**（一）用于目标检测和语义分割的丰富特征层次**

**(一)****Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation**

**Tech report (v5)**

**——Ross Girshick、Jeff Donahue、Trevor Darrell、Jitendra Malik、UC Berkeley (CVPR 2014)**

**一、科学问题**

**1.1 本文所涉及科学问题**

提升目标检测的性能。

**1.2 同行专家如何解决**

在过去的十年中，各种视觉识别任务的进展很大程度上是基于SIFT和HOG的使用。普遍认为PASCALVOC目标检测在2010-2012年进展缓慢，也就是说，通过构建集成系统和采用成功方法的改进方案进展并不大。

对于目标定位：CNNS采用滑动窗口检测器的方式。

对于标记数据稀缺：Donahue等人的研究指出Krizhevsky的CNN可以(不需要finet-uning)作为黑盒特征提取器，在场景分类、细粒度子分类和领域适应等多个识别任务上都有出色的表现。

**1.3 本文所解决的问题**

1、用深度网络对目标进行定位，以及用少量带注释的检测数据训练高容量模型

效果：与基于简单的HOG之类特征的系统相比，基于PASCAL VOC的CNN可以显著提高目标检测性能。

2、解决标记数据稀缺、现有的可用数据不足以训练大型CNN的问题

效果：在大辅助数据集(ILSVRC)上进行有监督的预训练，然后对小数据集(PASCAL)进行特定领域的微调，实现了54%的mAP。

3、解决语义分割问题

效果：在VOC2011测试集上平均分割准确率为47.9%。

**1.4 本文解决方案效果**

本文提出了一种简单、可扩展的目标检测算法，相对于PASCAL VOC 2012上已有的最佳检测结果提高了30%。

**二、研究内容**

**2.1 理论与方法介绍**

（论文主要研究内容的提出，主要技术路线、理论与方法介绍）

R-CNN方法的步骤如图2-1所示。

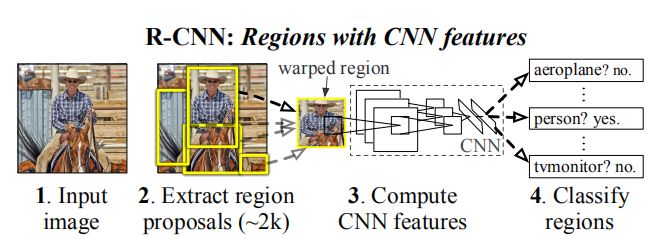


图2-1 R-CNN方法的步骤

**2.1.1 模型设计**

**对于候选区域：**有很多文章提供了各种方法。

**对于特征提取：**首先用Caffe提取4096维度的特征向量；然后经过5层卷积层和两层全连接层，前向传播均值减小了227\*227的RGB图像，以计算特征。

其中，为了计算区域proposal的特征，需要把图像数据转化为与CNN相容的数据（CNN要227\*227像素大小的固定输入）。在任意形状区域的许多可能转换中，选择最简单的一个。无论候选区域的大小或长宽比如何，都将它周围的所有像素warping到所需的大小。在进行warping之前，将紧边界框放大，以便在warping大小处，原始框周围正好有p个弯曲的图像背景像素(这里用p = 16)。

**2.1.2 测试时间检测**

测试时，在测试图像上运行选择性搜索以提取大概2000个候选区域。为提取特征，弯曲每个候选区域并经过CNN前向传播。随后，用针对该类训练的SVM对每个提取的特征向量进行评分。如果一个区域和另一个得分高于学习阈值的区域有IoU重叠，则不要这个得分低的区域。

**对于运行时间分析**

使检测高效的两个性质分别是：其一，各个类别中，所有CNN参数都是共享的；其二，由CNN计算的特征向量是低维度的。

**2.1.3 训练**

有监督预训练：进行鉴别性预训练、用Caffe的CNN库实现、性能和Krizhevsky等人的不相上下。

**域特殊微调：**

随机梯度下降训练CNN参数，只用弯曲候选区域。

大于0.5的IoU和真实边框重叠为边框分类的正面，否则为反面。从学习率为0.001开始随机梯度下降，可以保证在不破坏初始化的同时进行微调。在每个SGD迭代中，一致地采样32个正窗口(在所有类上)和96个背景窗口以构造大小为128的小批量。更倾向于正窗口的抽样，因为它与背景相比很罕见。

**目标类别分类器：**

比如，训练分类器检测车。紧密包围车的图像区域为正，与车无关的背景区域为负。如何为与部分车重叠的部分贴标签？用IoU重叠阈值，低于这个阈值的区域为负。重叠阈值为0.3，是通过{0,…0.5}的网格搜索在验证集上选择的。

在提取特征并应用训练标签后，我们对每个类优化一个线性SVM。由于训练数据太大，无法存储，采用标准的硬负挖掘方法。硬负挖掘收敛很快，在实际中，mAP停止增长后，所有的图像中只有一个通过。

**2.1.4 可视化学习特征**

第一层的Filter可以直接可视化。可视化pool5单元，如图2-2所示，举了一些例子。

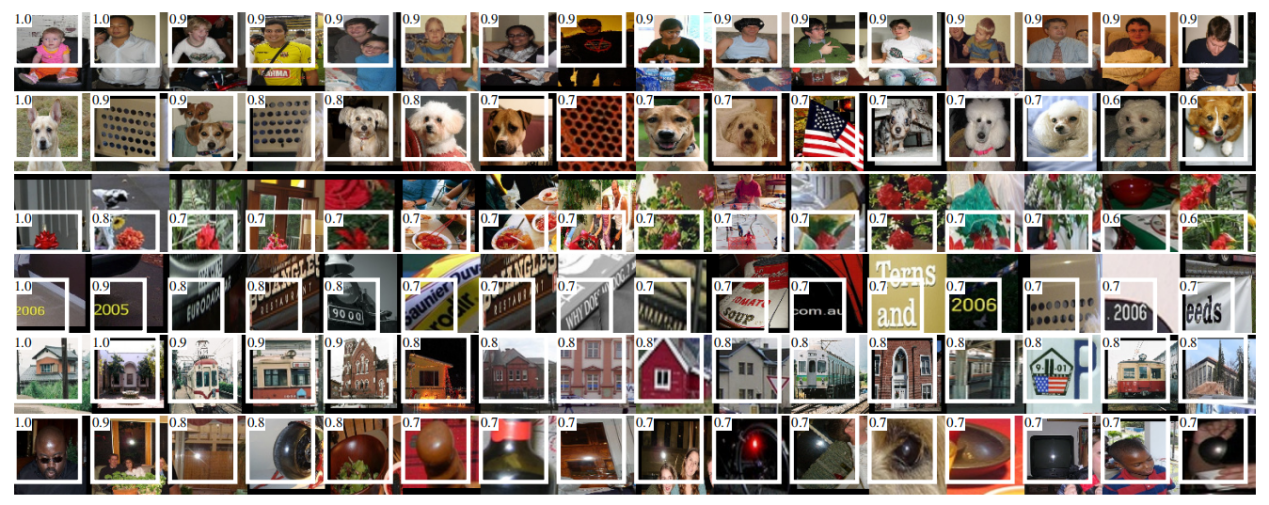


图2-2 可视化pool5单元的例子

有些特征从概念上来讲是一致的，比如第一行的人和第四行的文字。有些特征则是一些纹理和材料性质，比如第二行的点和第六行的反光。

**2.1.5 消融研究**

为了解哪些层对检测性能至关重要，分析了VOC 2007数据集上的CNN最后三层的结果。

**2.1.6 网络结构**

使用O-Net的RCNN性能明显优于使用TNet的R-CNN, mAP从58.5%提高到66.0%。然而，在计算时间方面有一个相当大的缺点，O-Net的前向传递时间大约是T-Net的7倍。

**2.1.7 检测错误分析**

使用了Hoiem等人的优秀检测分析工具，文中未详细介绍。

**2.1.8 边框回归**

受DPM中使用的边框回归的启发，训练了一个线性回归模型来预测一个新的检测窗口，该窗口为选择性搜索候选区域给出了一个pool5特性。

**2.1.9 ILSVRC2013数据集**

ILSVRC2013检测数据集分为三组:train(395,918)、val(20,121)和test(40,152)。为了同时使用val进行训练和验证，将其大致分成大小相同的“val1”和“val2”集。

**候选区域：**

采用与在PASCAL上的检测相同的候选区域方法。

**训练数据：**

对于训练数据，形成了一组图像和框，其中包括val1中的所有选择性搜索框和ground-truth框，以及训练上每个类最多N个ground-truth框(训练中，如果一个类上的ground-truth框少于N个，那么我们就把它们都拿走)。

**验证和评估：**

在选择了val2上的最佳选项之后，向ILSVRC2013评估服务器提交了两个结果文件。第一次提交不使用边界框回归，第二次提交使用边界框回归。

**消融研究：**

val2上的mAP与测试上的mAP非常匹配，val2上的映射是测试集性能的良好指示器。OverFeat相对于R-CNN有一个显著的速度优势:它比R-CNN快9倍左右。这种速度来自于OverFeat的滑动窗口(即，候选区域)不会在图像层面扭曲，因此可以很容易地在重叠窗口之间共享运算。

**与OverFeat的关系：**

OverFeat(大致)可以看作是R-CNN的一个特例。

**2.1.10语义分割**

评估了三种计算CPMC区域特征的策略，所有这些策略都是从将该区域周围的矩形窗口扭曲为227×227开始的。

**2.2** **验证分析与实验效果**

**1、在PASCAL VOC 2010-12上的效果**

遵循PASCAL VOC最佳实践，在VOC 2007数据集上验证了所有的设计决策和超参数。为了得到在VOC 2007数据集上的最终结果，在VOC 2007数据集微调了CNN并且在该数据集上优化了检测SVMs。对于两种主要算法变体(包含和不包含边界盒回归)，只向评估服务器提交了一次测试结果。

将该方法与四个强大的基准进行比较，包括SegDPM，它将DPM检测器与一个语义分割系统的输出相结合，并使用额外的内部检测器背景和图像分类器重新评分。相比而言最接近的是来自Uijlings等人的UVA系统，因为两个系统使用相同的区域proposals算法。本文方法在mAP上得到了很大的提升，从35.1%提高到了53.7%（在VOC2010），同时也快了很多。该方法在VOC 2011/12测试中取得了类似的性能(53.3% mAP)。

**2、在ILSVRC2013检测上的效果**

使用与PASCAL VOC相同的系统超参数，在200类ILSVRC2013检测数据集上运行R-CNN。遵循相同的协议，只向ILSVRC2013评估服务器提交两次测试结果，一次带有和一次不带有边界框回归。对比OverFeat的效果：R-CNN获得31.4%的mAP，明显领先于排名第二的OverFeat （24.3%）。大多数参赛作品(OverFeat、necu - mu、UvAEuvision、Toronto A和UIUC-IFP)都使用了卷积神经网络，这表明CNNs在如何应用于目标检测方面存在显著的细微差别，却导致了结果的巨大差异。

**3、对ILSVRC2013的定性检测结果**

从val2集合中随机抽取每幅图像，并显示出所有精度大于0.5的检测器的检测结果，这些都不是精心策划的，并给实际操作中的检测器一个真实的印象；对另外一些结果都经过了整理，选择每一张图片是因为它包含了有趣的、令人惊讶的或有娱乐性的结果。这里还显示了精度大于0.5的所有检测结果。

**4、语义分割在VOC2011上的结果**

R-CNN方法在21个类别中有11个达到了最高的分割精度，并且在所有类别中平均达到了最高的整体分割精度47.9%(但是在任何合理的误差范围内都可能与O2P结果相关联)。

**三、论文存在问题及后续研究重点**

**3.1 论文存在问题**

OverFeat相对于R-CNN有一个显著的速度优势:它比R-CNN快9倍左右。

**3.2 后续研究重点**

R-CNN应该可以用各种方式加速的。

R-CNN虽然不再像传统方法那样穷举，但R-CNN流程的第一步中对原始图片通过Selective Search提取的候选框region proposal多达2000个左右，而这2000个候选框每个框都需要进行CNN提特征+SVM分类，计算量很大，导致R-CNN检测速度很慢，一张图都需要47s。

**四、该问题相关研究成果**

**4.1 相关论文一**

**（1）题目**： Measuring the objectness of image windows

**（2）作者介绍**：B. Alexe, T. Deselaers, and V. Ferrari

**（3）摘要**:

我们提出了一个通用的对象度量，量化了图像窗口包含任何类对象的可能性。我们明确地训练它来区分具有明确定义的空间边界的物体，例如奶牛和电话，来自无定形的背景元素，例如草和道路。该测量结果在贝叶斯框架中结合了几个图像线索，这些图像线索测量物体的特征，例如与周围环境不同并具有封闭边界。这些包括测量封闭边界特征的创新线索。在具有挑战性的PASCAL VOC 07数据集的实验中，我们展示了这一新的提示，其优于最先进的显着性测量，并且组合的对象测量比单独的任何提示表现更好。我们还比较了兴趣点算子，HOG检测器和最近的三个旨在自动对象分割的工作。最后，我们提出了两个对象的应用。首先，我们根据它们的对象概率对少量窗口进行采样，并给出一种算法，将它们用作现代特定类物体探测器的位置先验。这大大减少了昂贵的特定于类的模型评估的窗口数量。在第二个应用程序中，除了特定于类的模型之外，我们还使用对象作为补充分数，从而减少误报。

**4.2 相关论文二**

**（1）题目**：ImageNet: A large-scale hierarchical image database

**（2）作者介绍**：J. Deng, W. Dong, R. Socher, L.-J. Li, K. Li, and L. FeiFei.

**（3）摘要**：

互联网上图像数据的爆炸式增长有可能促进更复杂，更健壮的模型和算法，以便对图像和多媒体数据进行索引，检索，组织和交互。但究竟如何利用和组织这些数据仍然是一个关键问题。我们在这里介绍一个名为“ImageNet”的新数据库，这是一个建立在WordNet结构主干上的大规模图像本体。 ImageNet旨在将Word的80,000个同义词集中的大部分用于平均500-1000个干净和全分辨率图像。这将导致由WordNet的语义层次结构组织的数千万个带注释的图像。本文提供了ImageNet在当前状态下的详细分析：12个子树，5247个同义词和320万个图像。我们证明ImageNet在规模和多样性方面要大得多，并且比当前的图像数据集更精确。构建这样一个大型数据库是一项具有挑战性的任务。我们用Amazon Mechanical Turk描述数据收集方案。最后，我们通过对象识别，图像分类和自动对象聚类中的三个简单应用来说明ImageNet的有用性。我们希望ImageNet的规模，准确性，多样性和层次结构能够为计算机视觉社区及其他领域的研究人员提供无与伦比的机会。

**4.3 相关论文三**

**（1）题目**：Multiscale Combinatorial Grouping for Image Segmentation and Object Proposal Generation

**（2）作者介绍**：Jordi Pont-Tuset, Pablo Arbelaez, Jonathan T. Barron, Ferran Marques, Jitendra Malik

**（3）摘要**：

我们提出了一种统一的方法，用于自下而上的分层图像分割和用于识别的对象建议生成，称为多尺度组合分组（MCG）。 为此，我们首先开发了一种快速标准化切割算法。 然后，我们提出了一种高效的分层分段器，可以有效地利用多尺度信息。 最后，我们提出了一种分组策略，通过有效地探索其组合空间，将我们的多尺度区域组合成高度精确的对象提议。 我们还提出了单级组合分组（SCG），这是一种更快的MCG版本，可以在每张图像不到五秒的时间内生成竞争性提案。 我们对BSDS500，SegVOC12，SBD和COCO数据集进行了广泛而全面的经验验证，表明MCG可以生成最先进的轮廓，分层区域和对象建议。



**（二）多机器人协作焊接系统的算法研究与仿真实现**

**(二)Algorithm Research and Simulation**

**of Multi-Robot Cooperation Welding System**

**——张曦（东南大学硕士学位论文）**

**一、科学问题**

**1.1 本文所涉及科学问题**

多机器人协作焊接任务规划、多机器人基座标系标定方法、多机器人运动学协调焊接轨迹规划。

**1.2 同行专家如何解决**

早在上世纪70年代，国外研究机构和各高校就已经开始了多机器人协作系统的研究。例如，欧盟于1997年设立了专门用来研究多机器人的项目“MARTHA”，日本各大高校也一直在进行多机器人方面的研究。目前多机器人系统已经成为机器人学的研究热点之一。

多机器人协作焊接任务规划研究：例如，周琨提出了以最高生产效率为目标函数的基于TSP的多点位加工路径优化模型。研究中的启发式搜索算法的应用主要是面向或简化为单机器人的任务规划，很少是针对多机器人协作系统，但为多机器人协作系统的任务规划提供了一定的参考，指明了方向。

多机器人基座标系标定方法研究：目前机器人单元标定的主要标定方法是根据单元坐标系间的变换关系，构建相应的开环或闭环运动链，采用一定的外部传感器或机器人自带传感器来获知若干测量点特征，代入运动链进行计算，通过解方程或最小二乘优化获取运动链中待求标定矩阵。

**1.3 本文所解决的问题**

1.针对多机器人系统，构建了一套能够适应复杂任务分配和规划的分层混合式结构，将多机器人系统划分为协作层、协调层和执行层三个层次；

2. 针对协作层多机器人半协调焊接中的焊接任务规划问题，建立了机器人协作焊接任务规划的一般性模型，并在此基础上以双机器人为例，提出了一种具有多染色体结构的遗传算法用于最优工序的生成。

3．针对多机器人系统的标定问题，提出了一种多机器人基座标系标定的方法。

4. 针对协调层多机器人焊接中的运动学协调轨迹规划问题，在为机器人建立运动闭合链的基础上，分别建立了主从式机器人紧耦合协调和松耦合协调的模型，并在此基础上针对板板焊接、管板焊接、管管焊接三种典型的焊接情况进行了分析和仿真，证明了所建立模型的正确性。

**1.4 本文解决方案效果**

1.在对多机器人协作系统进行了广泛调研的基础上，提出了一种通用的包含协作层、协调层和执行层的三层式体系结构，并在此后的研究中将此框架运用于焊接中，指导了多机器人协作焊接任务的规划。

2. 针对多机器人协作焊接任务规划，通过分析焊接过程中存在的多种约束条件和优化目标，建立了多机器人协作焊接任务规划的一般化模型，在此基础上以双机器人为例，提出了一种具有多染色体结构的改进遗传算法进行求解，取得了良好的效果。

3. 针对具有多机器人基座标系标定问题展开研究，通过为机器人系统建立运动闭合链并分析闭合链的运动特征，提出了一种新的标定方法。相比于传统的方法，该方法简便易行，因此对于需要常常搬动的机器人的标定具有极大的适应性:不需要昂贵的精密仪器，节约了生产成本;得到的解析解符合标准正交化的要求，更加精确。

4. 针对多机器人运动学协调轨迹规划进行研究，分别建立了主从式机器人紧祸合协调和松祸合协调的模型，并在此基础上针对板板焊接、管板焊接、管管焊接三种焊接情况使用SolidWorks进行仿真，证明了所建立模型的正确性。最后针对管管焊接时机器人角度变化较大的情况进行了优化，取得了良好的效果。

**二、研究内容**

**2.1 理论与方法介绍**

1.设计了面向机器人协作系统的三层混合式体系结构:协作((cooperation)层、协调((coordination)层、执行((excution)层。

2.针对多机器人协作焊接任务规划，通过分析焊接过程中存在的多种约束条件和优化目标，建立多机器人协作焊接任务规划的一般模型，在此基础上以双机器人为例，提出一种具有多染色体结构的改进遗传算法进行求解。

3．针对具有多机器人基座标系标定问题展开研究，通过为机器人系统建立运动闭合链并分析闭合链的运动特征，提出一种新的标定方法。

4. 针对多机器人运动学协调轨迹规划进行研究，分别建立了主从式机器人紧耦合协调和松耦合协调的模型，并在此基础上针对板板焊接、管板焊接、管管焊接三种焊接情况使用SolidWorks进行仿真，证明了所建立模型的正确性。最后针对管管焊接时机器人角度变化较大的情况进行了优化。

**2.2 验证分析与实验效果**

1.双机器人标定实验：操纵示教盒，使得机器人VE11400通过直角空间内的移动，通过运动分别到达了实验所需的三步骤，都达到了图示的效果，从而证明了该方法的正确性。在双机器人公共作业空间内，如果取更多的采样点，可以提高标定精度，进一步逼近双机器人基座标间变换关系的真实值。

2.双机器人运动学协调焊接的应用仿真：板板焊接、管板焊接、管管焊接各自有实验效果。

**三、论文存在问题及后续研究重点**

**3.1 论文存在问题**

1. 在多机器人协作焊接任务规划中，仅考虑了半协调任务规划的情况。

2. 文中第四章针对机器人基座标系的标定，由于条件限制，用实验验证的方式检验了标定结果。

3. 所做的实验大多是在电脑上进行的。

**3.2 后续研究重点**

1. 加入全面协调任务规划统筹考虑。

2. 将碰撞约束做成模块或依据真实机器人进行考虑。

3. 能够在真实机器人上进行实地操作，以直观的形式进行验证。

**四、该问题相关研究成果**

**4.1 相关论文一**

**（1）题目**：双机器人协调运动方法的研究

**（2）作者介绍**：欧阳帆

**（3）摘要**:

现代工业的发展和机器人技术的进步使得机器人的性能不断提高，机器人应用的领域和范围正不断扩展，机器人将会越来越多地代替人类去执行更多更复杂的作业。为了适应不断提高的任务复杂性、操作智能性以及系统柔顺性等要求，双机器人乃至多机器人之间的协调和协同作业是机器人技术在工业环境中进行推广和应用急需解决的关键技术之一。由于多机器人系统 (主要是多机器人操作臂)操作物体时形成闭链系统，存在受限运动及冗余度控制问题，意味着多机器人系统需要解决规划方法、解析方法和可行的控制方法等问题。

本文以两台六自由度工业机器人的运动学协调和带有力控制的协调作业方法为研究对象，对双机器人系统的避碰路径规划方法、双机器人之间坐标系标定、协调运动轨迹规划和优化方法、带有力反馈控制的协调作业方法等问题进行了系统深入的研究，主要内容如下：

针对双机器人系统的碰撞检测和避碰路径规划问题，提出了基于八叉树数据结构的三层球体碰撞检测模型、用于有向包围盒（Oriented Bounding Boxes，OBB）之间最短分离距离和最短穿透距离计算的 SAT-SDPD 算法。通过仿真验证了提出方法的有效性和可行性，比较和分析了不同包围盒建模方法的快速性和准确性。提出了基于速度排斥场的避碰路径规划和优化方法，通过数值仿真分析证明了使用改进的速度排斥场模型在双机器人避碰路径规划中具有较好的效果。

双机器人协调焊接轨迹规划方法的研究是进行双机器人协调焊接以及保证焊接质量的前提。论文对焊缝进行了离散化及建立离散点的坐标系，提出在船型焊约束下对工件坐标系{WP}进行位姿规划的非主从式双机器人协调焊接轨迹规划方法，并提出在笛卡尔空间中基于操作性最优的工件坐标系{WP}位置的优化搜索方法。通过仿真验证了协调焊接轨迹规划方法和工件坐标系{WP}位置优化搜索方法的有效性。

运动学协调是双机器人协调作业的基础，也是实现带有力控制的协调的前提。论文提出了获得两台机器人基座坐标系之间位姿矩阵的三点标定方法，通过数值仿真验证了提出方法的有效性；提出了通过离线计算，自动生成所需的从机器人的协调跟随运动路径点和协调镜像运动路径点的协调路径生成方法。试验结果表明，从机器人协调运动轨迹精度满足工业应用要求，验证了该离线计算方法的有效性。

针对双机器人协调搬运作业中的内力控制问题，对双机器人共同抓取一个物体的静力学进行分析，基于现有的位置/力混合控制与阻抗控制这两种典型力学控制方法，提出了基于遗传算法优化的双机器人协调搬运速度阻尼 PD 控制方法。试验结果表明，相比优化前的速度阻尼 P 控制误差减小，验证了提出的控制方法和优化算法的有效性。最后为验证轨迹规划方法和力控制方法的有效性和可行性，搭建了双机器人运动学协调和力学协调两个实验平台进行试验研究。试验分为两部分，第一部分为运动学协调试验，包括了两个试验，分别为在已知主机器人末端运动路径的条件下，离线生成从机器人协调跟随运动路径试验，以及离线生成从机器人协调镜像运动路径试验。第二部分为基于力反馈阻尼控制的双机器人力学协调搬运试验。试验结果表明，双机器人运动学协调轨迹精度达到工业机器人作业要求，双机器人协调搬运内力控制具有较好的瞬态性能，跟踪精度和鲁棒性。

**4.2 相关论文二**

**（1）题目**：面向双臂协调的运动规划方法研究

**（2）作者介绍**：白玉昊

**（3）摘要**：

随着机器人技术的发展及其应用领域的扩展，单个机器人在结构化场景的应用存在很大的局限性，己无法满足当前工厂智能化的需求，而双臂协调系统具有负载能力强、工作效率高、工作空间大等优势，得到了国内外研究人员的广泛关注。但双臂的协调控制是非常困难的，如何使双臂在执行任务过程中保持运动的协调一致是协调控制中最为核心的问题，同时也是完成协调任务的基础。因此本文以双臂协调的运动规划方法为研究对象，针对不同类型的协调运动过程，研究其运动规划方法，实现双臂在协调过程中无碰、平稳、精确、同步地运动。具体研究内容如下:

首先，建立单臂的运动学模型，并采用几何法和解析法结合的方式简化逆运动学求解过程;针对现有标定算法的不足，设计了一个适用于工业现场的基坐标系标定算法，该算法通过构建空间公共靶标坐标系进行标定，同时改进了取点方式，简化了求解过程;此外，针对双臂松协调运动和紧协调运动过程，分别进行了运动学分析，为双臂运动规划方法的研究提供了基础。

针对双臂在协调运动过程中可能发生碰撞及为了保证双臂安全可靠运行，在运动控制器进行插补计算时需要进行碰撞检测的情况，本文基于包围体技术和层次分解技术提出了一个适用于双臂协调系统的碰撞检测算法;同时研究了RRT ( Rapidly-exploring Random Tree)算法，针对传统RRT算法搜索盲目性大、收敛效率低及转折次数过多的不足进行改进，并基于改进的RRT算法和碰撞检测算法，提出了一个适用于双臂松协调运动过程的运动规划方法，并在VREP

(Virtual Robot Experimentation Platform)中仿真验证了其有效性。

针对双臂紧协调运动过程，提出了一个运动规划方法，包括路径规划和轨迹规划两部分;同时，出于双臂运动平稳性与精确性要求，对传统S型速度规划算法进行了改进，并将其应用于双臂笛卡尔空间位置规划;此外，在双臂姿态规划时，基于单位四元数将五次样条曲线应用于规划过程实现了姿态曲线的高阶连续性。并在VREP仿真验证了双臂紧协调运动规划方法的有效性。

最后，搭建了双臂协调实验平台，在该实验平台上进行了双臂基坐标系标定、双臂松协调运动及双臂紧协调运动的实验，实验结果证明了本文运动规划算法的有效性，可以实现双臂无碰、精确、平稳、同步地完成协调运动。

**4.3 相关论文三**

**（1）题目**：双机器人协调运动规划及仿真的研究

**（2）作者介绍**：杨国

**（3）摘要**：

随着社会的进步与科技的发展，机器人越来越多地应用到工业生产的各方面当中。单台机器人的使用以及机器人与变位机的协调作业，存在可达工作范围小，可操作性和柔顺性差等缺陷，不能满足日益复杂的工作任务需求。双台机器人乃至多台机器人协调作业能有效解决这些生产难题，其应用前景更广阔。以双台机器人为主的协调控制研究及其技术的推广成为当今生产函待解决的问题之一。

本文以两台六自由度工业机器人为研究对象，深入研究双机器人系统的标定方法、碰撞检测、协调运动的轨迹规划、速度匹配以及运动学分析，并进行仿真实验以验证工作任务轨迹规划结果的正确性。本文主要研究内容为:

基于D-H法建立IRB 1600机器人运动学模型，推导机器人的正逆运动学，给出一种快速求逆解的方法。标定是双机器人协调运动的前提，可通过标定获取双机器人基坐标系之间的相对位姿。采用基于空间投影法的标定方法进行双机器人标定实验，分析误差来源，利用白噪声模拟干扰，对标定结果进行修正。该方法不需要借助精密仪器，操作简单，理论精度和加入干扰后的精度较高，能满足实际生产需求。

碰撞检测是双机器人协调运动的安全保障，可避免发生碰撞事故。建立双机器人简化模型，并通过计算几何体单元之间的最短距离来判断机器人是否发生碰撞。使用Matlab计算碰撞实验的碰撞起始与结束时间。建立Adams动力学模型，给两机器人的小臂施加接触力，并进行碰撞仿真，以获取碰撞时间，从而验证算法结果。

双机器人协调运动的关键在于机器人的轨迹规划，两台机器人需要时刻保持协调关系，共同完成指定的任务。以协调搬运任务来研究双机器人协调同步运动。以

协调写字、协调画圆以及协调焊接任务来研究双机器人协调相对运动。主机器人采用示教方式获取末端轨迹，根据协调运动学关系，使用M atlab求出从机器人的运动轨迹，并转换为ABB机器人运行程序。同时，分析机器人各关节运行的平稳性。

最后，使用robotstudio离线编程软件对四个工作任务规划的运动轨迹进行仿真检验。通过观察仿真过程可知，主从机器人在细分的各运行轨迹点处均保持协调关系。使用速度匹配策略后，两台机器人仿真运行总时间较为接近，说明同步效果较好。由于该款离线编程软件与实际情况等效，表明了轨迹规划结果的正确性。