



研究与开发

基于功率损耗均衡化控制机制的 移动无线传感网数据传输算法

李丽君¹, 张福泉², 刘鸿飞³

(1. 重庆理工大学理学院, 重庆 400054; 2. 北京理工大学软件学院, 北京 100081;
3. 重庆科创职业学院, 重庆 402160)

摘要: 为了解决当前移动无线传感网数据传输中存在的同步寻址困难以及节点间功率交互难以均衡化的问题, 提出了一种新的移动无线传感网数据传输算法。首先, 采取广播机制实现同步控制分组传输, 降低同步流量对寻址过程造成的压力; 随后使用区域节点流量阀控制机制, 且通过侦听方式记录并获取 sink 节点—区域节点链路间的数据流量, 进一步采取流量—链路均衡方式促进流量均衡化; 最后, 通过基于轮数—sink 链路周期抖动筛选方式确认受限带宽, 减少带宽受限导致的传输故障。仿真实验表明, 与 BLT-NB2R 算法、NLSC 算法和 HT2C 算法相比, 所提出的算法可改善数据传输带宽, 降低数据分组丢失频率, 能够较好地满足实践需求。

关键词: 移动无线传感网; 数据传输抖动; 功率损耗均衡化; 广播机制; 频率漂移; 流量控制; 数据均衡

中图分类号: TP393.04

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018251

Data transmission algorithm for mobile wireless sensor network based on power loss equalization control mechanism

LI Lijun¹, ZHANG Fuquan², LIU Hongfei³

1. College of Science, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China

2. School of Software, Beijing University of Technology, Beijing 100081, China

3. Chongqing Creation Vocational College, Chongqing 402160, China

Abstract: In order to solve the problem of synchronization addressing and the inadequacy of power interaction among nodes in the current mobile wireless sensor network, a new data transmission algorithm for mobile wireless sensor network was proposed. Firstly, the broadcast mechanism was adopted to realize synchronous control packet transmission and reduce the pressure caused by the synchronization flow to the addressing process. Then regional node flow valve control mechanism was used, and data traffic between sink nodes and regional node links were recorded and got by interception, flow link equalization was further adopted to promote traffic equalization. in the further step. Finally, the limited bandwidth based on wheel number-sink link jitter screening mode could be identified, and the transmission failure due to limited bandwidth was reduced. Simulation results show that compared with the bandwidth of the root zone node and widely used in limiting transmission algorithm, node link stability encoding algorithm and hierarchical encoding algorithm, the data transmission bandwidth can be improved, the packet loss rate can be reduced, and the practical needs can be better met.

Key words: mobile wireless sensor network, data transmission jitter, power loss equalization, broadcasting mechanism, frequency drift, flow control, data balance

收稿日期: 2018-04-04; 修回日期: 2018-09-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61502065); 重庆市科学研究资助项目 (No.KJ1752485)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61502065), Scientific Research Foundation of Chongqing (No.KJ1752485)



1 引言

随着以区块链网络为代表的新型网络逐步在国民经济领域得到普及应用,采取新一代电子取样芯片对生产环境中控制数据及资料区块链进行采样,采取无线传感网形式进行数据交互^[1],并采取一定的数据传输机制完成数据流与产品的转换,成为当前具有前瞻性的技术研究领域之一^[2]。

为提高当前工业化 4.0 领域中无线传感网的使用范围,改善当前数据采样及交互过程中存在的问题,研究者提出了若干具有前瞻性的研究领域,取得了一定的社会效益及经济效益。Levasseuri 等^[3]提出了一种基于碰撞预消除机制的移动无线传感网数据传输算法,该方案使用区域分割—子信道预分配方式,将数据传输过程中可能发生信道碰撞的信道进行分割消除,并采取高斯矢量维度噪声消除机制,使用随机散列对传输数据进行基于 Hash 赋值,从而改善数据传输过程中由制式差异导致的数据传输困难,提高了算法的抗噪能力;然而,该算法由于采取被动方式进行数据接收,未考虑信道传输过程中因窄带噪声造成的功率损失因素,使得该算法难以使数据传输带宽实现稳定化;Roger 等^[4]提出了一种基于传输数据报文超混沌稳定机制的移动无线传感网数据传输算法,通过将 P2P 节点数据作为传输数据报文的控制节点,并引入区块链梅根算法作为传输数据量确认方式,能够有效地改善数据传输中存在的拥堵等难题,且传输中数据带宽能够始终保持稳定状态。然而,该算法没有考虑无线传感网节点之间的信息交互,且对节点移动造成的数据分组控制混乱现象抑制能力不足,导致该算法难以实现数据稳定传输。June 等^[5]提出了一种基于区域汇聚—等级分区控制机制的移动无线传感网数据传输算法,该算法针对常规方案难以进行数据分组控制的弊端,采取专设数据分组控制节点的

方式并根据传输带宽的不同划分不同传输等级,成功实现了移动状态下数据分级传输,且数据传输带宽能够得到有效提升。然而该算法需要设立专门传输区域进行分区域传输,一旦网络中节点数量较为稀疏,显著的挤出效应将导致传输带宽呈现不断下降的趋势。

鉴于当前移动无线传感网数据传输算法中存在的缺陷,本文提出了一种基于功率损耗均衡化控制机制的移动无线传感网数据传输算法,该算法通过构建目标 sink—区域子节点控制分组传输机制、区域节点阈值流量控制机制和带宽受限节点二次确认机制,从 MAC 层及网络层两个层次对网络数据传输进行优化,实现移动无线传感网数据分发的均衡化,有效缓解抖动,能够有效应对当前移动无线传感网所面临的数据传输效率较低、拥堵严重等难题。最后通过 NS2 仿真实验环境对本文算法进行验证,证明了本文算法的优越性。

2 网络模型及分析

2.1 网络模型及相关定义

设在移动信号可覆盖的区域内具有 N 个移动无线传感网节点,节点按照随机分布规律进行移动并根据数据传输需要自行组网,相关网络定义及假设情况如下。

(1) 网络以 sink 节点作为中央基站,基站覆盖半径为 R ,区域内无线传感节点处于移动状态。一旦某个无线传感节点因移动因素跨出基站覆盖半径,则该节点处于失效状态^[6]。

(2) 任意无线传感节点均有一定几率处于沉默状态,该状态为节点发射功率下降时所必需的充电状态;考虑到节点服务的延续性原则,处于沉默状态的节点在下一服务周期内将重新加入网络中^[7]。

(3) 考虑到移动无线传感网具有移动特性,且当前移动无线传感节点能够进行无线充电,因

此本文网络模型中 sink 节点同时具有充电功能，且进行无线交流输电时载波频率与网络通信频率处于不同频段，即充电频率与节点数据传输频率处于正交状态，彼此互不干扰^[8]。

(4) sink 节点覆盖时，整个网络将按照分区原则进行节点划分，即网络将被划分为区域节点和成员节点两种不同类型的节点；区域节点负责维护区域间数据分组的转发及区域内数据的汇聚，成员节点仅承担数据采集及传输角色，不同区域间的成员节点均保持互盲原则^[9]。

本文网络模型如图 1 所示。

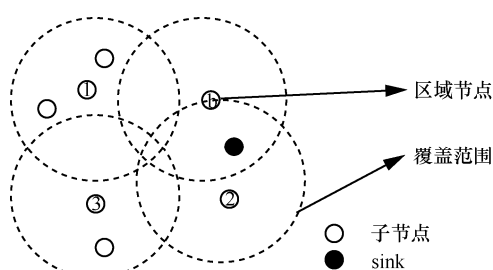


图 1 本文网络模型

定义 1（带宽受限节点）表示数据传输链路中，传输带宽能力最小的节点，该节点唯一地确定了传输链路的传输能力。

定义 2（节点服务时间（node service time, NST））表示区域阶段或成员节点在进行数据传输时能够正常提供服务的时间，获取方法如下：

$$NST(n) = \frac{E_{eng}(n)v(n)}{B_{max}(n)Math(n, sink)E_{eng_max}(n)} \quad (1)$$

其中， $E_{eng}(n)$ 代表节点传输过程中的已用带宽； $v(n)$ 代表当前节点数据传输率； $Math(n, sink)$ 代表第 n 个节点与 sink 节点间的数据传输频率； $E_{eng_max}(n)$ 代表第 n 个节点的数据转发带宽， $E_{eng_max}(n)$ 可通过如下方式获取：

$$E_{eng_max}(n) = E_{rpg}(n) + \sum E_{rec}(n) \quad (2)$$

其中， $E_{rpg}(n)$ 表示第 n 个节点采集数据形成的数据传输带宽； $E_{rec}(n)$ 表示第 n 个节点承担数据传输功能时所接收的带宽。

2.2 问题分析

由于当前常见针对移动无线传感网移动特性的解决方案^[3-6]均存在一定的局限性，特别是针对处于移动状态时传感节点均难以迅速实现网络拓扑结构的重建，主要存在的问题集中于如下 3 个方面。

- 参与服务节点在获取带宽受限节点状态时，仅考虑数据传输链路上的带宽受限节点，其路径均呈现线性特性；针对数据传输链路外的节点所产生的传输带宽未做考虑分析，难以实现网络数据传输的均衡化。
- 数据传输过程中仅考虑当前传输路径的拓扑信息，下一时刻参与服务的节点无法通过广播机制确认服务状态，因此后续服务节点难以通过选择最优父节点的方式实现对服务信息的二次确认。
- 部分服务节点可能因冗余带宽不足而发生严重的数据拥塞现象。

3 移动无线传感网数据传输算法设计

针对当前解决方案存在的问题，本文提出了一种基于功率损耗均衡化控制机制的移动无线传感网数据传输算法，该算法由 3 个部分组成：目标 sink-区域子节点控制分组传输机制、区域节点阈值流量控制机制和带宽受限节点二次确认机制。

3.1 目标 sink-区域子节点控制分组传输机制

目标 sink-区域子节点控制分组传输机制是指各个区域节点与 sink 节点通过控制分组组建骨干传输网络，保证各个区域间及各个区域与 sink 节点的数据传输链路的畅通。该机制主要通过 sink 节点解析区域节点发送的 get 数据分组并获取拓扑信息的方式，确定是否反馈区域节点以 get-Link 数据分组。通过该机制能够有效地降低区域节点因移动性而导致的失效现象发生的次数，并能够改善区域节点因带宽受限而导致区域间数据传输难以均衡化的问题，具体如图 2 所示。该机制的详细步骤如下。



步骤 1 区域节点首先向 sink 节点广播 get 数据分组, 若该区域节点已经进入了 sink 节点的覆盖范围, 则将自身 live 标志置为 1, 表示该节点能够承担 sink-区域间数据传输业务, 如图 2 所示; 反之, 则将自身 live 标志置为 0, 并将 live 分组广播至 sink 节点, sink 节点收到 live 分组后即对缓存进行更新。

步骤 2 sink 节点对缓存进行检查, 针对 live 分组为 1 的节点检查当前拓扑存活情况并发送 get-Link 分组, 如图 2 所示; 区域节点接收到 get-Link 分组后反馈 re-Link 分组, 至此 sink-区域数据传输骨干链路得以建立。

3.2 区域节点阈值流量控制机制

区域节点阈值流量控制机制是指移动无线传感网节点在进入数据传输区域时需要将自身的传输带宽与当前区域节点剩余传输带宽进行比对, 防止因区域节点冗余和带宽不足而造成严重的数据拥塞现象。移动无线传感网节点进行数据服务时首先通过 local-ASK 分组获取最佳的区域节点的冗余带宽, 区域节点获取 local-ASK 分组后, 从自身缓存队列里读取待加入移动无线传感网节

点的总上传带宽并反馈 re-local 分组给待加入服务的节点, 若待加入服务节点的上传带宽高于 re-local 分组, 则需要重新选取区域节点, 具体如图 3 所示, 详细步骤如下。

步骤 1 节点采取抓取分组的方式对 sink 节点与区域节点间的数据通信进行侦听, 若获取到其他节点发送的 local-ASK 分组, 则记录下当前激活状态的 local-ASK 分组数量, 不妨计为 Num。

步骤 2 节点记录下 local-ASK 分组数量后, 如图 3 所示, 首先计算自身数据上传带宽 B_{node} , 且将区域节点中上传带宽高于 B_{node} 的节点作为备用链路节点, 并由备用链路节点反馈 re-local 分组给待服务的传感节点, 如图 3 所示。

步骤 3 获取数据传输过程中带宽受限节点的上传带宽。待服务节点通过发送 local-ASK 分组及接收 re-local 分组的方式能够获取各个区域节点冗余带宽总量 $T_{eng_max}(n)$, 获取方式如下:

$$T_{eng_max}(n) = T_{rpg}(n) + \sum T_{rec}(n) \quad (3)$$

其中, $T_{rpg}(n)$ 表示第 n 个区域节点当前正在进行数据传输的带宽; $T_{rec}(n)$ 表示第 n 个区域节点承担数据传输功能时所接收的带宽。

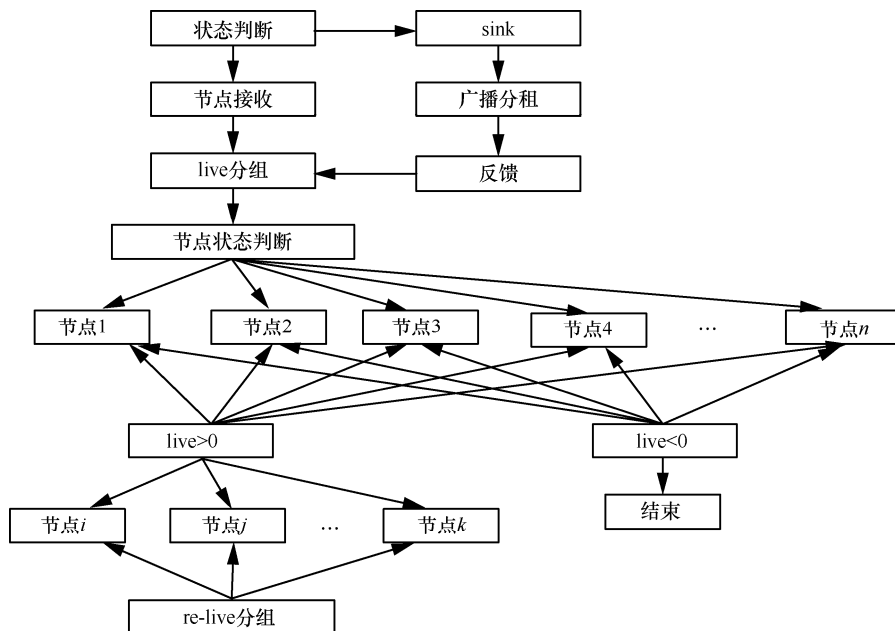


图 2 目标 sink-区域子节点控制分组传输机制

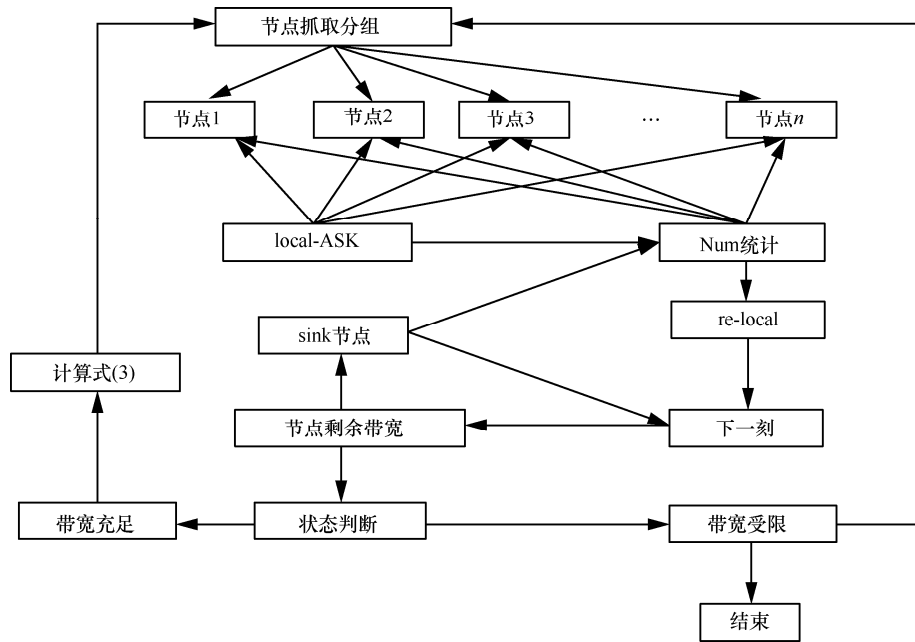


图3 区域节点阈值流量控制机制

此外, local-ASK 偏移 α_1 及 re-local 偏移 β_1 与传输精度 Δf_1 和 Δf_0 具有如下的映射关系:

$$\alpha_1 = (n(2^{63} + 1) - n / 2(2^{63} - 1))\Delta f_1 \quad (4)$$

$$\beta_1 = (n(2^{63} - 1) - n / 2(2^{63} - 1))\Delta f_0 \quad (5)$$

考虑到式(3)~式(5)均仅考虑到完整的数据传输周期结束完成后的情况, 实际情况中传感信号传输为区间传输方式, 即在一定传输下限周期 $k-1$ 和上限周期 $k+1$ 之间反复传输, 则式(3)~式(5)可改写为如下形式:

$$S^{-1,k}(n) = \sum_{n=1}^{(k-1+k+1)/2} C(nt_n)F(nt_n)e^{j(\pi(f_1-\alpha_1)n+\pi(f_0-\beta_1)n+\omega_1)} + G(nt_n) \quad (6)$$

$$S^{+1,k}(n) = \sum_{n=(k-1+k+1)/2}^{2^{64}+1} C(nt_n)F(nt_n)e^{j(\pi(f_1-\alpha_1)n+\pi(f_0-\beta_1)n+\omega_1)} + G(nt_n) \quad (7)$$

$$\alpha_1 = (k-1 - n / 2(k+1))\Delta f_1 \quad (8)$$

$$\beta_1 = (k+1 - n / 2(k-1))\Delta f_0 \quad (9)$$

考虑到各个节点信号彼此间满足相互独立同分布的条件, 当整个传输周期完成之后, 可以通过式(6)、式(7)估算出式(8)、式(9)

的分组传输误差, 结合式(6)、式(7)即可得到最终估计的 local-ASK 偏移误差 α_1 及 re-local 偏移误差 β_1 。

$$\alpha_1 = \arg \min_{n=1, \dots, 2^{63}+1} (n(2^{63} + 1) - n / 2(2^{63} - 1))\Delta f_1 \quad (10)$$

$$\beta_1 = \arg \max_{n=1, \dots, 2^{63}+1} (n(2^{63} - 1) - n / 2(2^{63} - 1))\Delta f_0 \quad (11)$$

步骤4 计算区域节点的正常服务时间。按照步骤3获取各个区域节点冗余带宽总量 $T_{eng_max}(n)$, 在传输周期内若该区域节点剩余带宽总量占比低于 $T_{eng_max}(n)$ 数值的75%, 则可以认为该区域节点正常服务时间终止, 区域节点将反馈 re-local 分组并要求待加入节点重新返回步骤1进行新一轮的区域节点选取。

3.3 带宽受限节点二次确认机制

考虑到区域节点处于不能正常服务时间时需要进行无线电力补充, 此时区域节点处于节点受限状态, 需要进一步防止该节点因带宽受限而影响到网络中正常的数据传输, 因此本文算法中特别设计带宽受限节点二次确认机制, 具体如图4所示, 该机制实现步骤如下。

步骤1 区域节点按式(3)进行带宽自查,



若已经处于带宽受限状态,则由 sink 节点重新确认区域节点,并发送 local-ASK 给周围的区域节点。

步骤 2 若下一传输周期依然有节点加入本区域,则按照区域节点阈值流量控制机制的步骤 2 计算下一个传输周期内的区域节点上传带宽,若符合式 (3) 的要求,则上一轮被筛除的区域节点将加入下一个传输周期的数据传输过程,如图 4 所示,并和本轮传输数据的节点共同承担数据传输任务。

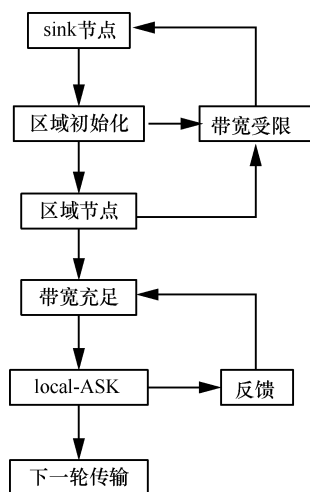


图 4 带宽受限节点二次确认机制

4 仿真实验与分析

为便于进行仿真比较,仿真实验采用 NS2 仿真实验环境,WSN 节点信号采用移动跳频信号^[10],对照组采用根区域节点带宽限流传输算法 BLT-NB2R 算法^[11]、NLSC 算法^[12]和 HT2C 算法^[13]。

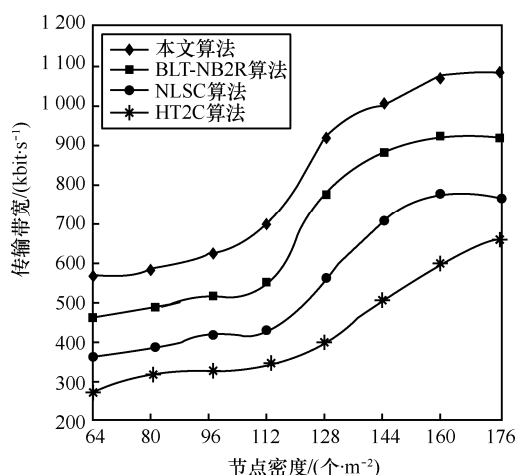
鉴于移动无线传感网具有节点移动的特性,且传输过程中影响传输的主要因素为链路抖动。因此,本文算法采用莱斯信道和高斯信道两种不同的传输链路环境,用以模拟强抖动及弱抖动传输环境。仿真指标采取数据上传带宽、数据分组丢失频率和传输信号频率峰值 3 个指标进行仿真对比,仿真参数见表 1。

表 1 信号生成的仿真参数

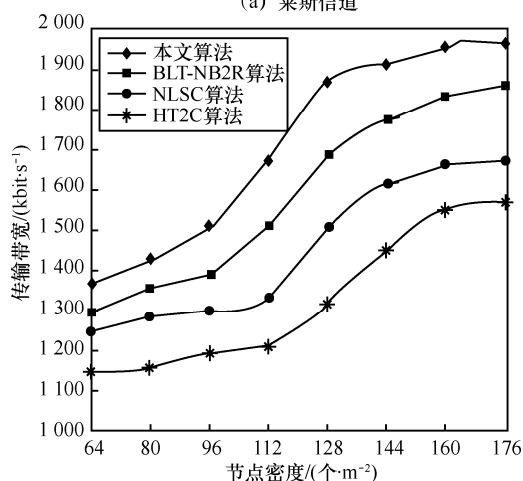
参数	数值
信号周期持续时间(T)	4 096 min
信号频率(f)	不低于 4.96 MHz
背景噪声均值(m)	0
背景噪声方差(σ)	1
信号初始相位	$\pi/3$
信号观测周期	12 min
节点密度	不低于 32 个/m ²
信道信噪比	不低于 16 dB

图 5 显示了本文算法与 BLT-NB2R 算法、NLSC 算法及 HT2C 算法在强抖动环境及弱抖动环境下数据上传带宽的仿真结果对比。由图 5 可知,本文算法在两种链路抖动环境下数据上传带宽均具有显著的优势,数据上传带宽较高,且抖动情况要低于其他 3 种算法。这是由于本文算法构建了目标 sink-区域子节点控制分组传输机制、区域节点阈值流量控制机制和带宽受限节点二次确认机制,能够在进行数据传输的同时显著改善传统方案难以解决区域节点带宽受限问题,特别针对区域节点可能存在的二次受限问题采取了区域节点阈值流量控制机制,能够对当前时刻存在带宽受限问题的区域节点进行并发数据传输,有效缓解了因链路抖动而导致的数据传输困难。BLT-NB2R 算法、NLSC 算法仅采取简单广播确认方式进行区域节点筛选,一旦某个区域节点因带宽受限而出现数据传输困难时需要在下一轮数据传输中进行二次确认,容易导致网络拥塞问题;HT2C 算法虽然能够根据节点及区域节点的传输情况进行基于冗余带宽的双向确认,然而由于该算法仅采取一次确认方式,难以针对传输周期的变动进行动态适应,因此解决带宽受限问题难以同本文算法相匹敌,故本文算法的数据上传带宽性能要显著好于其他 3 种算法。

图 6 显示了本文算法与 BLT-NB2R 算法、NLSC 算法及 HT2C 算法在莱斯信道及高斯信道



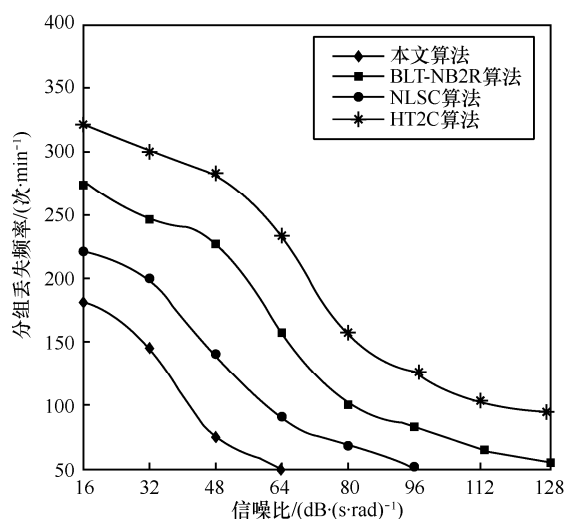
(a) 莱斯信道



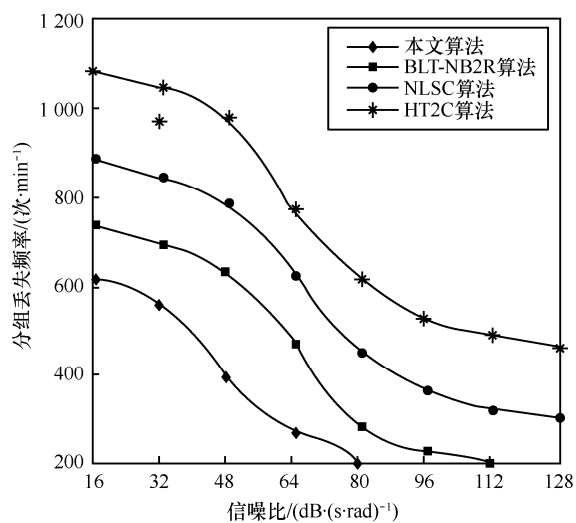
(b) 高斯信道

图 5 3 种算法数据上传带宽对比

两种信道条件下数据分组丢失频率的仿真对比情况, 由图 6 可知本文算法在信噪比增加的情况下数据分组丢失频率要显著低于其他 3 种算法。这是由于本文算法采取了目标 sink-区域子节点控制分组传输机制、区域节点阈值流量控制机制和带宽受限节点二次确认机制 3 种方式, 分别从网络拓扑层和 MAC 层两个层面进行分组同步误差控制, 改善了控制分组成组错误情况的发生; BLT-NB2R 算法、NLSC 算法及 HT2C 算法在误差分组的控制过程中均采用简单轮询机制进行误差控制, 即一旦发生分组错误则将该分组误差丢弃, 导致其他 3 种算法在发生信号抖动时会出现显著的丢弃现象, 因此在控制分组丢失频率的性能指标上, 本文算法具有显著优势。



(a) 莱斯信道



(b) 高斯信道

图 6 3 种算法分组丢失频率对比

图 7 显示了本文算法与 BLT-NB2R 算法、NLSC 算法及 HT2C 算法在莱斯信道条件下传输信号频率峰值分布的仿真对比。由图 7 可知, 本文算法信号传输峰值稳定, 而 TSC 算法、PSC 算法、HPCS-S 算法均出现了传输峰值分布参差不齐的现象。本文算法传输峰值分布特性明显, 均围绕 0 点附近呈现均匀分布, 其他 3 种算法的传输峰值分布较为零散, 如 TSC 算法无明显峰值分布特性, PSC 算法出现多个峰值 (主要为噪声峰值), HPCS-S 算法呈现严重的带状分布特征, 显示明显的背离特性。这是由于本文算法采取了目标 sink-区域子节点控制分组传输机制、

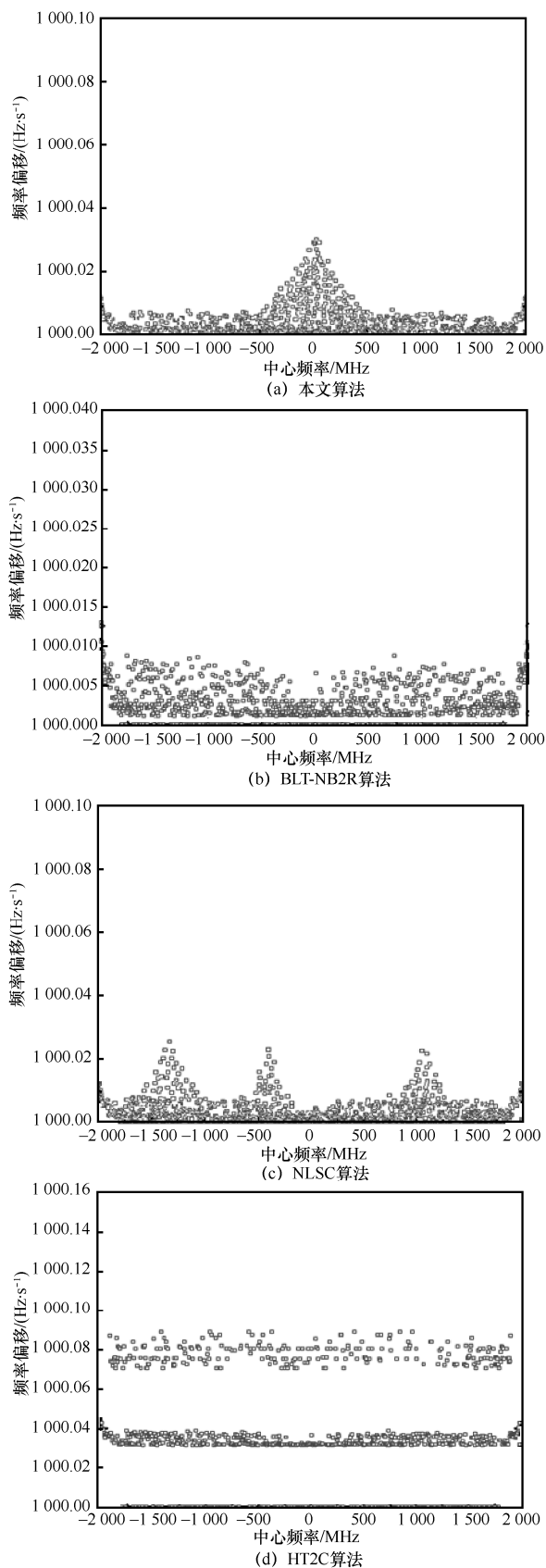


图7 4种算法的传输信号频率峰值分布

区域节点阈值流量控制机制和带宽受限节点二次确认机制3种方式,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力度,因此本文算法的输信号频率峰值的分布情况较为集中,均值接近理想状态。BLT-NB2R算法、NLSC算法仅分别从轮询角度对信号峰值进行判断,峰值分布较本文算法较为离散,HT2C算法由于分组信息误差较大,因此需要频繁进行数据重传,导致传输信号频率峰值分布不明显,因此从传输信号频率峰值分布情况上看,本文算法信号传输峰值具有集中特性,要显著优于其他3种算法。

5 结束语

为进一步解决当前移动无线传感网数据传输方案难以解决区域节点带宽受限、数据传输流量均衡化困难等问题,提出了一种基于功率损耗均衡化控制机制的移动无线传感网数据传输算法。通过构建目标sink-区域子节点控制分组传输机制、区域节点阈值流量控制机制和带宽受限节点二次确认机制,能够有效适应网络节点移动状态下的数据传输,降低区域节点因带宽受限而导致的拥塞难题,提高网络的整体数据传输能力,避免数据传输抖动。仿真实验证明本文算法具有明显的优势。

下一步将针对本文算法存在的功率消耗过大的问题,采取针对性的一体化功率控制自适应机制,通过sink节点的统一管理,增强区域节点的服务能力,改善能量消耗过大情况下的数据拥塞难题,进一步提高本文算法的适应性能。

参考文献:

- [1] ZHANG Y, FANG Y M, SONG M, et al. System level simulation platform for cognitive LTE[J]. Journal of Super Computing, 2016, 72(7): 2623-2634.
- [2] LADISLAV P, LUKAS K, ONDREJ K, et al. Study of coexistence between indoor LTE femtocell and outdoor-to-indoor DVB-T2-Lite

- reception in a shared frequency band[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015(1): 1-14.
- [3] LEVASSEURI B. Impact of acknowledgments on application performance in 4G LTE networks[J]. Wireless Personal Communications, 2015, 11(4): 983-1007.
- [4] JOVER R P, LACKEY J, RAGHAVAN A. Enhancing the security of LTE networks against jamming attacks[J]. EURASIP Journal on Information Security, 2014(1): 36-52.
- [5] JUNE B, CHO Y J, KANG K. Anomaly detection of network-initiated LTE signaling traffic in wireless sensor and actuator networks based on a hidden semi-Markov model[J]. Computers & Security, 2017(65): 108-120.
- [6] SUTTON P D, ÖZGÜL B, DOYLE L E. Cyclostationary signatures for LTE advanced and beyond[J]. Physical Communication, 2014, 10(19): 179-189.
- [7] 宋谱, 孙震强, 李英奇. WSN 网络 QoS 业务承载能力分析[J]. 电信技术, 2015, 12(2): 32-36.
- SONG P, SUN Z Q, LI Y Q. Analysis on capacity of QoS bearer in LTE wireless networks[J]. Telecommunications Technology, 2015, 12(2): 32-36.
- [8] 章韵, 巨德文, 陈志, 等. 基于可预测移动汇聚节点的无线传感网分簇算法研究[J]. 计算机科学, 2012, 39(6): 89-92.
- ZHANG Y, JU D W, CHEN Z, et al. Research on clustering algorithm of wireless sensor networks based on predictable mobile sink[J]. Computer Science, 2012, 39(6): 89-92.
- [9] XIANG G, ZHAN J W. Hardware implementation and simulations of joint coding and modulation diversity MIMO-OFDM scheme[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2013, 20(3): 27-34.
- [10] XI C, PEI Z. A coding and automatic error-correction circuit based on the five-particle state[J]. ZTE Communications, 2013, 11(3): 41-45.
- [11] MAHFOUDI M. A new downlink scheduling algorithm proposed for real time traffic in LTE system [J]. International Journal of Electronics and Telecommunications, 2016, 61(4): 409-414.
- [12] GUO J, FENG C. Implementation of envelope analysis on a wireless condition monitoring system for bearing fault diagnosis[J]. International Journal of Automation and Computing, 2015, 12(1): 14-24.

[作者简介]



李丽君 (1973-), 女, 重庆理工大学理学院副教授, 主要研究方向为无线传感网络、信息技术、网络通信。



张福泉 (1975-), 男, 博士, 北京理工大学软件学院副教授, 主要研究方向为无线传感器、数字图像信息处理。



刘鸿飞 (1973-), 男, 博士, 重庆科创职业学院教授, 主要研究方向为车联网、自动控制智能交通信息系统。