1. 研究背景、目的和意义

1.1 研究背景

随着遥感技术的发展，各种传感器每天都能采集到大量的遥感图像，人们可以从中获得大量的有用数据和信息。高分辨率的遥感图像能提供丰富的光谱信息和空间纹理信息，在资源调查、自然灾害检测、天气气象预告、土地利用分类和国防安全上有着广泛的应用。但是由于遥感图像数据量大，目标类型多样且图像会受天气、光线等因素的影响有大量的噪点，传统的依靠人工来对大量遥感图像中的地物进行识别检测和分类显然是不可行的。

目前对遥感图像地物分类存在训练样本特征维度高，异构信息冗杂，含有大量的噪声波段和非线性结构数据，传统的分类算法很难达到精度要求。逻辑回归(Logistic Regression, LR)算法是统计分析、机器学习和数据挖掘领域的一个经典分类算法，用于估计事件发生的可能性，输出等价于模型预测某个数据点属于正类的概率估计。它是一种线性的分类算法，具有求解速度快、预测结果可解释性强的特点，它为探索性解释数据提供了一个有用的概率模型。但是，一般的LR只能用于线性分类，对于非线性的特征数据分类就十分的困难。Logistic回归经过核化扩充之后的分类器称之为核Logistic回归（Kernel logistic regression, KLR）,这样就变成了可用于非线性特征数据分类的分类器[1]。通过将原数据的样本映射到一个高维或无穷维的特征空间，使得样本在这个特征空间内线性可分[2, 3]。虽然此过程的映射规则通常是不可知的，但是可以用核函数(Kernel function)去代替特征空间上的内积运算[4]，因此并不需要知道此特征空间里特征向量的具体表达形式[5, 6]。核方法[7]在近年来机器学习领域十分流行，尤其是基于统计学习理论的支持向量机的成功[8]，由此产生了多种基于核函数的方法[9]，并且被广泛的应用于模式识别、文本分类、信号处理等多个领域[10]。

KLR也是一个凸优化问题，局部最优解一定是全局最优解[11]。而对于一个凸优化问题，可以运用梯度法或牛顿迭代法进行求解[12]，但是该两种方法在每次迭代过程中都需要对一个n×n的核矩阵进行求逆等运算，其中n表示样本个数，通常n的数量达到几千个时，计算时间代价就变得非常的大，甚至难以接受，其时间复杂度为。在支持向量机的凸二次规划问题求解中，Platt等人提出了序列最小最优化算法（Sequential minimal optimization, SMO）[13]，基于此算法思想的启发，Keerthi等人又给出了一种用于计算KLR的快速对偶算法[14]，该算法不需要将整个核矩阵带入迭代步骤里进行计算，每一次迭代只优化序列里的两个值，避免了对核矩阵进行求逆等操作，因此迭代的计算代价十分的小。

核矩阵通常都是稠密矩阵，其存储和计算代价都非常的高，存储稠密矩阵需要的空间，而计算这样的矩阵则需要的代价，这里和分别代表了样本的个数和维度[15]，通常样本数都是上万甚至上百万，而特征维度都是上千左右。因此最常用的解决方法是用有限的内存来计算得到一个近似的核矩阵[16, 17]，这种方法不仅解决了内存问题，也加快了核矩阵的计算。目前已有多种核近似方法被提出[18, 19]，其中Nystrom方法的应用最为广泛，也是之后很多求解近似矩阵算法的基础[20]。Nystrom方法的主要思想是通过降低秩来得到原始矩阵的近似矩阵，相当于从中随机取行列，则,其中是原始矩阵K中的块矩阵，而。

1.2 研究目的

通过分类算法对遥感图像进行像素点级别的分类。采用多核学习方法，经过多个核函数将不同类型的特征数据映射到多个高维特征空间上，使得数据在新的高维组合空间上能够更加准确、合理的表达，进而去判别图像中地物所属的类别。

1.3 研究意义

（1）遥感图像分类是提取遥感信息的一种重要手段，常用于军事侦察、导弹预警、武器制导、军事测绘、道路提取等。而遥感数据的维度很高，数据类型也通常是异构的，含有大量的冗余信息[21]，普通的分类器很难达到分类精度的需求，而将多核学习应用到遥感图像分类上能很好的提高分类效果。

（2）核逻辑回归算法是逻辑回归算法的一种改进，通过核方法将其扩充成了可用于非线性特征的分类器，可以作用于一些非线性特征的数据集，具有一定的学术意义和研究价值。

**2. 国内外研究现状**

2.1 核方法研究

近十多年来，由Vapnik等提出的支持向量机(Support Vector Machine, SVM)被广泛的应用于分类任务中，核方法最早就是应用在SVM上，通过引入核函数来解决非线性分类问题[22]。在SVM获得巨大的成功中，核方法扮演了非常重要的角色。进一步的，核方法被应用到了其他传统的学习算法中去，可以很方便的把线性算法转化为非线性算法。例如：核主成分分析(Kernel PCA)[23]、核Fisher判别分析(Kernel FDA)[24]、核聚类分析等等，这些基于核的学习算法都简称为核方法。只采用一个基本核的学习方法称之为单核学习，而相比于单个核函数，多核模型具有更高的灵活性。多核学习方法根据不同的分类标准有不同的分类方式，按照多核函数的构造方法和特点的不同，可以将多核学习方法大致分成三大类别：合成核方法、多尺度核方法、无限核方法。而多核学习理论早期大体上分为：基于Boosting的多核组合模型学习方法，基于半定规划(Semi-definite programming, SDP)的多核学习方法, 基于二次约束型二次规划(Quadratically constrained quadratic program, QCQP)的学习方法，基于半无限线性规划(Semi-definite linear program, SILP)的学习方法和基于超核(Hyper kernels)的学习方法等[25]。接着为了达到更好的收敛效果和得到更好的解，2012年Vishwanathan又提出SPG-GMKL[26]算法，同时提出了多核的Product组合。而近年来出现的简单多核学习(Simple MKL)方法[27]以及基于中心对齐的学习核算法(Algorithms for Learning Kernels Based on Centered Alignment)[28]都是比较流行的多核学习方法。而在视觉识别任务中，通过在统一的内核空间中加入稀疏模型往往能取得很好的效果[29]。

Logistic regression算法是一种广义的线性回归分析模型，为了解决非线性分类问题，于是将核方法引入到了该分类器中，便出现了核逻辑回归(Kernel logistic regression, KLR)。但是由于引入了核矩阵，迭代求解KLR变得非常的缓慢。受到Platt的序列最小最优算法(Sequential Minimal Optimization, SMO)的启发，Keerthi基于对偶理论[30]提出了求解KLR的快速对偶算法，避免了将核矩阵带入到迭代过程中去运算，从而极大的减少了计算开销。但是随着数据量的不断增大，核矩阵的计算也会影响整个算法的开销，并且将整个数据样本都通过核函数映射到高维空间上去，会带入一些冗余信息。因此，矩阵的近似求解方法被广泛的应用在了求解核矩阵上，如：Nystrom方法，Fastfood方法[31]等。通过这些方法可以加速核矩阵的求解，利用低秩近似又可以去掉原始数据中的一些冗余信息。

2.2 遥感图像分类研究

随着卫星遥感图像和航空遥感图片分辨率的不断提高，人们可以从遥感图像中获得更多的有用的数据和信息。遥感技术应用的核心问题是根据地物辐射电磁辐射强弱在遥感图像上表现的特征，判读识别地面物体的类属及其分布特征。遥感图像特征取决于遥感探测通道、地物光谱特征、大气传播特征及传感器的响应特征等因素。 只要了解这些因素对遥感图像特征的影响，则可按图像特征判读地面物体的属性及其分布范围，实现遥感图像的分类识别。目前图像识别和分类方法通常都是采用神经网络。但是在实际应用中,遥感图像的数据的采集和标定是较困难的,获取的已标定的训练样本集较小, 卷积神经网络需要动辄百万级的训练样本，小样本训练效果往往不能满足需求，如何从小量的数据中生成良好的神经网络或者对小样本异构特征图像进行识别和分类将是未来的研究方向[32]。此外迁移学习也可以解决遥感数据样本少的问题。而多核学习则可以将不同类型的异构特征进行不同的映射处理，充分利用了遥感图像的光谱特征和空间结构特征，能在有效的时间内得到可观的分类准确率。对于遥感图像的分类，主要有基于像素点的分类方法和面向对象的分类方法，目前有Dr. J. Li提出的基于多核学习的高光谱图像分类框架MLR-GCK[33]和基于超像素的多核高光谱图像分类算法[34]都取得了很好的分类效果。

**3. 当前存在的主要问题**

通过对当前遥感图像分类的研究现状进行思考，可以得出其存在以下几个方面的问题：

**（1）核逻辑回归算法计算的时间开销大。**对于核逻辑回归算法的求解，通常都会引入一个稠密的核矩阵，其存储和计算代价都非常的高，存储稠密矩阵需要的空间，而计算这样的矩阵则需要的代价，这里和分别代表了样本的个数和维度。如果直接将全部样本加载到内存中计算所需的核矩阵，通常会引起内存溢出，很难处理大规模的数据集。而在求解核逻辑回归算法的时候，如果采用梯度下降或者牛顿迭代法这样的迭代求解算法，在其迭代过程中核矩阵都会参与迭代运算，并且还可能涉及到对核矩阵求逆等操作。由于核矩阵的大小是和样本个数成正比的，当数据达到一定规模的时候，对大型的核矩阵进行矩阵迭代运算开销十分的大，有时候甚至难以接受。

**（2）多核学习加权系数选择问题。**多核学习是将不同类型特征的多个核函数进行组合来得到新的多核函数，而多核组合方法主要是将基本的核函数直接进行求和或者加权求和，这样就很难找到可靠的加权系数，并且有可能丢失掉原始数据的某些特征信息。

**（3）遥感图像中不同类型特征的应用。**对于遥感图像多分类问题，由于遥感图像中不仅包含光谱特征还有空间信息特征，如果只利用其中的光谱特征对其像素点进行分类，精度通常难以达到需求。