

Explore a Way to Keep the Scattering Properties of Polarimetric SAR Image Filtering Method

Yan Qin

Department of Safety Engineering, Sichuan Staff University of Science and Technology, Chengdu Sichuan
Email: 328269788@qq.com

Received: Oct. 8th, 2017; accepted: Oct. 22nd, 2017; published: Oct. 26th, 2017

Abstract

Synthetic aperture radar (Synthetic aperture radar, SAR) is a widely used high-resolution imaging radar, which has all-weather, multi-polarization, multi-angle, multi-depression ability to obtain data on the clouds of smoke, which are strong penetrating power, is widely used in satellite detection, address detection and other fields [1], but these SAR images acquired radar equipment. It must be clearly identified need to make a lot of image processing, including filtering polarimetric SAR image is one important process for polarimetric SAR image filtering, image filtering improved polarimetric SAR processing algorithms to further improve the ability to identify the SAR image, SAR has been a hot research field [2]. This paper describes the characteristics of polarimetric SAR images, discussed a way to keep the scattering properties of polarimetric SAR image filtering method, in the traditional method of increasing polarization SAR Lee adaptive filtering window processing and pre-filtering parameters estimation step, effectively improve the traditional filter method of inhibiting the ability to spot coherent while being able to maintain a good polarization scattering characteristics of SAR images.

Keywords

Polarization Scattering Characteristics, Synthetic Aperture Radar (SAR), Image Processing, Adaptive Window

一种保持散射特性的极化SAR图像滤波方法之探究

覃艳

四川科技职工大学安全工程系, 四川 成都
Email: 328269788@qq.com

收稿日期：2017年10月8日；录用日期：2017年10月22日；发布日期：2017年10月26日

摘要

合成孔径雷达(Synthetic aperture radar, SAR)是一种应用非常广泛的高分辨率成像雷达,其具有全天候、多极化、多视角、多俯角获取数据能力,对云层、烟雾等有较强的穿透能力,被广泛应用与卫星侦查、地址探测等领域[1]。但是这些雷达设备获取的SAR图像,其要被清晰的识别,还需要进行很多的图像处理工作,其中极化SAR图像的滤波处理就是其中的一个重要的过程,对极化SAR图像进行滤波处理,改进极化SAR图像滤波处理算法,进一步提高SAR图像辨别能力,一直是SAR研究领域的热点[2]。本文介绍了极化SAR图像的特点,探讨了一种能够保持散射特性的极化SAR图像滤波方法,该方法在传统的极化SAR滤波Lee方法上增加了自适应窗口处理以及滤波参数预估计等步骤,有效的提高了传统的滤波方法的抑制相干斑的能力,同时能够很好的保持极化SAR图像的极化散射特性。

关键词

极化散射特性, 合成孔径雷达(SAR), 图像处理, 自适应窗口

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

合成孔径雷达是一种利用雷达与目标之间的相对运动把尺寸较小的正式天线孔径采用数据处理的方法合成一个较大的等效的天线孔径的雷达[3],其具有分辨率高、适应环境能力强和较强穿透掩盖物的能力,其被广泛应用与军事侦查、测绘、火控和制导等领域[4]。作为SAR技术发展的一个重要方向——极化SAR技术,极化SAR主要是对极化SAR图像中的相干斑进行抑制,由于其处理SAR图像滤波效果非常好,并且有非常大的改进空间,所以一直以来都是学术科研领域关注的热点[5]。

极化SAR滤波抑制的相干斑是存在于SAR图像中的一种噪声非常强的颗粒状的斑点,由于存在着写相干的颗粒状的斑点,使得SAR凸显的信噪比非常低、图像特征混乱,对挖掘图像中的有用信息带来了非常大的干扰[6][7][8]。在极化SAR中,这些相干的噪声斑点影响更大,其存在于图像各个独立的通道,会严重的影响极化图像的相关性。因此,如何高效高质量的实现对极化SAR图像进行滤波处理,有效的抑制SAR图像中的相干斑,对后续的SAR图像的进一步处理和识别具有非常重要的意义[9][10][11]。在众多学者和研发机构的努力下,目前在处理极化SAR图像滤波问题上已经出现了大量的可以实用的极化滤波技术,其中代表性的有极化白化滤波、最优加权滤波、极化矢量滤波和Lee滤波等等,但是这些方法其滤波都是建立在传统的滤波技术基础之上,对传统的滤波方式进行了稍微的改进和重设计,其在设计的时候没有或者很少考虑到要保持图像的极化散射特性,这就使得很多算法在进行滤波处理后得到的滤波图像严重的破坏了原极化SAR图像的散射特性[12][13]。而原极化SAR散射特性往往是体现其图像目标特性的一个重要信息内容,所以被破坏后的极化SAR图像,通常会加大对SAR图像中的目标的识别难点,进而导致后续的图像中的有用信息被隐藏。虽然目前有部分算法已经意识到破坏极化SAR图像的散射特性会导致一定的目标失踪和混乱等问题,但是对其改进程度还是不理想,其中代表性的有Lee

滤波算法, 该算法通过在传统的算法上进行了保存散射特性的方法的一些改进, 虽然能够在一定的程度上对 SAR 图像特性进行保持, 并且在实际应用中由于其相对于传统的算法性能在极化 SAR 图像特性保存中有了一定的提高, 使得其得到了广泛的应用[14] [15]。但是在 Lee 滤波方法中, 其采用的是先进行掩膜计算在进行滤波, 这样的一种方式只是能够微弱的降低滤波后的极化图像中的散射特性的破坏, 但是其效果还是不明显, 通过实验结果表明其最终得到的滤波图像在很大程度上还是很容易将原有的目标容易混淆, 造成下一步的图像识别和目标提取还是非常困难。

因此, 本文为了保持极化 SAR 图像的散射特性, 对其算法设计进行了探究, 提出了一种基于极化散射特性的滤波方法, 通过该方法能够有效的抑制极化 SAR 的颗粒状斑点, 同时保持极化 SAR 图像的散射特性。

2. 极化 SAR 图像数学模型

极化 SAR 技术通常是应用在遥感, 高空侦查等领域, 对地面目标进行测量, 其对正交极化电磁波的复散射矩阵, 所以对极化 SAR 图像进行滤波处理, 我们就需要了解其数学特性, 为其构建对应的数学模型, 本文采用的数学模型是在线性极化的情况下, 采用如下矩阵进行描述:

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (1)$$

通过该矩阵可以很好的描述出目标的极化信息, 在满足条件 $S_{VH} = S_{HV}$ 下, 利用 Borgeaud 基, 我们可以将散射矢量表示成如下数学模型:

$$\mathbf{k} = [S_{HH} \quad \sqrt{2} \cdot S_{HV} \quad S_{VV}]^T \quad (2)$$

上式中: T 表示对矩阵进行转置操作, 系数 $\sqrt{2}$ 系数使用是为了保证矢量的模和散射矩阵中的极化的总功率相等, 因此 SAR 图像的极化信息我们可以表示成如下的数学模型:

$$C = \mathbf{k}_B \mathbf{k}_B^T = \begin{bmatrix} |S_{HH}|^2 & \sqrt{2} \cdot S_{HH} S_{HV}^* & S_{HH} S_{VV}^* \\ \sqrt{2} S_{HV} S_{HH}^* & 2 \cdot |S_{HV}|^2 & \sqrt{2} \cdot S_{HV} S_{VV}^* \\ S_{VV} S_{HH}^* & \sqrt{2} S_{VV} S_{HV}^* & |S_{VV}|^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

上式中: $*$ 表示复共轭, 因此进一步我们可以定义 Span 图像的数学模型如下:

$$\text{span} = \mathbf{k}_A \mathbf{k}_B = |S_{HH}|^2 + |S_{HV}|^2 + |S_{VV}|^2 \quad (4)$$

在处理极化的 SAR 图像数据压缩中, 我们常常要求取平均领域的单视图像的数据, 因此我们可以通过如下数学模型对其协方差进行描述:

$$Z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C(i) \quad (5)$$

上式中: $C(i)$ 作为 SAR 图像中的单视数据中的第 i 个像素的协方差矩阵, N 是 SAR 图像中相邻像素点的数量, Z 是一个 Hermitian 矩阵, 其分布规律服从 Wishart 特性。因此通过如上的数学模型我们可以在进行极化 SAR 图像滤波处理的时候对其进行很好的描述。

3. 散射特征的提取及标识

要实现滤波过程中对原极化 SAR 图像的散射特性的很好保留, 我们在设计算法的时候就必须了解和识别出原图像的散射特征像素点或者像素块, 并对其进行标识, 以防止滤波过程中对其散射特征点进行

破坏, 前文中对极化 SAR 图像的数学模型进行描述的时候我们已经知道, 极化 SAR 矩阵满足后弦散射互易定理 $S_{HV} = S_{VH}$, 并且我们采用 Borgeaud 基, 我们可以将散射矢量表示成如下数学模型:

$$\mathbf{k} = \begin{bmatrix} S_{HH} & \sqrt{2} \cdot S_{HV} & S_{VV} \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

通过上式子, 我们进一步分析, 我们要得到对极的 SAR 图像的正确描述和进行下一步的处理, 我们就必须得到极化 SAR 图像的相干矩阵, 通过综合式子(5)和第一小节我们描述的 SAR 图像的数学模型, 我们可以得到如下相干矩阵 T 的数学模型:

$$T = \mathbf{k} \cdot \mathbf{k}^* \quad (7)$$

采用文献[4]中的相关方法证明, 我们可以知道我们得到的相干矩阵 T 是一个符合 Hermite 特性的矩阵, 因此我们可以进一步将其表示成如下数学模型:

$$T = \gamma_1 \mu_1 \mu_1^* + \gamma_2 \mu_2 \mu_2^* + \gamma_3 \mu_3 \mu_3^* \quad (8)$$

上式中: $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ 表示相干矩阵 T 的特征值, 其中 γ_1 大于等于 γ_2 大于等于 γ_3 ; μ_i 为对应的特征向量, 满足:

$$\mu_i = \begin{bmatrix} \cos \alpha_i & \sin \alpha_i \cos \beta_i \exp(i\delta_i) & \sin \alpha_i \sin \beta_i \exp(i\gamma_i) \end{bmatrix}^T \quad (9)$$

上式中: α 表示散射目标的散射类型, 角度 β 表示 SAR 图像中目标的方位, δ 和 γ 表示 SAR 图像中的目标的相位角。

通过上述分析, 我们进一步根据相关矩阵 T 进行特征分解, 我们就可以得到如下的和散射相关的物理量:

$$1) \text{ 用于表示极化 SAR 图像散射的随机性的散射熵: } H = \sum_{i=1}^3 \left(-\frac{\gamma_i}{\sum_{i=1}^3 \gamma_i} \log_3 \frac{\gamma_i}{\sum_{i=1}^3 \gamma_i} \right)$$

$$2) \text{ 用于表示极化 SAR 图像表明散射到二面的散射的平均散射: } \alpha = \sum_{i=1}^3 \frac{\gamma_i}{\sum_{i=1}^3 \gamma_i} \alpha_i$$

$$3) \text{ 用于表示极化 SAR 的各向相异特性的两个相对较弱的散射分量的关系: } A = (\gamma_2 - \gamma_3) / (\gamma_2 + \gamma_3)$$

在进行特征提取及标识的时候, 我们根据表 1 对 H 和 α 参数进行类型划分, 最终我们可以得到 18 种不同类型的散射特性, 根据这 18 种不同的散射类型, 我们对极化的 SAR 图像进行特征提取和标识, 最后再滤波参数估计的过程中根据相同标识的对其进行滤波参数估计, 这样就可以使得后续的滤波过程中能够对 SAR 图像的散射特性具有较好的保持效果。

4. 基于散射特性的极化滤波设计

通过前文我们已经设计了相关的规则和算法对待处理的极化 SAR 图像的特征点进行了分类并且实现了对 SAR 图像的散射特性进行了标识, 这样我们就可以获取极化 SAR 图像的散射特性, 为我们后续滤波过程中不去破坏原图的散射特性打下了基础, 所以我们在最后滤波的实现我们只要将其应用到我们

Table 1. The parameters of H, divided into standard map

表 1. H, a 参数划分区间标准图

$0 \leq H \leq 0.5$	$0.5 \leq H \leq 0.9$	$0.9 \leq H \leq 1$
$0 \leq \alpha \leq 41.2$	$0 \leq \alpha \leq 41$	$0 \leq \alpha \leq 41$
$41.2 \leq \alpha \leq 47.1$	$41 \leq \alpha \leq 51$	$41 \leq \alpha \leq 56$
$47.1 \leq \alpha \leq 91.5$	$51 \leq \alpha \leq 91$	$56 \leq \alpha \leq 91$

的滤波参数的估计中，构建和滤波参数的相关性，进而就可以使得滤波的过程中其参数受到 SAR 特征的影响，进而在滤波过程中可以有效的降低滤波算法对原图的散射特性的破坏，本节在此基础上进一步完成滤波参数的估计和 SAR 数据的滤波处理，进而实现整个基于散射特性的极化滤波算法的设计，其算法流程图如图 1 所示。

算法整体分为如下五个步骤：

- 1) 导入极化的 SAR 图像数据
- 2) 生成相干矩阵，并且提出矩阵的 H 、 a 和 A 参数，并根据其参数对其进行分类标志
- 3) 进行滤波参数估计
- 4) 对相干矩阵进行滤波处理
- 5) 输出滤波后的极化 SAR 图像数据

其中步骤 1) 中导入极化 SAR 数据，是直接通过 matlab 函数的 `reading` 进行读入，步骤 2) 中生成相干矩阵，并且提出矩阵的 H 、 a 和 A 参数，并根据其参数对其进行分类标志，该步骤主要基于论文第 2 小节中的散射特征的提取及标识中的详细步骤进行设计；步骤 3 进行滤波参数估计，其采用的是滑动窗口估计法；步骤 4) 中对相干矩阵进行滤波处理采用的是传统的 Lee 滤波方法，利用了步骤 3) 中预估计得到的滤波参数进行滤波，最后通过步骤 5) 将滤波后的 SAR 图像进行输出。

5. 实验结果及分析

为了验证本文提出的算法的正确性和有效性，本文进行实验的时候首先对本文提出的改算法进行了噪声抑制结果分析，最后采用了本文提出的算法和 Lee 算法对 NASA 公布的 L 波段的美国旧金山雷达站的极化 SAR 图像进行处理，通过观察和对比分析两种算法的滤波效果。

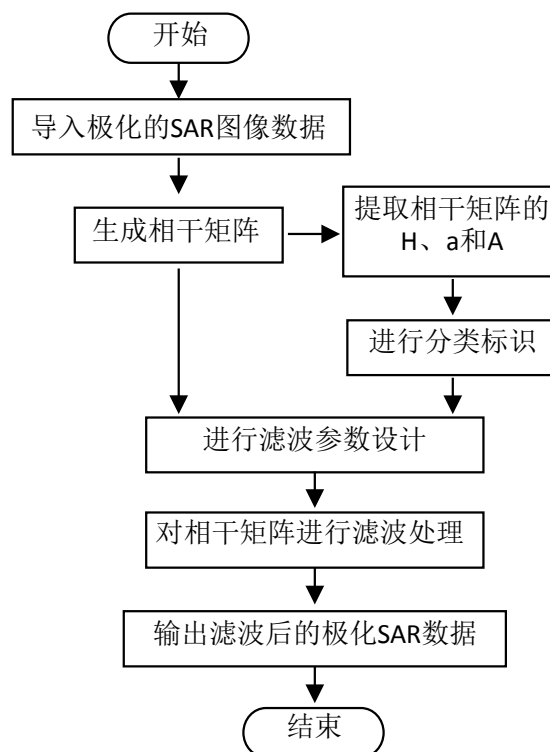


Figure 1. Polarimetric filtering flow chart based on scattering properties

图 1. 基于散射特性的极化滤波流程图

5.1. 噪声抑制结果分析

通过在 matlab 平台下通过功率谱函数求出滤波前后的功率谱图, 如图 2(a)滤波前功率谱, 图 2(b)为滤波后功率谱, 最后执行算法统计滤波前后的 s/m (方差均值比)值得到了滤波前后的方差均值比如表 2 所示。通过结果分析, 滤波后的凸显中的斑点明显减少了, 并且滤波后 s/m 值也明显减小了, 尤其是在 HH 和 VV 两个通道中的 s/m 值减小明显, 这有效的说明了本文提出的算法对极化 SAR 图像进行滤波能够有效抑制相干斑。

5.2. 散射特性参数比较

本文算法设计目的就是要更好的保持滤波后的原有的 SAR 图像的散射特性, 通过实验比较极化 SAR

Table 2. Variance mean ratio change before and after filtering

表 2. 滤波前后的方差均值比变化

	HH	HV	VV	功率
滤波前	0.9782	0.9718	0.7832	5.5612
滤波后	0.8672	0.8765	0.6574	4.9879

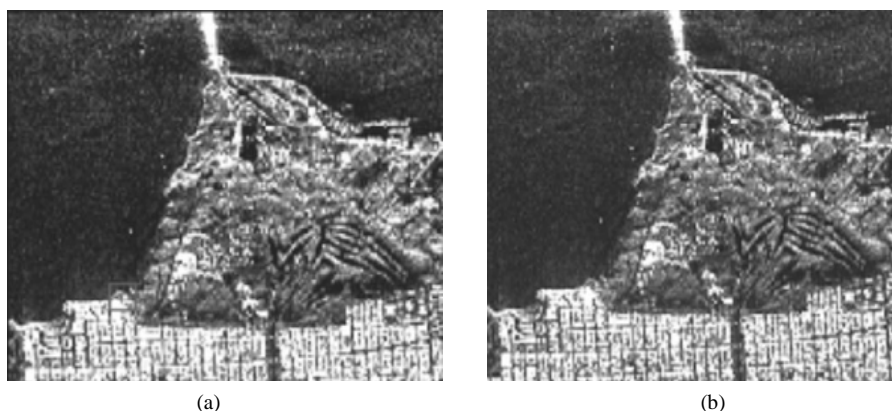


Figure 2. Comparison of effect between polarimetric SAR artwork and filtered picture. (a) Unfiltered artwork; (b) Adopt the filtered graph of the method in this paper

图 2. 极化 SAR 原图和滤波后的图效果对比。(a)未滤波的原图; (b)采用本文中方法滤波后的图

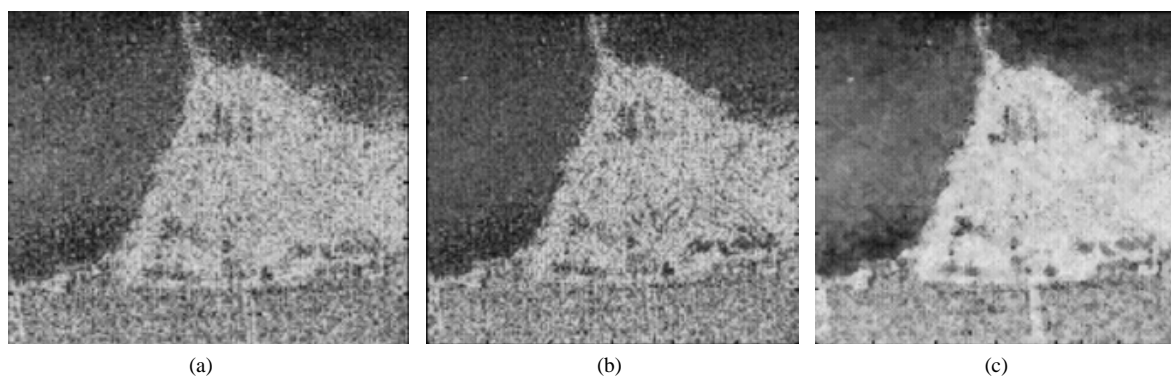


Figure 3. Compares anisotropy between the algorithm and the Lee filtering algorithm before and after filtering image. (a) Anisotropic for filtering; (b) This algorithm is filtered; (c) After Lee filtering

图 3. 本文算法和 Lee 滤波算法滤波前后图像各向异性比较。(a) 为滤波的各向异性; (b) 本文算法滤波后; (c) Lee 滤波后

图像的各向异性的图像进而比较本文的算法和 Lee 算法滤波后对原图像的散射特性的保持效果, 通过图 3 我们可以很明显看出图 3(a)和经过本文的滤波算法处理后的图 3(b)中海洋与陆地的各向异性明显凸显出来, 但是经过 Lee 滤波算法处理后得到的图 3(c)滤波后的极化 SAR 图像的各向异性明显减弱, 不再突出, 图像的局部地区出现了明显的混乱特点。因此, 可以有效的说明本文提出的算法能够很好的保持原图的散射特性, 充分验证了本算法改进后对极化 SAR 图像滤波效果有了明显的提升。

6. 结束语

通过本文提出的一种保存散射特性的极化 SAR 图像滤波方法的理论设计分析和实验验证分析, 本文提出的这种滤波算法可以很好的改善现有的滤波算法在对极化 SAR 图像进行滤波处理过程中对原图的散射特性破坏严重的不足, 通过本文的算法能够有效的抑制 SAR 图像中的相干斑的影响, 同时很好的保留了极化 SAR 图像的目标散射特性, 这对于后续 SAR 图像的目标识别和目标确认等处理具有非常重要的意义, 可以有效的避免滤波过程中导致极化 SAR 图像中的目标混乱的问题。

参考文献 (References)

- [1] 孙楠, 王岩飞, 张冰尘. 一种扩展的基于结构检测的最优多视极化 SAR 相干斑滤波算法[J]. 遥感学报, 2010, 11(5): 686-693.
- [2] 张中山, 余洁, 燕琴, 等. 基于核独立成分分析的极化 SAR 图像相干斑抑制[J]. 测绘学报, 2011, 40(3): 289-295.
- [3] 单子力, 谷宏志, 陈金勇, 等. 基于物理散射模型的全极化 SAR 图像增强滤波算法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(10): 3152-3154.
- [4] 杨杰, 郎丰铠, 李德仁. 一种利用 Cloude-Pottier 分解和极化白化滤波的全极化 SAR 图像分类算法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2011, 36(1): 104-107.
- [5] 李文屏, 王正明, 谢美华. 多通道 SAR 图像滤波的向量总变分模型[J]. 红外与毫米波学报, 2012, 31(1): 61-66.
- [6] Le, T.T., Atto, A.M., Trouvé, E., *et al.* (2014) Adaptive Multitemporal SAR Image Filtering Based on the Change Detection Matrix.
- [7] 王山虎, 尤红建, 付琨. 基于大尺度双边 SIFT 的 SAR 图像同名点自动提取方法[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(2): 287-293.
- [8] 韩萍, 丛润民. 极化 SAR 图像的联合加权极化差异度变化检测算法[J]. 信号处理, 2013, 29(10): 1390-1397.
- [9] 刘梦玲, 何楚, 苏鑫, 孙洪. 基于 pLSA 和 Topo-MRF 模型的 SAR 图像分类算法研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2011, 27(1): 122-125.
- [10] 赵忠民, 赵拥军, 牛朝阳. 改进的基于非局部均值的极化 SAR 相干斑抑制[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(8): 1038-1044.
- [11] 齐文璐, 李洋, 洪文. 基于能量谱函数相关系数的极化 SAR 数据滤波方法研究[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(20): 4788-4792.
- [12] Iqbal, M., Chen, J., Yang, W., *et al.* (2013) SAR Image Despeckling by Selective 3D Filtering of Multiple Compressive Reconstructed Images. *Progress in Electromagnetics Research*, **134**, 209-226. <https://doi.org/10.2528/PIER12091504>
- [13] Martino, G.D., Poderico, M., Poggi, G., *et al.* (2012) SAR Image Simulation for the Assessment of Despeckling Techniques. 2012 *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 1797-1800.
- [14] 周伟, 陈尔学, 刘国林, 等. 基于 ALOS 极化干涉 SAR 数据的 DEM 提取方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(1): 44-51.
- [15] 张中山, 燕琴, 余洁, 等. 基于粒子群算法的全极化 SAR 图像非监督分类算法研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2010, 35(8): 941-945.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2161-8801，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：csa@hanspub.org