

# 面向 DTN 无线传感网移动节点的动态资源调度模型的研究

卓翠敏 李鲁群

(上海师范大学信息与机电工程学院 上海 200234)

**摘要** 资源调度是无线传感网络中移动节点的核心和富有挑战性的问题。如何提高移动节点资源使用率并取得最大利润是服务商的最终目标。通过非抢占优先权排队 G/G/1 模型,满足不同等级数据 QoS,利用线性分段函数使系统成本最小。进而基于成本函数和收益函数模型,求出不同级别信号动态分配比例,从而得出用户与服务商都满意的结果。结果表明,动态资源调度系统,不仅能够保证不同级别数据的 QoS 要求,也可使服务提供商的利润最大化。

**关键词** 资源调度,移动节点,非抢占优先权,利润

**中图分类号** TN929.5 **文献标识码** A

## Dynamic Job Scheduling Model of Mobile Sensor Sink in Wireless Sensor

ZHUO Cui-min LI Lu-qun

(College of Information, Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

**Abstract** Job scheduling system is the core of data mule and challenging problem in wireless sensor network. How to improve the efficiency of resource and the maximum profit are the ultimate goal of service providers. In at first, by establishing the preemptive priority queuing model of G/G/1, to meet the QoS of the transmit data at different levels, the linear piecewise functions are used to make the system cost minimum. Furthermore, based on the cost function and profit function of queuing system, to get dynamic allocation rate, and to get the corresponding value which service users and service providers are satisfied with. The results show that, the dynamic resource scheduling system, not only can ensure the different data's QoS requirements, but also can provide the maximize profits for the wireless sensor network service providers.

**Keywords** Job scheduling system, Data mule, Preemptive priority, Profit

## 1 引言

近年,在传感技术、嵌入式技术以及电子技术等各项技术进步的基础之上,微型、短距离无线传输的传感器在低功耗、低能量、多功能方面得到快速发展。一定数量的传感器节点构成的自组织分布式网络的无线传感器网络也逐渐融入人们的生活,以对周边环境信息进行采集和管理,并将感知到的数据发送到基站进行进一步处理<sup>[1]</sup>。但传统传感节点按照一定密度部署在需要监测的地区进行数据收集,假设传感器节点在部署之后,整个网络是连通的,即任意网络节点都能在网络拓扑中找到一条通往数据汇聚点(sink node)的路径<sup>[2]</sup>,一旦无线传感网络中某个节点出现故障,整个网络即崩溃,因此这种数据收集的方式不能很好地维持正常通信。在 DTMSN (the tolerant delay mobile sensor network)网络中存在一些移动节点,充当数据中继,完成数据存贮、转发等重要工作,但 Data Mule 节点资源有限,且要求中继传输的数据重要程度不同,Data Mule 对数据的传输必须采用差别服务<sup>[3]</sup>,才能在资源一定的情况下,更好地完成数据中继与传输。本文从动态的角度分析移动节点的调度机制,采用不同等级的差别服务,在服务速率一定、传输数据级别和速率变化情况下,研究

服务效益最大化的调度算法,以使 Data Mule 的资源达到更大的利用率。

## 2 国内外现状

无线传感网络中传感节点能量有限,为延长网络生命周期,学者研究集中在以下 3 个方面。

(1)优化移动因子(Data Mule)运动轨迹<sup>[4-6]</sup>。通过预测,预见移动因子的移动性,从而完成数据采集与信息传输。这种方法适用于稀疏网络,但在节点密集的网络中,节点缓存有限,待传数据溢出缓存,数据丢失,且所有随机移动的情况中,最坏的情况是数据传输延迟情况不同,没有界限,无限延迟可能会导致过多数据溢出移动节点缓存。因此,数据在传递到目的节点的过程中可能丢失,不能保证传输层的可靠性。

(2)优化移动因子(Data Mule)感测覆盖率<sup>[7]</sup>。通过识别冗余节点,让其轮流工作,降低系统的整体能源消耗,从而增加系统的使用寿命。文献[8]提出传感器网络的差别覆盖,移动节点动态决定自己的时间表,保证一定覆盖度,降低平均能量消耗。

(3)移动因子(Data Mule)动态选举。在 LEACH 协议基础上提出改进<sup>[9]</sup>,内部实行簇头动态选举的策略;在文献[10]

卓翠敏(1986-),女,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络,E-mail: zhuoyue1987@gmail.com;李鲁群(1967-),男,博士,教授,主要研究方向为无线传感器网络。

提出通过广播实现良好的迭代簇头分布,文献[11]提出通过预测概率选择汇聚节点。虽然这些方法能够很好地适应于稀疏网络,但是在节点密集的区域仍然有数据丢失、延迟增大的现象。

综上所述,学者研究主要集中在 sink 节点外部,很少有学者提出用算法来实现 Data Mule 内部资源的调度。本文对 DTN 网络中 Data Mule 节点内部资源调度提出差别服务模型,分析不同级别用户的服务质量要求,如视频、音频信号对带宽及实时性要求较高的大数据包,在移动节点数据传递过程中,划为高服务级别优先传递。在差别服务模型的基础上,用线性规划分段法,求出不同级别用户的服务需求与最优的动态资源分配方式,同时根据不同服务级别信号传输费用不同,使服务提供商获得最大利润。其最优值表明我们的研究不仅可以满足不同级别用户的服务质量要求,还可以使服务提供商获得更大的效益。

### 3 网络模型与问题描述

#### 3.1 网络模型

为简化模型,设定以下条件。

- 1) 二维空间  $A$  中有  $n$  个节点,1 个移动节点,传输节点与汇聚节点的信息传输半径均为  $r$ 。
- 2)  $A$  内普通节点所有数据汇聚于移动节点。
- 3) 移动节点等可能向其它节点传递数据。
- 4) 移动节点内部数据优先级别越高,越先传递。

#### 3.2 问题描述

与传统网络相比,DTN 网络有自身基本特点:1)高延迟,低传输率。2)间歇性连接。3)节点寿命有限。4)较长的排队时间。5)节点资源有限,且通信过程中节点除需要存储要发送的消息外,如果节点不能及时转发其它节点发出的消息,则还需存储这些节点转发给该节点的消息。一旦节点缓存被全部使用,则它不能收集转发更多数据。此外,节点还需保持至少 TTL 时间内重传消息的缓存空间。DTN 通过“存储-携带-转发”的消息转发模式可以解决网络中出现的高延迟、低传输率、间歇性连接、长时间或者多变化的时延、内存有限、缓存溢出、数据丢失等问题。

#### 3.3 差别服务模型

如图 1 所示,模型包括输入、优先级判定、级别调度中心、服务器、输出。采用排队论中的 G/G/1 模型<sup>[12]</sup>,数据包随机到达服务系统,每个数据包需耗费的服务时间随机。在这里我们主要讨论 Schedule 模块。

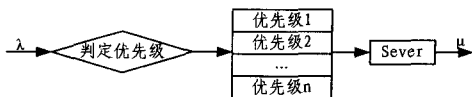


图 1 差别服务图

### 4 建立模型

#### 4.1 设定模型中的参数

- $\lambda$ : 顾客进入服务系统的速率。
- $\mu$ : 顾客从系统中离去的速率。
- $\rho$ : 系统的负荷水平。
- $I_n$ :  $x_n$  与  $x_{n+1}$  的到达间隔时间。
- $S_n$ : 第  $n$  个数据包的服务时间。

$P_i$ : 系统内有  $i$  个数据包的概率。

$h_i$ : 单位时间内服务系统中的花费。

$c_i$ : 第  $i$  级数据包单位时间所需付给服务系统的费用。

$w$ : 每个数据包在服务系统内等待的费用。

队列内数据包的平均数<sup>[12]</sup>:

$$E[N] = \rho \left[ 1 + \frac{\rho(K_a + K_s)}{2\mu(1-\rho)} \right]$$

其中

$$K_a = \frac{E[I^2] - (E[I])^2}{(E[I])^2}$$

$$K_s = \frac{E[S^2] - (E[S])^2}{(E[S])^2}$$

队列中顾客平均等待时间<sup>[12]</sup>:

$$E[W] = \frac{\rho(K_a + K_s)}{2\mu(1-\rho)}$$

由以上各个参数,我们按两个级别来讨论如何使系统可以有最小费用与最大的效益。

#### 4.2 求出目标函数

最小费用:

$$f(\mu) = \min \sum_{i=1}^2 h_i \mu_i + w E[N]$$

利用效率:

$$\min |S_N - 1|$$

式中,  $S_N = \frac{Q_N}{C_N}$ ,  $Q_N$  为预测通过量,  $C_N$  为绝对通过量。

通行能力:

$$\max C_N = \sum_{i=1}^2 C_i P_i$$

最大收益:

$$G(\mu) = \max C_i \mu_i$$

约束条件:

$$\sum_{i=1}^2 \mu_i = \mu$$

$$0 < \mu_1 < \mu_2$$

$$0 < c_2 < c_1$$

$$\sum_{i=1}^2 c_i \mu_i - \mu h_i - w E[N] > 0$$

目标函数:

$$\min [R_1 \gamma_1 + R_2 (\eta_2 + \gamma_2) + R_3 \eta_3 + R_4 \eta_4 + R_5 (\eta_5 + \gamma_5)] \quad (1)$$

$$s. t. \sum_{i=1}^2 h_i \mu_i + w E[N] + \eta_1 - \gamma_1 = \epsilon_1$$

$$S_N + \eta_2 - \gamma_2 = \epsilon_2 = 1$$

$$\sum_{i=1}^2 C_i P_i + \eta_3 - \gamma_3 = \epsilon_3$$

$$\sum_{i=1}^2 c_i \mu_i + \eta_4 - \gamma_4 = \epsilon_4$$

$$\sum_{i=1}^2 \mu_i = \mu$$

式中,  $R_i$  为第  $i$  个数据包的优先级别,  $\epsilon_i$  为第  $i$  个数据包的期望值;  $\gamma_i, \eta_i$  分别为第  $i$  个数据包的、正、负偏差变量。

#### 4.3 用线性目标规则的多阶段算法<sup>[13]</sup>求解

由  $\mu = 2a$  为一定值,使  $a$  为一椭圆的长边,则  $\mu_1 + \mu_2 \leq 2a$  时,所求的点均在椭圆内部。其中  $a, b, c$  均为椭圆常数。则有

$$c_1 \sqrt{(x-c)^2 + (1-\frac{x^2}{a^2})b^2} = c_2 \sqrt{(x+c)^2 + (1-\frac{x^2}{a^2})b^2} \quad (2)$$

由边界线,令  $c_1^2 + c_2^2 = m, c_1^2 - c_2^2 = n, c^2 n^2 / a^2 = k$ , 则有

$$x = \frac{m + \sqrt{m^2 - k}}{k/c} \quad (3)$$

$$y = \sqrt{\frac{2k - 2m^2 - 2m\sqrt{m^2 - k}}{k}}$$

其边界曲线即在椭圆内的分界线,如图2所示,信号在分界线左边属于第二优先级,在右边属于第一优先级,同时也可以使  $G(\mu)$  最大  $f(\mu)$  最小。同时,利用已求出的两组解,及曲线与  $x$  轴的交点  $(2c \frac{c_2}{c_1+c_2}, 0)$  来求出分界线。同时解出,在最佳情况下  $S_N = \frac{1}{\lambda}, C_N = \lambda$ 。

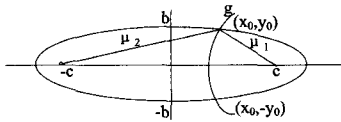


图2 以  $g$  为分界线图示

由高斯定理可求两种优先级所占的比例。

$$\begin{cases} S_1 = 2 \int_{\frac{2c_2}{c_1+c_2}}^a \int_0^{b\sqrt{1-\frac{x^2}{a^2}}} f(x,y) dy dx \\ S_2 = 2 \int_{-a}^{\frac{2c_2}{c_1+c_2}} \int_0^{b\sqrt{1-\frac{x^2}{a^2}}} f(x,y) dy dx \end{cases}$$

可用面积表示,在  $S_1$  面积内按第一优先级来处理,在  $S_2$  面积内按第二优先级来处理。由  $\sigma = \frac{S_1}{S_2}$ , 也可求出两种优先级所占比例,来设定参数。且由线性规划分段解法可知,文中所得解是所求的最佳解。

## 5 实验结果比较

为使问题简单,用 M/M/1 模型代替 G/G/1 模型进行仿真,所涉及的无线传感器网络中也是基于 M/M/1 模型。如图3所示,数据包进入 sink 节点后,由 FIFO 的原则进行数据处理,向外传输;如图4所示,进入 sink 节点的数据,先判断其处于何种优先级,依据优先级不同进入不同的队列, sink 节点对高优先级队列中的数据进行优先服务。以下的实验结果中,图5所示为无优先级时, sink 节点所处理数据的队列长度、排队时间、总服务时间、队列中节点数目与总的生命时间长度等性能的变化;图6所示为优先级存在时, sink 节点所处理数据对应各项性能的变化。再与理论公式推导结果比较可知, sink 节点内部存在优先服务等级的情况下,其队列长度、等待时间、队列中人数、延迟、与延迟节点等各方面性能都明显优于不引用优先级的情况,且各服务等级信号收益不同,不同优先级分配比例不同,根据文中所给公式即可得到最大效益,如图7所示。

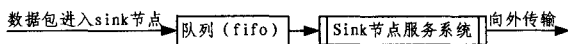


图3 无优先级数据处理图示

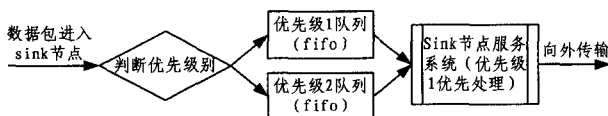


图4 有优先级数据处理图示

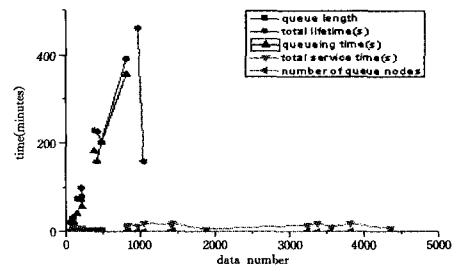


图5 无优先级时各种性能

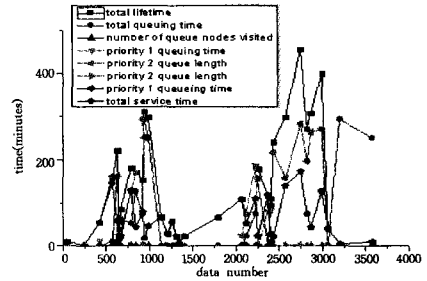


图6 采用优先级时各种性能

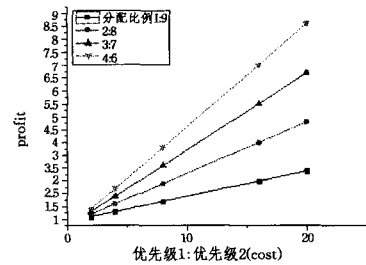


图7 按不同费用与分配比例的效益图

其实验条件、环境与仿真结果如下所示:

实验环境: omnet 4.0

实验条件: 根据数据包压缩率大小,通常将之分为大小数据包,根据通信优化程度不同,将大数据包作为优先级1,小数据包作为优先级2,实验时各个参数如表1所列。

表1 实验条件与各项参数

Name	Interarrival Time	Service Time	Fetching Algorithm	Delay
Normal	Exponential (55s)	Exponential (60s)	No	Exponential (30s)
Prioritize	Exponential (55s)	Exponential (60s)	Priority1、2	Exponential (30s)

**结束语** 本文针对无线传感网络中运动节点能量有限、生命周期短暂,提出节点内部资源动态差别服务的模型。通过理论分析与实验结果对比表明,本文提出的模型可以减少待传数据在动态节点(Data Mule)的排队时间,缩短队列长度,提高节点传输率,使服务提供商所获效益最大。可容忍延迟网络架构中尚存在很多未研究的课题,本文仅分析两个优先级的情况下如何动态解决拥塞的问题。如多服务级别、流量控制、怎样实现安全框架并在此基础上实现安全有效的路由协议是未来研究的重要课题。

## 参考文献

- [1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y, et al. Wireless sensor networks: A survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422

(下转第384页)

- [4] Nosratinia A, Hunter T E, Hedayat A. Cooperative communication in wireless networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(10): 68-73
- [5] Liu Pei, Tao Zhi-feng, Liu Zi-nan, et al. Cooperative wireless communications A cross-layer approach [J]. IEEE Wireless Communications, 2006, 13(4): 84-92
- [6] Bletsas A, Reed D P, Lippman A. A simple cooperative diversity method based on network path selection[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(3): 59-67
- [7] 李桥福. 基于解码重传的最佳协作中继选择策略[J]. 信息技术, 2010, 2: 65-67
- [8] 郑国强, 邢育军. 空时编码协作中的中继选择与功率分配联合方案[J]. 电讯技术, 2010, 50(2): 38-42
- [9] 司江勃, 李赞, 刘增基. 无线协作网络中存在干扰时的中继选择协议[J]. 西安交通大学学报, 2010, 44(2): 72-76
- [10] 洪路峰, 杨晓非, 刘占军. 基于中断概率的协作伙伴选择策略[J]. 广东通信技术, 2010, 2: 39-42
- [11] 邹玉龙, 郑宝玉, 崔景伍, 等. 一种基于跨层机制的中继选择策略及实现[J]. 通信学报, 2008, 29(8): 1-10
- [12] Ban T W, Jung B C, Sung D K, et al. Performance analysis of two relay selection schemes for cooperative Diversity[C]//Proceeding of IEEE 18th International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications(PIMRC' 07), Sep 3-7, 2007, Athens. Greece Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2007; 5
- [13] Jing Y, Jafarkhani H. Single and Multiple Relay Selection Schemes and Their Achievable Diversity Orders[J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2009, 8(3): 1414-1423
- [14] 吴素文, 王振, 朱近康. 基于信道特性的中继选择协作通信方法研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2009, 39(11): 1136-1140
- [15] 韩春雷, 葛建华, 林一, 等. 编码协作中的一种门限选择中继方案[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2009, 36(2): 198-202
- [16] Yi Zhi-hang, Kim I-M. Diversity Order Analysis of the Decode-and-Forward Cooperative Networks with Relay Selection [J]. IEEE Transactions on Communication, 2008, 5(7): 1792-1799
- [17] Himsoon T, Siriwongpairat W P, Zhu Han, et al. Lifetime Maximization via Cooperative Nodes and Relay Deployment in Wireless Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(2): 306-317
- [18] Huang Wan-Jen, Hong Yao-win, Kuo C C J. Lifetime maximization for amplify and forward cooperative networks[C]//Proceedings of Wireless Communications and Networking Conference(WCNC' 07). Mar 11-15, 2007, Hong Kong, China. New York, NY. USA; IEEE, 2007; 814-1318
- [19] Huang Wan-Jen, Hong Yao-Win, Kuo C C J. Discrete power allocation for lifetime maximization in cooperative networks[C]//Proceedings of the 66th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall'07). Sep 30-Oct 3, Baltimore, MD, USA Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2007; 581-585
- [20] Wang Bei-bei, Han Zhu, Liu K J, et al. Distributed Relay Selection and Power Control for Multiuser Cooperative Communication Networks Using Buyer/Seller Game[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2009, 8(7): 975-990
- [21] Dai Lin, Chen Wei, Cimini L J, et al. Fairness Improves Throughput in Energy-Constrained Cooperative Ad-Hoc Networks [J]. IEEE Transactions on Communications, 2009, 7(8): 3679-3691
- [22] 姜戩, 马建. 一种多跳无线传感器网络中继节点优化选择算法[J]. 计算机科学, 2007, 34(9 专刊): 266-269
- [23] 覃琴, 曾志民, 张天魁. 协作分集中中继选择算法的研究[J]. 电信科学, 2009, 5: 56-61
- [24] 彭木根, 王文博, 等. 协同无线通信原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 244-262

(上接第 358 页)

- [2] Liu M, Gong H G, Mao Y C, et al. A distributed energy-efficient data gathering and aggregation protocol for wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2005, 16(12): 2106-2116(in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16/2106.htm>
- [3] Li Lu-qun. An Optimistic Differentiated Service Job Scheduling System for Cloud Computing Service Users and Providers[C]//2009 Third International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2009: 295-299
- [4] Dubois-Ferriere H, Grossglauser M, Vetterli M. Age matters: Efficient route discovery in mobile ad hoc networks using encounter ages[C]//The Fourth ACM International Symposium on Mobile Ad-hoc Networking and Computing(MobiHoc), 2003
- [5] Small T, Haas Z. The shared wireless infostation model- a new ad hoc networking paradigm(or where there is a whale, there is a way)[C]//The Fourth ACM International Symposium on Mobile Ad-hoc Networking and Computing(MobiHoc), 2003
- [6] Chakrabarti A, Sabharwal A, Aazhang B. Using predictable observer mobility for power efficient design of sensor networks[C]//The second International Workshop on Information Processing in Sensor Networks(IPSIN), 2003
- [7] Tian Di, Georganas N D. A Node Scheduling Scheme for Energy Conservation in Large Wireless Sensor Networks[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2003, 3(2): 271-290
- [8] Yan Ting, He Tian, Stankovic J A. Differentiated Surveillance for Sensor Networks[C]//Conference on Embedded Networked Sensor Systems archive Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems table of contents. Los Angeles, California, USA, 2003; 51-62
- [9] Muruganathan S D, Ma D C F, Bhasin R I, et al. A Centralized Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Communications Society, March 2005; 8-13
- [10] Ye Mao, Li Cheng-fa, Chen Gui-hai, et al. An Energy Efficient Clustering Scheme in Wireless Sensor Networks[J]. Ad-hoc & Sensor Wireless Networks, 2006, 3: 99-119
- [11] Efthymiou C, Nikolettseas S, Rolim J. Energy Balanced Data Propagation in Wireless Sensor Networks [J]. Wireless Networks, 2006, 12(6): 691-707
- [12] 陆传赉. 排队论[M]. 北京: 北京邮电大学出版社
- [13] 唐焕文, 秦学志. 实用最优化方法(第三版)[M]. 大连: 大连理工大学出版社