

基于蚁群优化的无线多媒体传感器网络区分服务路由

孙彦景, 方卫, 刘卫东, 孟冲

(中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 无线多媒体传感器网络中存在多种类型的数据, 而且这些数据的服务质量需求并不相同。针对这种情况, 提出一种基于蚁群优化的区分服务路由协议 (DSACO, differentiated service and ant colony optimization based routing protocol)。DSACO 在网络分层的基础上通过限制蚂蚁的搜索范围以减少建立路由的时间和能量消耗, 对不同服务质量需求的数据采用区分服务路由以满足不同类型数据的服务质量需求。仿真结果表明, 新协议能够为多媒体数据的传输提供更好的 QoS 保障, 在数据传输的平均时延、分组丢失率和能量消耗上优于已有路由协议。

关键词: 无线多媒体传感器网络; 路由协议; 服务质量; 蚁群优化

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2012)Z2-0009-06

Differentiated service and ant colony optimization based routing protocol for wireless multimedia sensor networks

SUN Yan-jing, FANG Wei, LIU Wei-dong, MENG Chong

(School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: There are many kinds of data in wireless multimedia sensor networks, which have different quality of service requirements. A novel routing protocol (DSACO) based on ant colony optimization was proposed. In the protocol, the time and energy spent on searching paths were reduced by limiting ants searching region after dividing the network into many layers. The protocol chose different paths for different kinds of data to meet the QoS requirements from the data. The simulation results show that the protocol provides better QoS for multimedia data and outperforms the other routing protocol in terms of data transmission average delay, packet loss rate and energy consumption.

Key words: wireless multimedia sensor networks; routing protocol; quality of service; ant colony optimization

1 引言

随着无线传感器网络 (WSN) 应用领域的扩展和深入, 普通无线传感器网络获取的简单数据 (如光照强度、温度和湿度) 越来越不能满足人们的需求。近来, 能够感知音频、视频、图像等多媒体信息的无线多媒体传感器网络 (WMSN) 得到了快速发展。在 WMSN 中, 传感器节点含有 CMOS 摄像头、微型麦克风和简单数据采集模块, 能够从周围环境中获取多媒体信息和简单数据。WMSN 可广泛应用于交通监控、智能家居、环境监测、医疗护理等领域^[1]。

WMSN 中通常含有两类数据: 简单数据和多媒体数据, 并且这两类数据的服务质量 (QoS) 需求并不相同。简单数据的 QoS 需求较低, 数据传输注重能量效率; 音频、视频等多媒体数据的 QoS 需求较高, 数据传输对时延、时延抖动、带宽等均有一定要求。WMSN 路由协议负责建立从源节点 (数据采集节点) 到汇聚节点 (Sink) 的数据传输路径, 在设计时应该考虑到各类数据的 QoS 需求差异, 能够为多媒体数据的传输提供 QoS 保障。近些年来, 国内外的学者在 WMSN 路由方面做了一些研究^[2]。Younis 等提出了一个具有能量意识的 QoS 路由协

议^[3]。Younis 协议为每条链路构造一个包含节点间距离、节点剩余能量、通信能量消耗等的代价函数，用 k -最短路径算法根据代价函数生成满足时延要求的多条路径，对 WMSN 中的实时数据和非实时数据区分服务。Younis 协议能够提供较好的 QoS 保障。但是 Younis 协议中的 Sink 节点需要知道整个网络的拓扑信息，因此扩展性较差，而且 k -最短路径算法的复杂度较高。SPEED 协议^[4]是一个基于地理位置的无状态实时路由协议，提供了端到端的软实时保障。但是 SPEED 没有对网络中的数据进行区分服务，没有考虑节点的能量消耗。MMSPEED 协议^[5]通过与 SPEED 协议相似的方式对数据的传输提供实时性保障，通过多路径概率转发的方式提供可靠性保障。MMSPEED 协议同样没有考虑节点的能量消耗，而且协议复杂。TPGF 协议^[6]是一个基于地理位置的路由协议。该协议利用多路径解决 WMSN 中多媒体数据量大的问题，选择跳数最少的路径转发数据。TPGF 协议的不足是比较复杂，没有考虑网络能耗消耗及其他的 QoS 需求。AntSensNet^[7]是一个基于分簇结构的路由协议，利用蚁群算法寻找从簇头到 Sink 节点满足数据 QoS 需求的路径。AntSensNet 协议比较复杂，随着网络规模的扩大，算法收敛变慢。

针对 WMSN 中多种类型数据并存的情况，本文提出了一种基于蚁群优化^[8]的对网络中的数据区分服务的路由协议 DSACO。DSACO 利用蚂蚁数据为各类数据寻找传输路径，传输数据时根据数据的 QoS 需求选择合适的路径。

2 系统模型

本文作以下基本假设：1)节点部署后均不能移动，能够从周围环境中获取多媒体信息和简单数据。2)节点间的最大通信距离有限。3)节点能够根据接收到的其他节点发出的信号的强度估算两者间的距离，能够根据距离的大小调整发射功率。4)节点能够获取自身状态的一些信息，如剩余能量。

2.1 能量模型

在 WMSN 中，节点将 k bit 的数据发送至距离为 d 处节点能量消耗情况如下^[9]

$$E_{Tx} = kE_{elec} + k\epsilon_{amp}d^\theta \quad (1)$$

$$E_{Rx} = kE_{elec} \quad (2)$$

其中， E_{Tx} 、 E_{Rx} 分别表示节点发送和接收所消耗的能量， E_{elec} 表示节点发送或接收每比特的电路能量

消耗。 θ 为路径传播衰减指数。 ϵ_{amp} 与所用的传输放大器模型密切相关。

2.2 网络分层

在网络初始阶段将整个网络被分成多个层，方法见文献[10]。所有节点均含有一个表示节点所处层的参数 $layer$ 。网络初始化时，Sink 节点的 $layer$ 取值为 0，其他节点的 $layer$ 值取一个较大的正整数。Sink 节点将 $layer$ 值加 1 后以最大发射功率广播出去，其他节点收到广播信息后将收到的 $layer$ 值与自身的 $layer$ 值做比较。若节点自身的 $layer$ 值大于收到的 $layer$ 值，则节点将收到的 $layer$ 值作为自身的 $layer$ 值，然后将自身 $layer$ 值加 1 后以最大发射功率广播出去。 $layer$ 值相同的节点构成网络的一个层。通过这种方法，网络最终被分为多个层。图 1 表示了网络分层后一个小区域的情况。

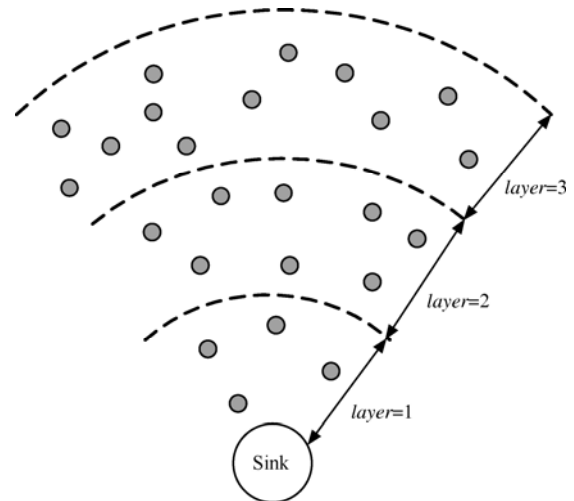


图 1 网络分层

2.3 WMSN 路由模型

一个 WMSN 网络可以用一个连通的无向图 $G(V,E)$ 表示。 $V = \{s, v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 是网络中所有节点的集合， s 是 Sink 节点， v_1, v_2, \dots, v_n 是传感器节点； E 是 G 中边的集合，如果节点 v_i, v_j 互为邻居节点，则 $e_{ij} = (v_i, v_j) \in E$ 。节点 $n \in V$ 有 2 个属性值 $\{re(n), dl(n)\}$ 。其中， $re(n) = E_{residual}(n) / E_{initial}(n)$ ， $E_{residual}(n)$ 、 $E_{initial}(n)$ 分别表示节点剩余能量和初始能量； $dl(n)$ 表示数据分组在节点 n 的时延。

从节点 a 至 Sink 节点的一条路径可表示为 $P = \{v_a, v_b, \dots, s\}$ 。设一条路径有 3 个 QoS 参数。

$$energy(P) = \min_{n \in P} \{re(n)\} \quad (3)$$

$$delay(P) = \sum_{n \in P} dl(n) \quad (4)$$

$$cost(P) = \sum_{(v_i, v_j) \in P} en(v_i, v_j) \quad (5)$$

其中, $cost(P)$ 表示路径传输数据的能量消耗。 $en(v_i, v_j)$ 表示节点间的通信能量消耗,按式(1)、式(2)计算。

对于 K 类数据,路径函数定义为

$$f(P_k) = \omega_K^e (energy(P_k) - E_{min}) + \omega_K^d (D_{max} - delay(P_k)) + \omega_K^c / cost(P_k) \quad (6)$$

E_{min} 、 D_{max} 分别表示路径最小能量剩余率和最大可容忍时延。 ω_K^e 、 ω_K^d 、 ω_K^c 是加权因子。WMSNs 的路由问题是为各类数据寻找能够使得 $f(P_k)$ 值尽可能大的路径,这是一个 NP 难问题^[11]。本文采用蚁群优化算法来尝试解决该问题。蚁群优化算法在网络路由设计上已经取得了良好的效果^[12-14]。

3 DSACO 路由协议

网络部署后,网络先完成分层和节点间的信息交换。在 2.2 节中已经对网络分层的方法进行了描述。节点间的信息交换是通过节点广播 hello 数据完成的。

3.1 hello 数据

hello 数据在网络分层和节点间的信息交换时都有用到。hello 数据分组含如下内容: $type$ 、 ID 、 $layer$ 、 Re 、 $link$ 。

$type$ 表示数据类型为 hello 数据, ID 、 $layer$ 、 re 分别表示发送节点的 ID 、层和剩余能量。 $link$ 用于表明节点是否已经建立了到 Sink 节点的路径。节点收到其他节点的 hello 信息后,完成相关信息的更新。

3.2 蚂蚁数据

蚂蚁数据用于建立源节点至 Sink 的路径,记录了蚂蚁经过的路径上的信息。蚂蚁数据分组含如下内容: $type$ 、 ID 、 $data$ 、 $toSink$ 、 hop 、 $energy(P)$ 、 $delay(P)$ 、 $cost(P)$ 、 $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$

$type$ 表示数据类型为蚂蚁数据; ID 表示源节点, $data$ 表示蚂蚁所服务的数据类型; $toSink$ 用于区分前向蚂蚁和后向蚂蚁; $energy(P)$ 、 $delay(P)$ 、 $cost(P)$ 的含义见式(3)、式(4)、式(5); hop 记录蚂蚁经过的跳数; $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 是蚂蚁依次经过的节点的集合。

3.3 信息素表

信息素表记录了节点 i 与邻居节点间的信息素。信息素表的结构如表 1 所示。

表 1		信息素		
neighbor	τ_e	τ_d	τ_c	ant
$n_i(1)$	$\tau_{e(1)}$	$\tau_{d(1)}$	$\tau_{c(1)}$	
$n_i(2)$	$\tau_{e(2)}$	$\tau_{d(2)}$	$\tau_{c(2)}$	
...				
$n_i(k)$	$\tau_{e(k)}$	$\tau_{d(k)}$	$\tau_{c(k)}$	

$n_i(1)$ 、 $n_i(2)$ 、 \dots 、 $n_i(k)$ 表示邻居节点; τ_{ie} 、 τ_{id} 、 τ_{ic} 3 种信息素分别与 $energy(P)$ 、 $delay(P)$ 、 $cost(P)$ 相对应,初始时取值均为 1。 ant 用于表明是否已经经过该节点建立了节点 i 到 Sink 的路径,初始取值为 0,在蚂蚁经过该邻居节点建立了节点 i 到 Sink 节点的路径后取值为 1。

3.4 路由建立

源节点有数据需要发送时先检查是否有到 Sink 节点的路径,如果没有就需要发送蚂蚁数据建立路径。根据蚂蚁是否已经到达过 Sink 节点可以将蚂蚁分成前向蚂蚁和后向蚂蚁。

从源节点出发前往 Sink 节点的蚂蚁称为前向蚂蚁。前向蚂蚁的任务是搜索从源节点到 Sink 节点的路径。假设前向蚂蚁现在处于节点 i 。 N_i 是节点 i 的邻居节点的集合, $T = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 是蚂蚁经过的节点集合。前向蚂蚁需要从 N_i 中选择一个节点作为前向蚂蚁的下一跳节点。如果 $Sink \in N_i$, 则选择 Sink 节点作为下一跳节点; 否则按概率从 N_i 中选择一个节点作为下一跳节点。设定可以作为下一跳节点的节点 $j \in N_i$ 需满足: $layer(j) \leq layer(i)$ 且 $j \notin T$ 。满足设定的节点构成集合 Avi 。如图 2 所示,假设由节点 3 发出的前向蚂蚁到达了节点 1,则节点 4、5、8 有可能成为前向蚂蚁的下一跳节点,而节点 3、6 不可能。通常 WMSN 中的节点数量众多,而且分布密集。通过上述设定可以提高蚂蚁搜索路径的效率。

前向蚂蚁从节点 i 转移到节点 j 的概率按式(7)计算。式(7)、式(8)中, K 表示蚂蚁所服务的数据类型; γ_e^K 、 γ_d^K 、 γ_c^K 是加权因子,不同类型数据的加权因子取值不同。

$$p_i^K(j) = \begin{cases} \frac{\psi_i^K(j)}{\sum_{m \in Avi} \psi_i^K(m)}, & j \in Avi \\ 0, & \text{其他节点} \end{cases} \quad (7)$$

$$\psi_i^K(j) = \gamma_e^K \tau_{ie}(j) + \gamma_d^K \tau_{id}(j) + \gamma_c^K \tau_{ic}(j) \quad (8)$$

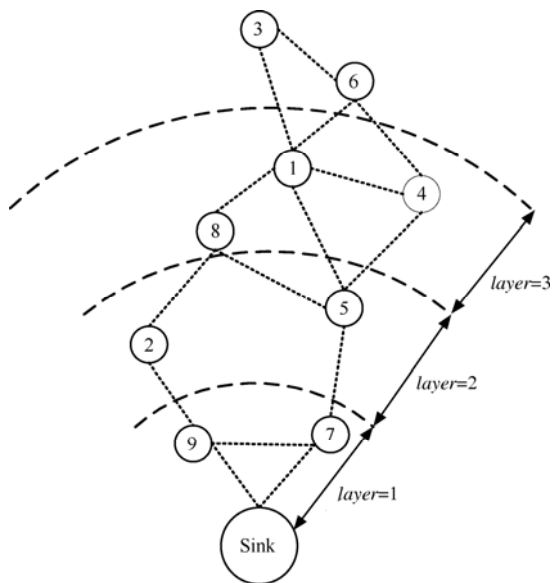


图 2 蚂蚁搜索范围

前向蚂蚁到达 Sink 节点后, Sink 节点生成对应的后向蚂蚁。后向蚂蚁沿着与前向蚂蚁相反的路径返回源节点, 并对 $energy(P)$ 、 $delay(P)$ 和 $cost(P)$ 进行更新。节点 i 收到从节点 j 发出的后向蚂蚁后, 进行信息素的更新。信息素更新方式如下。

$$\tau_{ie}(j) = (1 - p)\tau_{ie}(j) + \rho \cdot energy(P) \quad (9)$$

$$\tau_{id}(j) = (1 - p)\tau_{id}(j) + \rho \cdot rdelay / delay(P) \quad (10)$$

$$\tau_{ic}(j) = (1 - p)\tau_{ic}(j) + \rho \cdot rcost / cost(P) \quad (11)$$

ρ ($0 < \rho < 1$) 是信息素挥发系数; $rdelay$ 、 $rcost$ 是参考值。取节点收到的第一个后向蚂蚁的 $delay(P)$ 、 $cost(P)$ 分别作为该节点 $rdelay$ 、 $rcost$ 的值。通过选取参考值使得数据传输的时延、能量消耗等信息相互间具有可比性。

3.5 数据发送

源节点与 Sink 节点的路径建立完成后就能够进行数据的发送。对于节点 i , 如果 $layer(i)=1$ 数据直接发送到 Sink 节点, 否则选择 Φ 值最大的邻居节点作为数据转发节点。 Φ 根据式(12)计算。源节点在发送数据的过程中仍发送少量的蚂蚁进行路径的维护和更新。为了减少数据发送的等待时间, 在网络初始阶段各节点发送少量蚂蚁预先建立路由。

$$\Phi_i^K(j) = \begin{cases} \gamma_e^K \tau_{ie}(j) + \gamma_d^K \tau_{id}(j) + \gamma_c^K \tau_{ic}(j), & ant = 1 \\ 0, & ant = 0 \end{cases} \quad (12)$$

4 实验仿真

4.1 仿真环境

本文利用 NS2.34 进行仿真实验以验证新协议的有效性。实验场景: 在 $200m \times 200m$ 的区域内随机部署 200 个节点, Sink 节点位于(40,40)。根据采集数据的不同将源节点分为 2 类: 简单数据源节点和多媒体数据源节点。简单数据(simple)传输注重能量效率; 多媒体数据(multimedia)时延敏感。同时数据在传输时应尽量避开剩余能量少的节点。综上所述, 式(8)、式(12)中的各类数据的加权因子取值如表 2 所示。

数据类型	γ_e	γ_d	γ_c
简单数据	1	0	2
多媒体数据	1	2	0

仿真实验中其他参数设置见表 3。源节点在 0 到 200s 的一个随机时刻开始向 Sink 节点发送数据。

参数名称	取值
节点最大通信距离	30m
节点初始能量	3J
MAC 层	802.11
多媒体数据源节点	10 个
简单数据源节点	30 个
源节点数据分组产生速率	5packet/s
简单/多媒体数据分组大小	512byte
单个源节点产生简单/多媒体数据分组数目	60,90,120, ..., 300
θ	2
能量模型	E_{elec} 50nJ/bit
	ϵ_{amp} 100pJ/(bit·m ²)
ρ	0.7

分别采用 DSACO 与 AODV 进行仿真实验。实验结果取多次实验的平均值。

4.2 仿真结果及分析

1) 平均端到端时延。各类数据的平均端到端时延如图 3 所示。从图中可以看出, DSACO 中各类数据的平均时延要小于 AODV。特别是随着源节点发送数据的增多, AODV 中各类数据的

平均时延显著增加。AODV 中的两类数据的平均时延相差很小。DSACO 中的两类数据在源节点发送数据分组的数目较少时延相差甚小，随着发送数据的增多，简单数据的平均时延比多媒体数据的平均时延能多出 20%。

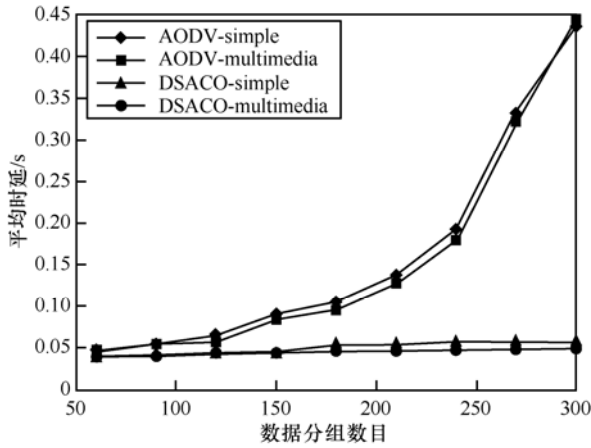


图 3 平均端到端时延

2) 分组丢失率。DSACO 和 AODV 的分组丢失率对比如图 4 所示。随着源节点发送数据的增多，DSACO 和 AODV 的分组丢失率都逐渐增加。在网络负载较大时，AODV 的分组丢失率要高于 DSACO。在 DSACO 中，多媒体数据的分组丢失率要比简单数据的小。这是因为多媒体数据能够以更小的时延传送到 Sink 节点，减小了数据分组丢失的可能性。

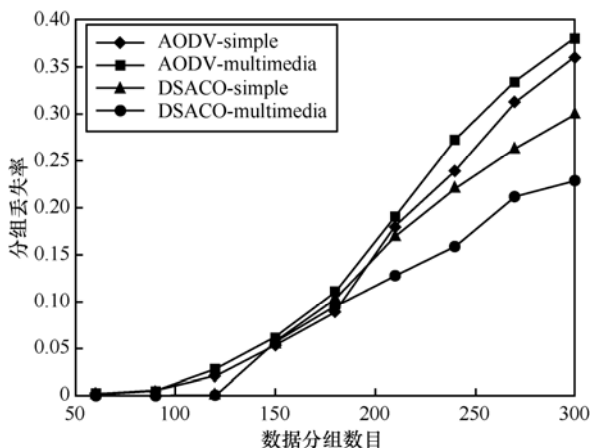


图 4 分组丢失率

3) 能量消耗。DSACO 和 AODV 的能量消耗如图 5 所示。当源节点发送的数据比较少时，DSACO 消耗的能量略高于 AODV。随着源节点发送数据的增多，AODV 消耗的能量比 DSACO 高出许多。这

是因为 DSACO 在网络初始阶段要消耗一部分能量进行节点间的信息交换、网络分层和预先建立路由。当源节点发送数据较少时 DSACO 并不节能，但随着源节点发送数据的增多 DSACO 的节能优势逐渐体现出来。

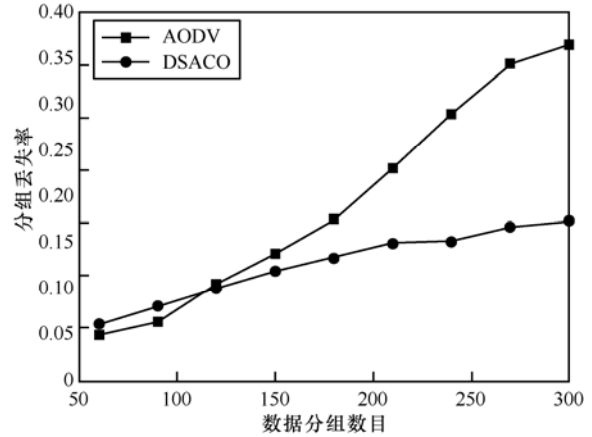


图 5 能量消耗

5 结束语

本文提出了对 WMSN 中多种类型数据进行区分服务的路由协议 DSACO。DSACO 根据数据的 QoS 需求搜索和选取传输路径。仿真结果表明，新协议能够有针对性地满足各类数据的 QoS 需求，并能有效地减少能量消耗。同时，在网络分层的基础上限定蚂蚁的搜索范围不仅能够减少建立路由的时间和能量消耗，还使得新协议具有良好的扩展性。下一步工作是在更加深入地研究多媒体数据的产生和传输后改进协议。

参考文献：

[1] AKYILDIZ I F, MDLODIA T, CHOWDHURY K R. A survey on wireless multimedia sensor networks[J]. Computer Networks, 2007, 51(4): 921-960.

[2] 周灵, 王建新. 无线多媒体传感器网络路由协议研究[J]. 电子学报, 2011, 39(1): 149-156.

ZHOUL, WANG J X. Research on routing protocol in wireless multimedia sensor networks[J]. Aeta Electronic Sinca, 2011, 39(1): 149-156.

[3] AKKAYA K, YOUNIS M. An energy aware QoS routing protocol for wireless sensor networks[A]. IEEE Proceedings of 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops[C]. USA, 2003. 710-715.

[4] HE T, STANKOVIC J A, LU C, *et al.* A spatiotemporal communication protocol for wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2005, 16(10): 995-1006.

[5] FELEMBAN E, LEE C G, EKICI E. MMSPEED: multipath multi-speed protocol for QoS guarantee of reliability and timeliness in wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006, 5(6):738-754.

[6] SHU L, ZHANG Y, LAURENCE T, *et al.* TPGF:geographic routing in wireless multimedia sensor networks[J]. Telecommunication Systems, 2010, 44: 79-95.

[7] COBO L, QUINTERO A, PIERRE S. Ant-based routing for wireless multimedia sensor networks using multiple QoS metrics[J]. Computer Networks, 2010, 54: 2991-3010.

[8] DORIGO M, STUTZLE T. 蚁群优化[M].北京:清华大学出版社, 2007.
DORIGO M, STUTZLE T. Ant Colony Optimization[M]. Beijing: Tsinghua University press, 2007.

[9] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[A]. Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences[C]. Maui, USA, 2000. 1-10.

[10] WADAA A, OLARIU S, WILSON L, *et al.* Training a wireless sensor network[J]. Mobile Networks and Applications, 2005, 10(1-2): 151-168.

[11] FENG G, DOULIGERIS C, MAKKI K, *et al.* Performance evaluation of delay-constrained least-cost QoS routing algorithms based on linear and nonlinear lagrange relaxation[A]. IEEE International Conference on Communications, ICC 2002[C]. USA, 2002: 2273-2278.

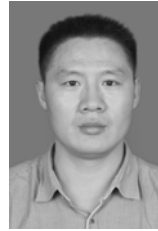
[12] 崔艳荣,李克清.传感器网络中基于蚁群优化的数据查询协议[J].软件学报, 2010, 21(4):793-801.
CUI Y R, LI K Q. Data query protocol based on ant colony optimization for wireless sensor networks[J]. Journal of software, 2010, 21(4): 793-801.

[13] MISRA S, DHURANDHER S K, OBAIDAT M S, *et al.* An ant

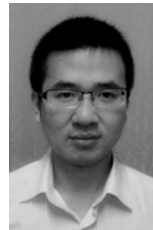
swarm-inspired energy-aware routing protocol for wireless ad-hoc networks[J]. The Journal of Systems and Software, 2010, 83(11): 2188-2199.

[14] SALEEM M, CARO G A D, FAROOQ M. Swarm intelligence based routing protocol for wireless sensor networks: survey and future directions[J]. Information Sciences, 2011, 181(20): 4597-462.

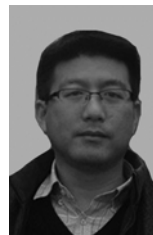
作者简介:



孙彦景 (1977-), 男, 山东滕州人, 中国矿业大学教授、博士生导师, 主要研究方向为矿井无线通信与监控、矿山物联网。



方卫 (1987-), 男, 江西丰城人, 中国矿业大学硕士生, 主要研究方向为无线传感器网络。



刘卫东 (1976-), 男, 山东东营人, 中国矿业大学副教授、硕士生导师。主要研究方向为矿井监测监控、数字信号处理。



孟冲 (1981-), 男, 江苏徐州人, 中国矿业大学硕士生, 主要研究方向为无线传感器网络。