



基于数据卸载策略的能量优化方法在 移动代理路径规划中的应用

史霄波^{1,2}, 鲁建宇¹, 王文辉¹, 阮航¹, 朱瑄^{1,3}

(1. 华中科技大学, 湖北 武汉 430074; 2. 河南师范大学, 河南 新乡 453007;
3. 华中师范大学, 湖北 武汉 430079)

摘要:提出了移动代理数据卸载策略,对无线传感器网络中现有移动代理规划路径进行优化,根据卸载规则决定是否将数据分组分离通过优化的卸载路径传递,卸载数据的移动代理通过原路径访问数据源节点。使用移动代理经典算法 IEMF(itinerary energy minimum for first-source-selection)进行大量的仿真实验,结果显示,提出的数据卸载策略能有效地解决数据源节点能量消耗过快的问题,延长数据源节点的生存期。

关键词:数据卸载;移动代理;路径规划;无线传感器网络

中图分类号:TP393

文献标识码:A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016035

Application of mobile agent itinerary planning based on data offloading strategy of energy optimal method

SHI Xiaobo^{1,2}, LU Jianyu¹, WANG Wenye¹, RUAN Hang¹, ZHU Xuan^{1,3}

1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

2. Henan Normal University, Xinxiang 453007, China

3. Central China Normal University, Wuhan 430079, China

Abstract: A data offloading strategy for optimizing itinerary planning of MA (mobile agent) was proposed. When MA visits source nodes based on data offloading strategy, it decides whether to transfer data package via optimized offloading itinerary and MA (mobile agent) visits data source nodes via conventional itinerary. Based on considerable simulations with the representative MA itinerary planning, i.e. itinerary energy minimum for first-source-selection (IEMF), it verifies that the problem of excessive energy consumption from source nodes can be efficiently solved and the lifetime of source nodes is prolonged.

Key words: data offloading, mobile agent, itinerary planning, wireless sensor network

收稿日期:2015-04-15;修回日期:2015-12-11

通信作者:朱瑄, xuanzhu@mail.ccnu.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.61300224);河南省重点科技攻关计划基金资助项目(No.132102210483, No.102102210178);河南省基础与前沿技术研究计划基金资助项目(No.122300410344);河南省教育厅自然科学研究计划基金资助项目(No.2008A520013, No.2011A520023)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61300224), Key Science and Technology Program of Henan Province (No.132102210483, No.102102210178), The Foundation and Cutting-edge Technologies Research Program of Henan Province (No.122300410344), The Natural Science Research Projects of Department of Education of Henan Province (No.2008A520013, No.2011A520023)

1 引言

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)能在复杂地形、危险地区部署大规模的传感器,通过自组网的方式进行通信和聚合信息,借助无人机等其他无人操控设备共同构建网络,在天气预测、灾情监测、军事、交通管理、野外火灾监测^[1,2]等领域应用广泛。传感器节点能量和计算能力有限,网络中部分传感器节点能量消耗完会影响数据采集的准确性,所以减少传感器节点的能量消耗,延长传感器网络的生存期成为传感器网络研究的热点之一^[3-6]。

WSN中传感器节点由3类组成:汇聚(sink)节点;感知信息的数据源传感器节点;转发数据的中继传感器节点。汇聚节点派出移动代理(mobile agent, MA)通过无线多跳的方式依次访问路径中所有的数据源传感器节点,移动代理对数据源传感器感知的数据经过压缩融合,带回 sink 节点。参考文献[7]中将 WSN 中移动代理的设计分成4部分:结构设计、路径规划、中间件设计、移动代理的协同操作,其中移动代理的路径规划是移动代理设计的核心问题。移动代理路径规划算法包括单移动代理路径规划(single-mobile agent itinerary planning, SIP)算法,如 IEMF/IEMA^[7,8]、LCF/GCF^[9],多移动代理路径规划(multi-mobile agent itinerary planning, MIP)算法:GA-MIP^[10]、TBID^[11]、NOID^[12]、BST/MST^[13]、DSG-MIP^[14]等。这些移动代理路径规划算法规划路径时,都以减少总的能量消耗和数据时延为目标,但是随着 MA 访问数据源传感器数量增多,携带的数据量增大,MA 经过传感器节点时消耗的能量增大,路径远端的数据源节点能量消耗远远大于路径近端的数据源节点能量消耗,数据源节点能量消耗的不均衡会造成网络生存期缩短。

本文针对以上问题提出数据卸载技术^[15,16],对单移动代理和多移动代理路径规划算法规划路径进行优化,均衡数据源传感器节点的能量消耗,提高数据源传感器节点的能量效率,延长网络的生存期。

2 无线传感器网络移动代理路径规划

2.1 移动代理在 WSN 中的应用

WSN 中的 n 个监测点位置的传感器作为数据源节点,所有传感器节点初始能量已知,设置一个能量不受限制的汇聚节点。异常情况发生时, sink 节点派出 MA 按照

规划好的路径以无线多跳的方式访问所有 n 个监测点的数据源传感器节点,将数据源传感器节点执行监测任务感知数据带回 sink 节点。

MA 从 sink 节点派出时只有固定的部分包括处理模块和路径地址信息等,经过多跳到达数据源传感器节点,将数据源节点感知的数据添加到 MA 中,以后 MA 经过多跳每到达一个数据源节点时添加数据源节点感知的数据。假设 n 个数据源传感器初始能量相同,每一个传感器处理单位长度数据能量消耗相同,第 1 个数据源传感器生存期最长,能量效率最高,第 2 个数据源传感器次之,第 n 个数据源传感器生存期最短,能量效率最低。

为 MA 访问 n 个数据源传感器节点规划出优化路径,要协同考虑总能量消耗、数据源节点能量消耗、时延等因素。

2.2 数据融合模型

MA 由头部信息和数据组成,用 l_{ma}^0 表示 MA 的头部信息, l_{proc} 表示 MA 中处理模块的大小, s_{head} 表示移动代理自身的数据大小,包括路径地址信息等, $l_{\text{ma}}^0 = l_{\text{proc}} + s_{\text{head}}$ 。假设每一个数据源传感器节点感知的数据大小为 l_{data} , r 表示数据压缩率,数据源传感器感知的数据压缩后的大小 $l_{\text{m}} = (1-r)l_{\text{data}}$, $1 \leq k \leq n$, l_{m}^k 表示 MA 离开第 k 个数据源传感器节点时的大小。MA 到达第一个数据源节点后,添加压缩后的数据源传感器感知的数据 l_{m} , MA 离开第一个数据源节点时的大小 $l_{\text{m}}^2 = l_{\text{m}}^0 + l_{\text{m}}$ 。

MA 访问第 2~ n 个数据源传感器节点时,为了减少数据冗余,需要将传感器节点感知的数据和 MA 传递的数据进行融合。 ρ 表示数据的融合率, $0 \leq \rho \leq 1$, $\rho = 1$ 表示数据完全融合, $\rho = 0$ 表示数据没有融合,假设所有数据源节点的融合率相同。MA 访问第 k 个数据源节点后的大小为:

$$l_{\text{m}}^k = l_{\text{m}}^{k-1} + (1-\rho) \cdot l_{\text{m}} = l_{\text{m}}^0 + (k-1) \cdot (1-\rho) \cdot l_{\text{m}} \quad (1)$$

2.3 能量消耗模型

根据第 2.2 节对 MA 访问传感器的能耗进行估算,主要包括数据感知、数据压缩、数据融合、通信能量消耗等。MA 的路径 $\{t \rightarrow V_i(n) \rightarrow t\} = \{t, \{Src_i^1, Src_i^2, \dots, Src_i^n\}, t\}$, 表示 MA 从 sink 节点 t 出发访问所有的 n 个传感器节点后返回 t 。每一个节点的通信能量消耗包括接收 MA 的能量消耗、控制能量消耗和发送 MA 的能量消耗。定义 e_{ctrl} 为表示节点数据通信的控制能量消耗, m_{rx} 和 m_{tx} 分别接收和发送一个数据位的能量消耗, l_{rx} 和 l_{tx} 分别表示节点接收的数据大小和发送的数据大小。一个数据源节点的通信能量消耗表示为:



$$e(l_{rx}, l_{tx}) = m_{rx} \cdot l_{rx} + m_{tx} \cdot l_{tx} + e_{ctrl} \quad (2)$$

其中, m_p 表示数据源节点感知和压缩一个数据位的能耗, m_g 表示融合一个数据位的能耗, 数据源节点 k 的能量消耗表示为:

$$E_k = e(l_{rx}, l_{tx}) + m_p \cdot l_{data} + m_g \cdot (l_{data} + l_{rx}) \quad (3)$$

3 移动代理数据卸载策略

WSN 中 n 个数据源传感器是 MA 路径中的关键点, 位于路径最后的数据源节点 n 能量消耗 E_n 最大。移动代理数据卸载是在原规划路径不变的情况下, 进行数据源节点数据的卸载操作, 将数据源节点转发其他传感器感知数据和数据融合的功能卸载到中继节点, 减少数据源传感器节点处理的数据量, 降低数据源节点 k 的能量消耗 E_k 。

3.1 一次数据卸载

未进行数据卸载时的移动代理数据传递如图 1 所示。数据源节点 $k-1$ 发送的数据经过多跳到达数据源节点 k ; 将节点 k 感知的数据进行压缩后和接收到的 $k-1$ 节点传递的数据融合发送到下一跳节点 a 。

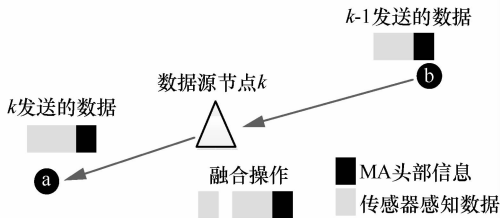


图 1 移动代理数据未卸载

数据源节点 k 能量消耗:

$$E_k = m_{rx} \cdot l_{ma}^{k-1} + m_p \cdot l_{data} + m_g \cdot (m_p \cdot l_{data} + l_{ma}^{k-1}) + m_{tx} \cdot (l_{ma}^{k-1} + (1-\rho)(1-r)l_{data}) + e_{ctrl} \quad (4)$$

k 后中继节点 a 能量消耗:

$$E_{ka} = m_{rx} \cdot (l_{ma}^{k-1} + (1-\rho)(1-r)l_{data}) + m_{tx} \cdot (l_{ma}^{k-1} + (1-\rho)(1-r)l_{data}) + e_{ctrl} \quad (5)$$

如图 2 所示移动代理在第 k 个数据源节点进行数据卸载操作, 数据源节点 $k-1$ 发送的数据在到达 k 前 before_offload 节点 b 处进行数据卸载; 卸载数据后的 MA 头部发送到数据源节点 k , 对 k 感知的数据进行压缩后和 MA 头部一起发送到路径规划的 after_offload 节点 a ; 数据由节点 b 发送到 offload 节点 o ; 节点 o 转发数据到节点 a , 在节点 a 进行数据的融合操作。

数据源节点 k 能量消耗为:

$$E'_k = m_{rx} \cdot l_{ma}^0 + m_p \cdot l_{data} + m_{tx} \cdot (l_{ma}^0 + (1-r)l_{data}) + e_{ctrl} \quad (6)$$

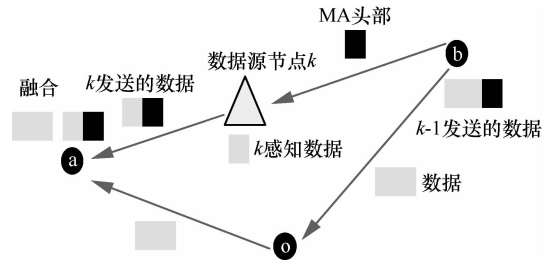


图 2 移动代理数据卸载

k 后中继节点 a 能量消耗为:

$$E_{ka}' = m_{rx} \cdot (l_{ma}^{k-1} - l_{ma}^0 + (1-r)l_{data} + l_{ma}^0) + m_g \cdot (m_p \cdot l_{data} + l_{ma}^{k-1}) + m_{tx} \cdot (l_{ma}^k + (1-\rho)(1-r)l_{data}) + e_{ctrl} \quad (7)$$

k 数据转发节点 o 能量消耗为:

$$E_{ko}' = m_{rx} \cdot (l_{ma}^{k-1} - l_{ma}^0) + m_{tx} \cdot (l_{ma}^{k-1} - l_{ma}^0) + e_{ctrl} \quad (8)$$

使用数据卸载策略, 数据源节点 k 节省的能量消耗为:

$$E_k - E'_k = m_{rx} \cdot (l_{ma}^k - l_{ma}^0) + m_{tx} \cdot (l_{ma}^k - l_{ma}^0 - \rho(1-r)l_{data}) + m_g \cdot (m_p \cdot l_{data} + l_{ma}^{k-1}) \quad (9)$$

k 使用数据卸载策略增加的总能量消耗:

$$E_r = (E_{ka}' - E_{ka}) - (E_k - E'_k) + E_{ko}' = (m_{rx} + m_{tx}) \cdot \rho(1-r)l_{data} + e_{ctrl} \quad (10)$$

采用移动代理数据卸载策略的数据源传感器节点能量消耗等于移动代理访问第一个数据源传感器节点的能量消耗 $E_k' = E_1$, 也就是使用数据卸载策略之后, 每一个进行数据卸载的数据源传感器节点的能量消耗相同, 达到了能耗均衡的目的, 从而延长数据源传感器节点的生存期。但是使用数据卸载策略会增加总能量消耗, 增加的总能量消耗分散在中继节点 a 和卸载节点 o 。

3.2 卸载节点选择

数据卸载要为进行数据卸载前的 $k-1$ 个数据源感知数据选择卸载路径, 数据卸载的能量消耗主要来源于 k 前 before_offload 节点 b 转发数据到卸载节点 o , 卸载节点 o 转发数据到 k 后 after_offload 节点的能量消耗。寻找使卸载能量消耗值最小的传感器节点 o , 作为数据卸载节点, 卸载节点选择算法伪代码见算法 1。使用算法 1 寻找 k 卸载节点时分两种情况: before_offload 节点 b 和 after_offload 节点 a 的传输半径 R 之内的传感器节点集合交集不空时, 返回值 s 为卸载节点 o , 增加的总能量消耗为 $E_r = (E_{ka}' - E_{ka}) - (E_k - E'_k) + E_{ko}'$; before_offload 节点 b 和 after_offload 节点 a 的传输半径 R 之内的传感器节点集合交集为空时, 返回值 s 为卸载节点 o , 需要再次调用卸载节点选择算法, 将节点 o 作为 before_offload 节点 b , 寻找下一个卸载节点 o , 直到满足第一种情况, 增加的总

能量消耗 $E_i = (E_{ka}' - E_{ka}) - (E_k - E_k') + m \cdot E_{ko}$, m 是寻找到的卸载节点的个数。

算法1 卸载节点选择算法

初始化 offload_before[] // b 传输半径 R 内的传感器

初始化 offload_after[] // a 传输半径 R 内的传感器

if offload_before[] $\cap$ offload_after[] $\neq \emptyset$

{distance=0;

while (s in (offload_before[] $\cap$ offload_after[]) $\wedge$ s not in source[]))

{if $d(k, s) > \text{distance}$ // $d(k, s)$ 表示 k 与 s 之间的

距离

{ $d(k, s) \rightarrow \text{distance}$ }}

else

{distance=max_value;

while (s in offload_before[] $\cap$ s not in source[])

{if $d(a, s) < \text{distance}$

$d(a, s) \rightarrow \text{distance}$ }

}

return s

3.3 数据卸载实现

MA 按照路径规划算法规划的路径迁移,对路径中的每一个数据源节点,判断是否采用 MA 数据卸载策略,也就是在不更改路径的情况下执行 MA 数据卸载策略。MA 数据卸载策略以减少数据源传感器能量消耗为目的,在实施过程中如果对数据源传感器节点有额外增加的能量消耗,此数据源节点将不采用数据卸载策略,具体规则如下。

- 数据源节点 k 不采用数据卸载策略的能量消耗为 E_k , 采用数据卸载策略的能量消耗为 E_k' , 若满足 $E_k > E_k'$, 可以考虑进行数据卸载。
- 如果路径中数据源节点 k 的下一跳 after_offload 节点 a 是数据源节点 $k+1$ 。 E_{ka}' 和 E_{ka} 分别表示节点 a

使用和不使用数据卸载能量消耗,由于 $E_{ka}' > E_{ka}$, 所以 k 不能直接使用第 3.1 节的数据卸载策略。需要进行迭代调整: $k+1$ 节点只能作为数据源节点,数据融合转由后序的 after_offload 节点完成; MA 携带的 $k-1$ 个数据源节点数据沿迭代数据卸载路径传递到后序的 after_offload 节点。迭代时将 k 作为 before_offload 节点, $k+1$ 数据源节点和 $k+1$ 后第一跳节点作为 after_offload 节点调用算法 1。迭代卸载路径示意图如图 3 所示: 第 k 个数据源节点 539 进行数据卸载操作, $k+1$ 节点 494 是 after_offload 节点, 调用算法 1 找到 offload 节点 778; 539 节点作为 before_offload 节点, 第 $k+1$ 个数据源节点 494 的下一跳节点 493 作为 after_offload 节点调用算法 1, 找到 offload 节点 777。

- 路径中数据源节点 k 的下一跳 after_offload 节点是 MA 已经收集过数据的数据源节点 n , 由于 $E_{ka}' > E_{ka}$, 所以数据源节点 k 不采用数据卸载策略。

MA 从 sink 节点派出采用数据卸载策略访问路径中所有数据源节点, 算法流程如图 4 所示。

4 仿真实验

MA 数据卸载策略不改变 MA 已有路径规划, 可以应用于现有的 MIP 和 SIP 算法, 本文对 IEMF 算法规划的路径使用与不使用 MA 数据卸载策略两种情况, 进行了大量的仿真实验对比。

4.1 仿真参数

使用 OPNET^[17] 在 1 000 m $\times$ 500 m 的范围内随机部署 800 个传感器节点, sink 节点部署在网络的边缘, 随机选取 5~40 个数据源传感器节点。sink 节点派出移动代理访问所有的数据源传感器, 通过无线多跳的方式收集感知数据, 传递给 sink 节点。仿真参数见表 1。

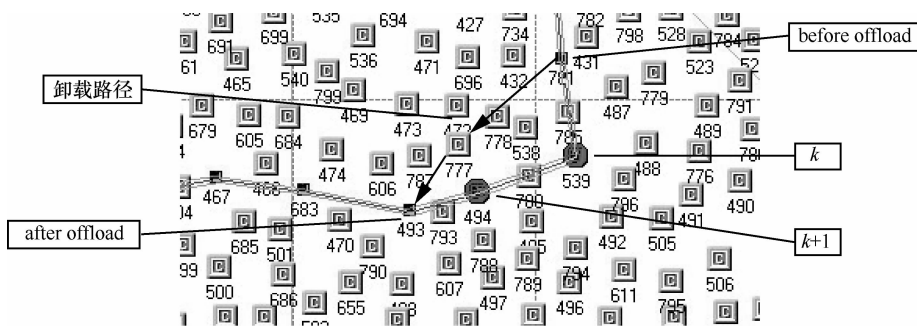


图3 迭代卸载路径示意

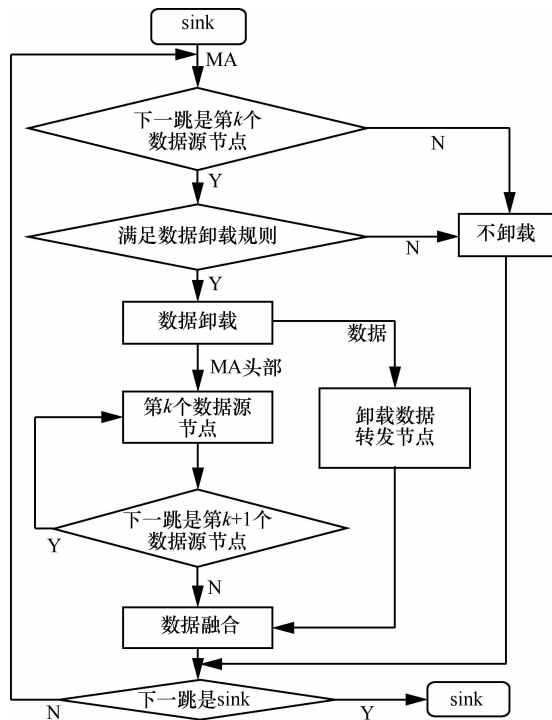


图4 MA数据卸载策略路径流程

表1 移动代理 WSN 仿真参数

参数	参数值
MA 访问时延	10 ms
数据处理速率	50 Mbit/s
原始数据减少比例	0.8
聚合比例	0.9
无线传输距离	60 m
MAC 层标准	IEEE 802.11b

4.2 融合率对 MA 数据卸载的影响

随机选取 10 个数据源节点,使用数据卸载策略,不同的数据融合率对数据源节点平均节省能耗百分比的影响如图 5 所示,融合率越低节省的能耗越多。

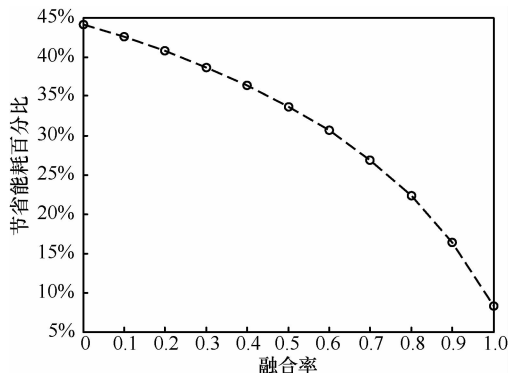


图5 融合率和数据源节点节省能耗百分比

4.3 仿真性能

10 个数据源节点,每个数据源节点平均节省能耗百分比如图 6 所示,每个数据源节点能耗如图 7 所示。未采用数据卸载策略,MA 访问数据源节点数越多携带的数据越大能量消耗越大。采用数据卸载策略将数据交给卸载节点来进行传递,减少数据源节点的能量消耗,随着 MA 访问数据源节点数的增加,数据源节点节省的能量消耗增加。

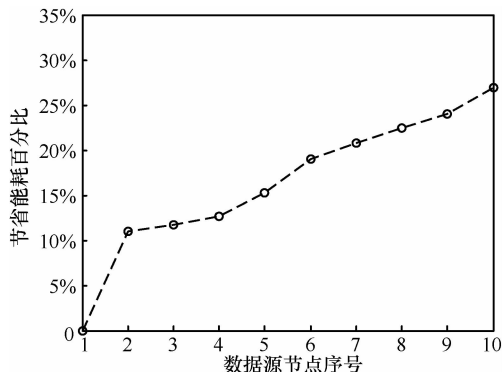


图6 数据源节点节省能耗百分比

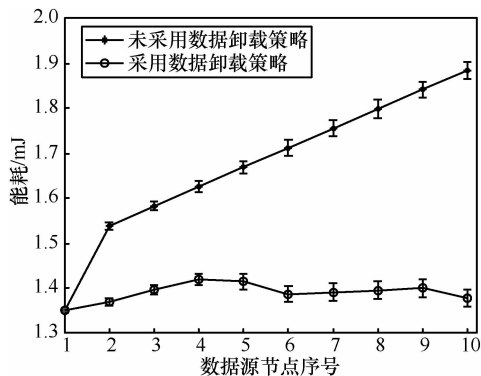


图7 数据源节点能耗

图 8 显示随着数据源节点数的增加使用数据卸载策略比不使用数据卸载策略可以节省更多的能量。数据源节点数对 MA 完成数据汇聚任务的总能耗的影响如图 9 所示,MA 数据卸载策略的使用会增加总能量消耗。根据第 3.1 节中各个节点能量消耗的分析,每一次数据卸载增加一定的能量消耗,这些能量消耗分散在数据卸载节点和数据源之后的数据融合节点。

5 结束语

移动代理数据融合和收集技术是无线传感器网络的关键技术,sink 节点派出移动代理智能、高效地完成传感

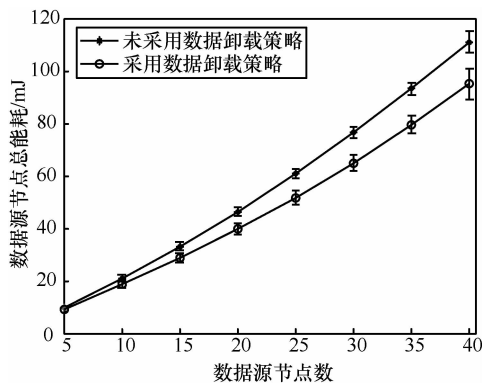


图8 数据源节点数和数据源节点总能耗

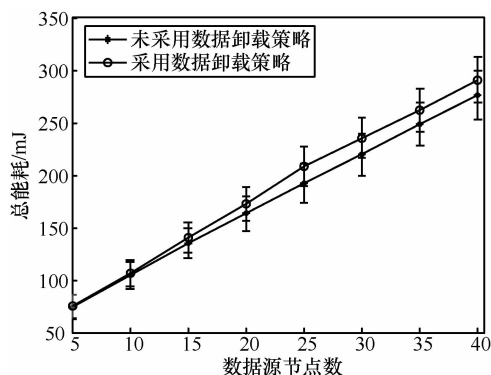


图9 数据源节点数和总能耗

器数据的收集工作。本文首先介绍了 SIP 和 MIP 算法普遍存在的单个数据源节点能量消耗不均衡的问题,MA 访问的数据源节点越多携带的数据量越大,消耗的能量越多。提出 MA 数据卸载策略,将 MA 携带的数据不通过数据源节点进行传输,实验证明采用 MA 数据卸载策略减少数据源节点的能量消耗,有效地缓解了数据源节点能量消耗不均衡的问题。后序的研究将设计更完善的数据卸载的策略,均衡数据源节点的能量消耗,同时尽量减少总能量消耗的增加;考虑将数据卸载策略的思想应用到移动通信领域。

参考文献:

- [1] VARAKLIOTIS S, HAILES S, DENARDI R, et al. UAV and cognitive radio technologies in the emergency services arena[J]. British Association of Public Safety Communications Officials, 2010(11).
- [2] ABDULLA A E A A, FADLULLAH Z M, NISHIYAMA H, et al. An optimal data collection technique for improved utility in UAS-aided networks[C]//2014 IEEE International Conference on Computer Communications, April 27-May 2, 2014, Toronto, Canada. New Jersey: IEEE Press, 2014.
- [3] PADILLA P, CAMACHO J, MACIA-FERNANDEZ G, et al. On the influence of the propagation channel in the performance of energy-efficient geographic routing algorithms for wireless sensor networks (WSN) [J]. Wireless personal communications, 2013, 70(1): 15-38.
- [4] AHMAD A, LATIF K, JAVAIDL N, et al. Density controlled divide-and-rule scheme for energy efficient routing in wireless sensor networks [C]// 2013 26th Annual IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2013), May 5-8, 2013 Regina, Saskatchewan, Canada. New Jersey: IEEE Press, 2013.
- [5] 苏金树,郭文忠,余朝龙,等.负载均衡感知的无线传感器网络容错分簇算法[J].计算机学报,2014,37(2): 445-456.
SU J S, GUO W Z, YU C L, et al. Fault-tolerance clustering algorithm with load-balance aware in wireless sensor network[J]. Chinese Journal of Computers, 2014, 37(2): 445-456.
- [6] 郭文忠, 苏金树, 陈澄宇,等.无线传感器网络中带复杂联盟的自适应任务分配算法[J]. 通信学报, 2014, 35(3): 1-10.
GUO W Z, SU J S, CHEN C Y, et al. Self-adapted task allocation algorithm with complicated coalition in wireless sensor network[J]. Journal on Communications, 2014, 35(3): 1-10.
- [7] CHEN M, GONZALEZ S, ZHANG Y, et al. Multi-Agent Itinerary Planning for Wireless Sensor Networks[M]. Heidelberg: Springer, 2009, 22: 584~597.
- [8] CHEN M, YANG L T, KWON T, et al. Itinerary planning for energy-efficient agent communication in wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60 (7): 3290-3299.
- [9] QI H R, WANG F Y. Optimal itinerary analysis for mobile agents in ad hoc wireless sensor networks[J]. Proceedings of the IEEE, 2001.
- [10] CAI W, CHEN M, HARA T, et al. A genetic algorithm approach to multi-agent itinerary planning in wireless sensor networks[J]. Mobile Networks and Applications, 2011, 16(6):782-793.
- [11] KONSTANTOPOULOS C, MPIZIOPOULOS A, GAVALAS D, et al. Effective determination of mobile agent itineraries for data aggregation on sensor networks [J]. Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on, 2010, 22(12):1679-1693.
- [12] GAVALAS D, MPIZIOPOULOS A, PANTZIOU G, et al. An approach for near-optimal distributed data fusion in wireless sensor networks[J]. Wireless Networks, 2010, 16(5): 1407-1425.
- [13] CHEN M, CAI W, GONZALEZ S, et al. Balanced itinerary planning for multiple mobile agents in wireless sensor networks [J]. Ad Hoc Networks, 2010, 49:416-428.
- [14] WANG J F, ZHANG Y, CHENG Z L, et al. EMIP: energy-efficient itinerary planning for multiple mobile agents in wireless sensor network [J]. Telecommunication Systems, 2015:1~8.
- [15] CHEN M, HAO Y X, LI Y, et al. On the computation offloading at Ad Hoc cloudlet: architecture and service models [J]. IEEE Communications, 2015, 53(6): 18-24.



- [16] CHEN M, ZHANG Y, LI Y, et al. EMC: Emotion-aware mobile cloud computing in 5G [J]. IEEE Network, 2015, 29(2): 32-38.
- [17] 陈敏. OPNET 物联网仿真[M]. 武汉: 华中科技大学出版社. 2015.
- CHEN M. OPNET Internet of Things Simulation[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2015.



王文辉(1991-),男,华中科技大学计算机科学与技术学院硕士生,主要研究方向为无线传感器网络、生理信号处理。

[作者简介]



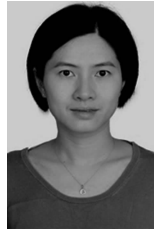
史霄波(1972-),女,华中科技大学计算机科学与技术学院博士生,河南师范大学计算机与信息工程学院副教授,主要研究方向为无线传感器网络、机器学习、智能医疗。



阮航(1990-),男,华中科技大学计算机科学与技术学院硕士生,主要研究方向为分布式计算、无线传感器网络、模式识别。



鲁建宇(1994-),男,华中科技大学光学与电子信息学院在读,主要研究方向为移动软件开发、无线传感器网络。



朱瑄(1979-),女,华中科技大学计算机科学与技术学院在站博士后,华中师范大学计算机学院讲师,主要研究方向为无线传感器网络、物联网、智能医疗。