

## NVIDIA GPU 应用于扫描地形图分割

### 案例简介

- 扫描地形图自动化处理时经常碰到的挑战包括图像质量差以及地形图尺寸过大所带来的计算开销大等问题，本案例将 NVIDIA GPU 应用于超像素划分以及深度神经网络的实施，使用单块 GPU 便成功实现了扫描地形图高效准确的分割。
- 本案例主要应用到 NVIDIA Tesla K40 GPU 上。

### Case Introduction

- The challenge for automatically processing of scanned topographic map includes the poor quality of images and the high computational cost caused by large size of topographic maps. This case applied Tesla K40 GPU on the implementation of superpixel generation and deep neural networks. Just one piece of Tesla K40 can significant improve the efficiency of segmentation, which make the segmentation method not only accurate but also practical for large size of topographic maps.
- The major product utilized in the case is NVIDIA Tesla K40 GPU.

### 背景

扫描地形图图像处理以及信息提取技术是档案管理、图像处理以及地理信息科学等学科综合交叉的一门科学技术，其主要目的是从保存在档案的地形图中自动获取丰富的地理信息以及空间信息，可以为包括社会学、环境学、人类活动等方向在内的研究提供宝贵的数据来源。作为地形图信息提取的基础，扫描地形图分割技术在最近数十年间得到了越来越广泛的关注，但由于地形图本身质量限制以及扫描误差等影响，导致扫描地图分割研究领域仍然存在许多尚待解决的问题。区域划分（超像素）方法近年来在机器视觉领域被广泛应用，但是由于地形图本身特有的地理要素分布复杂、交错频繁等特点，导致经典的超像素方法并不适合于扫描地形图的处理。此外深度神经网络近些年被证明在包括图像分割的多个领域都有出色的

表现，其强大的深层特征提取能力是其可以在图像处理方向有出色表现的关键。但是由于扫描地形图本身图像质量低以及地理要素分布复杂等限制，深度神经网络在扫描地形图图像处理以及信息提取方面的应用鲜有见闻。此外，由于地形图通常都绘制在较大的纸质上（接近 1 米\*1 米的级别），导致在正常分辨率下扫描得到的地形图图像常常包含数千万甚至上亿个像素，普通的算法常常会导致极大的时间及空间消耗。

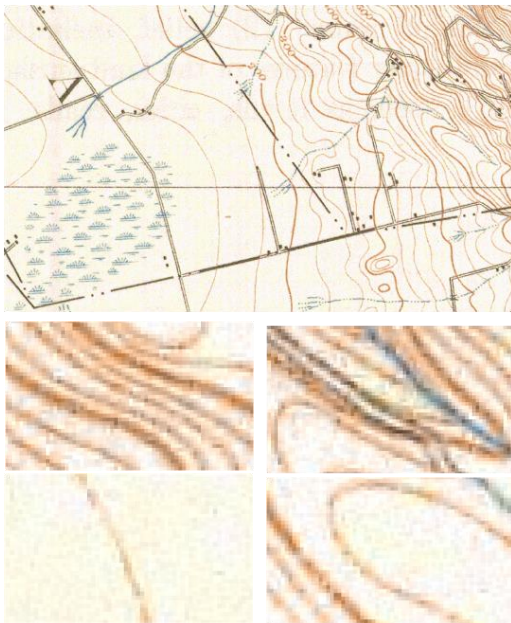
我们燕山大学信息科学与工程学院对扫描地形图处理有着多年的研究基础，目前有多篇相关论文发表在了包括 IEEE Transactions on Image Processing、IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 等期刊上，但是在以往的研究并无法真正解决扫描地形图幅面大所造成的运算时间长等问题，导致很多性能较好的算法无法真正应用在实际的地形图处理中。也正是由于这个原因，使我们迫切寻找一个可以真正应用于实际生产中的分割框架。

本案例利用 Tesla K40 GPU 具备的强大的众多线程计算能力，解决了长期以来存在的处理时间长的问题，在对扫描地形图进行超像素划分的基础上，利用神经网络对超像素进行分类从而实现分割。将这些算法部署到 Tesla K40 GPU 上，在实现对扫描地形图的准确分割的同时，大幅度提高了计算处理速度，为后续的地形图地理信息提取提供坚实的基础。

### 挑战

虽然扫描地形图分割任务表面上与其他光学图像的多目标分割任务类似，但是其实质却有很大的不同。首先纸质地形图的大幅面（通常在 1 米\*1 米大小）使得扫描图像的分辨率无法太高，容易导致地形图中的地理要素更加的模糊、线状要素更细。其次由于扫描仪自身的点扩散函数所导致的颜色混淆、由于 RGB 通道未对准所导致的颜色失真、以及地理要素相互叠加所造成的混合色等，均为图像分割带来极大的挑战，下图展示

了一副扫描地形图的细节图，通过放大显示的区域可以清楚的观察到以上的这些困难。

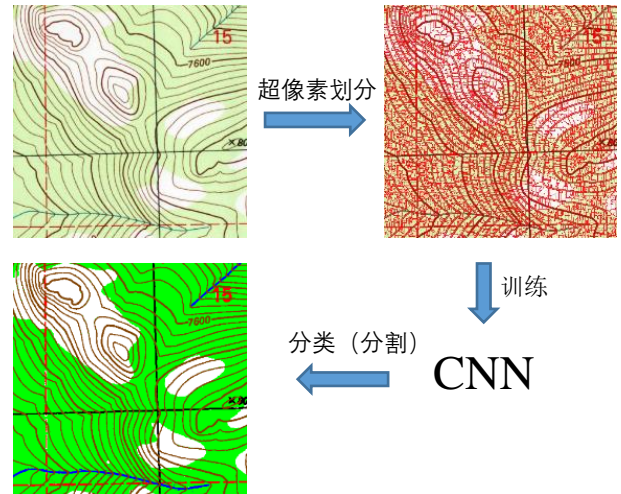


然而，与困难并存的却是对分割结果中细节的高准确度的需求，这是由于在地理要素提取时是把由像素表示的平面图转换为 GIS 系统可以理解的矢量信息，因此分割结果中地理要素完整、连续、干扰少等性质对于之后的矢量化操作至关重要。为了克服困难并实现以上目的，在地形图扫描过程中注定不能选取过低的分辨率，从而决定了最终得到的扫描地形图图像必然具有较大的尺寸，这些都会大幅度增加分割算法的处理时间。因此，如何在大量挑战的情况下高效地实现各个地理要素层的准确分割是扫描地形图地理信息提取的首要解决目标。

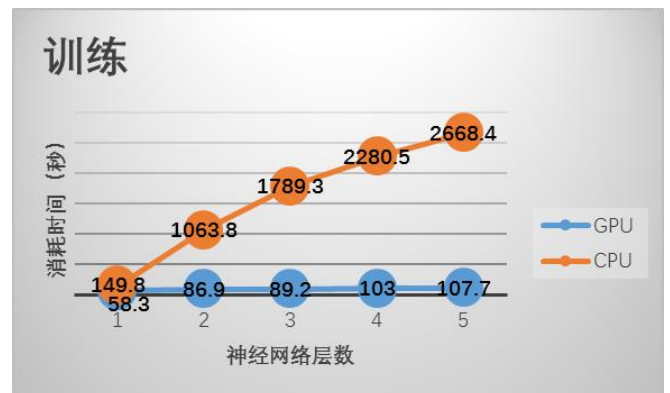
## 方案

将超像素划分移植到 NVIDIA 的 GPU CUDA 框架下进行重新编程，利用 CUDA 的多线程计算能力，缩减了近三分之二的运行时间。同时利用基于 Caffe 深度学习平台和 GPU 加速技术实现的深度神经网络，无论是在训练还是测试步骤，相比 CPU 下的计算时间都有了较大的压缩。

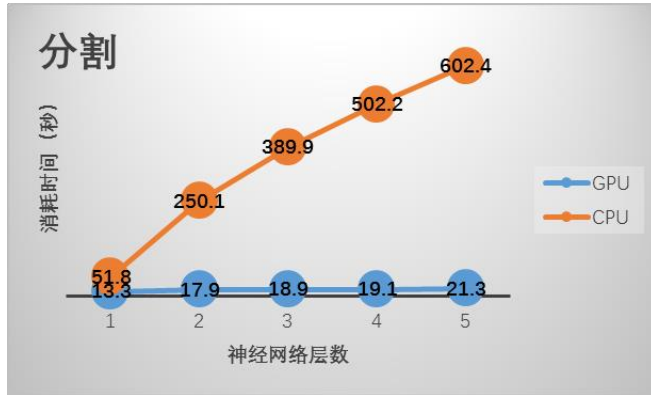
本案例的扫描地形图分割流程如下图所示，虽然在本案中仅仅使用了一块 Tesla K40 GPU 进行加速，但是在处理效率上已经有了大幅度提升。



针对本案例中存在的各种挑战，我们设计了一套针对扫描地形图的基于超像素和神经网络的分割算法，下图展示了在 CPU 框架下和 NVIDIA Tesla K40 框架下本案例训练不同深度的神经网络所需要的时间，可以从图中看到随着神经网络深度的增加，CPU 模式下的训练时间大幅增加，而相比之下在 NVIDIA GPU 模式下训练的时间却始终保持着很小的增幅。当网络深度达到三层之后，CPU 下的训练时间就已经超过了 GPU 下所需时间的 20 倍，并随着层数加深，这一倍数也在不断增加。



而下图则展示了不同深度的网络下分割一幅 8000\*7800 像素的扫描地形图在两种模态的运行时间对比。可以看到和训练神经网络时的情况类似，当网络深度达到三层时，在 CPU 模式下的分割所需时间就已经超过了 GPU 下所需时间的 20 倍，并随着层数加深，这一倍数也在不断增加，当网络深度为五层时，本案例中分割一幅中等尺寸的扫描地形图在 CPU 框架下面需要时间已经超过了 10 分钟，而在 NVIDIA Tesla K40 GPU 框架下仅需不到半分钟。



可以看到无论是在训练网络还是分割时，应用了 NVIDIA CUDA 技术以及 Tesla K40 GPU 框架的算法运行时间相比于在 CPU 模式下有了大幅度的降低。同时可以看到，在 CUDA 技术和 GPU 框架的支持下，分割一幅 8000\*7800 像素的扫描地形图只需 21 秒，相比于传统的分割算法需要几十分钟甚至几个

小时的情况，有了本质的飞跃。同时在该案例的分割结果中，基本可以得到像素级别的 80% 正确率，对于较低质量扫描地形图，这一分割结果可以被看做是十分理想的。

## 影响

受益于 NVIDIA GPU 的性能优势和 NVIDIA 的技术支持，我们得以高效、准确的对大幅面扫描地形图进行分割。高效的实验环境使得我们可以不断尝试不同复杂级别的算法，针对不同图像质量、不同复杂级别的地形图尝试不同的分割策略，这对于不断探索准确的扫描地形图分割算法、设计实用的扫描地形图信息提取系统都是十分必要的。在以后的工作中我们可以将成熟的算法直接集成到 NVIDIA TX1 等平台，实现无需软件安装、支撑热插拔的扫描地形图处理系统，为有地理信息提取需求的用户提供可靠的扫描地形图处理组件。