 009_第1部分 (总9750字)

7.3% (682) 7.3% (682) 009_第2部分 (总9283字)

19.7% (1123) 19.7% (1123) 009_第3部分 (总5713字)



(注释: 无问题部分 文字复制部分 引用部分)

1. 009_第1部分

总字数: 9750

相似文献列表

去除本人文献复制比: 1.1% (109)

文字复制比: 1.1% (109)

疑似剽窃观点: (0)

1	无线传感器网络视频流路由算法研究 倪尧(导师: 鲍宇) - 《中国矿业大学硕士论文》- 2017-05-01	0.5% (48) 是否引证: 否
2	TS14170022 倪尧_无线传感器网络视频流路由算法研究_自设专业_鲍宇 倪尧 - 《学术论文联合比库》- 2017-10-20	0.5% (48) 是否引证: 否
3	006_201321060111 赵振宇 赵振宇 - 《学术论文联合比库》- 2016-03-31	0.3% (30) 是否引证: 否
4	48基于白盒的token车联网的分词网络流量分析 - 《学术论文联合比库》- 2016-03-23	0.3% (30) 是否引证: 否

5	基于负载均衡的自组网多径路由协议研究 郭露 - 《学术论文联合比对库》 - 2019-04-18	0.3% (30) 是否引证: 否
6	基于负载均衡的自组网多径路由协议研究 郭露 - 《学术论文联合比对库》 - 2019-06-09	0.3% (30) 是否引证: 否
7	关于人工智能在电力系统中的应用与实践探讨 钟业荣; - 《电力设备管理》 - 2021-05-25	0.3% (30) 是否引证: 否

原文内容

专业硕士学位论文
面向电力物联网的拥塞控制算法研究
Research on congestion control algorithms for the power IoT
姓名
2021 年 07 月
国内图书分类号: 学校代码: 10079
国际图书分类号: 密级: 公开
硕士学位论文面向电力物联网的拥塞控制算法研究
硕士研究生:
导师:
企业导师:
申请学位: 工程硕士
专业领域:
培养方式: 在职
所在学院: 电气与电子工程学院
答辩日期:
授予学位单位: 华北电力大学
Classified Index:
U.D.C:
Dissertation for the Professional master's Degree
Research on congestion control algorithms for the power IoT
Candidate:
Supervisor:
School: School of Electric and Electronic Engineering
Date of :
Degree-Confering-Institution: North China Electric Power University
华北电力大学硕士学位论文原创性声明
本人郑重声明: 此处所提交的硕士学位论文《面向电力物联网的拥塞控制算法研究》, 是本人在导师指导下, 在华北电力大学攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。据本人所知, 论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果。对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体, 均已在文中以明确方式注明。本声明的法律结果将完全由本人承担。
作者签名: 日期: 年月日
华北电力大学硕士学位论文使用授权书
《面向电力物联网的拥塞控制算法研究》系本人在华北电力大学攻读硕士学位期间在导师指导下完成的硕士学位论文。本论文的研究成果归华北电力大学所有,
本论文的研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解华北电力大学关于保存、使用学位论文的规定, 同意学校保留并向有关部门送交论文的复印件和电子版
本, 允许论文被查阅和借阅。本人授权华北电力大学, 可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文, 可以公布论文的全部或部分内容。
本学位论文属于 (请在以上相应方框内打“√”) :
保密□, 在年解密后适用本授权书
不保密□
作者签名: 日期: 年月日 导师签名: 日期: 年月日
摘要
随着智能电网和电力物联网的建设进程不断推进, 电网的智能化和数字化水平不断提升, 随之而来的是大量部署的传感器节点和感知设备, 这就对电力物联网的网络性能和质量要求提出了巨大的挑战, 继续提升现有的传感器网络的有效性, 避免和缓解网络的拥塞情况。本文从网络的拥塞控制角度出发, 对电力物联网中传感
器所在的网络进行研究, 首先从网络中节点的公平性出发, 通过量子粒子群算法和PID 算法实现拥塞控制, 并且保证远端节点的公平性; 其次考虑拥塞控制的整个过程, 在进行准确地拥塞控制检测后, 利用基于协同路径的拥塞控制算法缓解拥塞情

况。

为了缓解网络拥塞情况，本文从节点公平性、拥塞检测及控制算法角度出发，研究拥塞控制算法。首先为提升电力物联网环境中传感器所在网络中节点的公平性，根据传输距离和网络拥塞情况，重新调整不同传感器节点进入队列的缓解的概率，通过在 PID 队列管理算法中引入量子粒子群算法，从而达到缓解传感器所在无线网络的节点拥塞的情况。其次从拥塞检测和解决的角度出发，通过节点队列缓存区空置比率和拥塞因数两个参数共同判断网络拥塞的情况，接着提出基于协同路径的拥塞控制算法，通过综合对比备选节点的拥塞因数、剩余能量、信道占用率等参数，建立协同路径来缓解网络拥塞。最后通过在仿真环境中验证，本文提出的两种算法均具有更好的性能。

关键词：电力物联网；拥塞控制；量子粒子群；协同路径

II

Abstract

With the continuous advancement of the construction of smart grids and power Internet of Things, the smart and digital level of the power grid continues to improve, followed by a large number of deployment of sensor nodes and sensing devices, which will affect the network performance and quality of the power Internet of Things. The request poses a huge challenge to continue to improve the effectiveness of the existing sensor network, avoiding and alleviating network congestion. From the perspective of network congestion control, this paper studies the network where the sensors in the power Internet of Things are located. First, starting from the fairness of the nodes in the network, the quantum particle swarm algorithm and PID algorithm are used to achieve congestion control and ensure the fairness of remote nodes. Secondly, consider the whole process of congestion control. After accurate congestion control detection, the congestion control algorithm based on cooperative path is used to alleviate the congestion. In order to alleviate network congestion, this paper studies the congestion control algorithm from the perspective of node fairness, congestion detection and control algorithm. First of all, in order to improve the fairness of the nodes in the network where the sensors are located in the power Internet of Things environment, according to the transmission distance and network congestion, readjust the mitigation probability of different sensor nodes entering the queue. By introducing the quantum particle swarm algorithm into the PID queue management algorithm, So as to alleviate the congestion of nodes in the wireless network where the sensor is located. Secondly, from the perspective of congestion detection and resolution, the two parameters of node queue buffer vacancy ratio and congestion factor are used to jointly judge the network congestion. Then, a congestion control algorithm based on cooperative paths is proposed, and the congestion factor and congestion factor of candidate nodes are comprehensively compared. Remaining energy, channel occupancy rate and other parameters, establish a cooperative path to alleviate network congestion. Finally, it is verified in a simulation environment that the two algorithms proposed in this paper have better performance.

Keywords: Power Internet of Things; Congestion Control; Quantum Particle Swarm; Cooperative Path

III

目录
摘要

..... I

Abstract..... II

第 1 章绪论..... 1

1.1 研究背景和意义..... 1

1.2 国内外研究现状..... 2

1.3 论文的主要内容..... 4

1.4 论文的章节安排..... 4

第 2 章电力物联网中传感网络的拥塞控制研究..... 6

2.1 电力物联网.....

6

2.2 拥塞控制研究

2.2.1 拥塞的产生原因

2.2.1 拥塞控制的基本思想

2.3 本章小结

12

第 3 章基于量子粒子群算法的拥塞控制研究

3.1 算法理论研究

3.1.1 量子粒子群算法

3.1.2 QPSO_PID 队列管理算法

3.2 基于量子粒子群算法的拥塞控制算法设计

3.3 仿真设计与结果分析

3.3.1 仿真参数设置

3.3.2 结果分析

3.4 本章小结

21

第 4 章基于协同路径的拥塞控制研究

4.1 网络模型的构建

4.2 基于协同路径的拥塞控制算法设计

4.2.1 拥塞检测

4.2.2 路径创建

4.2.3 路径解除

4.3 仿真设计与结果分析

4.3.1 仿真环境及内容

4.3.2 仿真结果分析

4.4 本章小结

30

第 5 章结论与展望

参考文献

32

1

第 1 章绪论

1.1 研究背景和意义

随着电力系统的不断扩大，电力系统中的业务数量和种类在不断增加，终端、设备节点的数量和种类仍在日益丰富，设备及节点的数量多、分布广泛、密度不均匀，并且业务数量多、变动频繁、节点信息量较大，如何全面、准确、及时地获取这些设备及节点的数据，是目前电力系统面临的主要难题[1]。随着电力物联网建设目标的提出，传感器的节点也日益增多，必须寻找可以改善传感器数据收集和传输的问题的方法[2]。由于节点的部署部署具有随机性，也呈现不规则分布，因此传感器的位置时无法提前预知的，并不能根据现有的网络拓扑制定通信策略，可以借助各个节点之间协同作业，完成数据的传输[3]。在系统进行数据收集时，传感器节点将经过本地处理的数据经过邻居节点、数据节点

，采用单跳或者多跳的形式，到达数据的目的节点，即汇聚节点，完成传感器数据的传输过程[4]。

传感器节点数量和种类的大幅增加，导致业务数据呈爆发式增长，有限的通信资源和能力与大量待传输的数据形成矛盾，导致网络出现拥塞情况，严重影响业务系统的正常运行[5]。当网络中出现拥塞情况时，是由于网络中节点需要传输的数据量太大，导致网络负载过大，网络中存在的通信资源不能满足传输的需求，所以出现网络拥塞[6]。其次，网络节点的大量部署，节点的存储和转发能力有限，计算能力不满足需求，突发的数据流量等都会导致电力物联网中出网络拥塞，严重的话会影响电力系统的运行[7]。

当传感器所在的网络出现拥塞时，网络中将会出现数据包的丢失、重传，网络性能急剧下降，网络的吞吐量会下降，数据的传输时延增大，甚至设备节点的信息不能解释传送到控制或者计算中心，导致下发的控制命令可能会出现偏差[8]，导致决策错误，严重的情况下甚至会影响电力系统的稳定运行，造成大规模的经济和社会影响[9]。

因此，在电力物联网建设进程中，要想保证系统稳定可靠的运行，解决传感器节点的数据的传输问题是必须进行的。在进行拥塞控制的时候，可以借鉴其他领域相对成熟的拥塞控制算法和方案[10]，本文研究分析电力物联网和无线传感网络的特点相似之处，利用无线传感网络的拥塞控制方法，寻找解决电力物联网中的传感网络的拥塞问题的方法[11]。

无线传感网络是一种特殊形态的网络，网络中包含大量的无规则分布的传感器节点，节点采用写作感知、采集和处理数据信息，并按照规定的路径传送到基站节 2

点(sink)。无线传感网络可以应用在医疗、交通、环境检测等多个领域[12]。随着对无线传感网络研究的不断深入，为了缓解网络拥塞带来的不良影响，众多学者针对网络能力的保证技术和算法也在不断进行探索和研究[13]，现有的拥塞控制算法已经相对成熟，借助已有理论与电力物联网的实际情况结合，研究适用于电力物联网的拥塞控制算法，具有重要的理论和显示意义，可以用来缓解电力物联网中面临的拥塞问题，满足实际的网络性能需求[14]。

基于以上的背景，本文结合量子粒子群算法和协同路径的思想，研究面向电力物联网的拥塞控制算法，提出两种拥塞控制方法，目的在于实现对拥塞情况的缓解。

通过本文理论算法的研究，可以为未来电力物联网的网络发展以及网络性能保证提供理论参考。

1.2 国内外研究现状电力物联网中的传感器所在的网络与无线传感网存在很多相似的特征，本文研究无线传感网的特点以及拥塞控制算法，为电力物联网的网络建设提供理论参考依据[15]。无线传感网络是基于传感器的网络，传感器节点之间通过自组织或者相互写作的方式完成网络中数据的传输和其他任务[16]。无线传感网络和电力物联网类似，

拥塞可以发生在网络中的任意一个节点，导致网络出现故障[17]。由于无法直接控制发送数据的传感器源节点，因此需要对网络中的节点进行预先的拥塞控制算法设计，避免网络中出现拥塞情况，导致网络性能下降，进而影响网络数据的传输，影响业务的正常运行，实现拥塞控制的目的[18]。

研究众多文献发现，国内外研究学者对无线传感网络中的拥塞控制进行了多年研究，整体分析拥塞情况产生的原因，分阶段避免或者改善无线传感网络中的拥塞情况[19]。根据理论分析，拥塞控制机制主要分为以下三个部分：拥塞预防、拥塞检测和拥塞控制。

无线传感网络中的拥塞检测方法按照算法机制，可以分为以下几种[20]：

- 1) 以网络中的节点缓存区域占用率作为判断依据。首先设置无线传感网络中的节点缓存区域占用率的门限值，然后根据占用率的实时参数与门限值对比，判断网路中是否发生了拥塞情况[21]。
- 2) 以数据分组的发送延迟作为判断依据。数据分组的发送延迟表示从数据分组到达缓解节点直至所有数据分组全部转发结束为止的时间，根据时间的长短判断网络中是否发生了拥塞情况。
- 3) 以信道的负载程度作为判断依据。信道的负载程度表示进行数据传输的信道带宽的占总体带宽的情况。首先设置信道的负载程度的阈值，然后根据信道的实时占用率，判断网络中是否发生了拥塞情况。 3

4) 以信道负载和缓存区的占用率作为判断依据。首先设置参考阈值，然后根据网络中实时监听到的信道负载和缓存区的占用率进行结合，综合考虑网络的实际情况，判断网络中是否发生了拥塞，方法具有更好的准确性[22]。

拥塞预防是网络中尚未发生拥塞情况时，在网络中提前设计并部署相应的算法，避免网络中出现拥塞情况，并且可以有限地控制网络进入拥塞状态。无线传感网络中的拥塞预防方法主要从以下几个方向进行考虑[23]：

- 1) 根据网络中节点工作时间，设定相应的节点工作机制，合理安排网络中节点的工作时间，按照一定的规则设置不同的节点的进入休眠期。
- 2) 网络中时刻发生数据的进入，可以根据业务数据的周期规律和网络的保证需求，设置一定的机制限制数据进入，实现拥塞预防[24]。
- 3) 网络中时刻发生数据的转发，可以根据业务数据的周期规律和网络的保证需求，设置一定的机制限制数据转发，实现拥塞预防。
- 4) 当网络中转发数据时，存在一部分的数据，转发次数过高或者占用大量的带宽资源，当进行网络拥塞预防时，可以根据网络中业务的情况，设置一定的规则丢弃数据包，保证网络中的性能，实现拥塞预防[25]。

无线传感网络中的拥塞控制方法按照算法机制，可以分为以下几种：

- 1) 对网络中的数据速率进行调整，实现拥塞控制。典型的算法有 ESTR、CODA 和 SenTCP 算法。算法的主要理论是通过源节点的生成速率进行调整，或者对中间转发节点的数据转发速率进行控制，进而实现减轻网络中的数据转发负担，缓解网络中的拥塞情况[26]。
- 2) 对网络中的信道接入进行限制，实现拥塞控制。典型的算法有 Fusion 算法和 CACC 算法。信道限制的方法适用于网络中的物理层，可以实现网络中的能耗降低，但是当网络中的拥塞情况严重时，这类算法的拥塞控制效果不佳。
- 3) 对网络中的数据进行多路分流，实现拥塞控制。典型的算法有 ARC 算法和 BGR 算法。算法的思想时利用没有发生拥塞的节点，建立其余的路径对数据进行传输，保证数据及时到达目的节点。但是

这类算法存在一个问题，路径的设置需要进行多方面的考虑，避免因路径设置导致网络中出现能量空洞，引发更加严重的网络拥塞[27]。

针对上述算法，本文简要介绍CODA算法和Fusion算法的具体工作机制。CODA

算法基于开环反馈和闭环调节的技术实现网络拥塞的检测和避免。当无线传感网络中发生拥塞情况时，拥塞节点会发送广播至周边的邻居节点，网络中此节点发生拥堵情况，因此邻居节点会降低数据转发速率，其余节点收到拥塞广播会像源节点进行逐级反馈，直至拥塞信息到达源节点，从而源节点停止数据包的发送[28]。

Fusion 算法基于融合策略实现网络中的拥塞控制。当网络中发生拥塞情况时， 4

采用对源节点的速率限制和 Mac 层数据优先的策略，跨层实现网络拥塞情况的改善，提升网络拥塞的有效性和公平性。本算法的拥塞情况信息是基于拥塞位捎带的方式进行传输，可以进一步减轻网络的负担，但是如果网络拥塞情况严重，拥塞信息不能及时传送到源节点，会导致网络拥塞情况的进一步加剧[29]。

1.3 论文的主要内容本文的主要研究内容如下：

(1) 针对网络中各个节点的公平性问题，基于量子粒子群算法和 PID 算法，

根据传输距离和网络拥塞情况，重新调整不同传感器节点进入队列的缓解的概率，

通过在 PID 队列管理算法中引入量子粒子群算法，从而达到缓解传感器所在无线网络的节点拥塞的情况。通过在仿真环境中验证，算法可以很好地将缓冲队列的长度稳定在期望值附近，避免网络震荡；其次算法可以缓解网络拥塞情况下远近节点的不公平情况，远端节点具有更高的进入队列的概率；最后验证算法在实现远近节点公平性的情况下，依旧可以保持良好的不丢包率。

(2) 面对网络拥塞问题，考虑拥塞控制的整个过程，在进行准确地拥塞控制检测后，利用基于协同路径的拥塞控制算法缓解拥塞情况。过节点队列缓存区空置比率和拥塞因数两个参数共同判断网络拥塞的情况，接着提出基于协同路径的拥塞控制算法，通过综合对比备选节点的拥塞因数、剩余能量、信道占用率等参数，建立协同路径来缓解网络拥塞。通过在仿真环境中验证，对比 ARC 算法和 CCAMA

算法。CICP 算法可以有效提升网络拥塞时的数据接受量，尽快缓解网络拥塞时的延时效果，具有更好的性能。

1.4 论文的章节安排本文主要研究面向电力物联网的拥塞控制算法，按照工作内容，可将工作量分为以下几个部分：

第一章对本文的背景和研究意义进行介绍。分析电力物联网背景下，数量众多

的传感器导致网络拥塞问题的解决办法，其次介绍国内外针对拥塞控制的发展现状，最后介绍本文的研究内容和章节安排

。

第二章研究电力物联网中传感网络的拥塞控制方法。首先介绍电力物联网的结

构，其次深入分析拥塞产生的原因以及拥塞控制的基本思想，最后研究分析当前拥塞控制的理论方法。

第三章研究基于量子粒子群算法的拥塞控制算法。本文从节点公平性、拥塞检

测及控制算法角度出发，研究拥塞控制算法。首先为提升电力物联网环境中传感器 5

所在网络中节点的公平性，根据传输距离和网络拥塞情况，重新调整不同传感器节点进入队列的缓解的概率，通过在 PID 队列管理算法中引入量子粒子群算法，从而达到缓解传感器所在无线网络的节点拥塞的情况。最后验证算法在保证丢包率的前提下，可以改善并提升远近节点公平性。

第四章研究基于协同路径的拥塞控制算法。本文从拥塞检测和解决的角度出

发，通过节点队列缓存区空置比率和拥塞因数两个参数共同判断网络拥塞的情况，

接着提出基于协同路径的拥塞控制算法，通过综合对比备选节点的拥塞因数、剩余能量、信道占用率等参数，建立协同路径来缓解网络拥塞。通过在仿真环境中对比验证，CICP 算法可以有效提升网络拥塞时的数据接受量，尽快缓解网络拥塞时的延时效果，具有更好的性能

第五章对本文的研究进行总结和展望，思考尚未进行完善的地方，并制定下一

步的计划。 6

第 2 章电力物联网中传感网络的拥塞控制研究

2.1 电力物联网电力物联网是国网公司根据现有电力系统和未来网络发展趋势，制定的长远期目标。电力物联网实现了电气设备与操作员之间的联通，表示的网络形态为：电气设备和现场的一线人员，借助分布式的传感器和采集设备，通过电力系统或者运营商网络，将传感器数据传送至控制中心，控制中心的管理平台对数据进行处理并分析，并将最后的结果展示给电力系统的操作和管理人员[30]。完整的电力物联网，不仅需要先进完善的通信传输技术，还需要数据处理技术，包括边缘计算、大数据、

云计算等，基于传输技术和数据处理技术，最终形成了完整的电力物联网，实现完整的生态网络[31]。

电力物联网是继智能电网后提出的电力系统未来发展趋势，基于智能电网的基础，进一步提升电力系统的感知能力。电力物联网基于传感器设备，将系统中的设备和资产借助网络实现连接，并通过平台进行状态的实时监测和监控[32]。电力物联网的建设，为用户和电网、管理者与电网提供了一个良好的沟通平台，可以实现设备数据的传输和设备状态的实时监测，实现跨空间交流[33]。此外，平台基于设备数据，提供了数据的传输、处理和分析的功能，大量的设备数据是保证平台有效运行的管家基础，电力物联网的建设，可以为设备数据的大量采集、汇聚、整合分析提供良好的网络传输能力，进而保证数据的丰富、准确[34]。

电力物联网的信息通信方面的建设离不开多领域的先进技术的支撑，不同的技术支撑网络的不同方向，综合保证电力物联网的稳定发展，针对电力物联网涉及的先进技术，本章节进行归纳总结如图 2-2 所示：

图 2-1 电力物联网的应用技术如图电力物联网的建设离不开计算与服务技术、网络与通信技术、感知与标识 7

技术、管理与制程技术的协同配合[35]。每种技术提供的服务不同，以下针对每种技术的应用做简要介绍：

(1) 传感与感知技术电力物联网的基础是设备数据，通过分析各类设备的数据才能实现万物互联与感知，所以感知与识别技术是电力物联网的基础。传感与感知技术支撑电力物联网完成对设备、资产等外界物理信息的识别和感知，收集和实时监测异常事件的发生，

主要包含传感技术和识别技术等[36]。

1) 传感技术。电力物联网借助传感器和传感网络,将数据回传,实现协同感知,平台可依据网路和传感器完成对范围内部的设备的数据采集和收集,实现感知能力。传感技术主要借助于硬件产品实现,技术高度依赖于硬件产品和技术的发展水平。敏感材料、工艺设备和测量技术均是影响传感技术的关键因素,从目前的技术发展趋势来看,传感器的精度、稳定性等方面尚未达到系统化的生产水平,对于电力物联网的发展是重大的阻碍之一。

2) 识别技术。基于传感技术可以保证设备数据被感知,但是在进行数据分析的过程中,离不开识别技术的作用。识别技术可以实现对种类、状态和实物的识别,这也是电力物联网完成对物理世界识别的关键所在。在进行电力物联网感知识别的过程中,首先应当建立物体识别的标准,融合多类型的传感器和识别技术,支撑电力物联网的感知[37]。

(2) 网络与通信技术网络与通信技术是保证电力物联网数据信息有效可靠地到达目的节点的关键技术。通过建立信息传输体系和网络架构,实现设备感知数据的发送、接收和转发,借助不同类型的技术,可以保证感知信息的高可靠、高速率的传输,是电力物联网的信息传输支撑手段。

(3) 计算与服务技术计算与服务技术是电力物联网中对数据进行二次处理的关键技术。基于传感与感知技术、网络与通信技术完成数据的收集、传输后,借助计算与服务技术实现设备感知信息的二次提取和处理,在海量设备感知信息中提炼有用信息,支撑电力物联网的建设[38]。

(4) 管理与支撑技术随着电力系统的迅猛发展,电力系统中的业务种类和数量也日渐丰富,涉及的领域也越来越多,因此对网络性能的通信要求、服务质量要求也越来越高,否则严重影响电力物联网的建设和发展进程。因此需要加强对电力物联网的管理与支撑技术的研究,通过协调、管理和分配多方面的资源,合理高效控制网络资源,有力支撑电力物联网的建设进展。

8

2.2 拥塞控制研究

2.2.1 拥塞的产生原因根据文献研究,拥塞的定义如下:拥塞表示网络中的一种状态,即网络中出现过多的数据分组,导致子网或者网络中的部分子网无法及时、迅速地完成任务,导致网络性能急剧下降的情况,称为网络拥塞[39]。在网络中进行数据传输时,如果进入网络中的数据较少,节点之间进行有序的数据接收和转发,目的节点很快便可以收到数据包,网络中的性能也很好。但是随着数据包的增加,网络中的性能逐渐不够用,节点不能进行有序的数据接收和转发,造成数据包的发送延迟甚至丢失,严重的情况下,节点直接停止工作,网络瘫痪,无法进行任何的数据传输[40]。

随着无线技术的发展,通信的业务种类和终端数量也逐渐增多,形成庞大数量的多类型终端共存的场面,进而对通信网络资源的需求进一步增加。当网络中的业务和终端需要的资源大于网络中现有的资源时,数据传输时延增大、甚至出现丢包,网络出现过载情况,不能满足业务和终端的需求,则称为网络拥塞[41]。

2. 009_第2部分		总字数: 9283
相似文献列表		
去除本人文献复制比: 7.3%(682) 文字复制比: 7.3%(682) 疑似剽窃观点: (0)		
1	006_030120654_SS_0811_甘峰浩 030120654 - 《学术论文联合比对库》 - 2014-12-03	4.1% (382) 是否引证: 否
2	无线传感网络的拥塞控制机制研究 甘峰浩(导师: 牛玉刚) - 《华东理工大学硕士论文》 - 2015-01-03	4.0% (370) 是否引证: 否
3	一种兼顾公平性的WSN拥塞控制算法 甘峰浩;牛玉刚;胡源; - 《小型微型计算机系统》 - 2015-06-15	1.9% (173) 是否引证: 否
4	基于模糊控制的无线网络主动队列管理算法研究 张怡(导师: 孙献璞) - 《西安电子科技大学硕士论文》 - 2011-01-01	0.7% (66) 是否引证: 否
5	无线传感器网络导航中的拥塞控制方法研究 臧旭华(导师: 王宝文) - 《燕山大学硕士论文》 - 2011-05-01	0.7% (61) 是否引证: 否
6	武警Mesh网络拥塞控制策略研究 黎林坡(导师: 毛羽刚) - 《国防科学技术大学硕士论文》 - 2010-04-01	0.4% (33) 是否引证: 否
原文内容		

可以用图 2-1 表示。

图 2-1 网络拥塞的过程由图可知,拥塞发生过程中存在两个拐点,将整个网络拥塞的过程分为三个阶段,即拥塞避免、拥塞恢复和拥塞崩溃。在拥塞避免阶段,网络中的节点对网络性能的需求小,网络中的资源可以满足节点数据传输的需求[42]。但是随着需要传输的数据越来越多,网络中的资源逐渐不够用,网络的吞吐量下降,数据传输时延增大,丢包率增多,出现拥塞情况,但是网络中此时仍然可以进行数据传输,此时为拥塞恢复阶段;假如不能进行有效的拥塞控制,网络中的拥塞情况仍没有得到缓解,网络中的资源已经不能满足需要,吞吐量直线下降,网络瘫痪,进入拥塞崩溃阶段[43]。 9

无线传感网络按照数据的传送方式划分,是一种分组交换网络。无线传感网络中发生网络拥塞时,网络中的数据包的传送时延增加,严重的情况下网络会丢失大量的数据分组,网络的数据传输能力持续恶化。无线传感网络发生拥塞时的主要表现方式为数据包传输时延增加甚至丢失,网络性能直线下降。根据拥塞的位置进行划分,无线传感网络中的拥塞情况可以分为节点级

拥塞和链路级拥塞：节点级拥塞表示节点的数据接收和转发出现拥塞，进而导致整个网络拥塞的情况；链路级拥塞表示网络中的信道发生访问冲突进而导致网络拥塞的情况[44]。

无线传感网络发生拥塞原因是多方面的，通过研究发现，可以分为以下四类原因：

- 1) 传感器节点性能较差，不能有效地处理邻居节点转发过来的数据，或者处理速度相对较慢，进而导致网络发生节点级拥塞；
- 2) 网络中的数据传输具有临时性、突发性，部门传感器节点可能在某些时间突然发送大量数据包，有限的网络资源不能迅速地转发和传输，造成网络拥塞；
- 3) 网络中数据流向问题，因为无线传感网络中的数据流向都是从源节点到汇聚节点，因为汇聚节点测的数据流量会很多，容易造成信道访问冲突，进而引发网络拥塞；
- 4) 资源和流量的分布不均问题。传感器节点是随机分布在网络中的，节点发送的流量也具有随机性，因此不同区域的流量是不均衡的，容易导致部分区域的网络发送拥塞[45]。

网络中的资源通常是被多个设备终端共享，当有数据传输需要时，占用网络资源进行数据接受与转发。当网络中同时存在多个设备或者终端进行访问或者数据转发时，网络中的资源资源占用容易发生冲突。传统的拥塞情况的判断依据是网络中出现丢包率上升或者延迟增加，然而在无线传感网络中，此种方法并不是很准确，

可能会因为误码原因导致拥塞情况的误判。因此无线传感网络中，拥塞情况的判断应当结合网络中的实际情况，以是否满足终端设备的需求作为判断依据，而不是以传统的单个参数来判断。也有学者分析，无线传感网络拥塞的原因主要有以下几点：

图 2-2 网络拥塞产生的原因

1) 链路带宽不足

根据香农公式理论，要想实现有效可靠的数据传送，信道的容量不得小于数据的发送速率。如果某条链路中的数据传输速率过快，导致信道容量不满足香农公式，将会导致数据包滞留，发生网络拥塞情况。

2) 节点缓存区存储容量不足

在无线传感网络中，节点的缓存区域的容量是有限的，如果同时存在多个链路向同一个节点发送数据，则该节点的缓存区会被迅速占满，后续发送至该节点的数据会直接被丢弃，造成丢包率上升，出现网络拥塞情况。如果采用适量增大节点缓存区容量的办法改善网路拥塞情况，因为过量的增大存储容量，可以会导致排队的节点过多，数据传输时延增大，网络拥塞情况反而会更加严重。

3) 节点处理器的处理能力差

节点在无线传感网络中肩负着众多责任，不仅负责发送数据，还有数据的存储、转发、路由选择等作用，如果这些节点的处理能力差，将会导致网络中的数据转发和传输不能及时得到处理，网络性能直线下降，出现网络拥塞情况。

综上所述可知，拥塞产生的原因并不是单一方面的因素，应该根据网络的实际情况，判断拥塞发生的原因，综合分析判断，找到最合适的拥塞控制方法。单一地提升某一方面的性能来改善网络中的拥塞情况，并不能彻底解决网络中的拥塞情况，甚至会加重网络中的拥塞情况。因此应当综合判断无线传感网络中的拥塞发生原因，采取适合于当前业务的拥塞控制方法来预防、控制网络拥塞。

2.2.1 拥塞控制的基本思想拥塞控制是指通过一定的方法和策略，保证网络中的节点或者链路正常工作，

不被注入过多的数据从而引发网络拥塞现象。拥塞控制的目的是为了保证网络的性能最大化，保证资源的利用率和网络性能指标，进而实现网络中业务数据的正常传输和业务的正常运行。

拥塞控制按照工作阶段的不同可以分为拥塞避免和拥塞恢复两种方法。拥塞避免算法发生在网络的拥塞避免区域，是一种主动式的算法，此时网络中尚未发生拥塞，可以通过一定的策略和预防措施，避免网络发生拥塞情况；拥塞恢复算法发生在拥塞恢复阶段，是一种被动式的算法，当检测到网络中发生拥塞情况时，通过分析网络中发生拥塞的原因，启动拥塞恢复算法，尽快恢复网络中的性能，缓解网络情况。拥塞控制算法时保证网络稳定运行的有效方法，可以保证在数据传输时，网络的性能指标，对于电力物联网的建设具有重要的意义。

随着电力系统的建设，海量的传感器终端对网络性能的需求也越来越高，网络结构越来越复杂和多样化。传统的拥塞控制算法主要应用于服务器与客户端之间或者网络的边缘侧，但是随着网络结构的变化，传统的拥塞控制算法也越来越不能满足实际的需求。因此拥塞控制的研究领域逐渐面向传感器、集中器和交换机等设备，

通过在网络端节点设备和中间节点设备上进行有效结合，实现高效的拥塞控制，保证网络性能。

拥塞控制算法按照控制理论可以分为开环控制和闭环控制两种。算法不仅适用于普通网络，无线传感网络也同样适合。开环控制算法是指在网络拥塞发生之前，

充分考虑网络中的业务数据的特点和网络性能，综合考虑制定一种可以预防、缓解网络拥塞的策略，预防网络拥塞情况的出现。开环控制的主要设计思路包括：如何调整接收分组的策略，如何开始丢弃分组以及如何统一调度网络中的节点。

闭环控制与开环控制不同，并不是提前设置好的固定策略，而是根据拥塞检测的结果，利用网络中反馈的信息综合分析网络拥塞产生的原因，由控制中心制定相应的策略来进行拥塞情况的控制和缓解。闭环控制的主要操作步骤包括以下三部分：

- 1) 实时监测网络中的运行状况，当网络中发生拥塞情况时，能够及时检测到拥塞情况发生的时间和节点的位置；
- 2) 将网络中检测到的拥塞情况的信息反馈到上级节点，控制中心根据网络中的反馈信息，选择合适的处理方法；
- 3) 控制中心对网络中发生拥塞情况的节点和链路进行拥塞控制的调整，缓解网络拥塞情况。

无线传感网络中的拥塞控制一般以闭环控制为主，开环控制为辅的方式。综上所述可知，拥塞控制的基本思想发生在拥塞产生之前到拥塞结束之后，贯穿全程，

包含**拥塞避免、拥塞检测和拥塞处理**等三部分。**拥塞控制的核心思想是在有限的网络资源的前提下，如何采取合适的策略，实现网络数据传输的最大化，是未来拥塞控制的主要研究方向。** 12

2.3 本章小结本章研究电力物联网下传感网络的拥塞控制，首先介绍电力物联网的结构，分析传感技术对电力物联网的重要性；其次深入分析拥塞产生的原因以及拥塞控制的基本思想，从拥塞预防、检测和控制等方面对拥塞进行研究；最后研究分析常用的一些拥塞控制的理论方法。 13

第 3 章基于量子粒子群算法的拥塞控制研究

在建设电力物联网的进程中，各类传感器数据急剧增加，传感器所在的无线网络必然会发生拥塞，距离汇聚节点的传输距离不同，传感器节点分到的带宽和资源也就不同。本章针对不同传感器节点的带宽和资源的公平性，提出基于量子粒子群算法的拥塞控制机制，通过在 PID 队列管理算法中引入量子粒子群算法，根据传输距离和网络拥塞情况，重新调整不同传感器节点进入队列的缓解的概率，从而达到缓解传感器所在无线网络的节点拥塞的情况。

3.1 算法理论研究

3.1.1 量子粒子群算法粒子群算法是学者通过研究鸟类群体飞翔的行为，思考得出的算法理论。算法的理论思想是用粒子模拟鸟，算法的计算过程就是模拟鸟群的飞翔过程，通过准则函数对粒子进行变化和调整，实现鸟群最优的飞行状态，最终实现算法的最优解。

量子粒子群算法是一种智能优化算法，算法的理论是通过粒子群算法对量子空间的粒子运动行为进行优化。粒子群算法是通过随机因子来模拟鸟类等群体的低智能性，但是**对于高智能性的群体比如人类，智能性的效果并不理想。经过学界对量子系统的研究，系统本身存在态叠加性从而具有较强不确定性，**因此可以用来模拟高智能性的群体，因此量子粒子群算法可以用来模拟人类等群体的高智能性的行为。

在力学的理论中，粒子的聚集性表现为粒子的束缚状态。当粒子处于量子束缚状态时，粒子的分布空间很广泛，由于量子模型的随机性很大，所以在空间的任何位置都有一定的存在机率。因此如何构建算法的势能场时算法的关键。

假设有粒子群1 2

[, ,]MP P P P , 粒子的位置用,1,2,[,]((1,))i i i i NP P P P i M 表示, i 表示值, t 表示时间, M 表示粒子群规模, N 表示分布空间的维度。算法的核心是通过调整粒子的位置, 实现粒子群的最佳分布, 假设粒子群个体的最优位置为, 1,2 ,

() [,]i

i i i N

PB t PB PB PB , 针对整个粒子群而言 , 种群的最优位置为 1 2

() [(), () ()]NGB t GB t GB t GB t ,所以量子粒子群算法的最终目的为求解粒子和粒子群的最优位置。假设粒子的最优位置为: 14 () (()) ((1)) () (1) (()) ((1))

i i i

i i i

P t If f P t f PB t

PB t

PB t If f P t f PB t (3-1)

粒子群的最优位置为: 1

arg min { [()]}i

M i

g f P t (3-2)

() ()gGB t PB t (3-3)

上式中, g

表示个体最优位置的下标。粒子由于吸引子的影响, 改变位置, 则更新后的粒子的位置为

, , , , , () () 1 () 01i j i j i j i j i j t PB t t GB U , (3 -4)

11 () () ln 01

()i

j i j j i j i j

i j

P t t C t P t u U

u t , (3-5)

上式中, i

, j

t 表示吸引子的位置, 表示影响因子, 有收缩和扩张的两种影响形式。C(t) 表示粒子个体的最优位置的平均值, ()

i j

u t 表示 0 到 1 范围内呈平均分布的随机数。计算得, 平均值得表达式为

1 2 1

1, , ,mN

i

C t C t C t C t PB t

M , 1,2 1 1 1

1 1 1, , ,M M Mi

i N

$$PB_t = PB_t + PB_t \quad (3-6)$$

量子粒子群算法的流程为：

1)：对粒子群进行初始化赋值，包含 iP 、
 i
 PB 、 等参数；

2)：通过 (3-6) 计算粒子群个体的最优位置的均值 C_t 。

3)：以 适应度函数为基准，通过计算粒子的适应度来调整更新粒子个体的最优位置 PBI ；

4)：通过式 (3-3) 计算粒子群的全局最优位置 GB_t ；

5)：通过式 (3-4) 计算粒子的吸引力，然后可根据式 (3-5) 计算粒子的更新位置，开始进行粒子个体和种群的位置寻优。

6)：比较结果是否满足结束条件，否则转至步骤 2) 继续进行位置寻优。

3.1.2 QPSO_PID 队列管理算法针对拥塞情况，可以采用队列管理的方式进行预防和控制。PID 队列管理算法是一种主动队列算法，基于传统的队列流模型来改善节点的拥塞情况。 PID 控制器主要通过积分项和微分项来调整系统的稳定性，积分项能够消除系统的稳定误差， 15

微分项可以预测系统误差的变化趋势，及时对队列进行调整，从而避免剧烈抖动。

基于 PID 的队列管理方法的原理图可用图 3-1 中的虚线框内表示。在图 3-1 中，
 len

q 表示节点缓存队列的当前长度， r

ef

q 表示队列的期望长度， P 表示丢包率，

q

$ueue$

P_s 表示缓冲队列。则 PID 的控制表达式如下： 0

K_l

$p_i d$

j

$e K e K$

$P K K e K K T e j K$

T (3-7)

K 时刻与 $K-1$ 时刻的表达式相减可得增量表达式：

$11p$

$i d$

$e K e K$

$P K K e K e K K T e k K$

T (3-8)

因此，可以推导出 K 时刻的丢包率的计算公式：

$11 1p$

$i d$

$e K e K$

$P K P K K e K e K K T e k K$

T (3-9)

上式中， dK 、 iK 、 pK 分别表示比例、积分和微分的系数， T 表示采样周期，

eK 表示缓存队列期望长度与当前长度的差值。

将量子粒子群算法引入 PID 队列管理算法后，可以得到基于量子粒子群算法的 PID 队列管理算法 (QPD 算法)。则 QPD 算法的结构如图 3-1 所示图 3-1 QPD 算法结构图在 QPD 算法中，利用量子粒子群算法对 PID 队列管理算法进行优化，令队列

的长度跟随期望值的改变而进行调整，避免发生缓冲队列溢出导致的拥塞情况。

QPD 的算法流程如图 3-2 所示。 16

图 3-2 QPD 算法流程图

将量子粒子群算法引入 PID 队列算法中时， PK 、

i

K 、 dK 分别表示粒子的三个维度，粒子在寻找的最优位置的过程中，是根据适应度的变化来进行调整。当粒子的适应度发生变化时，结合两个算法的计算流程，根据式 (3-10) - (3-13) 更新粒子的当前位置： . 1

$1n$

$j k j$

k

$MB I$

n (3-10) 1, 2 1 2

```

i j j
r PB r GB
r r (3-11) , ,
10.5i
j j i j
If z I w MB I log
u (3-12) , , 1
i j j i j
Else I w MB I log
u (3-13)

```

上式中, MB 表示粒子群的最优位置的均值, n 表示种群的数量, i, jI 表示粒子的坐标值, i 表示空间, j 表示维度, i, j

PB 表示粒子的最优位置, i 表示粒子的个数,

j 表示最优位置的维度, jGB 表示在第 j 维时, 全局位置的最优值。

3.2 基于量子粒子群算法的拥塞控制算法设计根据文献研究发现, 距离汇聚节点传输距离不同的传感器节点, 在进行数据传输的时候存在不公平性, 不同的分组分到的资源存在差异, 当传输距离较远的分组被丢弃时, 会造成更多的资源浪费。因此在进行电力物联网中的传感器的数据传输时, 应当考虑公平性和能源消耗的问题, 为传输距离较远的分组分配尽可能多的资源, 尽可能提升分组的可靠性, 降低丢包率。

传感器节点在进行分组发送之前, 需要先分析局部的拥塞情况, 通过缓冲队列占用率参数确定分组进队的情况, 如果传感器节点的缓冲占用率超过阈值时, 下一

个即将发送的分组的拥塞标志设置为1, 利用此分组的信息告知汇聚节点局部的拥塞情况。汇聚节点根据接收的分组信息判断整个网络的拥塞情况, 假若带有拥塞标记的分组占接受分组的比例达到一定的程度, 则网络的全局拥塞情况严重。传感器所在的网络发生全局拥塞的情况时, 用参数 GC 表示, 全局拥塞情况利用式 (3-14)

中的 EWMA 算法进行计算处理, 令传输分组平滑, 减少因网络流量波动造成的拥塞情况, EWMA 算法计算公式如下: 11

$$p T$$

$$GC GC GC (3-14)$$

上式中, 表示权重值, p 表示当前时刻。当汇聚节点发现网络发生全局拥塞情况时, 通过发送附带全局拥塞情况的 ACK 消息告知各个节点。

当网络中的节点接收到附带全局拥塞情况的 ACK 消息后, 根据传输距离和拥塞情况, 对即将传送的分组以概率 (Q) 进行以下的调整: 1

$$Qlen$$

$$i$$

$$i$$

$$ave$$

$$Hops$$

$$Hops$$

$$Qlen (3-15)$$

$$ln$$

$$ew$$

$$ave$$

$$HopsQ Q GC$$

$$Hops (3-16)$$

上式中, 表示调节系数, n

ew

Q 表示调整后进入队列的概率, Qlen 表示队列的长度。节点缓冲队列中分组的传输距离a

ve

Hops 可以表示分组的传输距离的总体情况, 可用式 (3-15) 可计算得出。通过式 (3-16) 分析可得, 当 1 0

ave

Hops

Hops

, 即分组的传输距离大于平均值时, 分组进入队列的概率增加, 反之减少。

通过上面的调整过程, 完成算法的设计, 对于传输距离较远的分组, 当发生拥塞时, 进入缓冲队列的概率增加, 相对获取的资源也就较多, 改善了传输距离不同导致的不公平性, 减少了传输距离较远的分组经多次传输后被丢弃的概率, 节省网络资源, 降低能量消耗。

3.3 仿真设计与结果分析

3.3.1 仿真参数设置本文通过 Matlab 软件进行算法的设计与仿真。通过对仿真环境进行参数配置,

实现电力物联网传感器所在侧网络的模拟。通过参数设置实现本章节的算法、PID

算法和 REM 队列管理算法在节点队列管理、公平性和丢包率的性能对比分析, 并验证了对算法性能的影响。仿真环境的参数配置如表 3-1 所示。 18

表 3-1 仿真环境的参数配置

3.3.2 结果分析首先仿真算法对队列管理的控制效果，通过在仿真环境中模拟三个算法的流程，设定仿真的时间为 200s，记录中间节点的队列长度的变化情况，PID 和 REN

算法的参数设置为默认值。仿真结果如图 3-4 所示，PID 算法和 REN 算法对队列管理的控制效果并不理想，网络中的队列长度出现了较大的震荡，不能出现很好的收敛。原因是这两种算法的参数固定，并不能根据网络情况的变化进行及时的调整，

不能适应不断变化的网络环境。而本章节算法（QPD-A）利用量子粒子群算法的动态调整的参数，实现算法的自动调整，从而保证队列长度在期望值的左右波动，震荡幅度明显较小，具有良好的收敛性。 19

图 3-4 队列长度的仿真结果其次仿真验证参数 对算法性能的参数影响。当网络中需要传输的分组数量增多时，节点的发送间隔会变小，发送的速率增大，从而导致网络中发生拥堵情况。

对比参数分别取值为 0.5、1.0、1.5、2.0 时的公平性的变化情况，仿真结果如图 3-5 所示，当 的值为 0.5 或者 1 时，算法的公平性调节能力较差，网络中的公平性较差。当 的值为 2 时，算法的公平性调节能力过强，导致网络整体的稳定性较差。

当 的值为 1.5 时，算法的调节能力和网络的性能、稳定性表现良好，因此参数取值为 1.5。 20

图 3-5 参数 取值不同时的网络公平性对比最后仿真三种算法的丢包率，仿真结果如图 3-6 所示。由图可知，当网络中发生拥堵时，REM 算法的丢包率相对另外两种算法的丢包率要小，原因是 REM 算法在面临网络拥塞情况时，接受了大量的近端节点的分组，丢包率相对较低，但是传输距离较远的远端节点的数据分组丢包率严重，严重影响网络的公平性。而本章提出的算法与 PID 算法的丢包率接近，丢包率性能并不比其他算法差。结果表明，本章算法在不降低丢包率的情况下，通过平衡远近节点的发送概率，实现了对网络节点公平性的调整。 21

图 3-6 丢包率

3.4 本章小结本章研究电力物联网中传感器所在网络的公平性，提出一种基于量子粒子群算法的拥塞控制机制，通过在 PID 队列管理算法中引入量子粒子群算法，根据传输距离和网络拥塞情况，重新调整不同传感器节点进入队列的缓解的概率，从而达到缓解传感器所在无线网络的节点拥塞的情况。通过在仿真环境中验证，算法可以很好地将缓冲队列的长度稳定在期望值附近，避免网络震荡；其次算法可以缓解网络拥塞情况下远近节点的不公平情况，远端节点具有更高的进入队列的概率；最后验证算法在实现远近节点公平性的情况下，依旧可以保持良好的不丢包率。 22

第 4 章基于协同路径的拥塞控制研究

当传感器所在网络的发生拥塞情况，需要快速而准确地检测到网络拥塞的位置和拥塞程度，其次利用合理的策略缓解网络的拥塞情况。针对网络拥塞检测和解决的问题，本章提出一种基于改进协同路径的拥塞控制算法（Congestion Control Algorithm based on Improved Cooperative Paths, CICIP）,CICIP 算法可以在网络中发生拥塞时，快速查找拥塞的位置并检测网络拥塞的程度，然后选择合适的候选节点，建立协同路径，保证协同路径的能量平衡。

4.1 网络模型的构建

1) 传感网络的简化模型

实际的电力物联网的结构复杂，传感器所在的网络结构存在多种形态，本章对传感器所在网络的拓扑结构进行简化，拓扑图为半径为 R 的圆，圆心的位置为汇聚节点，传感器节点和中间节点随机分布在圆内，假设节点的状态都是静止的，且均可以接受和发送数据。由于电力无线网中的传感器，大部分是周期性地向汇聚节点或系统发送数据，所以假设模型中的节点都是周期性地向汇聚节点发送数据分组。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 对于高智能性的群体比如人类，智能性的效果并不理想。经过学界对量子系统的研究，系统本身存在态叠加性从而具有较强不确定性，
2. 队列管理算法进行优化，令队列的长度跟随期望值的改变而进行调整，避免发生缓冲队列溢出导致的拥塞情况。
3. 算法、PID 算法和 REM 队列管理算法在节点队列管理、公平性和丢包率的性能对比分析，并验证了
4. 影响。仿真环境的参数配置如表 3-1 所示。 18 表 3-1 仿真环境的参数配置
3.
5. 设定仿真的时间为 200s，记录中间节点的队列长度的变化情况，PID 和 REN 算法的参数设置为默认值。仿真结果如图 3-4 所示，PID

3. 009_第3部分	总字数：5713
相似文献列表	
去除本人文献复制比：19.7%(1123)	文字复制比：19.7%(1123)
疑似剽窃观点：(0)	
1 7063_谭正永_检测技术与自动化装置	16.8% (959)

	谭正永 - 《学术论文联合比对库》 - 2017-01-13	是否引证: 否
2	无线传感器网络拥塞控制算法的研究 谭正永(导师: 吴晓蓓; 黄成) - 《南京理工大学硕士学位论文》 - 2017-01-01	12.8% (729) 是否引证: 是
3	025+0053+谭正永 - 《学术论文联合比对库》 - 2017-01-04	12.7% (724) 是否引证: 否
4	006_Y30150653_SS_0811_张军龙 SS - 《学术论文联合比对库》 - 2018-03-30	1.1% (62) 是否引证: 否
5	2无线传感器网络高效能分簇路由算法研究 - 《学术论文联合比对库》 - 2016-03-28	0.6% (34) 是否引证: 否
6	传感器网络应用 - 《学术论文联合比对库》 - 2012-11-14	0.5% (30) 是否引证: 否

原文内容

2) 网络拓扑结构
假设拓扑结构是集合随机图形, n 个节点均匀地分布在二维空间平面上, 表达式用 $G(n, R)$ 表示。假设节点的通信半径均为 r ($r \leq R$), 任意两点 w 和 s , 圆形用 $C(w, r)$ 表示, 其中 V 表示节点的集合, $w, s \in V$ 且 $d(w, s) \leq R$, 即区域内的任意两个节点的距离, 小于范围内节点的最大通信距离。

3) 网络发送模型
将传感器节点或者中间节点简化为二维平面图, 节点信号的辐射范围为圆形, 节点的发送模型如图 4-1 所示。 23
图 4-1 节点信号发送模型上图中, 节点 w 和 s 之间的传输距离小于半径 r , 两个节点直接可以互相发送和接收数据。在网络传输的过程中, 将时间分为集合 $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, 设定每个节点在某一时刻只能接受或者发送数据, 不可以进行下一步的发送或者接收操作。在传感器所在的网络中, 所有的节点可以发送数据, 也可以转发数据。因此为了保证网络的公平性, 网络中的每个节点都应当有一定的时间来接受或者发送数据。

4.2 基于协同路径的拥塞控制算法设计随着电力物联网的规模逐渐壮大, 传感器的数目逐渐增多, 对网络的要求也越来越高, 因此仅仅增加带宽, 已经越来越无法满足传感器数据传输的要求, 网络拥塞情况时有发生, 因此本文提出一种基于改进协同路径的拥塞控制算法 CICIP。算法的主要步骤包括布置备用节点、检测拥塞、建立协同路径、数据传输、接触协同路径, 算法的流程图如图 4-2 所示。

图 4-2 算法流程图网络中的备用节点有两种状态, 工作和休眠状态, 状态可以互相切换。在 CICIP 算法中, 每个节点具有身份信息、拥塞因数、剩余能量、直线距离、距离拥塞点的距离、信道占用率等6个属性, 每个节点还需要负责维护邻居节点的信息表。当网络中发生拥塞时, 需要建立协同路径, 以每个节点的这6个属性作为参考值, 选择 24 最合适的节点建立协同的路径。当网络拥塞情况得到缓解后, 解除协同路径。

4.2.1 拥塞检测如果想控制网络中的拥塞情况, 需要准确而迅速地找到拥塞发生的位置和拥塞程度, 这对后续拥塞情况的缓解有很大的指导作用。因此定义一下三个参数:

节点队列缓存区空置比率 (v)
$$v = \frac{r - C}{C}$$

信道繁忙率 (b)
$$b = \frac{C}{C_{total}}$$

拥塞因数 (IC): 到达的数据总数和发出的数据总数的比率。
传统的拥塞检测方法的原理仅仅基于一个参数进行判断, 一种是基于队列长度, 但是当传感器所在的网络中出现大量拥塞时, 在传输的过程中, 拥塞的数据会被节点丢弃, v 并不具有拥塞情况判断的参考依据。其次是基于拥塞因数 IC , 当节点的接收数据大于发送数据时, 缓冲区发生堆积, IC 将会增大。仅仅依靠 IC 判断网络拥塞情况, 容易发生误判, 因为当缓冲区占满或者网络异常时, IC 的值将会变成0。本章提出基于改进协同路径的拥塞控制算法, 设定每个参数的阈值, 节点队列缓存区空置比率 v
 v 的阈值为 v_{th} , 拥塞因数 IC 的阈值为 IC_{th} , 拥塞检测的判断规则如下:
规则1: 如果 $v > v_{th}$

$\frac{r}{C}$ ，则传感器所在的网络发生拥塞情况，因此唤醒备用邻居节点，开启协同路径的创建，缓解网络拥塞情况；

规则2：如果 $1C$ ，则表示网络出现拥塞情况，接下来的操作步骤如规则1；

规则3：当 v

r
 C ，且 $1C$ 时，才表明网络拥塞情况缓解，此时各个节点正常发送数据，备用节点进入休眠状态。

4.2.2 路径创建在电力物联网中的传感器所在的网络中，存在两种节点，数据节点和备用节点。

上游的节点会周期性的发送 v

r
 C 和 $1C$ 的数据给下游的节点。当两个参数接近阈值时，
即发生拥塞情况，备用节点被唤醒，建立协同路径用来缓解拥塞情况，协同路径算法的示意图如下所示： 25

图 4-3 协同路径示意图在建立协同路径的过程中，需要选择合适的备用节点，因此需要制定合适的策略选取路径。设定邻居节点的信息表包含身份证识别号 iN 、剩余能量

e
 R 、拥塞因

数 $1C$ 、相邻节点的数据流量 fP 、距离拥塞节点的长度

d
 S 、信道占用率 oC 、下一跳节点距离源节点与汇聚节点连线的直线长度 sD 。则源节点到汇聚节点的协同路径的示意图如图 4-4 所示。

图 4-4 所示。

图 4-4 源节点到汇聚节点的协同路径图 4-4 中存在 6 个传感器节点，汇聚节点和 5 个传送数据的网络节点 1 2 3 4 5
 N 、 N 、 N 、 N 、 N ，假定 $1N$ 是源节点，当网络中发生拥塞情况时，结合备选节点的信息表的参数，选取合适的节点进行协同路径的创建。上图中带箭头的实线路径表示协同路径，其余的节点都是备选节点。设定节点1 2 3 4 5

N 、 N 、 N 、 N 、 N 的属性指标的参数如表 4-1 所示。

表 4-1 备选节点的属性参数值 26

针对表 4-1 中的参数进行补充说明，拥塞因数是针对网络拥塞情况的参考值，

并没有标准的单位。备选节点与拥塞点的距离的标准参考单位是 nd 。假设节点的状态参数集合为 1 2 3 4 5 6

, , , , , k

k k k k k k

Z a a a a a a ，式中的六个参数分别表示邻居节点的信

息表包含节点 k 的剩余能量 keR 、拥塞因数

k

l

C 、相邻节点的数据流量 kfP 、距离拥塞

节点的长度 kdS 、信道占用率

k

o

C 、下一跳节点距离源节点与汇聚节点连线的直线长度 ksD 。若网络中的节点存在 n 个备选节点，由于各个属性的单位不一致，应当首先将节点的属性值进行规范化处理后，所以备选节点的规范化矩阵如式（4-1） 11 12 13 14 15 16

21 22 23 24 25 26 1 1 1 2 1 3 1 4 1 5 1 6 1 2 3 4 5 6

n n n n n n

n n n n n n

a a a a a a

a a a a a a

Z

a a a a a a

a a a a a a

(4-1)

节点属性的参考值可以用以下公式表示： 1

1 $6i$

j

ij n

ij

i

a

Z j

a (4-2)

节点的6个参数中，拥塞因素、剩余能量以及下一跳到源节点和汇聚节点的直线距离是节点能够成为备选节点的关键指标，而其余指标是次关键性指标，从而可以得到，候选节点的选择办法如下： 1 2 1 1 2 2

\max , , , ,

\min , , , ,

j j n $jopt$

j

$$\begin{matrix} j & j & n_j \\ a & a & j & J \\ Z \\ a & a & a & j & J & (4-3) & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ \min, & , & , & , \\ \max, & , & , & , \\ j & j & n_j \text{wor} \\ j \\ j & j & n_j \\ a & a & a & j & J \\ Z \\ a & a & a & j & J & (4-4) & 27 \end{matrix}$$

4.2.3 路径解除当协同路径创建完成后，拥塞区域就可以获得一定的网络流量，能够继续进行数据传输，保证网络的畅通。此时，网络中的节点依旧定期检测源路径是否发生拥堵，如果拥堵情况得到缓解，则解除协同路径，协同路径的节点进入休眠状态，原始路径继续进行数据传输。

4.3 仿真设计与结果分析

4.3.1 仿真环境及内容针对本章提出的拥塞控制算法，在仿真环境中搭建网络空间模型，区域内随机部署 n 个传感器网络节点，为了更好的对比算法的性能，仿真中的网络节点的位置应当是固定不变的，节点的初始能量、收发能力设置成相同的参数值。

图 4-5 网络节点拓扑图如图 4-5 所示为仿真的节点拓扑图，设定网络的范围为 $200m \times 200$ ，包含 1 个汇聚节点和 199 个传感器节点和中间节点，其中图形形状为星形的节点为汇聚节点，

坐标标记为 $(0,0)$ 。

在进行网络仿真的同时，选择两个对比算法，本章节选择 ADC 算法和 CCACP

算法，通过对比三种算法在网络数据的接受量，网络延时的性能表现，对比 CICIP

算法在性能表现上的优势。

在算法仿真的过程中，运行的时间单位是轮，每轮的仿真时间相同。其中网络数据的接受量用吞吐量表示，吞吐量表示单位时间内成功接收的数据量，这是评价拥塞控制算法的重要指标。吞吐量和丢包率是负相关的关系，当吞吐量越高时，说明丢包率越低，算法的性能表现良好，对网络拥塞的控制能力越佳。另外一个评价

指标是网络时延，当网络时延越小，说明算法对拥塞的控制能力越好，可以更好地

保证网络的正常运行。

4.3.2 仿真结果分析在包含有 200 个传感器节点的仿真环境中进行三种算法的仿真，基于协同路径的拥塞控制算法的仿真参数如表 4-1 所示。

表 4-1 网络环境和算法参数设置表 4-2 网络环境和算法参数设置首先进行网络接收数据量的仿真，假设网络中的所有传感器节点进行一次数据发送称为一轮，仿真结果如图 4-6 所示。网络中的吞吐量会随时间变化而进行变化，而吞吐量和传感器所在的网络是正相关的关系，所以数据量也会随着时间的变化进行变化。仿真结果图中，横坐标表示网络周期的轮数，纵坐标表示网络的数据接受量。

图 4-6 网络接收的数据量从仿真结果的趋势变化可以看出，采用 ARC 算法进行网络拥塞控制网络中，

网络的数据接受量增加不明显，而采用 CCAMA 算法的网络相对增加了 1.5 倍的数据接受量。而本章提出的 CICIP 算法具有更加优秀的数据接收量，网络接收的数据

量增加明显，说明算法对拥塞控制具有更好的性能。

其次进行网络时延的仿真。由于网络中发生拥塞时，数据进行传输的网络时延就是增大，因此网络延时也是判断算法缓解拥塞控制的一个重要评价指标。仿真结果如图 4-7 所示，横坐标表示仿真周期轮数，纵坐标表示网络延时。从仿真图可以看出，随着仿真时间的增加，网络延时明显增加，这是由于数据包的不断增加导致节点的缓存数据不断增加，缓存空间越来越小，数据转发所需的时间也就越长，所以网络延时会不断增加。如果网络中数据量达到一定程度，网络发生拥塞，网络中的丢包率和重传次数将会不断增大，进而加重网络延时的结果。因此用三种算法分别进行延时的控制。

图 4-8 网络延时仿真图在仿真图中，采用 CCAMA 算法的网络中的网络延时比采用 ARC 算法减少了 30

将近 23%，采用 CICIP 算法比 ARC 算法减少了 43%，采用 CICIP 算法比 CCAMA 算

法减少了 26%，因此可以说明，CICIP 算法在缓解网络拥塞时的网络延时上具有良

好的性能，能够有效地缓解网络的拥塞情况，提高网络的性能。

4.4 本章小结本章研究解决网络拥塞的方法，从网络拥塞的检测和控制方面进行研究，通过节点队列缓存区空置比率和拥塞因数两个参数共同判断网络拥塞的情况，其次提出基于协同路径的拥塞控制算法，通过综合对比备选节点的拥塞因数、剩余能量、信

道占用率等参数，建立协同路径来缓解网络拥塞，通过在仿真环境中验证，对比ARC 算法和 CCAMA 算法。本文的算法可以有效提升网络拥塞时的数据接受量，

尽快缓解网络拥塞时的延时效果，具有更好的性能。 31

第 5 章结论与展望

随着电力物联网建设规模逐渐扩大，传感器的规模和数量也逐步增多，传感器所在的网络中必定会面临网络拥塞的问题。网络中发生拥塞情况时，会严重影响传感器节点的数据发送和转发，导致网络延迟达、丢包严重等问题，十分影响传感网络的服务质量，需要研究拥塞控制方法，避免和缓解网络拥塞情况。因此，

本文针对传感网络的拥塞控制问题，从节点的公平性及拥塞检测、缓解角度出发，

提出了基于量子粒子群、协同路径的拥塞控制算法，进行了如下的工作：

(1) 基于量子粒子群算法的拥塞控制算法设计与仿真。针对网络中节点的公平性问题, 基于量子粒子群算法和 PID 算法, 根据传输距离和网络拥塞情况,

重新调整不同传感器节点进入队列的缓解的概率, 通过在 PID 队列管理算法中引入量子粒子群算法, 从而达到缓解传感器所在无线网络的节点拥塞的情况。通过在仿真环境中验证, 算法可以很好地将缓冲队列的长度稳定在期望值附近, 避免网络震荡; 其次算法可以缓解网络拥塞情况下远近节点的不公平情况, 远端节点具有更高的进入队列的概率; 最后验证算法在实现远近节点公平性的情况下,

依旧可以保持良好的不丢包率。

(2) 基于协同路径的拥塞控制算法设计与仿真。考虑拥塞控制的整个过程,

在进行准确地拥塞控制检测后, 利用基于协同路径的拥塞控制算法缓解拥塞情况。过节点队列缓存区空置比率和拥塞因数两个参数共同判断网络拥塞的情况,

接着提出基于协同路径的拥塞控制算法, 通过综合对比备选节点的拥塞因数、剩余能量、信道占用率等参数, 建立协同路径来缓解网络拥塞。通过在仿真环境中验证, 对比 ARC 算法和 CCAMA 算法。CICP 算法可以有效提升网络拥塞时的数据接受量, 尽快缓解网络拥塞时的延时效果, 具有更好的性能。

本文提出的基于量子粒子群算法和协同路径的拥塞控制算法, 可以为网络拥塞提供理论参考。但由于时间和工作条件的限制, 本文的工作还需要进行进一步实际验证, 后续工作主要包括: 目前的检测算法只在仿真环境中进行验证, 后续会结合工程实际, 进一步验证拥塞控制算法的性能。 32

参考文献

- [1] 权伟, 崔恩放, 张宏科. 多源协作的传输控制机制 [J]. 电子学报, 2018, 46(10):225-231.
- [2] 权伟, 崔恩放, 张宏科. 多源协作的传输控制机制[J]. 电子学报, 2018.
- [3] 鲁凌云, 杜海峰, 刘亚南. 一种拥塞控制方法及设备:, CN107528791A[P]. 2017.
- [4] Allman M. TCP Congestion Control[J]. Rfc, 2009.
- [5] Floyd S, Fall K. Promoting the Use of End-to-End Congestion Control in the Internet[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 7(4):458-472.
- [6] Yan-Ling L I, Jiang Y. TCP congestion control:a survey[J]. China Measurement Technology, 2005.
- [7] Xu L, Harfoush K, Rhee I. Binary increase congestion control (BIC) for fast long-distance networks[C]// INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE, 2004.
- [8] Kelly F. Fairness and Stability of End-to-End Congestion Control*[J]. European Journal of Control, 2003, 9(2/3):159-176.
- [9] Gevros, Panos, Crowcroft, et al. Congestion Control Mechanisms and the Best Effort Service Model. [J]. IEEE Network, 2001.
- [10] 陈琳. 基于智慧协同网络的多源协作传输控制机制建模及设计[J]. 自动化技术与应用, 2020, 039(004):92-94, 98.
- [11] 谭正永. 无线传感器网络拥塞控制算法的研究. 南京理工大学, 2017.
- [12] Gibbens R J, Kelly F P. Resource pricing and the evolution of congestion control[J]. Automatica, 1999, 35(12):1969-1985.
- [13] Su G. A Methodology for the Analysis of Congestion Control[J]. Chemical Reviews, 2009, 89(3):503-520.
- [14] 曹承栋, 常鲜戎, 刘艳. 考虑地理因素的改进量子粒子群算法在多目标电网规划中的应用[J]. 电网技术, 2012(03):134-139.
- [15] 冯斌, 王璋, 孙俊. 基于量子粒子群算法的 Ostu 图像阈值分割[J]. 计算机工程与设计, 2008(13):3429-3431.
- [16] 李士勇, 李盼池. 求解连续空间优化问题的量子粒子群算法[J]. 量子电子学报, 2007.
- [17] Welzl M. Congestion control principles[M]. John Wiley & Sons, Ltd, 2000.
- [18] Elwalid A I, D Mitra. Analysis and design of rate-based congestion control of high speed networks, I: stochastic fluid models, access regulation[J]. Queueing Systems, 1991, 9(1):29-63. 33
- [19] 黄宇, 韩璞, 刘长良, 等. 改进量子粒子群算法及其在系统辨识中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(020):114-120.
- [20] 雷煜卿, 李建岐, 侯宝素. 感应通信技术及其电力物联网应用展望[J]. 电力系统通信, 2012, 33(005):1-5.
- [21] 翟少磊, 李博, 张林山, 等. 电力物联网信息化控制中一种高效的认知通信方法[J]. 中国电力, 2016(8):130-134.
- [22] Vicisano L, Crowcroft J, Rizzo L. TCP-like congestion control for layered multicast data transfer[C]// INFOCOM '98. Seventeenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE. IEEE, 1998.
- [23] Nagle, John. Congestion Control in IP/TCP Internetworks[J]. Acm Sigcomm Computer Communication Review, 1984, 25(1):61-65.
- [24] 汪洋, 苏斌, 赵宏波. 电力物联网的理念和发展趋势 [J]. 电信科学, 2010(S3):9-14.
- [25] 荆孟春, 王继业, 程志华, 等. 电力物联网传感器信息模型研究与应用[J]. 电网技术, 2014, 38(2):532-537.
- [26] 徐伟强, 汪亚明, 俞成海, 等. 移动 Ad Hoc 网络的跨层优化拥塞控制[J]. 软件学报, 2010(7):1667-1678.
- [27] Srikant R. The Mathematics of Internet Congestion Control[M]. Birkh?user, 2006.

[28]Katabi D , Handley M , Rohrs C . Congestion Control in Future High Bandwidth-Delay Product Networks[J]. Acm Sigcomm Computer Communication Review, 2002, 32(4):89.

[29]吴介一, 张飒兵. 计算机网络面向拥塞控制听一各模糊流量控制机制[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2001, 31(1):6-10.

[30]武航星, 慕德俊, 潘文平, 等. 网络拥塞控制算法综述[J]. 计算机科学, 2007, 34(002):51-56.

[31]Mo J , Walrand J . Fair end-to-end window-based congestion control[J]. Networking IEEE/ACM Transactions on, 2000, 8(5):556-567.

[32]Floyd S . Promoting ths Use of End-to-End congestion control in the internet. 1999.

[33]魏蛟龙, 张驰. Internet 拥塞控制和资源分配中的对策论分析框架[J]. 电子学报, 2003, 31(010):1452-1455.

[34]綦朝晖, 孙济洲, 李小图. 基于队列的模糊拥塞控制算法[J]. 软件学报, 2005(2):286-294.

[35]Lee K C , Al-Shalash M , Xing S , et al. METHOD AND SYSTEM FOR ADMISSION AND CONGESTION CONTROL OF NETWORK COMMUNICATION TRAFFIC: US, US20080075003 A1[P]. 2008. 34

[36]Hahne E L , Kalmanek C R , Morgan S P . Method and apparatus for congestion control in a data network[J]. EP, 1991.

[37]汪小帆, 孙金生, 王执铨. 控制理论在 Internet 拥塞控制中的应用[J]. 控制与决策, 2002(02):129-134.

[38]李宇清. 星型网络下无线传感器网络拥塞控制机制的设计与研究[D]. 北京邮电大学, 2015.

[39]Huiyu L , Jianxin W , Zhi Z , et al. Survey of Congestion Control Technology for Wireless Sensor Networks 无线传感器网络拥塞控制技术研究进展[J]. 计算机科学, 2009, 36(5):7-11.

[40]郑康健, 王志刚, 张红梅. 无线传感器网络的拥塞控制技术[J]. 2011.

[41]朱利, 周俊辉, 郑守洪, 等. 基于 RTT 的自适应拥塞控制研究[J]. 计算机学报, 2000, 023(007):705-710.

[42]Wu H X , Yang X L , Zhang M . Congestion Control in Data Center Networks: A Survey and New Perspectives[J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 462-463:1028-1035.

[43]Wang Z , Crowcroft J . A new congestion control scheme. 1991.

[44]孙利民, 李波, 周新运. 无线传感器网络的拥塞控制技术[J]. 计算机研究与发展, 2008(01):63-72.

[45]章淼, 吴建平, 林闯. 互联网端到端拥塞控制研究综述[J]. 软件学报, 2002, 13(003):354-363.

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 节点队 列缓存区空置比率 v r C 的阈值为 , 拥塞因数 $1C$ 的阈值为 , 拥塞检测的判断规则如下: 规则1: 如果 v r C
2. 节点到汇聚节点的协同路径的示意图如图 4-4 所示。 图 4-4 源节点到汇聚节点的协同路径图

说明: 1. 总文字复制比: 被检测论文总重合字数在总字数中所占的比例

2. 去除引用文献复制比: 去除系统识别为引用的文献后, 计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

3. 去除本人文献复制比: 去除作者本人文献后, 计算出来的重合字数在总字数中所占的比例


4. 单篇最大文字复制比: 被检测文献与所有相似文献比对后, 重合字数占总字数的比例最大的那一篇文献的文字复制比


5. 指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的


6. 红色文字表示文字复制部分;绿色文字表示引用部分;棕灰色文字表示作者本人文献部分

7. 本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责



 amlc@cnki.net

 <http://check.cnki.net/>

 <http://e.weibo.com/u/3194559873/>