



Politechnika  
Śląska

**Politechnika Śląska**  
**Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki**

Projekt inżynierski

Wykorzystanie sieci neuronowych do detekcji ziaren w obrazach  
termowizyjnych

Autor: Maciej Ziaja

Kierujący pracą: dr inż. Sebastian Budzan

Gliwice, styczeń 2020

## **Streszczenie**

Tematem pracy jest...

# Deklaracja

Deklaruję że...

# Podziękowania

Pragnę podziękować...

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>1</b>
1.1	Motywacja projektu . . . . .	1
1.2	Cel pracy . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Założenia projektowe i wykorzystane narzędzia</b>	<b>2</b>
2.1	Analizowane pyły rud miedzi . . . . .	2
2.2	Rodzaje termowizji i idea wykorzystania pomiarów termowizyjnych	2
2.3	Kamera termowizyjna FLIR A320 . . . . .	2
2.3.1	Opis sprzętowy wykorzystywanej kamery . . . . .	2
2.3.2	Oprogramowanie do obsługi kamery . . . . .	4
2.4	Narzędzia programistyczne . . . . .	5
2.4.1	Język programowania Python . . . . .	5
2.4.2	Biblioteka przetwarzania obrazu Scikit-image . . . . .	5
2.4.3	Interfejs sieci neuronowych Keras i biblioteka TensorFlow . .	5
<b>3</b>	<b>Analiza i ekstrakcja danych z kamery termowizyjnej</b>	<b>7</b>
3.1	Proces pomiarowy i budowa zbioru danych . . . . .	7
3.2	Analiza zebranych obrazów termowizyjnych . . . . .	7
3.2.1	Prezentacja przykładowej serii pomiarowej . . . . .	7
3.2.2	Przetwarzanie danych wizyjnych . . . . .	7
3.2.3	Poprawa jakości obrazu . . . . .	7
3.2.4	Automatyczny odczyt zakresu pomiarowego temperatur z ob- razu . . . . .	7
3.3	Poszukiwanie zależności użytecznych w klasyfikacji . . . . .	7
3.3.1	Rozważane możliwości użycia cech obrazu w klasyfikacji . . .	7
3.3.2	Wybór algorytmu detekcji ziaren . . . . .	7
3.3.3	Algorytm śledzenia ziaren w serii zdjęć . . . . .	7
3.3.4	Wizualizacja zebranych cech i ocena ich użyteczności . . . .	7

<b>4</b>	<b>Prototypowanie sieci neuronowej klasyfikującej ziarna miedzi</b>	<b>8</b>
4.1	Budowa prototypu sieci neuronowej . . . . .	8
4.1.1	Dobór struktury sieci . . . . .	8
4.1.2	Trening sieci neuronowej . . . . .	8
4.2	Walidacja i ocena działania sieci . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Podsumowanie</b>	<b>9</b>

# Rozdział 1

## Wstęp

### 1.1 Motywacja projektu

### 1.2 Cel pracy

## Rozdział 2

# Założenia projektowe i wykorzystane narzędzia

### 2.1 Analizowane pyły rud miedzi

### 2.2 Rodzaje termowizji i idea wykorzystania pomiarów termowizyjnych

### 2.3 Kamera termowizyjna FLIR A320

Przedmiotem projektu jest analiza obrazów pochodzących z przemysłowej kamery termowizyjnej FLIR A320. Jest to kamera łącząca wysoką jakość pomiaru z nowoczesnymi funkcjami integracji z oprogramowaniem komputerowym. Urządzenie łączy się z komputerem za pomocą kabla ethernetowego, pozwalając na kontrolę z poziomu oprogramowania oraz bibliotek programistycznych. Dodatkowo kamera posiada możliwość planowania automatycznych pomiarów, alarmów, oferuje funkcje analityczne oraz wbudowany serwer internetowy.

#### 2.3.1 Opis sprzętowy wykorzystywanej kamery

Kamera ma postać podłużnego korpusu, do którego swobodnie można podłączać pasujące obiektywy. Na rysunku 2.1 przedstawiono zdjęcie wykorzystywanego urządzenia. Egzemplarz kamery znajdujący się w laboratorium termowizji Politechniki Śląskiej został wyposażony w obiektyw typu makro, pozwalający oglądać ziarna rud miedzi w bardzo dużym powiększeniu. Kamera cechuje się następującymi parametrami:

- typ detektora: niechłodzony mikrobolometr



- rozdzielczość: 320 na 240 pikseli,
- częstotliwość odświeżania: 9Hz do 30Hz
- szerokość otworu:  $f1.3$ ,
- autofocus z wbudowanym silnikiem,
- zakres pomiarowy temperatur:
  1. od  $-15^{\circ}\text{C}$  do  $50^{\circ}\text{C}$ ,
  2. od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $350^{\circ}\text{C}$ ,
- dokładność:  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  lub  $\pm 2\%$  odczytu,
- zakres wykrywanego widma promieniowania:  $7.5\mu\text{m}$  do  $13\mu\text{m}$ .



Rysunek 2.1: Kamera termowizyjna FLIR A320

Kamera wykrywa temperaturę przez detektor zwany *bolometrem*, który mierzy energię niesioną przez fale elektromagnetyczne w spektrum podczerwieni. Kiedy fala pada na detektor kamery, temperatura komórek matrycy rośnie i zwiększa się ich rezystancja elektryczna, co wpływa na natężenie prądu przepływającego przez obwody w czujniku. Wartości natężenia prądu są mierzone, a na ich podstawie określana jest mierzona temperatura.

Zakres temperatur kamery jest odpowiedni do przeprowadzenia eksperymentów z pomiarami metodą termowizji aktywnej. Próbki planuje się podgrzewać do

temperatury maksymalnie około 80°C, wartość ta mieści się w zakresie pracy urządzenia. Dokładność kamery jest zadowalająca, próbne materiały nagraniowe wskazały, że na zdjęciach widocznych jest wiele szczegółów i detali badanego materiału. Przy klasyfikacji obrazów i wzorców stygnięcia próbek jest to bardziej istotne niż liczbowa dokładność pomiarowa przyrządu.

W porównaniu ze zwykłymi, współczesnymi aparatami rozdzielczość kamery termowizyjnej może wydawać się bardzo mała. Należy sobie jednak uzmysłwić, że w standardowych aparatach piksele mają rozkład Bayera, a wartości składowych koloru są interpolowane. W kamerze termowizyjnej każdy piksel dokonuje pełnego pomiaru wartości temperatury, dlatego bezpośrednie porównanie rozdzielczości używanego przyrządu z popularnymi aparatami może być mylące. Oczywiście większa rozdzielczość kamery byłaby pożądana, jednak jej obecne możliwości pozwalają na szczegółowe pomiary i obserwacje wielu detali ziaren rud miedzi.

### 2.3.2 Oprogramowanie do obsługi kamery

Jedną z najważniejszych cech kamery jest łatwość jej integracji z oprogramowaniem komputerowym. Kamery można obsługiwać za pomocą programu FLIR Tools. Pozwala on na podgląd obrazu z kamery oraz wykonywanie zdjęć termowizyjnych. Producent dostarcza również bibliotekę LabVIEW pozwalającą na zaawansowaną pracę z kamerą. Do obsługi stanowiska został napisany program używający tych bibliotek, który pozwala na nagrywanie materiałów wideo przy pomocy kamery. Nagrane materiały mają własnościowy format firmy FLIR, jednak można je odtwarzać w programie FLIR Tools. Program pozwala także na eksport stopklatek z nagrania, w postaci plików jpg. Przy obsłudze narzędzia ważne jest ustawianie zakresu temperatur na obrazie. Wybrany zakres decyduje w jaki sposób wartości temperatury są mapowane na kolory w obrazie zawarte w tablicy LUT. Program oferuje tablice w skali szarości, takie zostały użyte w projekcie, możliwy jest także wybór tablic w postaci kolorowych gradientów. Wybór zakresu wpływa na wygląd wyświetlanego obrazu oraz eksportowanych stopklatek. Jego nieodpowiedni dobór może skutkować zbyt ciemnym, jasnym, lub mało kontrastowym obrazem. Aby zapewnić najlepsze wykorzystanie nagrań z kamery oraz powtarzalny charakter eksportu stopklatek korzystano z opcji automatycznego doboru zakresu temperatur, jaki jest wbudowany w program FLIR Tools.

## 2.4 Narzędzia programistyczne

### 2.4.1 Język programowania Python

Założenia projektu wymagają użycia języka programowania pozwalającego na zaawansowaną obróbkę obrazu oraz wydajne budowanie sieci neuronowych. W obu tych dziedzinach wiodącym językiem jest Python, posiadający bogaty zestaw bibliotek. Język ten oferuje dużą wygodę programowania, co jest istotne przy prototypowaniu oraz pracy badawczej. Jednocześnie Python jest zaopatrzony w wydajną bibliotekę obliczeń numerycznych NumPy. Oferuje ona klasy macierzy numerycznych oraz bogaty zestaw operacji matematycznych. Macierze biblioteki NumPy są mniej elastyczne niż zwykłe listy języka Python, jednak oferują dużo większą wydajność obliczeniową, między innymi dzięki wsparciu obliczeń wektorowych na różnych procesorach. Wiele innych bibliotek wykorzystuje pakiet NumPy, na przykład przy przetwarzaniu obrazów, co pozwala na wysoką wydajność obliczeń. Połączenie wygody programowania z zadowalającą wydajnością bibliotek numerycznych, sprawia że język Python jest dobrym wyborem do realizacji założeń projektu.

### 2.4.2 Biblioteka przetwarzania obrazu Scikit-image

Język Python oferuje bogaty zestaw bibliotek przetwarzania obrazu. Najbardziej popularną z nich jest biblioteka OpenCV napisana w języku C++. Zdecydowano się jednak na wybór mniej znanego pakietu Scikit-image. Jest to biblioteka nastawiona bardziej na obliczenia naukowe i badawcze oraz napisana bezpośrednio z myślą o języku Python. Scikit-image, w porównaniu z OpenCV, oferuje bardziej spójny interfejs programisty oraz lepiej wykorzystuje charakterystykę języka Python. Dodatkowo wybrana biblioteka jest częścią zestawu Scikit, w skład którego wchodzi pakiet Scikit-learn służący do uczenia maszynowego. Może on być przydatny przy tworzeniu sieci neuronowej, a spójność bibliotek z pakietu Scikit jest niewątpliwie zaletą. Wybrana biblioteka charakteryzuje się również dobrą dokumentacją oraz zestawem przydatnych przykładów.

### 2.4.3 Interfejs sieci neuronowych Keras i biblioteka TensorFlow

Wybór bibliotek głębokiego uczenia w języku Python jest bardzo szeroki. Do najpopularniejszych pakietów należą: Keras, TensorFlow oraz PyTorch. Zdecydowano się na wybór interfejsu biblioteki Keras. Jest to pakiet nastawiony na elastyczność i możliwość eksperymentowania, oferuje wysokopoziomową, matematyczną

warstwę abstrakcji opisu sieci neuronowych. Keras nie jest jednak pełnym rozwiązaniem, a raczej abstrakcyjnym interfejsem. Używanie go wymaga wyboru wewnętrznego silnika biblioteki. Zdecydowano się na wybór domyślnej opcji i użycie zaplecza pakietu TensorFlow.

## Rozdział 3

# Analiza i ekstrakcja danych z kamery termowizyjnej

### 3.1 Proces pomiarowy i budowa zbioru danych

### 3.2 Analiza zebranych obrazów termowizyjnych

#### 3.2.1 Prezentacja przykładowej serii pomiarowej

#### 3.2.2 Przetwarzanie danych wizyjnych

#### 3.2.3 Poprawa jakości obrazu

#### 3.2.4 Automatyczny odczyt zakresu pomiarowego temperatur z obrazu

### 3.3 Poszukiwanie zależności użytecznych w klasyfikacji

#### 3.3.1 Rozważane możliwości użycia cech obrazu w klasyfikacji

#### 3.3.2 Wybór algorytmu detekcji ziaren

#### 3.3.3 Algorytm śledzenia ziaren w serii zdjęć

#### 3.3.4 Wizualizacja zebranych cech i ocena ich użyteczności

## Rozdział 4

# Prototypowanie sieci neuronowej klasyfikującej ziarna miedzi

### 4.1 Budowa prototypu sieci neuronowej

#### 4.1.1 Dobór struktury sieci

#### 4.1.2 Trening sieci neuronowej

### 4.2 Walidacja i ocena działania sieci

## Rozdział 5

## Podsumowanie

# Spis rysunków

2.1	Kamera termowizyjna FLIR A320 . . . . .	3
-----	---	---



## Spis tablic

## Spis listingów

# Bibliografia

- [1] Michel Goossens, Frank Mittelbach, Alexander Samarin. *The L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X Companion*. Addison-Wesley, 1993.