

DOI: 10. 13382/j. jemi. B2002971

基于节点-链路评估模型的移动 物联网数据传输稳定算法*

唐 静¹ 田 波¹ 陈华君²

(1. 铜仁学院 大数据学院 铜仁 554300; 2. 广东工业大学 自动化学院 广州 510006)

摘 要:为解决移动物联网数据传输过程中存在的数据传输质量不高、网络传输带宽较低等不足,提出了基于节点-链路评估模型的移动物联网数据传输稳定算法。考虑节点移动特性,设计了一种新的基于节点-链路评估模型,实现数据传输过程的多维度评估。随后,根据节点-链路评估模型,提出了数据传输依序度、中继链路控制度、传输能量可控度 3 个指标;并通过匹配节点的传输功率,设计了基于数据传输依序度的移动物联网链路稳定方法,采用泊松分布模型来构建基于中继链路控制度的节点稳定方法,并通过预估节点受限性能,提出了基于传输能量可控度的节点失效态传输节能方案,分别从节点、链路、能量 3 个层次优化了移动物联网数据传输性能,有效提高较网络传输的稳定性。仿真实验表明,与基于似然估计补偿机制的移动无线传感网数据控制同步传输算法和基于预发射-精度提升机制的 LTE-5G 数据传输算法相比,所提算法具有更低的网络拥塞水平和节点受限概率,以及更高的网络传输带宽。

关键词: 移动物联网; 稳定传输; 节点-链路评估; 衰减损耗; 数据传输依序度; 传输能量可控度; 中继链路控制度

中图分类号: TP393; TN929. 5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510. 5015

Data transmission stability scheme of mobile internet of things based on node link evaluation model

Tang Jing¹ Tian Bo¹ Chen Huajun²

(1. College of Big Data, Tongren University, Tongren 554300, China;

2. College of Automation, Guandong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In order to solve the problems of low data transmission quality and low network transmission bandwidth in the process of data transmission of mobile Internet of things, a stable scheme of data transmission of mobile Internet of things based on node link evaluation model is proposed. Considering the characteristics of node movement, a new node link evaluation model was designed to realize multi-dimensional evaluation of data transmission process. Then, according to the node link evaluation model, three indexes of data transmission order, relay link control and transmission energy control were proposed. By matching the transmission power of nodes, a link stability method based on the order degree of data transmission was designed, and the poisson distribution model was used to build a node stability method based on the control degree of relay link, and by predicting the limited performance of nodes, a node failure state transmission energy saving scheme based on the control degree of transmission energy was proposed, so that the data transmission performance of the mobile Internet of things was optimized from node, link and energy, which can effectively improves the stability of the network transmission. The simulation results show that compared with the data control synchronous transmission algorithm based on the likelihood estimation compensation mechanism and LTE-5G data transmission algorithm based on the pre transmit precision improvement mechanism, this algorithm has lower congestion level and node limited probability, and higher network transmission bandwidth.

Keywords: mobile internet of things; stable transmission; node link evaluation; attenuation loss; data transmission order; transmission energy controllability; relay link controllability

收稿日期: 2020-02-23 Received Date: 2020-02-23

基金项目: 国家自然科学基金(61741214)、贵州省科技厅联合基金(黔科合 LH 字[2017]7322 号)、贵州省教育厅青年科技人才成长(黔教合 KY 字[2016]298)、贵州省科技厅科技合作项目(黔科合 LH 字[2015]7251)资助

0 引言

由于 5G 制式通信具有超宽带、链路高抖动特性,使得移动物联网节点需要具有较好的传输质量评估性能,有效规避因链路抖动等因素引发的数据传输中断现象^[1-3]。此外,移动物联网节点组网过程中具有的高拓扑变动特性,需要网络传输过程中能够维持一定数量的中继节点进行接力传输,中继节点在接力传输过程中需要保持稳定状态,以便防止因节点失效而导致传输受限,影响网络数据稳定传输性能^[4]。

为改善移动物联网运行过程中存在的数据稳定传输性能,当前研究者一般采用反馈传输方案,传输过程中节点引入校验机制进行质量评估,以便能够实现网络数据高性能稳定传输。Slavyana 等^[5]基于移动物联网信道漂移特性,在节点链路拓扑可靠性预估基础上,提出了一种新的移动物联网数据稳定传输方案,可以显著提高数据传输稳定度。但是,该技术对移动物联网重传输过程中存在的信号衰落未做针对性处理,数据难以在复杂环境下实现稳态传输。Xuan 等^[6]鉴于移动物联网数据稳定传输过程中存在的点对点传输抖动现象,提出了一种基于随机分布列预测机制的移动物联网数据传输稳定方案,有效解决了拓扑更迭过程中网络受限因素对稳定传输存在的不利影响,特别适用于解决诸如无人机、战术数据链等实际应用场景。然而,该方法未对复杂环境下信号衰落因素进行进一步分析,难以针对移动无线物联网传输特点进行匹配性稳定传输,具有一定的应用局限性。Chang 等^[7]基于移动物联网稳定传输过程中存在的能量受限条件,提出了一种新的移动物联网数据稳定传输方案,能够实现高衰落条件下信道稳定性能,具有良好的传输匹配特性,实践效果良好。但是,该方案未充分考虑移动物联网存在的拓扑变动特性,部署环境需要较好的链路固定条件,应用场景不具有普适性。

当前,移动物联网数据稳定传输方案主要基于单一影响因素实现限制性条件的制约可控,部署过程中存在较为严重的适配性问题,数据难以同时实现多种环境下的传输。鉴于当前研究中的不足,本文依托移动物联网拓扑移动特性,针对数据点对点传输存在的链路损耗及信号损耗特性,设计了一种新的节点-链路评估模型,可同时捕捉传输中存在的能量受限、拓扑抖动等因素,提高了方案的普适性。随后,依托本文设计的节点-链路评估模型,设计了数据传输依序度、中继链路控制度、传输能量可控度等 3 项评估指标,并给出相应的稳定阈值,可同时依托这些指标进行传输稳定控制。最后,通过仿真实验,证明了本文算法的性能。

1 数据节点-链路评估模型

典型移动物联网节点一般采用 5G 信号制式,均具有可移动特性,采用移动组网模式实现拓扑可连通性检验,网络组建完毕后一般均需要采用点对点传输校验机制进行传输校验^[8]。数据传送端进行首次传输时,均需要针对中继节点数据传输情况进行裁决,当且仅当确认数据实现稳定传输后,传送端才能进行下次数据传输。若传输过程出现抖动,即部分传输数据丢失或出现数据滞留现象,则传送端需要启动数据重传输过程,以便数据可以为接收端所获取。

移动物联网部署过程如图 1 所示,分布区域内节点均采用随机布撒方式进部署,当节点完成数据组网过程后,发送端节点启动数据发送流程,中继节点逐次确定数据传输质量并判断是否继续进行数据传输。由于传输过程可能存在链路抖动、能量受限等因素,使得数据传输过程存在故障时间,故障时间内网络数据传输将处于中断状态^[9]。因此本文拟设计数据传输依序度、中继链路控制度、传输能量可控度,分别从数据传输准确性能、链路抖动控制性能、能量可控性能上进行解析,获取传输故障时间。

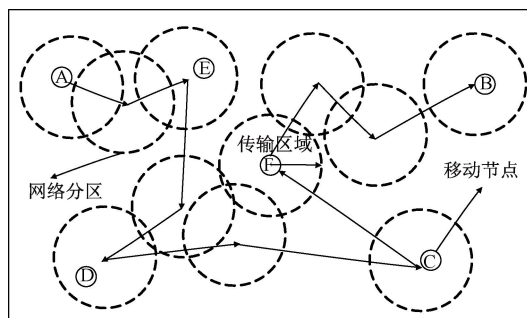


图 1 移动物联网节点部署

Fig. 1 Mobile internet of things node deployment

由于移动物联网数据发射过程需要通过无线方式进行信号预成型,传输过程因链路抖动、信号损耗、噪声干扰等因素,会出现显著的信号衰减现象^[9]。一旦信号衰减超过中继节点可忍受的阈值,则数据传输将处于中断状态。因此本文节点-链路评估模型将由对端信号衰减损耗、噪声干扰衰减损耗、链路传输衰减损耗 3 个部分组成。

1.1 对端信号衰减损耗

由图 1 可知,移动物联网组网过程中可能存在多条互相独立的数据传输链路,对端信号衰减损耗主要指发送端同时进行多路数据传输时,相邻节点可能存在一定的路径抖动现象,使得下一跳节点无法同时进行数据校



验,使得网络数据报文出现丢失现象。因此需针对相邻节点间对端信号衰减损耗进行预估,降低因此带来的数据稳定问题。

考虑到移动物联网信号传输过程中存在源信号和信道附加信号^[10],一般均满足高斯分布,且标准差为 $\sigma^{[11]}$ 。令传输信号中源信号和信道附加信号为 Γ 和 Φ ,相邻节点在移动过程中接收到的信号分布列 Ψ 满足拉普拉斯分布条件^[12]:

$$P(\Psi) = \frac{1}{\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{m^2}{2\pi\sigma^2}\right) \Psi^2 \quad (1)$$

式中: $P(\Psi)$ 表示接收信号分布列 Ψ 的拉普拉斯分布函数; $\exp$ 表示自然对数; σ 表示源信号 Γ 和信道附加信号 Φ 的标准差; m 表示信道附加信号 Φ 的传输周期均值。

信号分布列 Ψ 满足式(1)所示的拉普拉斯条件,对式(1)求取统计平均值,即可得到对端信号的平均能量 $E[P(\Psi)]$:

$$E[P(\Psi)] = \oint \frac{1}{\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{m^2}{2\pi\sigma^2}\right) \Psi^2 d\Psi \quad (2)$$

当节点处于移动状态时,拉普拉斯弱分布条件与高斯分布具有同一性,因此,可将式(2)进一步化简得:

$$E[P(\Psi)] = \sigma^2 \quad (3)$$

由式(3)可知,对端信号分布满足能量为 σ^2 的高斯分布,衰减过程将按照自然对数 $\exp$ 进行收敛,因此,对端信号衰减损耗 Ω 可由式(1)~(3)联合确定:

$$\Omega \sim N(0, \sigma^2) \quad (4)$$

式中: N 表示标准正态函数。

由式(4)可知,对端信号衰减满足标准正态分布,在实践中可通过低通滤波来增强节点抗噪性。然而,由式(1)可知,由于信道噪声具有的时变特性,随着信道附加信号 Φ 的强度越高, $P(\Psi)$ 将呈现同比增加的趋势,因此相邻节点接收到的信号分布列 Ψ 强度也将越高,可显著降低对端信号衰减损耗。另外,在信号调制时,将信道附加信号 Φ 的强度提高到源信号 Γ 所能接受的物理强度 $\Delta\Phi$,并将该强度设定为对端信号衰减阈值,从而最大限度的实现对端信号衰减的抑制。

1.2 链路传输衰减损耗

链路传输衰减损耗主要因传输端在移动过程中存在的多径传输现象而产生,由于移动无线传感网进行数据传输时往往存在多条可用链路,各条可用链路间因节点移动将出现互相串扰现象,导致传输过程中信号出现显著衰减^[13]。令传输端数据传输初始化过程中信号初始功率为 P_0 ,下一跳节点接收功率为 P_{next} ,则链路传输衰减损耗 Ω_{get} 可通过下列模型唯一获取:

$$\Omega_{get} = \sum_{i=1} \frac{P_0}{P_{next}(i)} \quad (5)$$

式中: $P_{next}(i)$ 表示链路中按跳获取的下一跳节点,通过

获取网络中任意节点功率并代入式(5)计算,即可获取当前时刻的链路传输衰减损耗。实践中可将链路传输衰减损耗进行分贝化处理,式(5)可做进一步变形:

$$[\Omega_{get}] \text{ dB} = [\text{eln} \sum_{i=1} \frac{P_0}{P_{next}(i)}] \text{ dB} \quad (6)$$

考虑到移动物联网中节点均为制式节点,因此可将当前网络中接收功率最低的节点对应的功率作为 P_{next} 的最低值,并设网络中最大跳数为 k ,则模型(6)可进一步改写为:

$$[\Omega_{get}] \text{ dB} = [\text{eln} \frac{kP_0}{P_{next}}] \text{ dB} \quad (7)$$

通过式(7)即可获取链路传输衰减损耗 Ω_{get} ,显然通过合理调整节点能耗水平,改善下一跳节点接收功率为 P_{next} ,即可有效降低链路传输衰减损耗,提高网络传输性能。

1.3 噪声干扰衰落损耗

噪声干扰衰落损耗主要由传输信道中噪声干扰所致,该项损耗具有全局性影响,对全网节点均有较强的制约因素,特别是移动物联网信道存在高衰落特点,使得信道噪声与传输信号具有匹配特性。信号传输过程中一般会受到较强幅度的莱斯噪声的干扰^[14]。令式(5)中链路传输衰减损耗 Ω_{get} 的最大阈值为 ω ,根据莱斯噪声分布特点可知 ω 的分布函数 $G(\omega)$ 满足如下模型:

$$G(\omega) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\omega^2}{2\pi\sigma^2}\right) \quad (8)$$

式中: σ 表示信道噪声的功率。

对式(8)中的莱斯噪声功率进行标准映射处理^[15],然后再进行归一化可得:

$$G(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\omega^2}{2\pi}\right) \quad (9)$$

显然,通过式(5)获取链路传输衰减损耗的最大阈值后,再采用式(9)来获取最低的噪声干扰衰落损耗。由于该损耗可按照式(9)进行归一化处理,因此,可按照传输周期对式(9)进行捕捉,并完成噪声过滤处理,以降低噪声干扰衰落损耗对移动物联网数据稳定传输的不利影响。

针对传输中存在的噪声干扰衰落损耗,特别是节点处于移动状态下因信道噪声干扰出现频繁重传,使得节点出现能量受限的概率显著上升。因此,本文通过设计传输能量可控度来提高节点对噪声干扰衰落损耗的抑制能力,从而提高节点及传输链路的稳定性能。

2 所提移动物联网数据传输稳定算法

2.1 基于数据传输依序度的移动物联网链路稳定

节点处于移动状态时将频繁出现节点再覆盖现象,



即某个节点在传输周期内可能因移动而多次进入不同中继节点的覆盖区域,因此网络链路抖动现象将频繁发生。虽然可采用某种控制方法将中继节点的覆盖区域进行收敛,使得传输节点避免出现覆盖区域外传输的现象,但链路抖动依然难以得到抑制。

针对式(5)所示的链路传输衰减损耗,考虑到节点数据具有一定的顺序传输特性,因此,可采用阈值方式进行数据传输控制。不妨设链路中第 n 个节点的信号接收信噪比 χ_n 为:

$$\chi_n = \frac{P_{next}(n)}{\max G(\omega)} \quad (10)$$

式中: $P_{next}(n)$ 表示第 n 个节点的当前功率, $\max G(\omega)$ 表示式(9)所示的莱斯噪声分布函数对应最大值。

由于对端信号衰减损耗、噪声干扰衰减损耗、链路传输衰减损耗同时存在,网络进行数据传输应与式(7)相匹配,并同时满足式(9)所示的莱斯分布。因此,当式(10)所示的信号接收信噪比 χ_n 高于一定数值时,全部数据将能够同时按照顺序进行数据传输:

$$\chi_n > \partial \quad (11)$$

考虑到式(10)中节点信号接收信噪比可能存在多个,实践中可预先进行设定,为便于获取相应阈值,令:

$$\Delta = \frac{P_{next}(n)}{\max G(\omega)} - \partial \quad (12)$$

不同节点间数据传输具有相互独立性,随着传输时间的不断增长,式(11)也将逐渐呈现正态分布特性^[15],此时网络将处于稳定传输状态。据此设计数据传输依序度 $Data(tran)$ 如式(13)所示。

$$Data(tran) = \frac{d\Phi(\Delta)}{dt} \quad (13)$$

其中, Φ 表示标准正态分布,当式(13)处于稳态时,数据传输依序度将为正值,可满足数据传输需求:

$$\frac{d\Phi(\Delta)}{dt} > 0 \quad (14)$$

由式(13)可知,当网络总体信噪比可控时,可按式(12)来获取阈值,并按式(13)构建数据传输依序度。根据数据传输依序度具有的正态分布特性来控制节点发射功率,从而降低因能量受限而出现传输受阻的概率。

2.2 基于中继链路控制制度的节点稳定

考虑到节点移动过程中出现的频繁进出不同中继节点覆盖区域的现象,数据传输过程将严重依赖多径传输方式。倘若某中继节点出现能量受限,将导致多个传输节点出现严重的数据重传现象,从而降低了网络节点传输的稳定性能。

针对链路传输衰减损耗现象,需要及时从网络中暂时剔除能量受限节点,并由 sink 节点对这些受限节点进行充能,从而尽量确保网络拓扑的稳定程度。若数据传

输依序度无法满足式(14),则说明链路中存在能量受限节点,将会出现链路传输抖动现象,需要重新选取节点进行数据中继传输。由文献[15]可知,各节点间数据抵达过程满足泊松分布。

考虑到节点失效具有随机特性,当节点对端损耗影响数据接收时,链路将处于抖动状态,由式(9)可获取当前噪声干扰满足式(15):

$$G(\omega_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\omega_k^2}{2\pi}\right) \quad (15)$$

式中: ω_k 表示当前信道噪声频率。

随后,对式(15)进行差分处理:

$$\Delta(i) = \frac{d[G(\omega_k)]}{d\omega_k} \quad (16)$$

第 k 次触发式(13)所示的次数 $D_n(k)$ 时,按式(14)确定中继节点处于稳态状态。因此,当第 n 个节点进行数据传输时,传输周期内触发式(13)所示的次数 $D_n(k)$ 满足泊松分布,并将该次数作为中继链路控制度:

$$P(D_n(i) = k) = \frac{\Delta(i)^k}{i!} e^{-\Delta(i)} \quad (17)$$

当节点触发式(17)所示的次数时,说明该节点存在能量受限的可能,此时,需要逐次计算网络中各节点的功率 $P_n(n=k)$,并求取功率均值 $P(n=k)$:

$$P(n=k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i(i=k) \quad (18)$$

完成式(18)所示的功率均值获取后, sink 节点对网络中存活的中继节点进行遍历,将中继节点中功率低于均值的节点进行剔除处理,并将相应的链路规定为中断状态。当第 i 个中继节点处于链路中断状态时,则其他与该中继节点处于链接状态的其余节点均将需要进行数据重传输。此时网络将持续按照式(17)进行数据能量受限节点判定,并将这些处于能量受限状态的节点从当前网络拓扑中进行剔除,由 sink 节点进行能量补充,以便重新达到可工作状态。

由于式(17)为单调不增函数,显然,当式(16)中 $i=0$ 时,式(17)取最小值,此时节点功率将处于不受限的状态。因此,可通过式(17)获取节点触发功率受限的最低次数,将该次数对应的节点功率设置为节点临界功率,一旦节点当前功率接近该临界功率,则及时将节点设置为休眠状态,并进行能量补充,以降低因节点受限而导致的链路拥塞现象,从而有效降低网络中存在的拥塞现象,提高数据传输的可靠性能。

2.3 基于传输能量可控度的节点失效态传输节能

针对噪声干扰衰落现象,增加节点信噪比可有效提高传输抗噪性能,因此可通过控制传输能量及功率消耗来增强节点对噪声干扰衰落的抑制能力。考虑到移动物联网数据在功率不受限条件下将时刻处于能量损耗状



态,一旦触发式(14)所示的条件,则移动物联网节点将属于失效状态,需要通过 sink 节点进行能量补充,方可继续进行数据发送。因此,本文规定传输能量可控度为移动物联网节点处于失效状态的概率,令第 n 个节点在 t 时刻的数据传输能耗 $E(n,t)$ 为:

$$E(n,t)=\int_0^T tP_0dt \tag{19}$$

式中: tP_0 表示第个节点的初始能量; T 表示该节点的数据传输周期。

不妨设网络进行数据传输过程中各传输链路均满足式(7)所示的最大链路传输衰减损耗,即此时节点能量将处于临界状态,即将触发式(14)所示的传输失效状态.。当传输带宽为 B bps 时,第 n 个节点的能量消耗 $E(n,B,t)$ 满足式(20)。

$$E(n,B,t)=B\int_0^T tP_0dt \tag{20}$$

当第 $n+1$ 个节点在接收数据时,其数据接收能量消耗 $E(n+1,B,t)$ 与式(20)相同,即:

$$E(n+1,B,t)=B\int_0^T tP_0dt \tag{21}$$

因此,若网络中节点个数为 m ,则全网数据接收能量的最低值 $E(m,T)$ 可由式(22)获取。

$$E(m,T)=m\sum_{i=1}^kB_i\int_0^T tP_0dt \tag{22}$$

式中: B_i 表示第 i 条链路的传输带宽; k 表示网络中传输链路总数; T 表示网络传输周期。

通过式(22)可将网络中任意传输周期 T 内的能耗水平降低至最低。令:

$$\lambda=\frac{E(n,t)-tP_0}{B\int_0^T tP_0dt} \tag{23}$$

当第 $n+1$ 个节点进行数据转发时,通过式(22)将网络能耗保持在最低水平,此时不妨设其中继链路控制度满足式(17),将节点不触发式(17)的情形作为传输能量可控度,则可得数据发送节点在 t 时刻的传输能量可控度 $P(n)$ 满足:

$$P(n)=1-\sum_0^{\lambda}\sum_{m=0}^k(1-b_m)\frac{\Delta(t)^m}{m!}e^{-\Delta(t)} \tag{24}$$

$$\lambda=\left\lceil\frac{E(n,t)-tP_0}{B\int_0^T tP_0dt}\right\rceil \tag{25}$$

式中: $\lceil \rceil$ 表示取整运算。

当网络中继节点均满足 $P(n)<0$ 时,说明各节点能量均满足可控状态,将不会出现失效。通过对网络节点进行遍历,将处于 $P(n)=0$ 状态附近的节点进行能量补充,可有效规避能量受限现象,提高网络稳定传输能力。

3 仿真实验

为了测试本文算法的网络性能,设置如下网络部署环境:节点分布区域为矩形(2 400 m×3 600 m),发送端节点部署于图 1 所示的矩形区域边缘,接收端节点也部署于矩形区域边缘;节点发生数据拥塞过程时,其下一时刻数据接收满足泊松分布条件。考虑到节点均采用 5G 制式信号,因此子信道个数设置为 512 个,信号预成型星座为 32-PSK 个。其余仿真参数如表 1 所示。

此外,选取文献[16]的 DCST-LEC 算法和文献[17]的 PPI 算法视为对照组。

表 1 仿真参数表

Table 1 Simulation parameter table	
参数	数值
信噪比阈值/dB	10
节点传输周期/min	不低于 30
节点布设方式	随机分布
节点密度	不低于 1 个/m ²
信道噪声	标准高斯白噪声
泊松分布强度	1
节点初始功率	同高斯白噪声功率
节点个数	不低于 1 000

仿真开始后,在节点传输周期内,逐秒记录网络拥塞时间、网络带宽量、节点受限次数;通过控制节点运行速度的方式模拟移动状态的物联网。此外,本文方案数据传输依序度(data transmission order degree,DTOD)、中继链路控制度(control degree of relay link,CDRL)、传输能量可控度(transmission energy controllability,TEC)分别设置为情形 1:DTOD=1,CDRL=1,TEC=0;情形 2:DTOD=0.5,CDRL=0.5,TEC=0.5;情形 3:DTOD=0,CDRL=0,TEC=1,用于与对照组进行仿真对比。

3.1 网络拥塞时间测试

为测试移动物联网的网络拥塞时间,首先将本文算法(情形 1、情形 2、情形 3)、DCST-LEC 算法和 PPI 算法的移动速度均设置为固定模式,按移动速度为 2 和 20 m/s 分两组进行实验,结果如图 2 所示。由图 2 可知,本文算法在情形 1、情形 2、情形 3 三种情况下,网络拥塞时间均要显著低于 DCST-LEC 算法和 PPI 算法,这是由于本文算法充分考虑了对端信号衰减损耗、噪声干扰衰减损耗、链路传输衰减损耗等因素,通过设计了数据传输依序度、中继链路控制度、传输能量可控度等方式用于控制传输衰减因素,因此具有较好的网络拥塞控制性能。DCST-LEC 算法虽然能够针对 sink-区域节点、区域节点-区域节点、区域节点-子节点 3 个层次

强化对数据传输的监控粒度,且能够通过更高精度的控制信息同步机制对数据传输链路的抖动进行控制,然而该算法并未充分考虑通过能量控制及中继链路控制方面进行稳定传输,因此网络拥塞控制时间要显著高于本文方案。PPI 算法采取立体发射结构,能够将在多路并发的情况下将不同频率的子信号分割为若干处于不同层次的投影矢量,并通过精度裁决方式对预发射子信号进行优化传输,提高了信号在复杂信道条件下的传输质量。然而该算法仅从信号层面对噪声干扰衰减损耗进行抑制,针对传输受限因素考虑不充分,使其网络拥塞时间亦要高于本文方案。

扰衰减损耗、链路传输衰减损耗等因素,所设计的基于数据传输依序度的移动物联网链路稳定方法、基于传输能量可控度的节点失效态传输节能方案和基于中继链路控制度的节点稳定方法,分别从链路稳定、节点稳定、能量稳定 3 个维度对网络数据传输进行了优化,因此具有较好的网络传输带宽性能。DCST-LEC 算法主要针对传输链路进行了区域优化,并未考虑通过能量优化及节点优化方式进行稳定传输,因此该算法的网络传输性能要显著低于本文方案,具有较低的网络传输带宽。PPI 算法主要从信号层实现对端信号衰减损耗进行控制,节点处于能量受限时将会导致链路出现严重抖动现象,因此网络拥塞控制能力较差,使得该算法的网络传输带宽亦要低于本文方案。

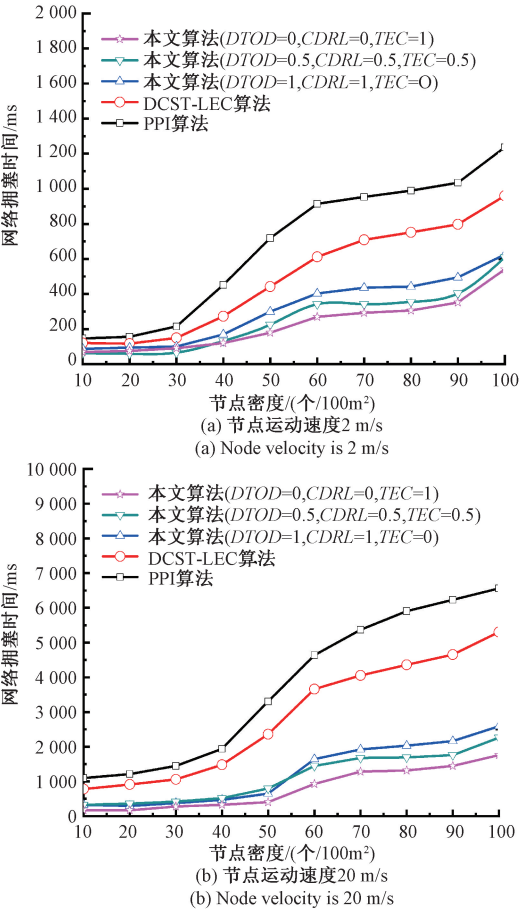


图 2 网络拥塞时间测试结果

Fig. 2 Test results of network congestion time

3.2 网络传输带宽测试

为测试移动物联网的网络传输带宽,参照节 3.1 节将本文算法(情形 1、情形 2、情形 3)、DCST-LEC 算法和 PPI 算法的移动速度均设置为固定模式,按移动速度为 2 和 20 m/s 分两组进行测试,结果如图 3 所示。由图 3 可知,本文算法在情形 1、情形 2、情形 3 三种情况下,网络传输带宽均要显著高于 DCST-LEC 算法和 PPI 算法,说明本文算法针对端信号衰减损耗、噪声干

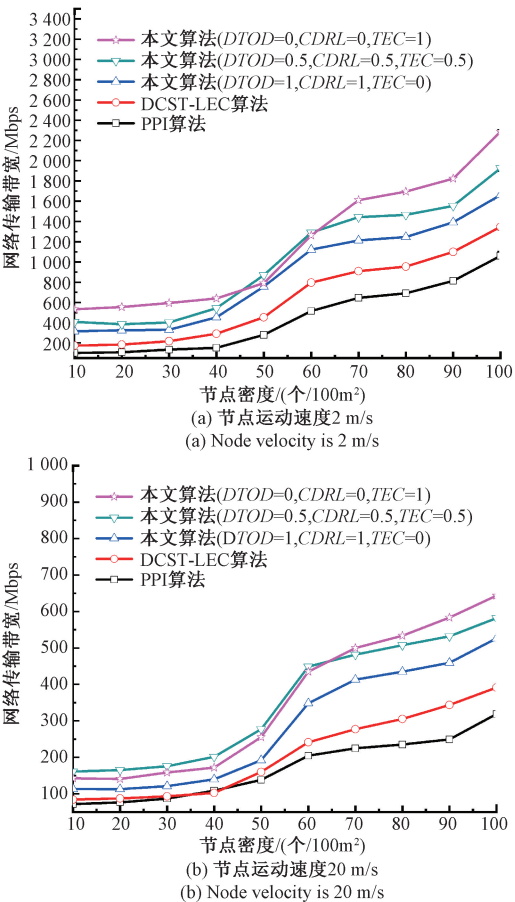


图 3 网络传输带宽测试结果

Fig. 3 Test results of network transmission bandwidth

3.3 节点受限次数

为测试移动物联网的节点受限次数,参照节 3.1 节将本文算法(情形 1、情形 2、情形 3)、DCST-LEC 算法和 PPI 算法的移动速度均设置为固定模式,按移动速度为 2 和 20 m/s 分两组进行测试,结果如图 4 所示。由图 4 可知,本文算法在情形 1、情形 2、情形 3 三种情



况下,节点受限次数均要显著低于 DCST-LEC 算法和 PPI 算法,这是因为本文算法设计了基于数据传输依序度的移动物联网链路稳定方法、基于传输能量可控度的节点失效态传输节能方案和基于中继链路控制度的节点稳定方法,针对端信号衰减损耗、噪声干扰衰减损耗、链路传输衰减损耗等因素,分别从链路稳定、节点稳定、能量稳定 3 个方面优化了网络传输性能,因此节点受限概率较低。DCST-LEC 算法主要针对传输链路层面进行调整,虽然可通过 sink-区域节点、区域节点-区域节点、区域节点-子节点 3 个层次提高对链路稳定性性能的监控,然而该算法并未对节点能量受限等方面进行进一步优化,出现链路抖动情形亦无法针对节点能量受限的情况进行有针对性的调整,因此节点受限概率较高。PPI 算法主要从信号层实现对端信号衰减损耗进行控制,未针对节点能量受限所造成的链路抖动进行优化,节点处于受限状态时链路将无法得到针对性的调整,使得网络传输过程容易出现大面积拥塞现象,因此具有较差的网络拥塞控制性能,使得该算法的节点受限次数要显著高于本文算法。

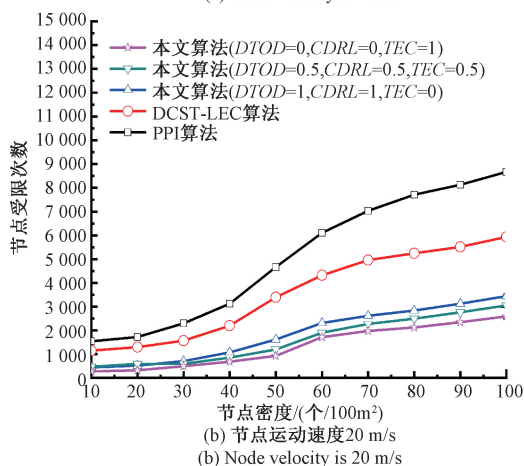
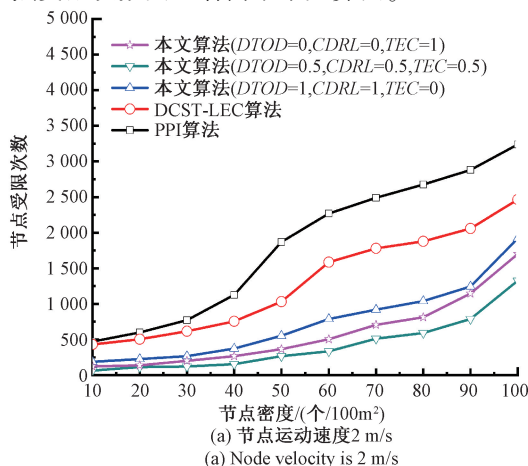


图 4 节点受限次数

Fig. 4 Node limit times

4 结 论

为改善当前移动物联网部署过程中存在的传输稳定问题,提出了一种新的移动物联网数据传输稳定算法。本文方案设计了一种新的节点-链路评估模型,通过数据传输依序度、中继链路控制度、传输能量可控度 3 个方面分别从节点、链路、能量 3 个层次优化数据传输性能。实现了对移动物联网数据稳定的多维评估,可显著提高网络传输性能,大大提高移动物联网生存质量。

下一步,将针对本文算法在节点高密度环境下存在性能受限的不足,拟结合移动物联网拓扑优化算法,进一步提高本文算法的网络链路稳定性及网络拥塞控制性能。

参考文献

- [1] 陈媛媛,李贤阳. 基于综合权值校准与均跳估测的移动物联网终端坐标感知算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 32(1): 48-55.
CHEN Y Y, LI X Y. Coordinate sensing algorithm of mobile internet of things terminal based on comprehensive weight calibration and average Hop estimation [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2020, 32(1): 48-55.
- [2] PRAVEEN K R, RAJASEKHARA B B. Energy efficient cluster head selection for internet of things [J]. New Review of Information Networking, 2017, 22 (1): 266-273.
- [3] ZHANG Y J, HE J S, MUHAMMAD S P. An asymmetric transport protocol for internet of things [J]. Procedia Computer Science, 2017, 107: 636-641.
- [4] JENIFER S. Surveillance in ubiquitous network societies: Normative conflicts related to the consumer in-store supermarket experience in the context of the internet of things [J]. Ethics and Information Technology, 2014, 16(1): 27-41.
- [5] SLAVYANA K, MIROSLAV G, VLADISLAV V, et al. On modeling the psychology of wireless node interactions in the context of internet of things [J]. Wireless Personal Communications, 2015, 85(1): 101-136.
- [6] XUAN X Y, ZHI C, YE T. A lightweight attribute-based encryption scheme for the internet of things [J]. Future Generation Computer Systems, 2015, 49(3): 104-112.
- [7] CHANG J Y. A distributed cluster computing energy-efficient routing scheme for internet of things systems [J]. Wireless Personal Communications, 2015, 82(2): 277-285.
- [8] WEN S J, HUANG C, CHEN H X, et al. Energy-



- efficient and delay-aware distributed routing with cooperative transmission for internet of things [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2018, 118(2): 1611-1618.
- [9] AADREI G, JOAN G, FLORIN D. A new vision over agile project management in the internet of things era[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2018, 238(19): 757-776
- [10] BEI G, YU B W. A trusted attestation mechanism for the sensing nodes of internet of things based on dynamic trusted measurement[J]. Chinese Geographical Science, 2018, 15(2): 100-121.
- [11] JEAN M E, ANDRE F, DACYCLEM A. Decentralized algorithm for maximizing coverage and lifetime in a mobile wireless sensor network[J]. Ad Hoc Networks, 2018, 2(11): 92-105.
- [12] TAREK G, SARAH A. Trust-based secure clustering in WSN-based intelligent transportation systems [J]. Computer Networks, 2018, 9(15): 1047-1066.
- [13] RADOSLAW O S, MARCIN G. The channel for hidden data transmission in WSN [J]. International Journal of Electronics and Telecommunication, 2017, 63 (2): 209-216.
- [14] MOUSA Y. Analysis and design of colpitts oscillator for short-range WSN[J]. International Journal of Electronics and Telecommunications, 2016, 62(3): 279-282.
- [15] ANANF P. Sensor node deployment based on OTLBO in WSN[J]. Procedia Computer Science, 2015, 57(2): 988-995.
- [16] 江渝川,何国斌. 基于似然估计补偿机制的移动无线传感网数据控制同步传输算法[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2018, 35(4): 465-472.
JIANG Y CH, HE G B. Data control synchronous transmission algorithm for mobile wireless sensor networks based on likelihood estimation compensation mechanism[J]. Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition), 2018, 35(4): 465-472.
- [17] 冷鹏,黄晶,陈巍婷. 基于预发射-精度提升机制的LTE-5G 数据传输算法[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(5): 1231-1238.

LENG P, HUANG J, CHEN W T. LTE-5G data transmission algorithm based on prelaunch precision improvement mechanism [J]. Computer Engineering and Design, 2018, 39(5): 1231-1238.

作者简介



唐静, 2007 年于贵州师范大学获得学士学位, 2019 年于湖南大学获得硕士学位, 现为铜仁学院讲师, 主要研究方向为物联网、移动通信、多媒体技术、计算机图像处理。

E-mail: TangJng1984dsj@yeah.net

Tang Jing received B. Sc. degree from Guizhou Normal University in 2007, and M. Sc. degree from Hunan University in 2019. Now she is a lecturer at Tongren University. Her main research interests include internet of things, mobile communication, multimedia technology, computer image processing.



田波, 1999 年于怀化学院获得学士学位, 2008 年于湖南工业大学获得硕士学位, 2014 年于广东工业大学获博士学位, 现为铜仁学院教授, 主要研究方向为计算机网络、大数据、机器学习算法。

E-mail: tianbomail@163.com

Tian Bo received B. Sc. degree from Huaihua University in 1999, M. Sc. degree from Hunan University of Technology in 2008, and Ph. D. degree from Guangdong University of Technology in 2014. Now he is a professor at Tongren University. His main research interests include computer network, big data, machine learning algorithm.



陈华君, 2009 年于贵州民族学院获得学士学位, 2012 年于桂林电子科技大学获得硕士学位, 现为广东工业大学博士研究生, 主要研究方向为无线通信、智能算法。

E-mail: 390832683@qq.com

Chen Huajun received B. Sc. degree from Guizhou Minzu University in 2009, received M. Sc. degree from Guilin University of Electronic Technology in 2012. Now he is a Ph. D. candidate at Guangdong University of Technology. His main research interests include wireless communication and intelligent algorithm.