

延迟容忍网络基于节点综合状态的数据转发策略研究

吴倩 杨霁琳

(四川师范大学基础教学学院 成都 610068)

摘要 为更好解决延迟容忍移动无线传感器网络(delay tolerant mobile sensor network, DTMSN)中的数据收集及转发问题,提出了一种基于节点综合状态的数据转发策略 NCSD(Node Comprehensive State Data Delivery Scheme)。NCSD根据模糊综合决策得出各节点的转发优先级作为传输时选择下一跳的依据。为优化消息副本管理,采取动态消息队列,根据消息生存时间决定消息的丢弃原则。仿真实验表明,与现有的数据传输算法相比,NCSD有更高的数据传输成功率与更小的传输延迟,并具有相对较长的网络寿命。

关键词 延迟容忍移动无线传感器网络,节点综合状态,模糊综合决策

中图分类号 TP393

文献标识码 A

Data Delivery Scheme of DTMSN Based on Comprehensive State of Node

WU Qian YANG Ji-lin

(College of Fundamental Education, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China)

Abstract To better solve the problem of data collection in DTMSN(delay tolerant mobile sensor network, DTMSN), this paper proposed a new data delivery scheme-NCSD(Node Comprehensive State Data Delivery Scheme). NCSD calculates the node comprehensive state, according to fuzzy comprehensive evaluation when delivering messages. To optimize the management of information copy, NCSD adopts dynamic message queue and decides the principle of abandoning messages based on their survival time. Simulation results show that compared with the existing algorithm of DTMSN data transmission, NCSD has a higher delivery ratio in data transmission.

Keywords DTMSN, Comprehensive state of node, Fuzzy comprehensive evaluation

1 引言

数据收集是大多数无线传感器网络应用的基本功能^[1]。在已有的传感器网络研究中,大多数都是假设传感器节点在部署后,整个网络是连通的,其中任意网络节点都能在网络拓扑中找到一条通往数据汇集点(Sink)的路径,将数据传输到汇集点进行处理。但是数据收集对象的移动性、随机性必然导致节点间非连通状态的频繁出现。

延迟容忍网络 DTN(delay tolerant network)^[2]用于间歇连通的网络传送数据。文献[3]给出了 DTN 的总体结构,作为网络互联时传输层上的覆盖网。根据节点移动性的不同,将延迟容忍传感器网络 DTSN(delay tolerant sensor networks)分为传感器节点静止的网络和节点随机运动的传感器网络 DTMSN^[4]。

在 DTMSN 中,最关键的是如何设计该环境下的路由算法。最基本的路由算法称为直接传递^[5],其基本思想是传感器节点只有运动到汇集点的通信范围内时两者才进行消息传递,这种策略传输能耗非常低,但是消息的传输延迟非常大。文献[6]提出了泛洪算法 Flooding,其令传感器节点把消息复制给它通信范围内的所有节点。这种算法以消耗大量传感器

能量为代价获得较高的数据传输成功率,但丢包现象严重,性能较差。文献[7]提出的 RED 策略由数据传输和消息管理两部分组成,数据传输中对传输概率的计算采用了改进的基于历史记录的方法并通过消息传输的发生与否来增加或降低传输概率,然而 RED 中最佳容错编码参数的计算值并不准确^[8]。文献[9,10]分别提出了 SRAD 和 RDAD 策略,这两种算法都是根据节点与汇集点的相对距离来计算传输概率,但是它们都假设知道节点在每一步随机选择的目的地 D,并根据 D 来设计自己的算法。事实上,很多情况下,节点并不知道自己下一步的运动方向和运动速度,这导致以上算法的适用性并不高。

一个适用的算法应该是综合考虑影响节点转发能效各方面的综合因素。文献[11]提出了一种基于节点优先级的数据转发策略 NPD,其基本思想是综合节点运动路径、节点剩余能量、节点运动速率算出节点传输优先级,基于优先级进行数据转发。但是在实际情况中,决定哪个节点适合作数据转发的下一跳并不仅仅取决于路径、剩余能量、速率 3 方面,只基于这 3 种因素来评测节点的优先级具有很大的局限性。因此本文提出了一种基于多属性综合决策来评价节点综合状态的数据转发策略 NCSD(Node Comprehensive State Data Delivery

到稿日期:2012-11-26 返修日期:2013-03-28 本文受四川省教育厅面上项目(12ZB11,11ZB068)资助。

吴倩(1978—),女,硕士,讲师,主要研究方向为无线传感器网络,E-mail:creative_wq@sina.com;杨霁琳(1981—),女,博士,讲师,主要研究方向为模糊决策。

Scheme)。该策略的基本思想是综合影响节点转发效能的多种因素,利用模糊评价策略评价出各个节点当前的综合状态值,此状态值构成节点进行消息传递时选择下一跳的重要依据。进一步根据策略建立动态消息队列,并根据消息的生存时间决定消息的丢弃原则。仿真实验表明,与其他 DTMSN 算法相比,NCSD 能以较低的数据传输复制数和传输延迟获得较高的数据传输成功率。

2 网络模型和问题描述

2.1 网络模型

本文假设初始状态时, N 个传感器节点随机分布在一个 $M * M * M$ 的正方形空间区域 A 内, 汇聚点也部属在区域 A 且固定, 所有节点的消息传输半径均为 R 。此外, 假设该传感器网络具有如下性质:

(1) 所有传感器节点的运动规律符合 Random Waypoint 运动模型^[12], 节点的运动过程示例如图 1 所示。

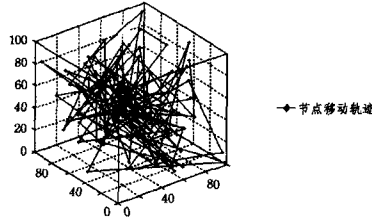


图 1 移动节点运动模型示例

(2) 节点在运动区间 A 内随机选取起始点 S 和目的点 D , 随机选取 $v(v_{\min}, v_{\max})$ 作为此次运动的速度匀速运动到 D , 在 D 随机选取一个时间 $t(T_{\min}, T_{\max})$ 保持静止, 完成一次运动过程, 如此重复。

(3) 汇聚点以基站或者车载方式出现, 因此视作有无限能量。汇聚点位置对所有移动节点已知, 各个移动节点均明确任意时刻自己的坐标位置。

2.2 影响节点传输效能的相关因素量化

令 P_i 表示节点 i 的传输综合评测值, 因为节点随机运动模型的特点, 该值是变化的。为了基于模糊综合评测原则来评价节点的 P_i 值, 必须对节点运动路径、运动方向、速度、剩余能量、延迟、过去传输成功概率等各方面因素进行量化。速度、连通邻居数和访问历史等因素都很容易得到量化, 以下列出能量和运动方向的量化方式。

本文采用与文献[11]相同的无线通信模型, 该模型给出了一个阈值 d_0 (d_0 是常数, 数值取决于使用环境), 当发送节点与接收节点的距离小于 d_0 时, 发送方发送数据的能量损耗与距离的平方成正比, 否则与距离的四次方成正比。发送节点与接收节点的能量消耗可用下列公式计算:

$$E_{tr}(k, d) = E_{dec}(k) + E_{amp}(k, d) = \begin{cases} kE_{dec} + k\epsilon_{fs}d^2 \\ kE_{dec} + k\epsilon_{mp}d^4 \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{rx}(k) = kE_{dec} \quad (2)$$

利用该通信模型, 可以基于距离量化出剩余能量:

$$\omega(E_i) = \frac{E_{cur}}{E_{init}} \quad (3)$$

式中, E_{cur} 表示节点的当前能量值, E_{init} 表示节点的初始能量值。 $\omega(E_i)$ 值越大, 代表节点剩余能量越多。

节点运动路径和运动方向采用文献[13]的方式进行量化: 根据网络模型, 节点 i 首先判断自己所在的位置, 若发现

当前位置在汇聚点的通信范围 R 内, 则 $S_i = 1$; 若当前位置不在汇聚点 O 的通信范围内, 则判断节点 i 的本次运动起始位置 $S(X_1, Y_1, Z_1)$ 和运动结束位置 $D(X_2, Y_2, Z_2)$ 的连线是否与汇聚点的通信范围相交。若相交, 则 $S_i = 1$, 否则由 SD 所在的空间直线方向向量 s :

$$s = SD = (X_2 - X_1, Y_2 - Y_1, Z_2 - Z_1) \quad (4)$$

和空间直线方程 l :

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1} \quad (5)$$

在空间直线方程式取 $z = 0$ 时, 得到空间直线方程 l 上的点 A 。再根据点到空间直线的距离公式计算 $d = \frac{\|s * AO\|}{\|s\|}$, 若 $d \leq R$, 则可以判断节点本次运动的连线与汇聚点的通信范围相交; 否则利用此次运动的线段 SD 来计算当前时刻节点 i 的运动趋势概率值 s_i :

$$s_i = \begin{cases} 1, & \frac{R}{d} \geq 1 \\ \frac{R}{d}, & \frac{R}{d} < 1 \end{cases} \quad (6)$$

s_i 值越接近 1, 运动方向越靠近汇聚点。

3 多属性的综合状态优选评价方法

3.1 确定目标特征值矩阵

设当前网络环境中待发送数据节点目前与 n 个节点处于连通状态, 这 n 个节点则形成下一跳决策集, 每个节点又有 m 个指标形成评价目标集。根据对每个指标的量化值可以得到目标特征值矩阵(决策矩阵), 即:

$$x_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = (x_{ij}) \quad (7)$$

式中, x_{ij} 为节点 j 在 i 指标下的量值。

3.2 基于变异系数法的指标权重确定

变异系数法是一种客观赋权法。设决策矩阵为:

$$X = (x_{ij})_{m \times n} \quad (8)$$

记

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

$$S_i = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

则 $b_i = \frac{S_i}{|x_i|}$ ($i=1, 2, \dots, m$) 为指标 x_i 的变异系数。

此时第 i 个指标的权重为:

$$w_i = b_i / \sum_{i=1}^m b_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

3.3 目标值无量纲化处理

由于各目标值具有不同的量纲单位, 存在不可公度性, 因此需要对指标的原始数据进行无量纲化处理。对于越大越优目标, 其相对优属度使用式(12):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (12)$$

对于越小越优目标, 其相对优属度使用式(13):

$$r_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (13)$$

从而得到目标优属度矩阵:

$$R_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij}) \quad (14)$$

3.4 标准模糊物元与简单绝对值复合模糊物元

由目标优属度矩阵可构成标准方案,标准方案的 n 维标准模糊物元 R_{α} 由 $R_{m \times n}$ 中各评价指标的优属度的最大值或最小值确定。本文以最小值作为节点综合状态的最优结果,即最优模糊物元 R_{α} 中各指标的优属度均为 1,则构成简单绝对值符合模糊物元 R_{Δ} ,即:

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} & \cdots & \Delta_{1n} \\ \Delta_{21} & \Delta_{22} & \cdots & \Delta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{m1} & \Delta_{m2} & \cdots & \Delta_{mn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

式中, $\Delta_{ij} = 1 - r_{ij}$ 。

3.5 基于欧式贴近度复合模糊物元的多属性综合决策

综合评判多因素影响的事物时,不同的因素具有不同的权重。系统中 m 个指标的权重已经确定:

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T \quad (16)$$

贴近度是表示各方案与最优方案之间互相贴近的程度,是衡量两者接近程度的一个尺度,其值越大表示两者越接近,反之则相离越远。考虑到本文具有综合评价的意义,采用 $M(*, +)$ 算法即先乘后加运算欧式贴近度 $\rho H_j, \rho H_j$ 为第 j 个评价方案与标准方案接近的程度:

$$\rho H_j = 1 - (\sum_{i=1}^m w_i \Delta_{ij})^{1/2} \quad (17)$$

以此来构造欧式贴近度复合模糊物元 $R_{\rho H}$:

$$R_{\rho H} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_n \\ \rho H_1 & \rho H_2 & \cdots & \rho H_n \end{bmatrix} \quad (18)$$

ρH 值表示节点 j 的传输综合评测值 P_j 。此值排列由大到小就形成了节点传输的优先级,基于此优先级可以很好地选择满意的下一跳转发节点。

4 队列管理机制

显然,上述数据转发策略算法会导致一个消息产生多个副本,因此本文引入队列管理机制管理这些副本。本文构造与节点传输优先级 P_j 相关的动态消息队列,并引入消息生存时间决定消息传递的优先顺序及消息丢弃原则。

每个传感器节点均有一个消息队列保存准备要发送的数据消息。不同节点与汇聚点发生数据传输的概率不同, P_j 越高的节点有越高的概率把消息传送到汇聚点,因此 P_j 越高的节点消息队列容量越大,而 P_j 越低的节点消息队列容量越小。令网络初始时,每一节点的消息队列能容纳相同数目的消息 N ,网络中允许节点最小消息队列容量为 γ 。在网络运行任一时刻,对任一传输优先级为 P_j 的节点队列容量为 N_j :

$$N_j = \lceil 2(N - \gamma)P_j \rceil + \gamma \quad (19)$$

消息生存时间 ST 即消息在网络中的存活时间。消息的 ST 越长,越有可能在网络中存在更多的副本,已被汇聚点接受的可能性也越大。每个消息的头部均包含一个域,存放消息的生存时间值。当消息初始化时, ST 被初始化为 0。每个传感器节点中均有一个本地计时器,每当计时器超时,节点消

息队列中所有消息的生存时间值将被增加。

各节点队列虽然容量不一,但都按 ST 由短到长的顺序进行排列, ST 短的消息排在前面并得到优先发送权。以下两种情况发生消息丢弃现象:(1)当消息到达传感器节点时存储队列已满,若新消息的 ST 值大于队尾消息 ST 值,则丢弃新消息,否则丢弃队尾消息;(2)队列某消息 ST 值若大于整个网络延迟容忍限度,则丢弃此消息。

5 仿真实验

本文主要针对文献[11]的节点优先级算法进行改进,为了进行仿真实验对比,在通信模型、消息队列管理机制上均保持一致。我们模拟实现了 NCSD、NPD、SRAD 和 FLOODING,并从以下 3 个方面进行了性能比较:

- 1)对本文提出的算法与其他 3 种算法针对数据消息的平均传输成功率、平均副本数和平均传输延迟进行比较。
- 2)研究不同的实验参数对这 4 种算法产生的影响。
- 3)分析比较 NCSD 与其他 3 种算法的网络寿命。从整体能耗方面对算法进行性能分析。

本文基于 NS-2 平台进行仿真。仿真实验中,假设节点的数据产生过程遵循平均到达时间间隔为 50s 的泊松过程,其他网络参数以及相应的缺省值见表 1。仿真实验阶段,每当节点运动后静止时间就对自身相关指标进行定值定量形成指标特征值矩阵并计算自身的综合评测 P_j 。节点欲发送数据前,从与其连通的相关节点中选取 P_j 大的节点进行消息传递。以下的实验结果如未特别说明,均为 100 次独立实验结果的均值。

表 1 实验环境数据

参数	缺省值
网络尺寸	200 * 200 * 200
传感器节点数量	100
通信半径 d(m)	10
通信阈值 d0(m)	2
节点速度(m/s)	1~5
节点队列长度初始值	200 个消息
节点队列最小长度	100 个消息
消息大小(bit)	200
汇聚点位置	(100,100,100)
消息生成速度	0.02/s
节点初始能量(J)	10
通信消耗能量(J/Per)	0.25
GPS 通信时间间隔(s)	2.5
最长延迟容忍时间(s)	3200

5.1 4 种算法性能对比

将数据传输算法 Flooding、SRAD、NPD、NCSD 分别用于该仿真环境,就平均传输成功率、平均副本数、平均延迟 3 个性能指标进行多次仿真实验分析。表 2 为默认参数状态时候 4 种算法的性能仿真对比结果。

表 2 4 种算法在默认仿真环境下的性能指标

	NCSD	NPD	SRAD	Flooding
数据交付率(%)	84.2	78.7	77.9	58.3
平均副本数	5.71	6.62	6.44	21.3
平均延迟(s)	125.5	151.4	167.3	687

可以看出,本文的 NCSD 充分考虑了节点过去与汇聚点相遇次数、成功传输次数、缓冲队列容量、电池容量、与汇聚点

的位置以及相对移动性、运动速度、移动频率、占空比、延迟等多方面影响数据传输的因素。因此基于多因素而得到的节点综合状态优先级是非常准确的,所以数据交付率最高;同时NCSD减少了平均副本数以及平均延迟时间,较其他算法有所提高。泛洪算法的队列管理策略使它的传输能耗较大,传输延迟低且网络寿命不长。SRAD算法考虑了运动方向趋势、速度、访问历史和邻居数系数,但是未考虑节点运动速度与汇聚点的距离、电池容量等方面的因素。NPD算法考虑了与汇聚点的距离、能量、速率,但未考虑节点是否向着汇聚点方向运动。因为这两种算法考虑因素不周详,所以从多次实验平均结果看来,数据传输成功率、副本数量和延迟都比较接近。NCSD对节点优先级的评价是相当全面而且准确的,并充分考虑了节点的优先级进行数据转发且有着动态的队列容量,因此在数据交付率上有更高的成功率,显著降低了平均副本数和平均延迟。

5.2 通信半径对性能的影响

本组实验主要研究在不同节点通信半径情况下,采用各种算法所能达到的平均传输成功率以及平均副本数和平均延迟。在该组实验中,设定其他参数保持默认值恒定,模拟结果如图2所示。

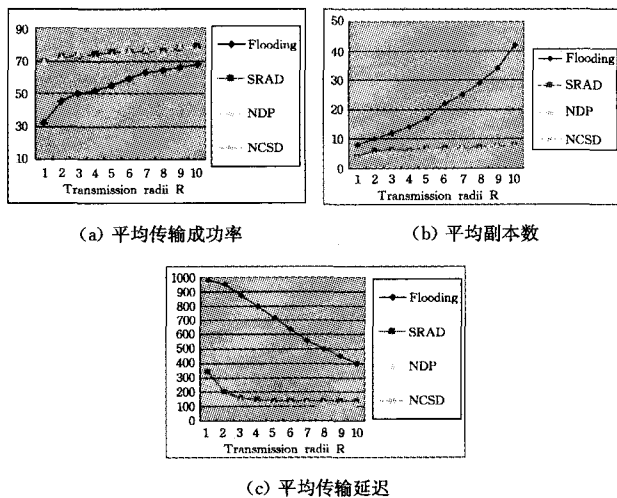


图2

从图2(a)不难看出,NCSD的消息传输成功率高出NPD、SRAD以及FLOODING,当节点的通信半径较大时,各种算法的消息传输成功率都较高,因为节点通信半径大就意味着节点的通信范围大,所以传感器节点在自身的通信范围内遇到邻居传感器节点的可能性就增大。另外,由于NCSD具有有效的队列和消息管理机制,ADW平均消息副本数小于其他几种算法,因此该算法的传输能耗比较低。图2(c)显示,随着通信半径的增大,各算法的平均传输延迟逐渐减小,由于NCSD下一跳节点的选择优先级最有效,因此它的平均延迟最低。

5.3 节点密度对性能的影响

由于网络的拓扑结构与传感器节点的密度相关,本组实验主要研究不同节点密度情况下不同算法的性能。节点密度的变化通过改变节点的总数量 N 来实现。实验结果如图3所示。

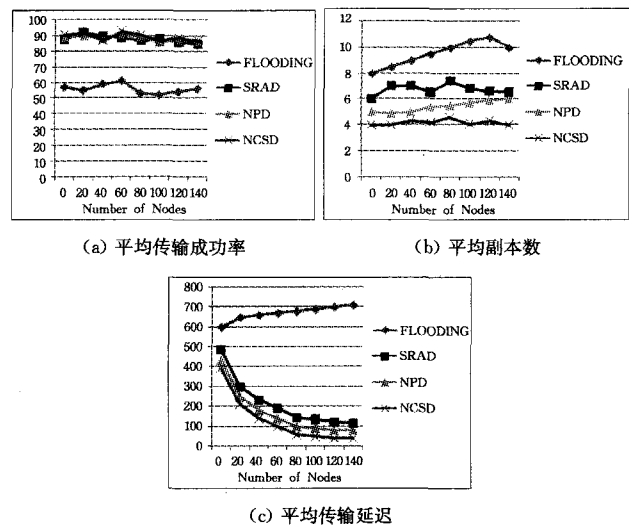


图3

从图3(a)可以看出,随着节点密度的增大,4种算法的传输成功率大体不变,可见它们的传输成功率与节点密度无关。图3(c)显示节点密度与平均传输延迟的关系,随着节点密度的增大,FLOODING算法的平均传输延迟有所上升,这主要是因为节点密度小,意味着每个传感器节点包含的邻居数量少,那么经过很长时间节点的存储队列才被泛洪产生的消息副本填满;而当节点密度较大时,经过很短时间存储队列就被消息副本填满,之后入队的节点自身产生的消息增多,从而导致传输延迟增长。

结束语 目前已有很多关于DTMSN的路由策略,但它们都没有充分考虑节点的整个状态。正是针对这一点,本文提出了NCSD策略,全面综合考虑了影响节点传输的若干因素,准确评价了各个节点的传输概率值形成优先级关系,并提出了一种有效的消息队列管理机制。模拟实验证明了该方法的有效性。

但本文假设普通节点都是同构的,而且汇聚点的能量无限且位置固定,未来可以进一步考虑汇聚点也随机移动且节点异构的路由策略。在节点异构且汇聚点随机移动的情况下,很多特征值的量化方法完全不一样了。而且为了简单起见,本文中的消息大小也是一样的,实际上这是不可能的,在此情况下,每当消息队列拥挤时是丢弃一个大消息还是几个小消息,也是值得进一步深入研究的问题。

参考文献

- [1] Liu M, Gong H G, Mao Y C, et al. A distributed energy-efficient data gathering and aggregation protocol for wireless sensor network[J]. Journal of Software, 2005, 16(12): 2106-2116
- [2] Burleigh S, hooke A, Torgerson L, et al. Delay-Tolerant networking-an approach to interplanetary Internet[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(6): 128-136
- [3] Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets[C] // Feldmann A, ed. Proc. of the ACM SIGCOMM 2003 Conf. on Computer Communications. New York: ACM Press, 2003: 27-34
- [4] Leguay J, Friedman T, Conan V. DTN routing in a mobility pattern space[C] // Guerin R, ed. Proc. of the ACM Workshop on

- [5] Wang Yu, Wu Hong-yi. The Delay/Fault-Tolerant mobile sensor network(DFT-MSN). A new paradigm for pervasive information gathering[J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2007, 6(9): 1021-1034
- [6] Vahdat A, Becker D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks[R]. Technical Report CS-200006. 2000
- [7] Wang Y, Wu H Y. Replication-Based efficient data delivery scheme (RED) for delay/fault-tolerant mobile sensor network (DFT-MSN)//Gregori E, ed. Proc. of the 4th Annual IEEE Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications Workshops. Washington: IEEE Computer Society Press, 2006: 485-489
- [8] Wnag Y, Wu H Y, Dang H, et al. Analytic, simulation, and em-

pirical evaluation of delay/fault-tolerant mobile sensor networks [J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2007, 1(11): 3287-3296

- [9] 朱金奇, 刘明, 龚海刚, 等. 延迟容忍移动传感器网络中基于选择复制的数据传输[J]. 软件学报, 2009, 20(8): 2227-2240
- [10] 许富龙, 刘明, 龚海刚, 等. 延迟容忍传感器网络基于相对距离的数据传输[J]. 软件学报, 2010, 21(3): 490-504
- [11] 刘唐, 彭舰, 王建忠, 等. 延迟容忍移动传感器网络中基于节点优先级的数据转发策略[J]. 计算机科学, 2011, 38(3): 140-143
- [12] 朱金奇, 刘明, 龚海刚, 等. 延迟容忍移动传感器网络中基于选择复制的数据传输[J]. 软件学报, 2009, 20(8): 2227-2240
- [13] 张可, 曾家智, 刘伟. 延迟容忍移动传感器网络中基于概率复制的数据传输策略及其性能研究[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(3): 677-681

(上接第 63 页)

要优于 EADTA 算法。但是随着任务规模的增大, MOTA 算法比 SEADTA 算法能耗更加均衡。

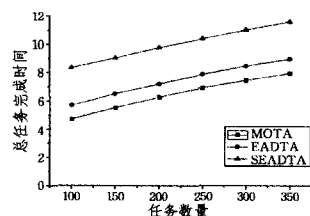


图3 总任务完成时间对比图

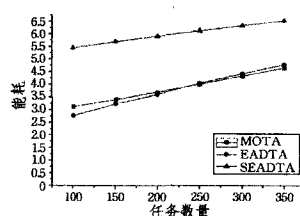


图4 能耗均衡指数对比图

结束语 本文提出了一种无线 Ad-hoc 网络任务调度问题的多目标优化算法,首次将 NSGA-II 应用于无线 Ad-hoc 网络的任务调度分析。根据无线 Ad-hoc 网络的特点,以总任务完成时间、能量消耗、任务执行概率这 3 个设计目标进行任务的优化调度。建立了问题的数学模型,并给出了利用 NSGA-II 算法进行求解的详细方案。仿真结构表明,方案很好地体现了在多个目标准则间的均衡考虑,优化解的分布性很好,与其他算法相比,在总任务完成时间和能耗均衡性方面具有优势。

参考文献

- [1] Hu Z, Tang X S, Wang X. A Distributed Algorithm for DAG-Form Service Composition Over MANET[C]// International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. 2007: 1664-1667
- [2] Xie T, Qin X. An Energy-Delay Tunable Task Allocation Strategy for Collaborative Applications in Networked Embedded Systems[J]. IEEE Transactions on Computers, 2008, 57(3): 329-343
- [3] Moges M, Ramirez L A, Gamboa C. Monetary Cost and Energy Use Optimization in Divisible Load Processing[C]//Proceedings of the 2004 Conference on Information Sciences and Systems. Princeton University, March 2004
- [4] Kim J K, Siegel H J, Maciejewski A A. Dynamic Resource Management in Energy Constrained Heterogeneous Computing Systems Using Voltage Scaling[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2008, 19(11): 1445-1457

- [5] Thakkar A, Pradhan S N. Power aware scheduling for Adhoc Sensor Network nodes[C]// Proceedings of 3rd International Conference on Signal Processing and Communication Systems. 2009: 1-7
- [6] Shiple S, Castain R, Siegel H J, et al. Static mapping of subtasks in a heterogeneous Ad Hoc grid environment[C]// Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium. Santa Fe: IEEE Computer Society, 2004: 110-123
- [7] Wang Z, Chen Q, Gao C S. Implementing grid computing over mobile Ad Hoc networks based on mobile agent[C]// Proceedings of the Fifth International Conference on Grid and Cooperative Computing Workshops. Washington: IEEE Computer Society, 2006: 321-326
- [8] Lu X S, Hassanein H, Akl S. Energy aware dynamic task allocation in mobile ad hoc networks[C]// Proceedings of the International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing. 2005: 534-539
- [9] Bokar A, Bozyigit M, Sener C. Scalable Energy-Aware Dynamic Task Allocation[C]// Proceedings of International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops. 2009: 371-376
- [10] Xu M. Research of Task Scheduling of Ad-hoc Cluster Computing Based on Genetic Algorithm[C]// Proceedings of International Conference on Wireless Networks and Information Systems. 2009: 137-139
- [11] Alsali W, Akl S, Hassanein H. Energy-aware task allocation over MANETs[C]// Proceedings of International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications. 2005: 315-322
- [12] Iverson M A, Ozguner F, Potter L. Statistical prediction of task execution times through analytic benchmarking for scheduling in a heterogeneous environment[J]. IEEE Transactions on Computers, 1999, 48(12): 1374-1379
- [13] Gong L, Sun X H, Waston E. Performance modeling and prediction of non-dedicated network computing[J]. IEEE Transactions on Computers, 2005, 51(9): 1041-1055
- [14] Kalyanmoy D, Amrit P, Sameer A. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2): 182-197