

# 基于视觉相关性的无线多媒体传感器网络节能策略

杨晓陶<sup>1,2</sup>, 闻英友<sup>1,2</sup>, 陈继洋<sup>3</sup>, 赵宏<sup>1,2</sup>  
(1. 东北大学 计算机科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110169; 2. 东软集团 软件架构新技术国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110169;  
3. 德克萨斯主教学校, 德克萨斯 圣安东尼奥 78249)

**摘 要:** 针对资源受限的纯相机无线多媒体传感器网络的能量消耗问题,改进了视觉相关性算法,并提出了一种新颖的基于视觉相关性的完全分布式节能策略. 首先,根据视觉相关性系数算法计算相机的视觉相关性系数向量;其次,利用视觉相关性系数向量得到相机的竞争筹码并以此确定相机的角色;然后,运行两个并行且相互交互的操作:簇头相机根据簇头权重向量确定下一跳并完成路由建立;非簇头相机计算亲密度向量并且得到自己的簇 ID. 最后,实验结果表明本文提出的节能策略能有效地延长资源受限无线多媒体传感器网络的生命周期.

**关 键 词:** 视觉相关性;无线多媒体传感器网络;完全分布式;节能策略;视野重叠

**中图分类号:** TP 393.0      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-3026(2018)05-0613-06

## Energy Conservation Strategy for Wireless Multimedia Sensor Networks Based on Visual Correlation

YANG Xiao-*tao*<sup>1,2</sup>, WEN Ying-*you*<sup>1,2</sup>, CHEN Ji-*yang*<sup>3</sup>, ZHAO Hong<sup>1,2</sup>  
(1. School of Computer Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110169, China; 2. State Key Laboratory of Software Architecture, Neusoft Corporation, Shenyang 110169, China. 3. The Episcopal School of Texas, San Antonio 78249, USA. Corresponding author: WEN Ying-you, E-mail: wenyy@neusoft.com)

**Abstract:** In order to reduce the energy consumption in resource-constrained homogeneous camera wireless multimedia sensor networks (WMSNs), the visual correlation algorithm was developed and a novel fully distributed energy conservation strategy based on the developed visual correlation algorithm was proposed. Firstly, the visual correlation vector was calculated by the visual correlation algorithm. Then, the competition chips were obtained by applying the visual correlation vector, thus the role of camera was determined. After that, two parallel and interactive operations were executed: the cluster head nodes determine its own next-hop and establish the route according to the weight vector; the non-cluster head nodes obtain its own cluster ID by calculating the intimacy vector. Finally, experimental results demonstrate that the proposed strategy can effectively prolong the network lifetime in resource-constrained wireless multimedia sensor networks.

**Key words:** visual correlation; wireless multimedia sensor networks (WMSNs); fully distributed; energy conservation strategy; overlapped FoV(field of view)

与传统的无线传感器网络(wireless sensor networks, WSNs)相比,引入了多媒体传感器的无线多媒体传感器网络(wireless multimedia sensor network, WMSNs)在环境监测、视频监控、目标跟踪等应用领域都有着非常明显的优势<sup>[1]</sup>. 多样化的多媒体数据带来了更大的能量消耗<sup>[2]</sup>. 所以,需要更加有效的节能技术和策略来面对新的能效挑战<sup>[3]</sup>.

分簇式的拓扑结构被认为是最优化配置网络能量消耗的有效手段并且在节点管理等方面也有

着特殊的优势<sup>[4]</sup>. 在一个密集部署的网络中, 相机视野(field of view, FoV)存在着较大程度的重叠覆盖, 因此他们所感知到的图像也会存在较大的视觉相关性(visual correlation, VC)<sup>[5]</sup>. 通过计算相机之间的 VC, 可以估计感知数据的联合熵, 进而可以进行按簇数据压缩以减少传输的数据量<sup>[6]</sup>. 因此, 基于视觉相关性的分簇节能策略被提出. Alaei 等基于等腰三角形 FoV 模型, 提出了一种基于 FoV 覆盖重叠率的单簇成员(SCM)算法<sup>[7]</sup>. 该算法通过设置 FoV 覆盖重叠率阈值以最大化各个簇的平均覆盖重叠率. 文献[8]改进了文献[7]的工作, 提出了一种多成员能效分簇(MCM)算法. MCM 算法基于这样一个假设: 如果拥有重叠 FoV 的相机之间的 VC 超过覆盖重叠率阈值, 则可以被同时分到多个簇中. Zhang 等<sup>[9]</sup>利用改进的 FoV 模型——扇形 FoV 模型, 提出了基于节点相关性的 WMSN 节能分簇(NCC)算法. NCC 算法采用网格计数方式来估算扇形相交面积, 取得了很好的实验效果, 同时该算法具有算法简单, 系统开销小等优点. 以上这些算法都将 VC 定义为 FoV 的重叠覆盖率, 这种定义不能够准确地描述相机之间的视觉相关性而导致节能算法的性能相应地下降. 另外, 以上的节能算法都是集中式的, 不利于将算法移植到较大规模的 WMSNs 中.

针对以上工作中存在的不足, 本文引入更加准确的 VC 定义并改进了视觉相关性系数(visual correlation coefficient, VCC)算法, 同时提出了一种基于 VCC 向量的分布式节能(VC-DEC)策略. 实验结果表明该算法能够有效地减少能量消耗和提升相机能效平衡.

## 1 视觉相关性算法

如前文所述, 相机的观测范围被限制于有向的 FoV 内. 基于 2D 理想平面的简单 FoV 模型, 如图 1a 所示. 由图 1a 可知, 相机的 FoV 可以被表示为一个 4 元组:  $(L, R, \vec{V}, \alpha)$ , 其中,  $L$  和  $R$  分别表示相机的位置和感知半径;  $\vec{V}$  表示相机的感知方向, 即感知范围的角分线;  $\alpha$  表示  $\vec{V}$  两侧的离散角. 为了方便研究, 引入感知方向和  $X$  轴正方向的交角  $\beta \in [0, 2\pi)$ . 以上这些 FoV 参数都可以通过 WMSNs 相机校准算法来确定或者估计.

文献[5]通过对视觉成像原理的研究, 定义了视觉信息空间相关性模型以描述相机感知图像之间的相关性特征. 其基于坐标变换理论, 通过比

较同一参考点的多个参考向量在不同相机像平面上投影的差异度来定义相机的空间相关性. 该方法充分利用了几何变换的优势, 获得了远低于图像匹配相关性算法的计算复杂度.

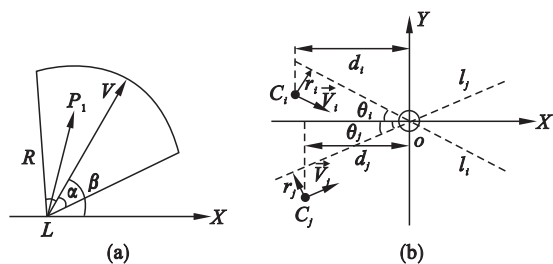


图 1 扇形视野模型和文献[5]提出的视觉相关性模型  
Fig. 1 Fan-shaped FoV model and the visual correlation model in literature[5]

(a)—扇形视野模型; (b)—文献[5]提出的视觉相关性模型.

如图 1b 所示, 以被观测目标为原点建立平面直角坐标系, 两个相机  $C_i$  和  $C_j$  部署在  $XoY$  平面上. 其中,  $\vec{V}_i$  和  $\vec{V}_j$  分别是  $C_i$  和  $C_j$  的感知方向;  $l_i$  和  $l_j$  分别是沿着  $\vec{V}_i$  和  $\vec{V}_j$  并且通过原点的直线. 模型使用三元组  $(d, r, \theta)$  来表示相机在  $XoY$  平面上的相对位置以及感知方向. 参数  $d, r, \theta$  分别表示相机沿着  $X$  坐标轴方向到  $Y$  轴的距离、相机到直线  $l$  的距离、感知方向  $\vec{V}$  和  $X$  轴之间的夹角. 因此, 相机  $C_i$  和  $C_j$  在  $XoY$  平面上的差异值  $\delta_{ij}$  为

$$\delta_{ij} = 1 - \frac{1}{4} \left( \left| \frac{-d_i \sin \theta_i - r_i \cos \theta_i}{d_i + \cos \theta_i} - \frac{-d_j \sin \theta_j - r_j \cos \theta_j}{d_j + \cos \theta_j} \right| + \left| \frac{d_i \sin \theta_i + r_i \cos \theta_i}{d_i - \cos \theta_i} - \frac{d_j \sin \theta_j + r_j \cos \theta_j}{d_j - \cos \theta_j} \right| + \left| \frac{d_i \cos \theta_i - r_i \sin \theta_i}{d_i + \sin \theta_i} - \frac{d_j \cos \theta_j - r_j \sin \theta_j}{d_j + \sin \theta_j} \right| + \left| \frac{-d_i \cos \theta_i + r_i \sin \theta_i}{d_i - \sin \theta_i} - \frac{-d_j \cos \theta_j + r_j \sin \theta_j}{d_j - \sin \theta_j} \right| \right). \quad (1)$$

其中,  $\delta_{ij}$  表示  $C_i$  和  $C_j$  之间关于被观测目标的视觉相关性系数. 一般来说,  $\delta \in [0, 1]$ ,  $\rho \rightarrow 1$  的过程, 表示两个传感器的相关性变大;  $\delta \rightarrow 0$  时, 表示两个传感器之间的相关性变小.

通过以上的计算, 可以得到两个相机之间的视觉相关性系数. 然而, 该方法只适用于可以忽略尺寸的被观测目标, 即将被观测物近似地视为一个场景点. 不过, WMSN 应用往往需要获取相机之间对整个观测区域的视觉相关性. 因此, 本文改进了上述方法并提出了 VCC 算法, 其计算视觉相关性的过程如下.

首先, 相机  $C_s$  和  $C_k$  之间在整个感知区间上的视觉相关性系数  $VCC_{sk}$  可以定义为

$$VCC_{sk} = \iint_{P \in \text{overlapped\_FoV}} SC_{sk}(P). \quad (2)$$

其中,  $SC_{sk}(P)$  表示相机  $C_s$  和  $C_k$  关于场景点  $P$  的空间相关性函数. 显然, 复杂的积分运算将带来大量的额外开销. 因此, 引入网格技术将式(2)离散化为

$$VCC_{sk} = \sum SC_{sk}(L_h) / S_{FoV}. \quad (3)$$

其中,  $L_h$  表示第  $h$  个网格的位置坐标. 这样获得  $VCC_{sk}$  的计算复杂度就取决于网络尺寸的大小. 在不影响准确性的情况下, 网格尺寸应该尽量选择得大一些.

然后, 将相机  $C_s$  的 FoV 等分成  $M$  (行)  $\times N$  (列) 个片, 如图2所示. 每片的面积  $S_p$  可以表示为

$$S_p = S_{FoV} / (M \times N) = \alpha R^2 / (M \times N). \quad (4)$$

因此,  $VCC_{sk}$  可以被表示为

$$VCC_{sk} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N SC_{sk}(P_{sij}) / S_{FoV}. \quad (5)$$

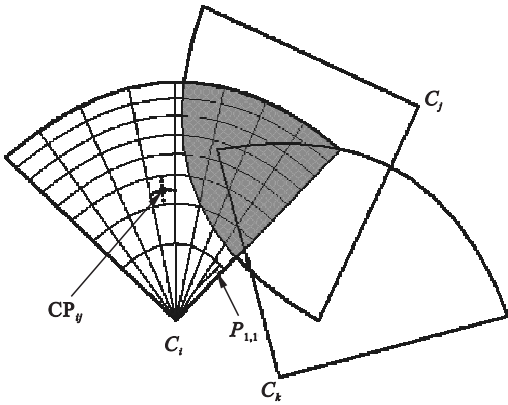


图2 FoV覆盖重叠  
Fig. 2 Overlapped FoV

定义片  $P_{sij}$  (第  $s$  相机、第  $i$  行、第  $j$  列) 的坐标为片中心点  $CP_{sij}$  的坐标, 即

$$x_{CP_{sij}} = x_s + \sqrt{i/M} R \cos(\beta_s + \alpha_s(2j - N - 1)/N), \quad (6)$$

$$y_{CP_{sij}} = y_s + \sqrt{i/M} R \cos(\beta_s + \alpha_s(2j - N - 1)/N). \quad (7)$$

其中,  $(x_s, y_s)$  是相机  $C_s$  的坐标. 由此可以得到, 如果片  $P_{sij}$  属于相机  $C_s$  与  $C_k$  之间的视野重叠区域, 那么有

$$|\overrightarrow{CP_{sij}L_k}| = \sqrt{(x_{CP_{sij}} - x_{L_k})^2 + (y_{CP_{sij}} - y_{L_k})^2} \leq R, \quad (8)$$

$$\theta = \arccos(\overrightarrow{CP_{sij}L_k} \cdot \overrightarrow{V_k} / (|\overrightarrow{CP_{sij}L_k}| \times |\overrightarrow{V_k}|)) \leq \alpha. \quad (9)$$

其中,  $CP_{sij}$  表示片  $P_{sij}$  的中心;  $L_k$  和  $\overrightarrow{V_k}$  分别表示相机  $C_k$  的位置和感知方向;  $\theta$  代表向量  $\overrightarrow{CP_{sij}L_k}$  和向量  $\overrightarrow{V_k}$  之间的夹角. 设计了一个 0/1 变化的覆盖标识符  $CI_{sij}$ , 并且通过式(8)和式(9)来定义.

$$CI_{sij} = \begin{cases} 1, & CP_{sij} \text{ 满足式(8)、式(9)}; \\ 0, & CP_{sij} \text{ 不满足式(8)、式(9)}. \end{cases} \quad (10)$$

最后, 式(5)可以被改写为

$$VCC_{sk} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N CI_{sij} \times SC_{sk}(CP_{sij}) / (M \times N). \quad (11)$$

## 2 基于视觉相关性的节能策略

和 LEACH 协议<sup>[10]</sup> 相似, 本文提出的 VC-DEC 策略也是以轮为单位在运行过程中不断地循环执行. VC-DEC 策略的基本流程如图3所示.

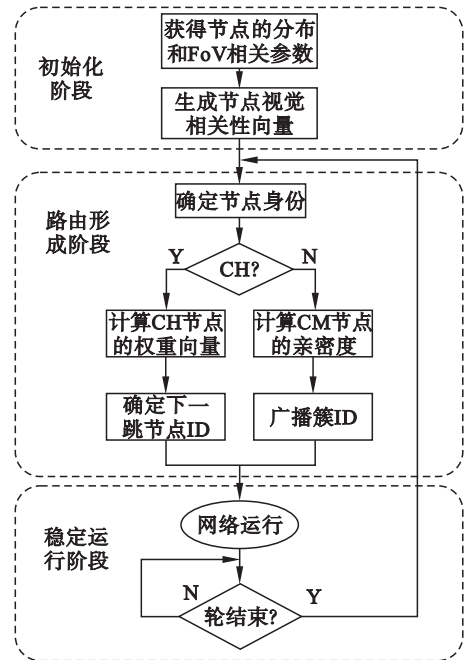


图3 VC-DEC 策略流程图

Fig. 3 Flow chart of the VC-DEC strategy

如图3所示, 每一轮又分成: 初始化、路由形成、稳定运行3个阶段. 首先, 所有相机初始化参数并且生成视觉相关性系数向量 (visual correlation coefficient vector, VCCV); 然后, 各个相机确定自己的身份并且建立分簇路由; 最后是准备阶段. 其中, 第一阶段只需要运行一次, 在策略运行过程中除非发生特殊事件, 否则不需要再次运行. 由于 VC-DEC 策略是完全分布式的, 所以每一个相机都是并行运行的. 以相机  $C_i$  为例, VC-DEC 策略的伪码如表1所示, 步骤如下所述.

1)  $C_i$  初始化并与一跳距离内的相机交换相机参数, 之后运行 VCC 算法得到  $VCCV_i$ , 其中  $C_i: \{(L_i, R_i, \vec{V}_i, a_i), Eres_i\}$ .

2) 利用  $VCCV_i$  和  $Eres_i$  计算  $C_i$  的竞争筹码 (competitive chip, CC), 并确定  $C_i$  的角色. 函数

Determine\_role 的伪代码表示如表 2 所示。

**定义 1** 若某一相机在本轮成为 CH,它的竞争筹码是对它本轮之后的剩余能量的估计。

在给出参数 CC 的表达式之前,先分析一下簇头(cluster head, CH)的能量消耗.利用能量消耗模型,CH 的传输能量消耗为

$$E_{CH} = l \cdot \{ (h + 1) \cdot E_{elec} + T(d_{next}) + [E_{elec} + T(d_{next})] \cdot \sum_{i=1}^h VCC_i \}.$$

(12)

$$T(d) = \begin{cases} \varepsilon_{fs} \cdot d^2, & d < d_0; \\ \varepsilon_{amp} \cdot d^4, & d \geq d_0. \end{cases}$$

(13)

其中: $d_0$  是一个距离阈值; $l$  表示一个数据帧的比特数; $h$  表示 CH 的邻居相机数; $VCC_i$  表示 CH 和第  $i$  个相机的 VCC; $d_{next}$  表示 CH 到下一跳距离.因此,表达式  $(h + 1) \cdot E_{elec}$  是一个定值, $d_{next}$  会随着下一跳而改变.这样,定义竞争筹码  $CC_i$  为

$$CC_i = Eres_i - F_{num} l \sum_{j=1}^h (E_{elec} + T(d_{ij})) \times VCC_{ij}.$$

(14)

$$s. t. \quad d_{ij} \leq d_{threshold}.$$

(15)

其中: $Eres_i$  表示相机  $C_i$  的剩余能量; $F_{num}$  表示每轮的数据帧数量; $d_{ij}$  和  $VCC_{ij}$  分别是相机  $C_i$  和  $C_j$  之间的距离及 VCC; $d_{threshold}$  是一个和相机密度相关的经验参数。

表 1 VC-DEC 策略伪代码

Table 1 Pseudo-code of the VC-DEC strategy

1.	<b>Input:</b> $C_i, C_{neighbor} : \{ C_1, C_2, \cdots, C_s \};$
2.	$VCCV_i = VCC(C_i, C_{neighbor})$
3.	<b>while</b> new_round <b>do</b>
4.	$role_i = \text{Determine\_role}(C_i, VCCV_i);$
5.	<b>if</b> $role_i = \text{'CH'}$ <b>then</b>
6.	与其他 CH 交换位置信息和剩余能量;
7.	生成 $CH_j : \{ CH_{i1}, CH_{i2}, \cdots, CH_{iq} \}$
8.	<b>for</b> $j = 1$ to $q$
9.	$CHW_j = \text{Weight}(C_i, CH_{ij})$
10.	<b>end for</b>
11.	$next\_hop = \text{ID}(\max(CHW_j));$
12.	$next\_hop = (d_{next} < d_{i,sink} ? next\_hop : sink)$
13.	Broadcast( $next\_hop$ )
14.	<b>else</b>
15.	生成 $CH_i : \{ CH_{i1}, CH_{i2}, \cdots, CH_{ip} \};$
16.	<b>for</b> $j = 1$ to $p$
17.	$Int_j = \text{Intimacy}(C_i, CH_{ij}, VCCV_i);$
18.	<b>end for</b>
19.	$my\_clusterID = \text{ID}(\min(Int_j));$
20.	Broadcast( $my\_clusterID$ );
21.	Broadcast( $next\_hop$ );
22.	<b>end if</b>
23.	网络稳定运行;
24.	round_num + +;
25.	<b>end while</b>

表 2 函数 Determine\_role 的伪代码

Table 2 Pseudo-code of the Determine\_role function

1.	$CC_i = CC(Eres_i, VCCV_i);$
2.	宣布自己是 TCH, Broadcast( $my\_CC$ ),同时打开计时器并保持链路监听;
3.	<b>while</b> time <= waiting_time <b>do</b>
4.	获取 $C_{neighbor}$ 内的所有竞争信息并解封装;
5.	<b>if</b> $d_{ij} \leq d_{threshold}$ <b>then</b>
6.	$CC : \{ CC_1, CC_2, \cdots, CC_h \} \leftarrow CC_j$
7.	<b>end if</b>
8.	time + +;
9.	<b>end while</b>
10.	$CC_{submax} = \text{submax}(CC);$
11.	$role_i = (CC_i < CC_{submax} ? \text{'CM'} : \text{'CH'});$

3) 如果  $role_i = \text{'CH'}$ ,  $C_i$  计算一跳范围内各个 CH 的簇头权重  $CHW_j$ ,然后选择权重最大的 CH 为自己的下一跳并广播下一跳 ID,特别地,如果  $C_i$  到下一跳的距离小于到 Sink 节点的距离,那么修改下一跳 ID 为 Sink 节点.  $C_i$  的第  $j$  个 CH 的簇头权重  $CHW_j$  的定义:

$$CHW_j = \frac{Eres_{CH_j}}{[T(d_{i,CH_j}) \cdot T(d_{CH_j,sink})]}.$$

(16)

其中: $Eres_{CH_j}$  表示第  $j$  个 CH 的剩余能量; $d_{CH_j,sink}$  表示第  $j$  个 CH 到 Sink 节点的距离。

4) 如果  $role_i = \text{'CM'}$ ,  $C_i$  计算自己与一跳范围内的各个 CH 的亲密度  $Int_j$ ,然后宣布成为亲密度最小的 CH 的簇成员(cluster member, CM),并广播自己的簇 ID。

**定义 2** 亲密度是衡量一个相机与不同 CH 通信带来的能量消耗.其表达式:

$$Int_j = T(d_{i,CH_j}) + VCC_{i,CH_j} \cdot T(d_{next}).$$

(17)

其中, $d_{i,CH_j}$  和  $VCC_{i,CH_j}$  分别表示  $C_i$  与自己一跳范围内第  $j$  个 CH 之间的距离和 VCC。

### 3 实验及分析

为了评估节能策略的性能,本文采用 MATLAB 2012a 对 VC-DEC 策略和已存在算法进行仿真实验.在实验中,假设 100 到 400 个同质相机均匀部署在  $200\text{ m} \times 200\text{ m}$  的正方形 FoI 中, Sink 节点位于 FoI 的左下角.在相机 FoV 参数中,  $R = 40\text{ m}$ ,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\beta \in [0, 2\pi)$ .相机的初始能量为  $1\,000\text{ J}$ ,每一轮发送  $1\,000$  个数据帧,帧的大小为  $4\text{ kB}$ 。

#### 3.1 参数 $d_{threshold}$ 的确定

参数  $d_{threshold}$  决定了簇的规模进而影响簇内相机的平均数量和路由次数.随着  $d_{threshold}$  的增加,簇



内相机的平均数量会下降,而簇的个数也会相应地下降.这会导致 VC - DEC 优化作用的弱化,因此平均能量消耗将会增加.相反,在  $d_{threshold}$  的值较小时,簇内相机数量减少,频繁的路由带来了大量额外的能量消耗.因此  $d_{threshold}$  的值直接影响到 VC - DEC 节能策略的性能.

所以,本文设计实验:通过在不同的相机密度下改变  $d_{threshold}$  的值来确定最合适的经验参数  $d_{threshold}$ . 各个相机 100 轮的总能量消耗的均值和标准差如图 4 所示.

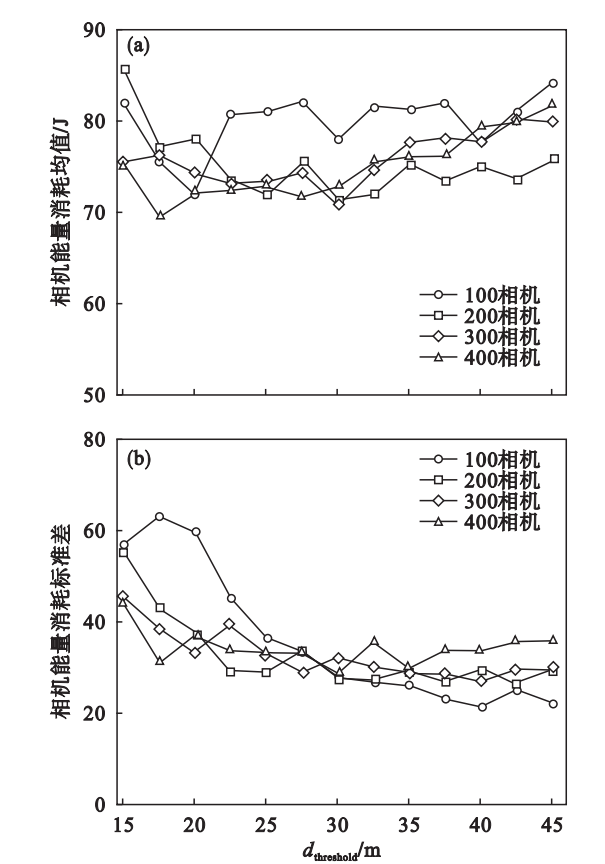


图 4 100 轮后各相机总能耗的均值和标准差  
Fig. 4 Mean and standard deviation of the energy consumption of each camera after 100 rounds  
(a) —能耗均值; (b) —能耗标准差.

由图 4 可知,4 条实线分别对应 4 种相机密度下  $d_{threshold}$  和能量消耗之间的关系.虽然它们之间是独立的,但是却大致表现出一致的变化趋势.平均能量消耗随着  $d_{threshold}$  的增加先减后增,而标准差则先下降随后趋于稳定.实验的结果和之前对于  $d_{threshold}$  的分析是基本一致的.同时考虑到  $d_{threshold}$  较大时,会增加网络的延迟开销.综上所述,本文的后续实验,  $d_{threshold}$  被统一赋值为 30.

### 3.2 性能比较

为了直观地反映 VC - DEC 策略的性能,在

不同的相机密度下,与 SCM 算法、LEACH 协议以及直接传输方式进行对比实验.100 轮之后相机平均剩余能量的均值和方差如图 5 所示.

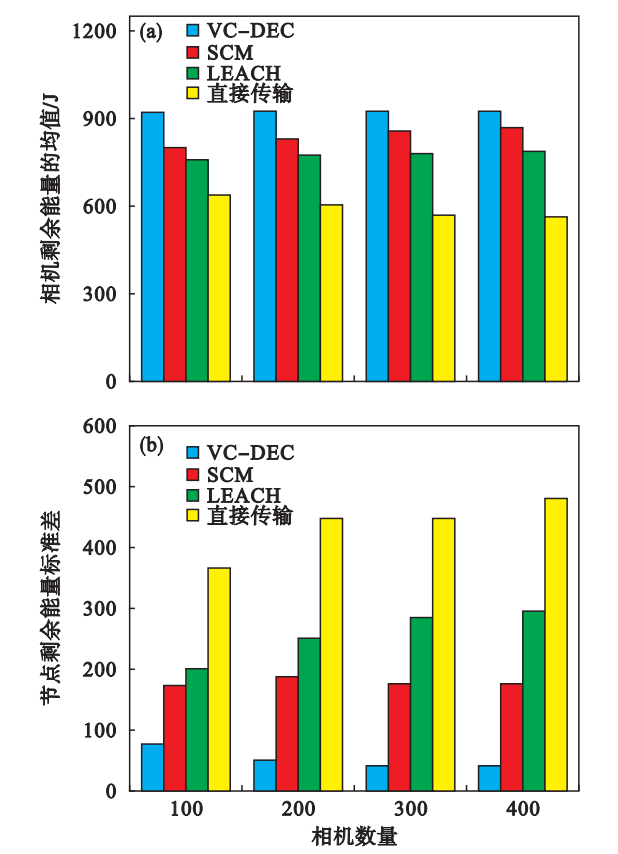


图 5 100 轮后各相机剩余能量的均值和标准差  
Fig. 5 Mean and standard deviation of the residual energy of each camera after 100 rounds  
(a) —能耗均值; (b) —能耗标准差.

实验结果显示,本文提出的 VC - DEC 策略比已存在的对比算法在能效优化方面有一定的优势.然而这种优势会随着网络相机密度的增加而减少.这是因为,对于一个随机部署的 WMSN,随着相机数量的增加,相机之间的平均距离会减少;与此相反, FoV 的覆盖重叠率反而会相应地增加.因此同时优化传输距离和感知覆盖率的 VC - DEC 策略的优化作用被弱化了.通过图 5a 可以得到 VC - DEC 策略在不同的相机密度下性能都比较稳定.另一方面,通过图 5b 可知,与已存在的算法相比,VC - DEC 策略在能量平衡性方面也有一定的提升.当网络达到某一密度(相机数量大于 200)之后,相机的能效平衡趋于稳定.

## 4 结 论

本文针对视觉相关性节能算法中视觉相关性定义不准确和集中式计算难以适用于大型网络的问题,通过引入更加准确的视觉相关性定义改进

了已有的视觉相关性系数算法,并提出了一种完全分布式节能策略.该策略通过计算竞争筹码、亲密度和簇头权重来合理化网络分簇路由,由此延长了网络生命周期.实验结果表明,本文提出的节能策略在增加能效和平衡能耗方面具有一定的优势.

参考文献:

[1] Akyildiz I F, Melodia T, Chowdury K R. Wireless multimedia sensor networks: a survey [J]. *IEEE Wireless Communications*, 2007, 14(6): 32 – 39.

[2] Baccarelli E, Chiti F, Cordeschi N, et al. Green multimedia wireless sensor networks: distributed intelligent data fusion, in-network processing, and optimized resource management [J]. *IEEE Wireless Communications*, 2014, 21(4): 20 – 26.

[3] Zhang Z J, Lai C F, Chao H C. A green data transmission mechanism for wireless multimedia sensor networks using information fusion [J]. *IEEE Wireless Communications*, 2014, 21(4): 14 – 19.

[4] Ehsan S, Hamdaoui B. A survey on energy-efficient routing techniques with QoS assurances for wireless multimedia sensor networks [J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2012, 14(2): 265 – 278.

(上接第 612 页)

的搜索能力.因此,引入精英机制的改进布谷鸟覆盖增强算法在每一代的优化效果都要优于模拟退火算法.

3 结 语

本文研究了三维多媒体传感器网络覆盖增强算法,通过将精英机制、多维度优化和学习反馈策略引入布谷鸟算法来优化多媒体传感器节点的旋转角度以降低覆盖重叠,优化网络覆盖.仿真结果表明该算法可以有效降低覆盖重叠,提高网络的覆盖率.

参考文献:

[1] Akyildiz I F, Melodia T, Chowdhury K R. A survey on wireless multimedia sensor networks [J]. *Computer Networks*, 2007, 51(4): 921 – 960.

[2] He S B, Shin D H, Zhang J S, et al. Full-view area coverage in camera sensor networks: dimension reduction and near-optimal solutions [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2016, 65(9): 7448 – 7461.

[3] Rehman Y A U, Tariq M, Sato T. A novel energy efficient object detection and image transmission approach for wireless multimedia sensor networks [J]. *IEEE Sensors Journal*, 2016, 16(15): 5942 – 5949.

[4] Alanazi A, Elleithy K. An optimized hidden node detection paradigm for improving the coverage and network efficiency in wireless multimedia sensor network [J]. *Sensors*, 2016, 16(9): 1 – 19.

[5] Chenait M, Zebbane B, Benzaid C, et al. Energy-efficient

[5] Dai R, Akyildiz I F. A spatial correlation model for visual information in wireless multimedia sensor networks [J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2009, 11(6): 1148 – 1159.

[6] Wang P, Dai R, Akyildiz I F. A spatial correlation-based image compression framework for wireless multimedia sensor networks [J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2011, 13(2): 388 – 401.

[7] Alaei M, Barcelo-Ordinas J M. A method for clustering and cooperation in wireless multimedia sensor networks [J]. *Sensors*, 2010, 10(4): 3145 – 3169.

[8] Alaei M, Barcelo-Ordinas J M. A collaborative node management scheme for energy-efficient monitoring in wireless multimedia sensor networks [J]. *Wireless Networks*, 2013, 19(5): 639 – 659.

[9] Zhang Q, Wang R, Chao S H A, et al. Node correlation clustering algorithm for wireless multimedia sensor networks based on overlapped FoVs [J]. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, 2013, 20(5): 37 – 44.

[10] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C]//Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. New York: IEEE, 2000: 10 – 13.

coverage protocol based on stable and predictive scheduling in wireless sensor networks [J]. *Computer Networks*, 2017, 127(9): 1 – 12.

[6] Boudali M, Senouci M R, Aissani M, et al. Activities scheduling algorithms based on probabilistic coverage models for wireless sensor networks [J]. *Annals of Telecommunications*, 2017, 72(3/4): 221 – 232.

[7] Nene M J, Deodhar R S, Patnaik L M. Algorithm for autonomous reorganization of mobile wireless camera sensor networks to improve coverage [J]. *IEEE Sensors Journal*, 2015, 15(8): 4428 – 4441.

[8] Yang X, Wen Y, Yuan D, et al. 3-D application-oriented visual correlation model in wireless multimedia sensor networks [J]. *IEEE Sensors Journal*, 2017, 17(8): 2583 – 2595.

[9] Gupta S K, Kuila P, Jana P K. Genetic algorithm approach for *k*-coverage and *m*-connected node placement in target based wireless sensor networks [J]. *Computers & Electrical Engineering*, 2016, 56(1): 544 – 556.

[10] Wang C, Sun E, Tian F. Optimal coverage algorithm of wireless sensor networks based on particle swarm optimization with coherent velocity [J]. *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 2016, 9(9): 293 – 306.

[11] Zhang K, Duan C, Jia H. Genetic simulated annealing-based coverage-enhancing algorithm for multimedia directional sensor networks [J]. *International Journal of Communication Systems*, 2015, 28(9): 1598 – 1609.

[12] Chen C P, Mukhopadhyay S C, Chuang C L, et al. A hybrid memetic framework for coverage optimization in wireless sensor networks [J]. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2015, 45(10): 2309 – 2322.

[13] Yang X S, Deb S. Cuckoo search via lévy flights [C]//Nature & Biologically Inspired Computing. Coimbatore: IEEE, 2010: 210 – 214.

[14] Ye F, Qi W, Xiao J. Research of niching genetic algorithms for optimization in electromagnetics [J]. *Procedia Engineering*, 2011, 16(1): 383 – 389.