

基于非均匀分簇多跳通信的改进 Q-Leach 研究

王东东, 崔宝同

(江南大学 物联网工程学院 江苏 无锡 214122)

摘要: 为了进一步提升 Q-Leach 协议的性能, 均衡无线传感器网络能量消耗, 文中提出了一种改进型路由协议 UMQ-Leach。该路由协议合理利用了 Q-Leach 协议的子区域划分规则, 借此简化了簇间多跳通信机制; 为了进一步均衡网络能耗, 引入了非均匀分簇策略, 并设计了随节点能量变化的自适应竞争半径, 通过自适应竞争半径改善了协议性能。仿真结果表明, 与 Leach、Q-Leach 协议相比, UMQ-Leach 具有更好的网络能耗均衡性, 进一步延长了网络的生命周期。此外, 仿真结果同样说明 UMQ-Leach 协议中最大竞争半径的选取能够影响协议性能。

关键词: 无线传感器网络; Q-Leach 协议; 非均匀分簇; 多跳通信

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2015)02-0212-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2015.02.048

Research on Modified Q-Leach Routing Protocol Based on Unequal Clustering and Multiple Hops Routing

WANG Dong-dong, CUI Bao-tong

(School of IoT Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In order to enhance the performance of the Q-Leach routing protocol and balance the energy consumption of the wireless sensor network, propose a modified routing protocol called UMQ-Leach. The proposed routing protocol takes use of the sub-region partitioning rules of Q-Leach to simplify the multiple hops communication mechanism. Besides, in order to balance network energy consumption further, the unequal clustering strategy is introduced and adaptive competition radius changing with node energy is also designed to further improve the protocol performance. The simulation results show that the UMQ-Leach has better performance compared with Leach and Q-Leach in prolonging the life cycle as well as balancing the network energy consumption. What's more, the results also show that the value of maximum competition radius can impact the performance of UMQ-Leach.

Key words: WSN; Q-Leach; unequal clustering; multiple hops communication

0 引言

无线传感器网络^[1]中, 能耗主要是节点与节点之间以及节点与基站间的通信消耗, 因此路由协议的有效性对于整个网络的性能有着至关重要的影响。分簇路由协议^[2]是一类能量感知路由协议, 能够均衡网络的能量消耗, 延长网络的生命周期。

随着无线传感器网络技术的发展, 越来越多的学者致力于分簇路由协议的研究, 提出了诸多能量高效的分簇路由协议。文献[3]提出的 Leach 是一种典型的低功耗分簇路由协议, 通过簇首轮换机制均衡网络的能量消耗; 文献[4]提出的 PEGASIS 协议是对 Leach

协议的改进, 采用单簇方式, 避免了 Leach 协议簇首频繁更换的通信能耗; 文献[5]提出的 Leach-C 是一种集中式的分簇路由协议, 通过对簇首选择过程加以能量限制, 避免低能量节点过早死亡, 延长网络生命周期; 文献[6]中的 SEP 协议在网络中引入高能量节点, 充分利用了节点的异构性; 文献[7]运用粒子群算法^[8](PSO)优化 Leach 协议的簇首选择过程, 提高网络性能; 文献[9]利用节点剩余能量等改善了簇首选择, 并通过 Hopfield 算法^[10]设计多跳通信路径; 文献[11]提出的 EEUC 算法, 通过非均匀分簇均衡网络能量消耗; 文献[12]提出的 Q-Leach 协议, 通过网络子区域的划分改善了 Leach 协议的分簇过程。

收稿日期: 2014-03-18

修回日期: 2014-06-25

网络出版时间: 2014-12-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61174021)

作者简介: 王东东(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向为无线网络路由协议; 崔宝同, 博士生导师, 教授, 研究方向为控制理论及其在应用、复杂系统控制理论与应用。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20141227.1347.038.html>

Q-Leach 是一种能量高效的分簇路由协议, 但因其沿用了 Leach 协议的簇首选择以及通信机制, 网络在节点能耗的均衡性以及有效性方面存在不足。因此, 文中提出了一种基于 Q-Leach 的改进型多跳分簇路由协议, 通过在簇首选择过程中引入竞争半径以及在稳定通信阶段引入簇首的多跳通信, 进一步优化分簇过程, 均衡网络的能量消耗。

1 无线通信模型

无线通信模型为第一信道模型^[13], 节点能量消耗主要包括三部分: 数据发送消耗、数据接收消耗以及数据融合消耗。

(1) 数据发送消耗。

$$E_{TX} = \begin{cases} l \cdot E_{elec} + l \cdot \varepsilon_{fs} d^2, & \text{if } d < d_0 \\ l \cdot E_{elec} + l \cdot \varepsilon_{mp} d^4, & \text{if } d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)为发送 l 比特的数据所消耗的能量。其中, E_{elec} 为发送一个比特数据消耗的能量; ε_{fs} 和 ε_{mp} 分别为自由空间信道模型和多路径衰减模型的单位数据放大功率; d_0 为常值; d 为节点间的距离。

(2) 数据接收消耗。

$$E_{rx}(\mu) = \varepsilon_{rx} \cdot l \quad (2)$$

式(2)为节点接收 l 比特数据的能量消耗。其中, ε_{rx} 是接收一个比特数据的能量消耗。

(3) 数据融合能量消耗。

$$E_{da}(n, l) = \varepsilon_{da} \cdot (n \cdot l) \quad (3)$$

式(3)为融合 n 个 l 比特的数据包所消耗的能量。其中, ε_{da} 为融合一个比特的数据消耗的能量。

2 非均匀分簇多跳 Q-Leach 路由协议

2.1 Q-Leach 分簇路由协议

Q-Leach 协议是一种能量高效的分簇路由协议, 工作过程与 Leach 协议相似, 同样为周期性的“轮”。在每一轮中, 包括分簇与稳定通信两个阶段。分簇阶段, 节点间采用 Leach 协议的选择策略进行簇首选择, 节点产生随机数, 并与阈值 $T(n)$ 比较。若该节点在前面的轮中未当选簇首, 且产生的随机值小于 $T(n)$, 则节点当选为簇首(CH), 并广播簇首信息; 否则, 节点不能当选为簇首。 $T(n)$ 的计算公式如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \lceil \text{rmod}(\frac{1}{p}) \rceil} & n \in G \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

稳定通信阶段, 簇首节点接收簇内节点收集到的各项数据, 通过进一步的处理与融合后, 最终发送至汇聚节点(Sink), 完成通信。

Q-Leach 协议相较于 Leach 协议, 改善了分簇阶

段的成簇过程。Q-Leach 将监测区域 M 分为四个等分的子区域 m_1 、 m_2 、 m_3 、 m_4 , 监测区域表示如下:

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 \quad (5)$$

每个子区域内的非簇首节点限制入簇其他区域的簇首节点, 优化后的分簇示意图如图1所示。通过子区域的划分, 优化了簇首位置, 同时 Q-Leach 对每个子区域内的簇首节点数目进行了限制, 减少了与汇聚节点的通信消耗, 延长了网络的生命周期。

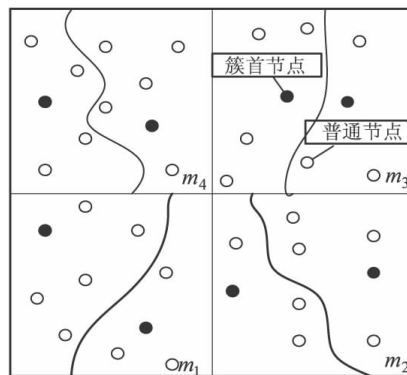


图1 Q-Leach 分簇示意图

Q-Leach 路由协议虽然能在一定程度上改善分簇路由协议的分簇过程, 但因同样沿用了 Leach 协议的分簇及通信方式, 仍可能造成网络能耗的不均衡, 影响网络的生命周期。针对以上问题, 在 Q-Leach 协议的基础上提出了能量均衡的 UMQ-Leach 协议。

2.2 UMQ-Leach 路由协议设计

非均匀分簇多跳 Q-Leach 路由协议是对 Q-Leach 协议的改进。改进的基本思想如下: 引入多跳通信机制, 利用 Q-Leach 协议的区域划分思想, 通过能量、距离代价函数的计算由远及近进行下一跳节点选择; 多跳通信机制存在“热点”问题, 为此引入非均匀分簇思想, 通过自适应竞争半径对网络进行非均匀分簇。

2.2.1 自适应竞争半径的非均匀分簇

非均匀分簇是无线传感器网络“热点”问题的一种解决方案, 通过增加基站附近的簇首节点数量, 避免个别簇首节点因转发大量数据包过早耗尽能量。文献[11]提出的 EEUC 协议中给出了竞争半径的概念, 并给出了节点 i 的竞争半径 $S(i)$ 、RC 的计算公式:

$$S(i) \cdot RC = \left[1 - c \frac{d_{\max} - d(i, BS)}{d_{\max} - d_{\min}} \right] R_{\text{comp}}^0 \quad (6)$$

其中, d_{\max} 为网络中节点与基站距离的最大值; d_{\min} 为网络中节点与基站距离的最小值; R_{comp}^0 为竞争半径的最大值; $d(i, BS)$ 为节点 i 到基站的距离。

在 EEUC 协议中, 节点竞争半径在整个生命周期内恒定。但随着节点能量的减小, 竞争半径应相应的减小, 增加基站周围的簇首数量, 以此保护基站周围的低能量节点。文中在计算竞争半径时, 考虑节点能量的影响, 竞争半径随节点剩余能量变化, 提出了如下竞

争半径计算公式:

$$S(i) \cdot RC = \left[1 - c \frac{d_{\max} - d(i, BS)}{d_{\max} - d_{\min}} \right] R_{\text{comp}}^0 \cdot w \quad (7)$$

$$w = 1 - \exp\left(-\frac{E_{\text{cur}}}{E_0}\right) \quad (8)$$

其中, E_{cur} 为节点的当前能量; E_0 为节点的初始能量。

UMQ-Leach 沿用了 Q-Leach 的网络区域划分机制, 对在同一子区域内的候选簇首进行簇头竞争操作。普通节点通过产生随机值与阈值 $T(n)$ 进行比较, 决定是否当选候选簇首。如若当选, 候选簇首广播包含节点 ID、节点能量以及节点所属区域标识等信息的控制数据包。同一区域内的候选簇首按如下规则进行竞争:

规则 1: 在竞选过程中, 若候选簇首节点 i 全部竞选获胜, 则在节点 i 竞争半径内的, 同属同一子区域的所有候选簇首均不能成为最终簇首, 退出竞选过程。

候选簇首 i 的竞争邻居候选簇首集合定义如下:

定义 1: 在 UMQ-Leach 簇首竞选机制中, 候选簇首 i 的竞争邻居候选簇首集合 NTC_i 为:

$$NTC_i = \{j | j \text{ 为候选簇首, 且区域标识相同 } d_{ij} < \max(S(i) \cdot RC, S(j) \cdot RC)\}$$

竞争操作结束后, 各簇首节点广播簇首信息, 普通节点依据所属子区域标识以及接收数据包信号强度选择相应的簇首入簇, 分簇完成。

2.2.2 簇间多跳通信路径建立

考虑 UMQ-Leach 的子区域划分方法, 监测区域在 y 轴方向分为均匀的两层 y_1 和 y_2 。文中在建立多跳通信路径时, 利用簇首节点的层次关系简化了最优路由的建立机制, 节省路径建立能量消耗。

图 2 为多跳通信示意图。节点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 为本轮的簇首节点, 定义簇首 A 、 B 、 C 属监测区域的 y_1 , 而 D 、 E 为 y_2 。假设 m_1 子区域内的簇首 A 建立多跳通信, 首先节点 A 在通信半径内发送包含节点能量、位置信息、所属层次以及子区域表示的控制数据包。通信半径内的簇首节点接收控制包信息, 并返回包含相关信息的控制数据包。若监测区域的第二层存在能够通信的节点, 则选择节点间距离最小的簇首节点进行通信, 如图 2 实线路径; 否则, 首先在在第一层能够通信的簇首节点集合中, 选择代价函数值大的节点作为下一跳通信节点, 如图 2 虚线路径。代价函数计算公式如下:

$$f = \alpha \frac{E(i)}{E(j)} + (1 - \alpha) \frac{d_{i, BS}}{d_{j, BS} + d_{ij}} \quad (9)$$

式中, $E(i)$ 为发送数据的节点能量; $E(j)$ 为候选

转发簇首的能量; $d_{i, BS}$ 、 $d_{j, BS}$ 是节点到基站的距离; d_{ij} 为两节点之间的距离; α 为 $(0, 1)$ 之间的常值。

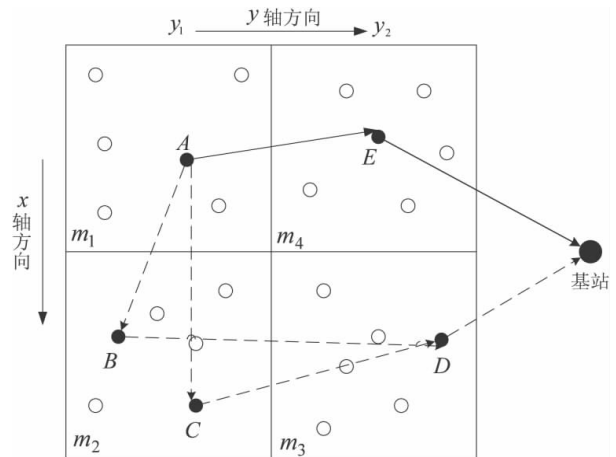


图 2 多跳通信示意图

通信路径建立后, 簇首节点发送数据包, 经各中继节点处理、融合后, 转发至下跳节点, 直至转发至基站, 完成通信过程。

2.2.3 路由算法描述

UMQ-Leach 协议沿用 Leach 协议的工作方式, 每轮通信包括分簇和稳定通信两个阶段。分簇阶段, 非均匀分簇在一定程度上优化了簇内节点数量以及成簇规模, 均衡了网络的整体能量消耗。稳定通信阶段, 多跳通信机制减少了簇首节点与基站直接通信的数据量, 节省了簇首节点的能量消耗, 延长了网络的生命周期。

对一个有 N 个节点的无线传感器网络, 假设各子区域簇首节点上限为 k , 且网络中所有节点的位置已知, UMQ-Leach 算法描述如下:

(1) 候选簇首选择: 网络中各节点产生 $[0, 1]$ 之间的随机数, 若该数小于阈值 $T(n)$, 该节点为候选簇首节点, 并向其他节点发送包含自身能量、位置、竞争半径、子区域标识以及所属监测区域层次的控制数据包 CP_1 。

(2) 簇的形成: 各候选簇首节点接收相同子区域内候选簇首发送的 CP_1 , 比较分析各候选簇首节点的竞争半径, 如若竞争成功, 通过竞争规则进行竞争决定各自区域内的簇首, 广播包含最终簇首信息的控制数据包 CP_2 。子区域内各节点接收数据信息, 判断自身是否为簇首节点, 若是广播控制数据包 CP_3 ; 否则, 接收簇首节点的控制数据包, 依据信号强度入簇。

(3) 稳定通信: 分簇结束后, 簇首节点接收簇内成员感知的数据, 经过融合处理后, 通过多跳方式发送至基站。

稳定通信结束, UMQ-Leach 路由协议的一轮结束, 如此反复直至网络的生命周期结束。

3 仿真分析

3.1 仿真参数设置

文中为验证改进协议的有效性,运用 Matlab 对其进行仿真验证,并与 Leach、Q-Leach 协议进行对比。仿真参数的设置如表 1 所示。

表 1 仿真参数设置

参数名称	参数值
仿真区域范围	100 m × 100 m
基站位置	(50, 150)
节点数	100
初始能量/J	0.5
数据包/bit	5 000
控制数据包/bit	400
p	0.05
ε_{mp}	0.001 3 pJ/(bit · m ²)
ε_{fs}	
ε_{tx}	10 pJ/bit
ε_{rx}	50 nJ/bit
ε_{da}	5 nJ/bit

3.2 仿真结果分析

生命周期有多重定义方式,文中取节点第一次死亡时间为网络的生命周期。图 3 为文中提出的 UMQ-Leach 协议与 Leach、Q-Leach 协议的生命周期对比。通过比较可以得出改进后的 UMQ-Leach 协议比 Q-Leach 以及 Leach 延长了网络的生命周期,说明改进后的路由协议具有更好的网络能耗均衡性以及能量利用效率。

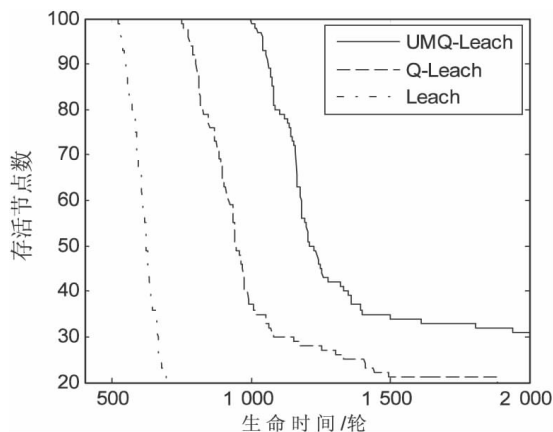


图 3 生命周期比较

此外,文中在进行非均匀分簇过程中,取竞争半径的最大值 R_{comp}^0 为分簇路由协议最优半径 R_{opt} 的 δ 倍,即:

$$R_{comp}^0 = \delta \cdot R_{opt} \quad (10)$$

根据文献[14]推导出的最优半径计算公式以及仿真参数计算可得 $R_{opt} = 20.7719$ 。文中的竞争操作在四个子区域内进行,推测 $\delta = 0.25$ 为最优取值。在

不同最大竞争半径条件下,网络生命周期的仿真结果对比如图 4 所示。

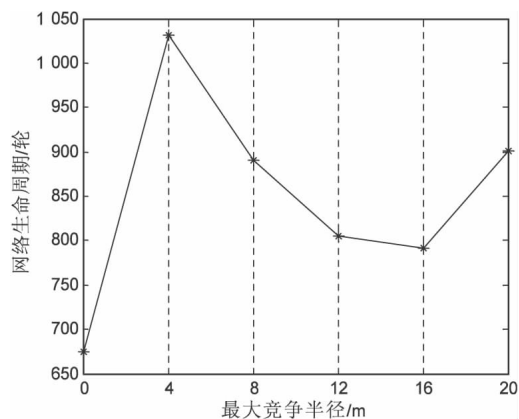


图 4 不同最大竞争半径下的生命周期

从图 4 中可以看出,在最大竞争半径为 4 m 时网络的生命周期最大,这与推测基本一致,即 UMQ-Leach 协议的最优最大半径约为 R_{opt} 的四分之一。

4 结束语

文中提出了一种改进的 Q-Leach 路由协议,通过非均匀分簇以及自适应竞争半径的引入均衡网络的能量消耗。利用 Q-Leach 路由协议的子区域划分机制,改善了簇首间的多跳通信,进一步减少了能量消耗。通过仿真验证以及对结果的分析,充分说明 UMQ-Leach 协议提高了整个网络能量消耗的均衡性,达到了延长网络生命周期的目的。

参考文献:

- [1] 孙利民. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] 沈波, 张世永, 钟亦平. 无线传感器网络分簇路由协议[J]. 软件学报, 2006, 17(7): 1588-1600.
- [3] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//Proc of annual Hawaii international conference on system sciences, Hawaii [s. n.], 2000.
- [4] Lindsey S, Raghavendra C, Sivalingam K M. Data gathering algorithms in sensor networks using energy metrics[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2002, 13(9): 924-935.
- [5] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [6] Yarvis M D, Kushalnagar N, Singh H, et al. Exploiting heterogeneity in sensor networks[C]//Proc of 24th annual joint conference of the IEEE computer and communications societies, Miami: IEEE, 2005: 878-890.

(下转第 220 页)

场地光照条件的影响比较大,造成的误检很频繁,而文中提出的新方法可以有效地避免这一干扰,取得了一定的进步。

表 1 对比实验数据

	实际镜头个数	分块颜色直方图方法			文中的新方法		
		正确检出个数	误检个数	漏检个数	正确检出个数	误检个数	漏检个数
NBA	7	6	4	1	7	1	0
CBA	6	5	3	1	6	0	0

4 结束语

文中在研究前人有关视频镜头分割技术的基础上,结合篮球赛事视频本身的特点,提出了一种不同于以往视频分割技术的新方法,以期后续研究工作做一些铺垫,从而让更多的篮球视频研究者从中受益。虽然这个方法取得了一定的成功,但同时也存在一些顾虑:

(1) 分割的依据是篮球场地的三分线开口方向,这个准则是否符合视频镜头分割技术的有效范畴有待商榷;

(2) 没有充分考虑到特殊的镜头切换效果给分割带来的影响,还需继续完善;

(3) 该方法工程应用性较强,在理论支撑和理论创新方面略显不足,后续研究工作还是要在在这方面做进一步努力。

参考文献:

- [1] 刘佳兵. 视频检索中的视频镜头分割技术[J]. 福建电脑, 2007(1): 66-67.
- [2] Ekin A, Tekalp A M. Shot type classification by dominant color for sports video segmentation and summarization[C]//Proc of IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing. [s. l.]: IEEE, 2003: 173-176.

(上接第 215 页)

- [7] Latiff N M A, Tsimenidis C C, Sharif B S. Energy-aware clustering for wireless sensor networks using particle swarm optimization[C]//Proc of 18th international symposium on personal, indoor and mobile radio communications. Athens: IEEE, 2007: 1-5.
- [8] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization[C]//Proc of IEEE international conference on neural networks. Piscataway: IEEE, 1995: 1942-1948.
- [9] 杨伟伟, 刘润杰, 申金媛. 一种基于 LEACH 的高效节能协议[J]. 传感技术学报, 2010, 23(8): 1153-1157.
- [10] 武春涛, 胡艳军. 无线传感器网络 LEACH 算法的改进[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(3): 80-83.

- [3] Kim K, Choi J, Kim N, et al. Extracting semantic information from basketball video based on audio - visual feature[C]//Proc of CIVR2002. London: Springer, 2002: 278-288.
- [4] 庄越挺, 潘云鹤, 吴飞. 网上多媒体信息分析与检索[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 78-79.
- [5] 肖超云, 朱伟兴. 基于 Otsu 准则及图像熵的阈值分割算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(14): 188-189.
- [6] 杨辉, 刘军, 阮松. 基于 Mean Shift 算法视频跟踪研究[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(6): 2062-2066.
- [7] Rosenfeld A. The max Roberts operator is a Hueckel-type edge detector[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, PAMI-3(1): 101-103.
- [8] Deng Caixia, Ma Weifeng, Yin Yin. An edge detection approach of image fusion based on improved Sobel operator[C]//Proc of 2011 4th international congress on image and signal processing. Shanghai: IEEE, 2011: 1189-1193.
- [9] Li Yunfeng, Guo Yonghao, Cao Yukun. Apple image classification method based on the prewitt operator[C]//Proc of 2009 1st international conference on information science and engineering. [s. l.]: [s. n.], 2009: 1161-1163.
- [10] Wang Xin. Laplacian operator-based edge detectors[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(5): 886-890.
- [11] 刘瑞祯, 于仕琪. OpenCV 教程 - 基础篇[M]. 第 2 版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007: 225-226.
- [12] 李钰, 孟祥萍. 自适应双阈值 Canny 算子的图像边缘检测[J]. 长春工程学院学报: 自然科学版, 2007, 8(3): 44-46.
- [13] 李亚利, 王生进, 胡斌, 等. 基于改进型抛物线 Hough 变换的眼睛特征提取[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2010, 50(1): 100-103.
- [14] 李静, 张绍武, 杨峰, 等. 改进的随机 Hough 变换抛物线运动目标航迹起始算法[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(2): 42-45.
- [15] 王国宏. Hough 变换及其在信息处理中的应用[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2005: 15-19.

- [11] Li Chengfa, Ye Mao, Chen Guihai, et al. An energy-efficient unequal clustering mechanism for wireless sensor networks[C]//Proc of IEEE international conference on mobile Adhoc and sensor systems. Washington, DC: IEEE, 2005.
- [12] Manzoor B, Javaid N, Rehman O, et al. Q-LEACH: a new routing protocol for WSNs[J]. Procedia Computer Science, 2013, 19: 1-6.
- [13] Latif K, Ahmad A, Javaid N, et al. Divide-and-rule scheme for energy efficient routing in wireless sensor networks[J]. Procedia Computer Science, 2013, 19: 340-347.
- [14] 刘明, 曹建农, 陈贵海, 等. EADEEG: 能量感知的无线传感器网络数据收集协议[J]. 软件学报, 2007, 18(5): 1092-1109.