

## English

This study evaluated the ability of two deep-learning architectures to identify road culverts from the remote sensing data. The two architectures were a standard UNet and a UNet with both Residual connections and Attention blocks. TensorFlow 2.16 was used to build the two types of encoder-decoder-style deep neural networks to transform the topographical indices into images highlighting the location of road culverts.

### Code.zip

This file contains the scripts used in this study. Start with the readme file for instructions on how to run the code.

The Dockerfile is the instructions for the environment used in this project.

"The notebook Train\_attention\_Residual\_20240502.ipynb" was used to train and evaluate the deep learning models.

The notebook "Results.ipynb" evaluates the results.

### culvertData.zip

An extensive culvert survey was conducted in 25 watersheds in central Sweden by the Swedish Forest Agency during the snow-free periods of 2014–2017. A total of 28,512 culverts were mapped with a handheld GPS with a horizontal accuracy of 0.3 m. Densely populated urban areas with underground drainage systems were excluded from the survey (0.3 % of the combined area). All other culverts were included. This includes culverts running alongside roads and underneath access roads to agricultural fields, access roads to forest stands, and driveways.

### isobasins.zip

Watersheds were used to split the detected culverts up into a more manageable size. The isobasins were created using the [isobasins tool in Whitebox tools](#).

### training.zip and testing.zip

These are Image chips used to training and test the deep learning model. The data is stored as image – mask pairs where the images have four channels, red, green, IR and the topographical index "maximum downslope elevation change". The masks are binary rasters where the value 1 indicate a road culvert and the value 0 indicates the background. The script code/split\_data\_to\_chips.sh was used to split larger tiles into the smaller chips.

### weights.zip

The models are located in the folder "model" but the trained weights are stored in weights.

These weights are loaded into the model before it can be used for predicting culvert locations.

The best weights were "Attention\_ResUNet\_combined\_g7\_bs\_32\_epoch\_100.weights.h5".

### PredictedCulvertsByIsobasins.zip

When the RA-UNet model was applied to parts of Sweden with ALS coverage, it detected 4.9 million culverts. These are the final predicted culverts by the AI model stored as vector polygons. Densely populated areas like Gothenburg and Stockholm have a higher culvert density than the more scarcely populated areas in the north.

## Svenska

Denna studie utvärderade förmågan hos två djupinlärningsarkitekturer att identifiera vägtrummor från fjärranalysdata. De två arkitekturerna var en standard UNet och en UNet med både residuallkopplingar och uppmärksamhetsblock. TensorFlow 2.16 användes för att bygga de två typerna av encoder-decoder-baserade djupa neurala nätverk för att omvandla topografiska index till bilder som markerar platsen för vägtrummor.

### Code.zip

Denna fil innehåller de skript som användes i studien. Börja med readme-filen för instruktioner om hur koden körs.

Dockerfilen innehåller instruktioner för den miljö som användes i projektet.

Notebooken Train\_attention\_Residual\_20240502.ipynb användes för att träna och utvärdera de djupinlärningsmodeller som togs fram.

Notebooken Results.ipynb utvärderar resultaten.

### culvertData.zip

En omfattande truminventering genomfördes i 25 avrinningsområden i centrala Sverige av Skogsstyrelsen under de snöfria perioderna 2014–2017. Totalt kartlades 28 512 vägtrummor med en handhållen GPS med en horisontell noggrannhet på 0,3 m. Tätbefolkade stadsområden med underjordiska avloppssystem exkluderades från undersökningen (0,3 % av den totala ytan). Alla andra trummor inkluderades. Detta innefattar trummor längs vägar samt under tillfartsvägar till jordbruksmarker, skogsbestånd och uppfarter.

### isobasins.zip

Avrinningsområden användes för att dela upp de detekterade vägtrumorna i hanterbara storlekar. Isobasinerna skapades med hjälp av verktyget isobasins i Whitebox Tools.

### training.zip och testing.zip

Dessa är bildutklipp som användes för att träna och testa djupinlärningsmodellen. Data lagras som bild-mask-par där bilderna har fyra kanaler: röd, grön, IR och det topografiska indexet maximal höjdskillnad nedförs. Maskerna är binära raster där värdet 1 indikerar en vägtrumma och värdet 0 anger bakgrund. Skriptet code/split\_data\_to\_chips.sh användes för att dela upp större bildrutor i mindre utklipp.

### weights.zip

Modellerna finns i mappen model, men de tränade vikterna lagras i weights. Dessa vikter laddas in i modellen innan den kan användas för att förutsäga vägtrumors position. De bästa vikterna var Attention\_ResUNet\_combined\_g7\_bs\_32\_epoch\_100.weights.h5.

### PredictedCulvertsByIsobasins.zip

När RA-UNet-modellen applicerades på delar av Sverige med ALS-täckning, identifierade den 4,9 miljoner vägtrummor. Dessa är de slutliga förutsagda vägtrumorna från AI-modellen, lagrade som vektorpolygoner. Tätbefolkade områden som Göteborg och Stockholm har en högre trumtätthet än de glesbefolkade områdena i norr.