

一种非同态块匹配的模糊图像多尺度分割算法

郑宇超¹, 张红斌¹, 刘炳烜²

(1 华东交通大学 软件学院, 江西 南昌 330013; 2 94590 部队 干部信息中心, 山东 潍坊 261051)

摘 要: 提出一种基于高斯混合模型和快速区域置信度传播的非同态块匹配方法, 实现对模糊图像的多尺度自适应分割. 根据局部对比度变化信息进行变邻域搜索, 通过贝叶斯估计方式估计模糊图像边缘能量特征, 构建图像区域特征子图模型, 实现图像多尺度分割算法改进. 仿真结果表明, 该算法能有效提高模糊图像的分割质量, 缩短分割时间, 图像分割品质和稳定性优于传统算法, 具有较好的应用前景.

关键词: 块匹配; 模糊图像; 多尺度分割

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)12-0152-05

Multiscale Segmentation Algorithm of Fuzzy Image Based on Non Homomorphic Matching

ZHENG Yu-chao¹, ZHANG Hong-bin¹, LIU Bing-xuan²

(1 School of Software, East China Jiaotong University, Nanchang, 330013, China;

2 Information Center of Cadre, 94590 Troops, Weifang 261051, China)

Abstract: A non homomorphic block matching method is proposed based on Gauss mixture model and fast area belief propagation. The segmentation of multi scale adaptive fuzzy image is achieved, variable neighborhood search is taken based on the local contrast information changes. Bias method is used to estimate the fuzzy image edge energy characteristic, image region feature sub graph model is constructed, improved image segmentation algorithm of multi scale is obtained. The simulation results show that the algorithm can effectively improve the fuzzy image segmentation quality, shorten the time of segmentation, quality and stability is better than the traditional algorithm. It has better application prospect.

Key words: block matching; fuzzy image; multiscale segmentation

1 引言

随着数字图像处理技术的不断成熟完善, 数字图像处理中关于图像压缩、图像融合、图像边缘检测, 以及数字水印等技术正在向着高精度和高质量方向发展. 图像分割是计算机视觉领域的基础问题, 许多计算机视觉问题(如图像匹配、图像重建、图像恢复等)常常依赖于图像分割的结果. 在整个图像的获取、压缩、传输、提取、存储等处理过程中, 都需要

通过图像的分割处理, 实现图像信息特征的准确提取. 通过图像分割, 把图像划分成有意义的区域或者子集, 实现对目标图像的配准和识别, 研究一种有效模糊图像多尺度分割算法, 在军事图像目标识别和精细医学图像分解等领域, 具有重要的实践意义和应用价值.

当前, 典型的图像目标分割技术主要是阈值分割法、边缘分割法等方法, 采用基于小波变换的局部特征匹配方法, 实现对图像的特征分割和区域价

收稿日期: 2014-03-17; 修回日期: 2014-05-07

基金项目: 2011 年教育部人文社会科学研究青年基金项目“融合跨媒体检索的数字图书馆个性化信息推送服务研究”(11YJC870012) 2012 年教育部人文社会科学研究青年基金项目“基于多层语义推理的数字图书馆多媒体信息检索模型研究”(12YJCZH274)

值信息提取^[1]. 文献[2]中提出一种将小波变换域 Canny 因子相结合的模糊图像边缘分割算法,对模糊小目标图像边缘进行 3 层小波分解,对高频分量和低频分量分别进行加权平均融合,改善对模糊图像的分割效果. 但算法需要对理想图像边缘特征的先验信息进行预处理,先验信息的获得较为困难,且计算量较大;文献[3]中提出一种基于非纹理图像的三阶 PDE 子空间分解的图像分割模型,通过双重叠加方法,对图像结构信息进行子空间特征信息分区,实现对医学图像的精细分割,提高了诊断能力和图像特征点的识别能力,但算法在对模糊图像的亮点检测中,受到局部视差的影响,图像分割效果不理想;文献[4]中采用一种仿射型马尔可夫随机场进行像素级特征提取,达到图像分割的目的,然而该算法在模型建立中消耗大量内存空间,复杂度较高. 文献[5]中提出了一个非同态的全局先验 Potts 模型以及参数估计算法,一定程度上解决了常用的同态 Potts 模型对图像先验知识描述的不充分问题,通过对图像进行局部块划分,保持了图像的边缘和纹理特征,但该算法认为图像在局部块内是同态的,全局非同态的图像来说,适用性不大^[6]. 采用基于小波变换的局部特征匹配方法,当面对具有丰富统计特征的全局非同态模糊自然图像时,常常导致图像的过分割,性能不好^[7].

针对上述问题,本文提出一种基于高斯混合模型(Gaussian Mixture Model, GMM)和快速区域置信度传播(Region Belief Propagation, RBP)的非同态块匹配方法^[8,9],实现对模糊图像的多尺度自适应分割. 本文首先进行了图像的区域特征提取,建立的图像局部区域 MRF 模型,根据统计理论中的 Bayesian 规则,实现对模糊图像多尺度分割算法的改进. 提出的算法在分割实验中,获得了较好的模糊图像多尺度分割效果,性能指标优越.

2 图像的区域特征提取和预处理

2.1 图像区域特征

在进行图分割处理中,图像的区域特征提取是首要,图像区域特征是通过图像纹理边缘特征结构层分析,实现对图像信息的采集和特征分析预处理. 较大的图像局部块显然包含了更多的图像局部信息,可以更好地描述图像的局部特征. 目标图像边缘的先验分布模型和像素的局部相似度邻域信息,可以通过贝叶斯估计方式进行图像区域特征的提取,采用高斯混合模型 GMM,对图像

进行区域划分,把图像划分成 4×4 的像素块,然后进一步把 4×4 子块划分成 4 个相互重叠的 3×3 子块,得到基于 GMM 的图像的区域特征分块模型如图 1 所示.

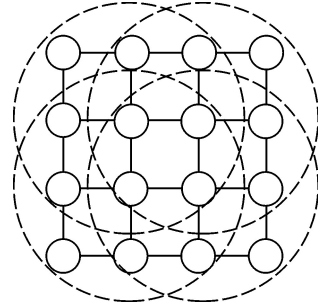


图 1 4×4 子区域的划分图

在图 1 所示的图像区域特征子图模型中,把所研究的图像边缘的亮点区域分解成 2 维网络点集合,表示为

$$S = \{s = (x, y) | 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\} \quad (1)$$

图像区域大小为 $M \times N$, M 和 N 对应模糊目标图像边缘的长度和宽度. 按照图像结构纹理梯度方向进行最大似然泛函,得到相互正交的图像全息纹理特征单位矢量为

$$e = \frac{1}{|\nabla u|} \left(\frac{\partial u_i}{\partial y} - \frac{\partial u_j}{\partial x} \right), f = \frac{1}{|\nabla u|} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x} + \frac{\partial u_j}{\partial y} \right) \quad (2)$$

利用高斯滤波函数 $G(x, y)$ 对目标图像边缘 $f(x, y)$ 进行卷积处理,假设定义域为 Ω 的灰度图像 $I(x, y)$ 被轮廓曲线 C 划分为互不重叠的两个区域 R_1 和 R_2 . 图 1 中,假定图像总共可划分成 K 个分割区域,即图像的标号总数为 K ,采用 GMM 高斯混合模型 GMM 来描述图像像素的标号过程,进而得到结构图像纹理修复的多维谱峰搜索方程为

$$\frac{\partial u(x, y; t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 u(x, y; t)}{\partial \xi^2} + c^2 \frac{\partial^2 u(x, y; t)}{\partial \eta^2} \quad (3)$$

得到模糊图像的纹理子空间表示为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中,

$$\theta = \arctan\left(\frac{\partial u}{\partial y} / \frac{\partial u}{\partial x}\right) \quad (5)$$

通过预先设定以阈值 K ,对图像的纹理结构信息进行突变和平滑区域区分. 假定 3×3 子块内像素是独立分布的,则 3×3 子块内观察模型的概率分布密度函数定义为

$$P(x_{w_3}, y_{w_3} | \Theta) = \prod_{x_{ij} \in w_3} \prod_{k=1}^K \alpha_k g(x_{ij}, y_{ij} | \mu_k, \sigma_k^2) \quad (6)$$

式中, w_3 表示 3×3 像素块区域. $x_{ij} \in w_3$ 表示背景区域的近似平均灰度. y_{ij} 表示和像素 x_{ij} 随机对应的轮廓的长度. α_k 表示一个高斯混合函数中属于 k 类的权值. Θ 表示 GMM 中所有未知参数的集合, 得到模糊图像分割过程中多尺度的特征轮廓曲线矢量半径:

$$\Theta = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K; \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_K; \sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_K^2\} \quad (7)$$

式中, μ_k, σ_k^2 分别表示第 k 类高斯分布的均值和方差, 从而得到子空间中的图像区域像素特征计算结果

$$c = \sqrt{\exp\left[-\frac{1}{K} |\nabla u(x, y; t)|\right]} \quad (8)$$

由此得到了基于高斯混合模型 GMM 的图像区域划分了区域特提取, 为实现本文提出的非同态块匹配的模糊图像多尺度分割提供了先验的数据模型基础.

2.2 面向图像区域特征的非同态块匹配分割预处理

根据上述设计的基于 GMM 的图像的区域特征分块模型, 得到了模糊图像多尺度分割区域特征. 在 GMM 高斯混合模型中, 引入 Canny 因子计算纹理邻域能量特征, 求得在每个尺度下计算模糊图像边缘像素点的对数似然函数:

$$\begin{aligned} \text{LogfE}^w(c_1, c_2) &= \mu \cdot \text{Length}(C) + \\ &\nu \cdot \text{Area}(\text{inside}(C)) + \\ &\lambda_1 \int_{\text{inside}(C)} |I - c_1|^2 dx dy + \\ &\lambda_2 \int_{\text{outside}(C)} |I - c_2|^2 dx dy \end{aligned} \quad (9)$$

式中, c_1 和 c_2 分别表示目标区域和背景区域的近似平均灰度, μ, ν, λ_1 和 λ_2 表示各能量项权重系数在整个场景中所占比重, 均为大于 0 的常数. 在上述构建的 4×4 子区域图像分割模块中, 进行图像灰度区域划分, 划分通常使用 Yager 生成函数来生成非隶属度, 该函数定义如下:

$$v(x) = g^{-1}(g(1) - g(u(x))) \quad (10)$$

式中, $u(x)$ 为隶属度函数, $g(\cdot)$ 为一个单调递增的函数, 满足 $g: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$. 图像特征区域的前一尺度 GMM 随机场通过降采样获得. 本文引入模糊目标图像边缘像素信息度量因子, 对模糊目标图像边缘融合进行规则化修补, 可克服模糊图像边缘信

息对噪声局部敏感性. 进而得到加权的似然函数值作为像素点融合分类, 模糊图像同质区域的水平集函数表示为

$$C = \{(x, y) \in \Omega: \varphi(x, y) = 0\} \quad (11)$$

基于局部对比度变化信息进行变邻域搜索, 通过贝叶斯估计方式估计模糊图像边缘能量特征, 图像 GMM 的先验分布可以采用一个 Gibbs 分布描述如下:

$$P(Y) = \frac{\exp\left\{-\beta \sum_{c \in C} V_c(Y)\right\}}{\sum_Y \exp\left\{-\beta \sum_{c \in C} V_c(Y)\right\}} \quad (12)$$

式中, $\sum_{c \in C} V_c(Y)$ 是一个 Gibbs 基团的能量函数, c 为定义在邻域系统 N_c 上的 Gibbs 分布的基团, C 为邻域系统上所有基团的集合. 采用卷积积分处理得到平滑模糊图像边缘信息, 得到面向图像区域特征的非同态块匹配分割的目标函数为

$$J = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^* {}^m d(x_k, v_i) + \beta \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^* {}^m d(\overline{x_k}, v_i) \quad (13)$$

由此得到了模糊图像多尺度分割的边缘能量特征, 并采用边缘轮廓噪点降噪. 下一步将通过快速区域置信度传播, 在 Markov 框架内建立 Canny 因子纹理信息度量相似度邻域的势函数模型, 采用势函数逆变换的方法, 通过非同态块匹配技术, 实现模糊图像的多尺度分割.

3 图像多尺度分割算法改进实现

在图像分割问题中, 这种全局同态性的假设由于不能有效描述图像的全局特征, 因此常导致图像的过分割现象. 针对这一问题, 本文提出基于高斯混合模型 GMM 和快速区域置信度传播 RBP 的非同态块匹配方法, 在 Markov 随机场理论框架下, 实现像素幅度值和邻域基元最优多尺度分割.

通过对像素点之间相关度的衡量, 可以将图像的像素点分为特征相似性点 i 和特征递进点 j . 假设 u_{ik}^* 为直觉模糊隶属度, 把参考图像看成尺度 1, 最高尺度为 M , 进行 $M-1$ 次传递迭代, 迭代递推公式如下:

$$\begin{aligned} d_{i+1} &= 2F(x_{i+1} + \frac{1}{2}, y_i + 2) = \\ &\begin{cases} 2[\Delta x(y_i + 2) - \Delta y(x_{i,r} + \frac{1}{2} - \Delta x B)] & d_i \leq 0 \\ 2[\Delta x(y_i + 2) - \Delta y(x_{i,r} + 1 + \frac{1}{2} - \Delta x B)] & d_i > 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

化简为

$$d_{i+1} = 2F(x_{i+1} + \frac{1}{2}, y_i + 2) = \begin{cases} d_i + 2\Delta x & d_i \leq 0 \\ d_i + 2(\Delta x - \Delta y) & d_i > 0 \end{cases} \quad (15)$$

在局部区域的四个方向上(包括水平、垂直、对角以及反对角)分别定义一个超参数 $\beta_i^h, \beta_i^v, \beta_i^d, \beta_i^a$. 这种模型和采用一个 β 参数所描述的 MRF 先验模型相比,有利于实现非同态块匹配. 当非同态图像进行块匹配时,需要进行预留补偿区域操作,求得相应时刻的最佳估算值 $s(k|k)$,再建立的局部区域先验模型,得到在特征区域的像素强度为

$$\beta_i = \exp\left\{-\frac{|x_i - x_j|^2}{2\sigma^2}\right\} \frac{1}{\text{dist}(x_i, x_j)} \quad (16)$$

式中, $\text{dist}(x_i, x_j)$ 表示节点 x_i 和 x_j 之间的欧式距离;参数 σ 表示邻域像素的方差水平,在 4×4 子块的局部模型内,建立 4 个 3×3 子块局部交互的观察分布模型,假定任意两个 3×3 子块中,其中心像素 (x_i, x_j) 之间的距离服从正态高斯分布 $N(0, 1)$,即:

$$w(d_{ij}) = f(|x_i - x_j|) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x_i - x_j)^2}{2}\right\} \quad (17)$$

把图像的局部区域特征传递到图像的全局空间中,算法迭代直到 MRF 的全局收敛,通过非同态块匹配,建立新的局部区域交互的自适应后验分割模型如下:

$$P(y_{w_4} | x_{w_4}, \theta, \beta) \propto \prod_{s=1}^4 w(d_{ij}) P_s(y_{w_3} | x_{w_3}, \theta, \beta) \\ \propto \prod_{s=1}^4 w(d_{ij}) \prod_{k=1}^K \frac{\alpha_k}{Z(\beta_i) \sqrt{2\pi\sigma_k^2}} \\ \cdot \exp\left\{-\left[\sum_{k=1}^K \frac{(x_i - \mu_k)^2}{2\sigma_k^2} + \sum_{c \in C} V_c(Y, \beta_i)\right]\right\} \quad (18)$$

通过上述改进算法设计,利用区域消息传递的收敛条件提出了一种加速策略,如果区域消息收敛,则消息在传递过程中可以跳过该区域,直接传递到下一个区域中. 在模糊图像的特征区域,不同类型特征的基元向量可以反映模糊图像边缘像素点邻域局部结构特征,可以期待其到规则化的模糊目标图像边缘融合效果,可以在整幅模糊图像中,搜索全局能力最小分类结果,从而对模糊图像边缘实现累加寻优,求得多尺度分割的最优解.

4 仿真实验与结果分析

为了验证本文算法的有效性,进行仿真实验. 仿

真实验中,实验硬件环境描述为:测试运行平台为 windows XP 系统, Pentium(R)4 CPU 3.00 GHz, 1 GB 内存下运行. 图像采集器为一个全色 1 m 分辨率传感器和一个四波段 4 m 分辨率的多光谱传感器图像模采集模型,计算中权重系数 ω 被设定为 0.9,每一个极点的 $3 \times 3 \times 3$ 立体相邻空间内进行局部最大值搜索并映射到其附近的 26 个邻域中,测试中,对高斯混合模型 GMM 中的高斯核函数的大小进行选择时,进行了多种尝试,得到图像多尺度分割的高斯混合模型 GMM 区域划分模块的参数设定结果见表 1.

表 1 参数设定

窗口尺寸	3×3	5×5	9×9	17×17	33×33
设定参数	0.236	0.362	0.897	0.991	0.963

以此为基础,对两幅测试样本图像进行非同态块匹配的多尺度分割处理,为对比算法性能,采用本文算法和传统小波变换进行七个尺度的分割算法仿真,实现性能对比,得到仿真结果如图 2 所示.

分析图 2 所示的仿真结果可得,本文设计的多尺度图像分割算法能够提取到更多的边缘信息,例如图中鸚鵡不同颜色羽毛的边界、山峰和天空的交接线,得到的边缘具有更好的连线段连通性和宽度一致性. 而采用传统的基于小波变换的方法和区域 BP 算法,提取的图像尺度特征模糊,无法有效实现都图像的多尺度分割.

为定量分析分割算法性能,采用图像多尺度分割均方误差作为指标评价,定义式为

$$\text{MSE} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_0 - \hat{x}_i)^2 \quad (19)$$

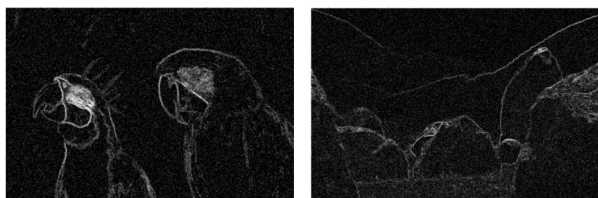
式中, $\hat{x}_i$ 为图像分割像素值; B_0 为原始图像每像素的比特数; B_a 为分割图像的多尺度像素比特数.

通过上述定义均方误差 MSE 值,进行图像分割算法定量评价,当然, MSE 值越小表示图像分割效果优越. 采用本文算法和传统算法,得到不同尺度迭代下的均方误差 MSE 值的大小比较如图 3 所示. 图中, A1 表示本文算法, A2 表示文献[2]中算法, A3 表示文献[3]中算法, 分析可见, 采用本文算法, 在不同的迭代步数下, 两幅测试样本图像的均方根误差 MSE 值都较传统算法小, 从定量分析的角度展示了算法的优越性能.

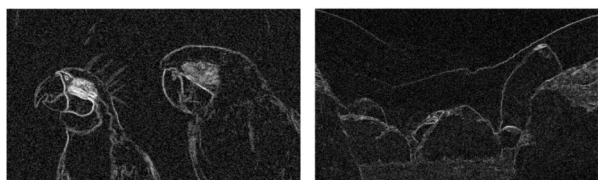
进一步,从计算开销方面进行分析算法性能,采用小波变化算法、文献[4]中的区域 BP 算法,得到不同算法分割时间对比见表 2.



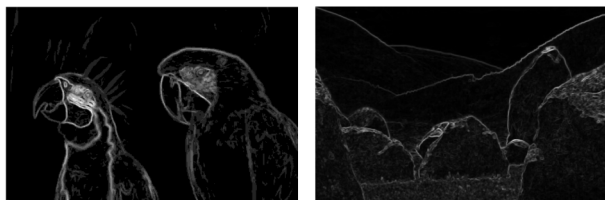
(a) 原图



(b) 基于小波变换的方法



(c) 区域 BP 算法



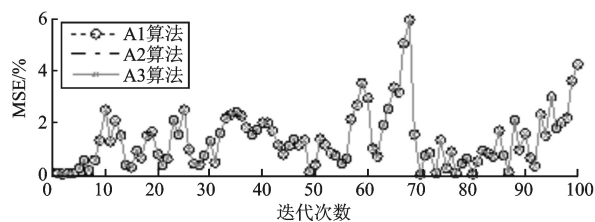
(d) 本文方法

图 2 模糊图像多尺度分割仿真实验结果

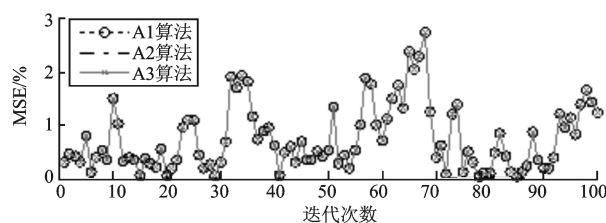
表 2 图像分割时间对比表

图像	算法迭代时间/s		
	小波算法	区域 BP 算法 ^[4]	本文算法
鸚鵡	31.973	34.765	23.352
山峰	2.886	9.237	3.194

从表中结果可见,采用本文算法的计算开销最小.这是由于采用本文算法,区域消息的计算复杂度,采用传统的小波变换分割算法,需要大量的分割时间,传统方法在多尺度块消息传递之间,容易受噪音或者纹理突变信息的干扰,当面对具有丰富统计特征的全局非同态模糊自然图像时,常常导致图像的过分,如图 2(b)所示.而采用本文算法,通过构建



(a) 鸚鵡



(b) 山峰

图 3 算法均方根误差的性能比较分析

基于高斯混合模型 GMM 的区域特征提取算法,采用快速区域置信度传播 RBP 的分割策略,实现非同态块匹配,有效避免了节点之间造成消息传递的振荡,采用了多尺度的技术,有效缩短了图像分割时间,表现出了更快、更稳定的速度,且图像的分割品质较高,展示了优越性能.

5 结束语

通过图像分割,把图像划分成有意义的区域或者子集,实现对目标图像的配准和识别,研究一种有效模糊图像多尺度分割算法,是解决许多计算机视觉处理问题的基础,其具有重要的实践意义和应用价值.本文提出一种基于高斯混合模型和快速区域置信度传播的非同态块匹配方法,实现对模糊图像的多尺度自适应分割.基于局部对比度变化信息进行变邻域搜索,通过贝叶斯估计方式估计模糊图像边缘能量特征,构建图像区域特征子图模型,实现图像多尺度分割算法改进.研究得出,本文算法能有效提高模糊图像的分割质量,缩短分割时间,品质和稳定性优于传统算法,具有较好的应用前景.

参考文献:

- [1] 曹健,李海生,蔡强.图像目标的特征提取技术研究[J].计算机仿真,2013,30(1):409-413.
- [2] 高颖,王阿敏,王风华,等.改进的小波变换算法在图像融合中的应用[J].激光技术,2013,37(5):690-695.

(下转第 160 页)

非定位节点将得到更多的参考信息并可以选择计算位置. 因此, 定位误差减少.

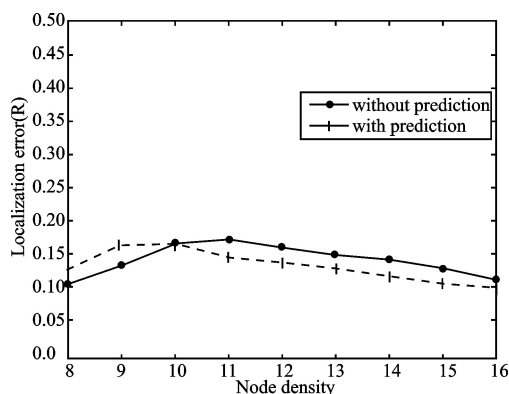


图 6 定位误差

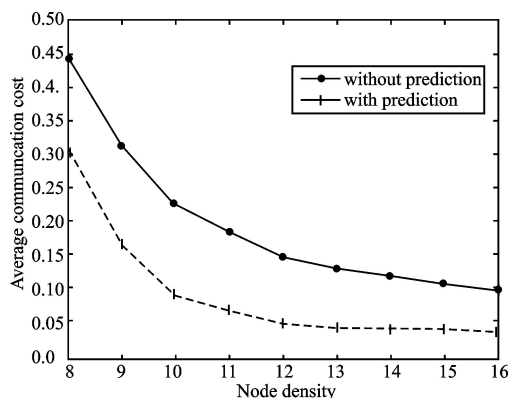


图 7 平均通信损耗

图 7 表明随着节点密度的增加, 平均通信损耗快速减少. 这是因为随着节点密度的提高, 定位覆盖面积也增大. 当节点密度达到某个值时候, 图中为 12, 平均通信损耗将稳定在某个点. 由于锚节点不需要发送定位信息, 因此, 大大减少了通信损耗.

6 结束语

本文提出基于移动预测在水下传感器网络可扩展定位方法 SIMP, 在 SLMP 中, 锚节点通过利用水下移动特性, 推出线性预测方法. 每个普通的传感器节点通过利用水下移动特性的空间相关性预测它的位置. 仿真结果表明 SLMP 能够在保持相对高的定位覆盖面和定位精确度的情况下, 减少通信损耗.

参考文献:

- [1] M Chitre, S Shahabudeen, M Stojanovic. Underwater acoustic communication and networks: Recent Advances and Future Challenges[J]. Marine Technology Soc J, 2008:103-116.
- [2] 李淑秋, 李启虎, 张春华. 水下声学传感器网络的发展和应用[J]. 物理, 2006(11): 24-25.
- [3] 周新运, 孙利民, 皇甫伟, 等. 无线多媒体传感器网络中一种自适应的报头压缩机制[J]. 软件学报, 2007, 18(5): 1122-1129.
- [4] 朱彤, 桑恩方. 基于正交频分复用的高速水声通信技术[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2005(1): 71-74.
- [5] 王潜, 颜国雄, 童峰. 一种浅海信道扩频水声调制解调系统及其 DSP 实现[J]. 厦门大学学报, 2009(4): 51-52.
- [6] 张林, 宣良龙, 范培勤. 基于 MPI+OpenMP 混合编程模型的水声传播并行算法[J]. 微电子学与计算机, 2011(8): 193-196.
- [7] 余威, 刘勇. 一基于 ESB 的 SOA 性能预测[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(5): 110-114.

作者简介:

吴江女, (1969-), 工程师. 研究方向计算机应用. E-mail: wujiang@guat.edu.cn.

(上接第 156 页)

- [3] 傅兴玉, 龙红建, 付琨. 基于改进 Markov 随机场的高分辨率 SAR 图像建筑物分割算法[J]. 电子学报, 2012, 40(6): 1041-1047.
- [4] 徐胜军, 韩九强, 赵亮, 等. 用于图像分割的局部区域能量最小化算法[J]. 西安交通大学学报, 2011, 45(8): 7-12.
- [5] 罗海驰, 李岳阳, 孙俊. 一种基于自适应神经模糊推理系统的图像滤波方法[J]. 计算机科学, 2013, 40(7): 302-306.
- [6] 陶涛, 夏新宇, 李琳, 等. 面向数据融合计算的动画角色处理平台[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2014, 31(1): 59-62.
- [7] 汤敏, 陈秀梅, 陈峰. 基于 Contourlet 变换和 SPHIT 算法的彩色医学图像压缩[J]. 计算机科学, 2014, 41

(1): 303-306.

- [8] 伊力哈木·亚尔买买提. 基于改进的自适应分水岭图像分割方法研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(2): 373-377.
- [9] LIN Rui. Gyrator transform hologram and Its application in image encryption[J]. Acta Photonica Sinica, 2013, 42(2): 245-252.

作者简介:

郑宇超男, (1986-), 硕士, 助教. 研究方向为自然语言处理、图像处理. E-mail: sachairman@163.com.

张红斌男, (1979-), 博士生, 副教授. 研究方向为自然语言处理, 图像处理.

刘炳烜男, (1983-), 工程师. 研究方向计算机应用、信息技术.