

基于 BADV-Hop 的传感器节点定位方法

李秉键, 夏文栋, 黄戈文

(嘉应学院 计算机学院, 广东 梅州 514015)

摘要: 针对无线传感器网络节点的定位误差较高的问题, 提出蝙蝠算法校正 DV-Hop 算法的传感器节点定位精度提高方法 (BADV-Hop); 首先测量未知节点与锚节点之间的距离, 然后采用 DV-Hop 算法初步确定未知节点的坐标, 再采用蝙蝠算法校正 DV-Hop 算法的定位误差, 最后在 Matlab 2012 平台上对算法性能进行仿真分析; 实验结果表明, 相对于 DV-Hop 算法, BADV-Hop 算法提高了传感器的节点定位精度。

关键词: 无线传感器网络; DV-Hop 算法; 节点定位; 蝙蝠算法

Nodes Localization Method of Wireless Sensor Networks Based on Bat-DVHop Algorithm

Li Bingjian, Xia Wendong, Huang Gewen

(Department of Computer Science, Jiaying University, Meizhou 514015, China)

Abstract: In order to reduce node localization error of wireless sensor network, a novel sensor node localization method is proposed based on bat algorithm and the DV-Hop algorithm (BA-DVHop). Firstly, the distance between unknown node and anchor node is measured, and then the localization of the unknown nodes is determined by using DV-Hop algorithm, finally the bat localization algorithm is used to correct DV-Hop algorithm performance, the simulation experiment to test the algorithm on Matlab 2012 platform. The results show that compared with DV-Hop algorithm, BADV-Hop algorithm can improve the localization accuracy of wireless sensor network.

Keywords: wireless sensor network; DV-Hop algorithm; bat algorithm; node localization

0 引言

无线传感器网络 (wireless sensor network, WSN) 是一个由许多节点有组织地构成的协作网络, 每个节点包括处理器、存储器、射频信号收发器等部件, 其具有低功耗、廉价、快速部署等优点, 在国防、环境监测、医疗保健等领域具有广泛的应用前景。节点的位置信息是 WSN 成功应用前提和基础, 其可以完成网络拓扑自管理、提高节点间路由效率等, 因此传感器节点定位一直 WSN 研究中的重点和难点^[1]。

目前 WSN 定位算法分为两类: 基于测距 (Range-based) 的定位算法和免测距 (Range-free) 定位算法^[2]。Range-based 定位算法首先利用计算节点间的距离, 然后根据三边 (三角、多边) 测量法确定未知节点的位置, 其需额外硬件设备来测量节点间距离, 成本高和能耗大, 对 WSN 生存时间产生不利影响^[3]; Range-free 定位算法根据节点间的通信估计出节点间距离, 再确定未知节点的位置, 主要有质心定位算法、Dv-Hop 算法、APIT 算法, 该类算法功耗小、成本低, 引起了人们的广泛关注^[4-7]。其中 DV-Hop 算法应用最为广泛, 在 DV-

Hop 算法的基础上, 一些学者提出采用群智能算法对 DV-Hop 算法进行改进, 如粒子群算法、遗传算法等, 以提高了 WSN 的节点定位精度^[8-9]。但是这些算法存在着易陷入局部最优、缩小搜索空间等问题, 影响 WSN 的传感器节点定位精度^[10]。

蝙蝠算法 (bat algorithm, BA) 是一种通过模拟蝙蝠回声定位行为的新型群智能算法, 相对于其它算法, 其在迭代寻优方面具有很大优势, 且需要参数调整参数较少^[11], 为了减少无线传感器网络节点的定位误差, 以获得更加理想的传感器节点定位结果, 提出一种基于蝙蝠算法 (bat algorithm, BA) 校正 DV-Hop 算法误差的传感器节点定位方法 (BA-DVHop), 并在 Matlab 2012 平台上对算法性能进行仿真分析。仿真结果表明, 在相同条件下, BA-DVhop 算法提高了传感器节点的定位精度, 具有定的实用价值。

1 DV-Hop 算法和蝙蝠算法

1.1 DV-Hop 算法

2001 年, Nieleuseu 等提出了 DV-Hop 传感器节点定位算法, 具有无需测量距离, 硬件要求低等点, 其定位步骤具体如下:

Step1: 计算未知节点和锚节点之间的最小跳跃数。每个锚节点都将一个包含其在整个无线传感器网络中的位置坐标信息的信包在网络中广播, 一旦一个位置信息未知的节点收到了一个此类信包, 该节点就会计算此信包从锚节点到达它经历的跳跃数, 并且把一个包含锚节点位置坐标信息和从该锚节点至本节点经历的跳跃数的信包广播到网络里, 重复这个信包交换过程, 直到每个节点 (包括未知节点和锚节点) 都最终获得所

收稿日期: 2014-04-29; 修回日期: 2014-06-19。

作者简介: 李秉键 (1976-), 男, 硕士, 实验师, 主要从事无线传感器网络和物联网方向的研究。

夏文栋 (1973-), 男, 硕士, 副教授, 主要从事无线传感器网络和物联网方向的研究。

黄戈文 (1972-), 男, 硕士, 副教授, 主要从事无线传感器网络和网络安全方向的研究。

有锚节点到达其所经历的跳跃数，并且从中获得跳跃数最小的锚节点的信息。

Step2: 计算未知锚节点之间每次跳跃的平均距离。当每个锚节点都得到了其与其他锚节点间的最小跳跃数，整个网络中的平均每跳距离计算公式为：

$$AvgHopDis = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} hop_{ij}} \quad (1)$$

式中， (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 代表节点 i 和 j 的坐标信息； hop_{ij} 代表节点 i 和 j 之间的最小跳跃数。

当每个锚节点完成它到所有其他锚节点间的每次跳跃的平均距离的计算，它会在网络中广播这些校正值，每个未知节点都保存它收到的第一个信包，丢弃后续收到的其他信包，这样就可以确保每个未知节点接收到距离它最近的节点的平均每次跳跃距离。根据来自于锚节点的最小跳跃数和节点间平均每跳距离，节点就可以计算出其自身和锚节点之间的距离^[8]。

Step3: 计算每一个未知节点的位置坐标。在这个阶段，每个未知节点根据来自于锚节点的最小跳跃数和节点间平均每跳距离计算其本身的位置坐标信息，可以采用最大相似估计法解决。设 $P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2), \dots, P_n(x_n, y_n)$ 表示 n 个锚节点的坐标位置，待定位节点位置为 (x, y) ，其与锚节点估计距离分别为 d_1, d_2, \dots, d_{n-1} ，可以建立式 (2) 的方程：

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = d_2^2 \\ \vdots \\ (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 = d_n^2 \end{cases} \quad (2)$$

在无线传感器节点测距过程中，不可避免会产生一些随机误差，这样线性方程组为 $\mathbf{AL} + \mathbf{N} = \mathbf{b}$ ， \mathbf{N} 为误差向量，求解方程为：

$$\mathbf{L} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b} \quad (3)$$

$$\text{其中: } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix}, \mathbf{L} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, \mathbf{b} =$$

$$\begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix}^T$$

设锚节点 i 与未知节点的实际距离为 r_i ，测距误差为 ϵ_i ，那么未知节点的坐标 (x, y) 应该满足如下约束条件：

$$\begin{cases} d_1^2 - \epsilon_1^2 \leq (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 \leq d_1^2 + \epsilon_1^2 \\ d_2^2 - \epsilon_2^2 \leq (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 \leq d_2^2 + \epsilon_2^2 \\ \vdots \\ d_n^2 - \epsilon_n^2 \leq (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 \leq d_n^2 + \epsilon_n^2 \end{cases} \quad (4)$$

求解 (x, y) ，使得

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 - d_i^2} \quad (5)$$

由式 (5) 可知，节点位置一定存在该区域中，而且当 $f(x, y)$ 取最小值时，节点定位总误差最小，此时的坐标 (x, y) 将为未知节点位置的最优值，因此无线传感器网络的节点定位问题转化为一个约束优化问题，然后采用 BA 算法进行求解，以提高传感器定位精度。

1.2 蝙蝠算法

蝙蝠算法 (bat algorithm, BA) 是一种剑桥大学的 Xin-She Yang 受到微型蝙蝠的回声定位行为方式与目标函数优化关联性启发的群智能优化算法。

1.2.1 虚拟蝙蝠的运动

首先在可行解空间里随机初始化种群，即确定个体的初始位置和初始速度，其中位置表示问题的解；然后通过对种群的评价，找出群体最优的位置。在此，定义在 t 时刻下的新解 x'_i 和速度 v'_i 的更新公式为：

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \quad (6)$$

$$v'_i = v_i^{t-1} + (x_i^{t-1} - x_*)f_i \quad (7)$$

$$x'_i = x_i^{t-1} + v'_i \quad (8)$$

式中， $\beta \in [0, 1]$ 是一个服从均匀分布的随机向量； v_i^{t-1} 、 v'_i 分别表示蝙蝠 i 时刻的飞行速度； x'_i 表示蝙蝠 i 在 t 时刻的空间位置， x_* 表示在当前群体中最佳蝙蝠所在位置； f_i 为蝙蝠 i 搜寻猎物时脉冲频率， $f_i \in [f_{\min}, f_{\max}]$ 为搜索脉冲频率范围。

对于局部搜索，一旦在当前最优解中选中了一个解，那么每只蝙蝠按照随机游走法则产生局部新解：

$$x_{\text{new}} = x_{\text{old}} + \epsilon A' \quad (9)$$

式中， $\epsilon \in [-1, 1]$ 是一个随机数； $A' = [A'_i]$ 是所有蝙蝠在同一个时间段的平均音量。

1.2.2 音量和脉冲发生率

根据蝙蝠的生物学机理，在搜寻猎物的过程中，蝙蝠在初始阶段发出的超声波脉冲音强大而频率低，以利于在更广阔的空间内进行搜索；当发现猎物后，脉冲音强逐渐减小同时脉冲发射次数增加，以精确掌握猎物的空间位置。音强和脉冲发生率的更新公式：

$$\begin{cases} A_i^{t+1} = \mu A_i^t \\ r_i^{t+1} = r_i^t [1 - \exp(-\gamma t)] \end{cases} \quad (10)$$

式中， A_i^t 表示蝙蝠 i 在 t 时刻发射脉冲的音强； r_i^{t+1} 表示蝙蝠 i 在 $t+1$ 时刻的脉冲发生率； r_i^t 表示蝙蝠 i 的最大脉冲频度； μ 为脉冲音强衰减系数，通常取 $[0, 1]$ 上的常数； γ 为脉冲频度增加系数，是大于零的常数。

为了验证 BA 算法的收敛速度、寻优精度优于粒子群算法 (PSO)、遗传算法 (GA) 等，采用 2 个标准测试函数进行对比实验，测试函数如下：

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10] \quad (11)$$

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2] \quad (12)$$

从图 1 可知，相对于 PSO、GA，BA 经过更小的迭代次数就可以找到达到函数的最优解，对比结果验证了本文采用 BA 的合理性和有效性。

2 BADV-Hop 节点定位精度提高方法

2.1 编码设计

由于无线传感器网络节点定点定位目标就要求寻找一个与实际位置误差最小的位置，因此可以认为每一个蝙蝠位置对应未知节点的一个可行解。

2.2 适应值函数设计

蝙蝠通过适应度值不断调整自己的飞行方向，本文的适应

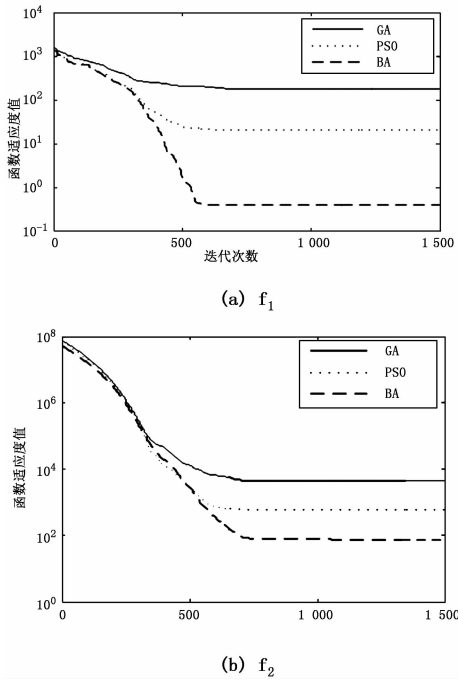


图 1 BA 算法与其它算法的性能比较

值函数定义为:

$$\text{fitness}(\bar{x}, \bar{y}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \omega_i^2 (f_j(\bar{x}, \bar{y}))^2 \quad (13)$$

式中, ω_i 为未知节点与第 i 个锚节点距离的权重; m 为锚节点的个数。

2.3 BADV-Hop 算法的工作流程

首先在将 DV-Hop 算法的未知节点定位误差转换为一个全局最优化问题, 然后采用蝙蝠算法校正 DV-Hop 算法的定位误差, 以获得更加理想的传感器节点定位结果。具体流程如图 2 所示。

3 仿真实例

3.1 仿真环境

为了验证 BADV-Hop 算法的传感器节点定位性能, 在 Windows XP 系统, AMD Athlon (tm) II X2 250 处理器, 3 GHz 3.25 G 内存平台上, 采用仿真软件为 MATLAB 2012 进行仿真实验。同时在相同网络环境下选择标准 DV-Hop 算法进行对比实验, 对不同锚节点密度、不同通信半径、测距误差等方面进行了比较, 采用平均定位误差评价定位算法性能, 其定义如下:

$$\text{AverageError} = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{(x_i - x_i)^2 + (y_i - y_i)^2}}{N \times R} \times 100\% \quad (14)$$

式中, (\bar{x}_i, \bar{y}_i) 为估计坐标; N 是未知节点的个数; (x_i, y_i) 为实际坐标; R 为节点的通信半径。

3.2 结果与分析

3.2.1 定位误差比较

DV-Hop 算法、BADV-Hop 算法的未知节点定位误差如图 3 所示。从图 3 可知, BADV-Hop 算法的定位误差变化相当平稳, 而 DV-Hop 算法的定位误差变化十分剧烈, 而且定

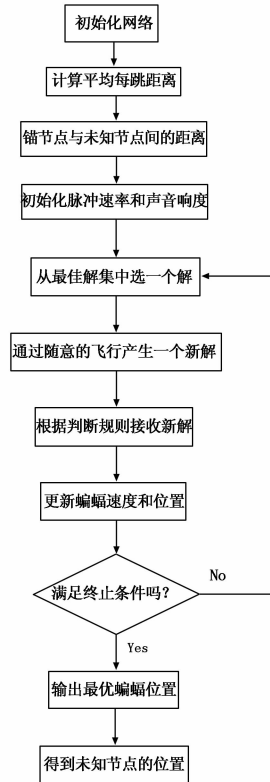


图 2 BADV-Hop 算法的工作流程

位误差相差较大, 对比结果表明, BADV-Hop 算法通过 BA 对 DV-Hop 算法进行优化后, 定位结果得到一定的改善, BADV-Hop 算法是一种定位误差小, 鲁棒性强的定点定位算法, 可以拓宽 WSN 的应用范围。

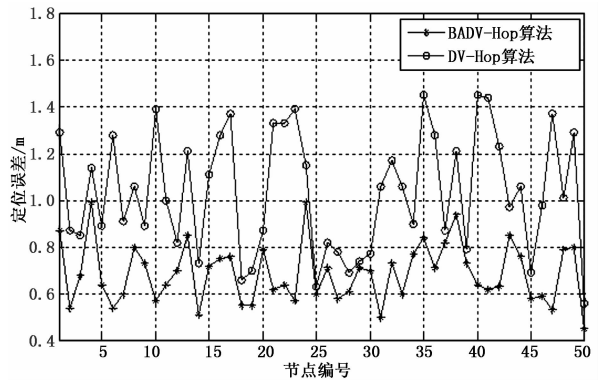


图 3 DV-Hop 算法、BADV-Hop 算法的定位误差变化曲线

3.2.2 锚节点个数对定位性的影响

不同锚节点个数条件下, 2 种算法的定位误差变化曲线如图 4 所示, 从图 4 可知, 在相同锚节点比例下, 相比于 DV-Hop 算法, BADV-Hop 算法的平均定位误差减少了 7.23% 左右, 结果表明, BADV-Hop 算法能够在较小的锚节点密度下, 完成更精确的定位。

3.2.3 通信半径下对定位结果的影响

不同通信半径对 DV-Hop 算法、BADV-Hop 算法定位性能的影响程度如图 5 所示。从图 5 可以看出, 在相同通信半径条件下, 相对于 DV-Hop 算法, BADV-Hop 算法的定位精度

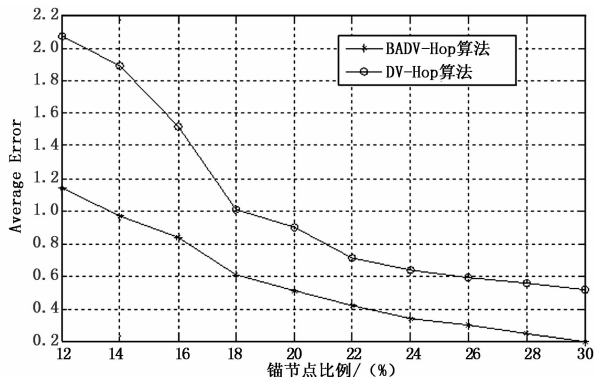


图 4 不同锚节点个数下的定位性能

得到大幅度提高,有效降低了无线传感器网络的节点定位误差。

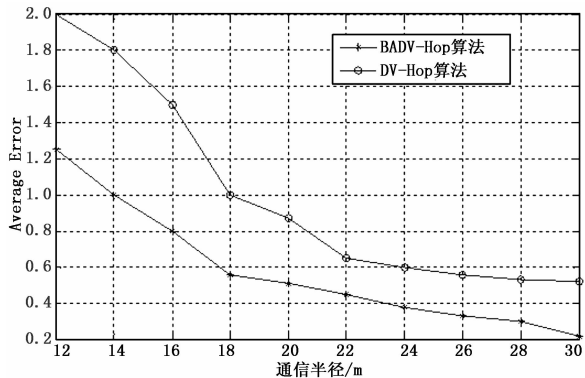


图 5 不同通信半径下的定位性能

3.2.4 定位结果比较

DV-Hop 算法和 BADV-Hop 算法的定位结果如图 6 所示。从图 6 可知, BADV-Hop 算法的定位误差小于 DV-Hop 算法,且定位效果明显得以提高。

4 结束语

为了提高无线传感器网络定位精度,提出一种蝙蝠算法和 DV-Hop 算法相融合的节点定位方法,采用蝙蝠算法修正 DV-Hop 算法的定位误差,仿真结果表明,相比于 DV-Hop 算法,

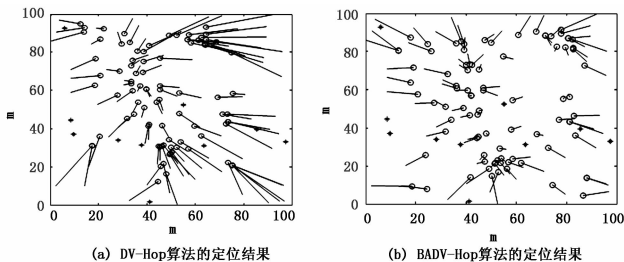


图 6 两种算法的定位结果对比

BADV-Hop 算法获得优的节点定位结果,优势十分明显,在无线传感器网络中具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 王福豹, 史 龙, 任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法 [J]. 软件学报, 2005, 16 (5): 857 - 868.
- [2] 赵仕俊, 孙美玲, 唐懿芳. 基于遗传模拟退火算法的无线传感器网络定位算法 [J]. 计算机应用与软件, 2009, 26 (10): 189 - 192.
- [3] 孙泽宇, 魏 巍. 一种改进无线传感器网络定位算法的研究 [J]. 计算机仿真, 2010, 27 (9): 125 - 127.
- [4] 衣 晓, 王梓有, 薛兴亮. 一种基于次锚节点的无线传感器网络质心定位算法 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 30 (6): 116 - 120.
- [5] Geng Y, He J, Pahlavan K. Modeling the Effect of Human Body on TOA Based Indoor Human Tracking [J]. International Journal of Wireless Information Networks, 2014, 20 (4): 306 - 317
- [6] 刘运杰, 金明录, 崔承毅. 基于 RSSI 的无线传感器网络修正加权定位算法 [J]. 传感技术学报, 2009, 23 (5): 717 - 721.
- [7] 李 辉, 熊盛武, 刘 毅, 等. 无线传感器网络 DV-Hop 定位算法的改进 [J]. 传感技术学报, 2011, 24 (12): 1782 - 1786.
- [8] 毛科技, 赵小敏, 何文秀, 等. WSN 中基于区域划分的半自动 DV-Hop 定位算法 [J]. 计算机科学, 2012, 39 (3): 39 - 42.
- [9] 叶 蓉, 赵灵错. 基于蚁群粒子群混合的无线传感器网络定位算法 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (3): 732 - 735.
- [10] 陈星舟, 廖明宏, 林建华. 基于粒子群优化的无线传感器网络节点定位改进 [J]. 计算机应用, 2010, 30 (7): 1736 - 1739.
- [11] Yang X S, Gandomi A H Bat algorithm: a Novel Approach for Global Engineering Optimization [J]. Engineering Computations, 2012, 29 (5): 464 - 483.

(上接第 306 页)

参考文献:

- [1] Du Z H, Hu J K, Chen Y N, Wang X Y. Optimized QoS-aware replica placement heuristics and applications in astronomy data grid [J]. The journal of Systems and software, 2011, 84 (7): 1224 - 1232.
- [2] 刘少伟, 孙令梅, 任开军, 等. 云计算下优化科学工作流执行性能的两阶段数据放置与任务调度策略 [J]. 计算机学报, 2011, 11 (34): 2121 - 2130.
- [3] Vaquero L M, Rodero Merino L, Moran D. Locking the sky, a survey on IaaS cloud security [J]. Computing, 2011, 91 (1): 93 - 118.
- [4] Malik S, Huef F, Caromel D. Reliability aware scheduling in cloud computing [A]. Proceedings of the 2012 international conference for internet technology and secured transactions. Piscataway, Nj: IEEE press [C]. 2012: 194 - 200.

- [5] Kang Q, He H, Wei J. An effective iterated greedy algorithm for reliability-oriented task allocation in distributed computing systems [J]. Journal of parallel and distributed computing, 2013, 73 (8): 1106 - 1115.
- [6] 闫 歌, 于 炯, 杨兴耀. 基于可靠性的云计算工作流调度策略 [J]. 计算机应用, 2014, 34 (3): 673 - 677.
- [7] 郭凤羽, 禹 龙, 田生伟, 等. 云计算环境下对资源聚类的工作流任务调度算法 [J]. 计算机应用, 2013, 33 (8): 2154 - 2157.
- [8] 刘丹琦, 于 炯, 英昌甜. 云计算环境下多有向无环图工作流的节能调度算法 [J]. 计算机应用, 2013, 33 (9): 2410 - 2415.
- [9] 孙 月, 于 炯, 朱建波. 云计算中一种多 DAG 工作流可抢占式调度策略 [J]. 计算机科学, 2014, 3 (41): 145 - 148.
- [10] 马俊波, 殷建平. 云计算环境下带安全约束的工作流调度问题的研究 [J]. 计算机工程与科学, 2014, 4 (36): 607 - 614.