



POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT BIOCYBERNETYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ

## **Praca doktorska**

Proces gojenia ścięgna Achillesa oceniany przez fuzję danych z  
wykorzystaniem głębokich sieci neuronowych

Autor: mgr inż. Norbert Kapiński

Kierujący pracą: dr hab. inż. Antoni Grzanka

Promotor pomocniczy: dr Jakub Zieliński

Warszawa, wrzesień 2018



## **Streszczenie**

The abstract will go here....

W tym miejscu można umieścić abstrakt pracy. W przeciwnym wypadku należy usunąć/zakomentować niniejszy fragment kodu.



# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cel i przebieg pracy</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Monitorowanie procesu gojenia ścięgna Achillesa</b>	<b>3</b>
3.1	Ścięgno Achillesa . . . . .	3
3.1.1	Anatomia . . . . .	4
3.1.2	Biomechanika . . . . .	4
3.1.3	Urazy i czynniki im sprzyjające . . . . .	5
3.1.4	Leczenie, fazy gojenia i rehabilitacja . . . . .	5
3.2	Zastosowanie rezonansu magnetycznego . . . . .	5
3.3	Zastosowanie ultrasonografii . . . . .	5
3.4	Zastosowanie badań biomechanicznych . . . . .	5
3.5	Inne metody . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Konwolucyjne sieci neuronowe</b>	<b>6</b>
4.1	Zarys historyczny . . . . .	6
4.2	Przykłady współczesnych topologii . . . . .	6
4.2.1	AlexNet . . . . .	6
4.2.2	GoogleNet . . . . .	8
4.2.3	ResNet . . . . .	8

4.2.4	Złożenia . . . . .	8
4.3	Zastosowania w medycynie . . . . .	8
4.4	Problem nadmiernego dopasowania . . . . .	8
4.5	Problem redukcji wymiarowości . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Nowa metoda oceny procesu gojenia ścięgna Achillesa</b>	<b>9</b>
5.1	Metodyka . . . . .	9
5.2	Rozróżnienie ścięgna zdrowego i po zerwaniu . . . . .	9
5.3	Obliczanie krzywych gojenia . . . . .	9
5.3.1	Topologia sieci . . . . .	9
5.3.2	Redukcja wymiarowości . . . . .	9
5.3.3	Miara wygojenia . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Wyniki i walidacja</b>	<b>10</b>
6.1	Ocena procesu gojenia z użyciem nowej metody . . . . .	10
6.2	Porównanie z wynikami z rezonansu magnetycznego . . . . .	10
6.3	Porównanie z wynikami ultrasonografii . . . . .	10
6.4	Porównanie z wynikami badań biomechanicznych . . . . .	10
<b>7</b>	<b>Podsumowanie</b>	<b>11</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>12</b>
<b>A</b>	<b>AchillesDL: System komputerowego wspomaganie oceny gojenia ścię-</b>	
	<b>gien i więzadeł</b>	<b>13</b>

# Spis rysunków

1.1	Podział przedstawiający różne rodzaje współczesnych głębokich sieci neuronowych. . . . .	1
3.1	Lokalizacja mięśnia trójgłowego łydki wraz ze ścięgnem Achillesa. . . .	3
4.1	Topologia architektury AlexNet. . . . .	6

# Spis tabel



# Rozdział 1

## Wstęp

Logistic regression — 1958

Hidden Markov Model — 1960

Stochastic gradient descent — 1960

Support Vector Machine — 1963

k-nearest neighbors — 1967

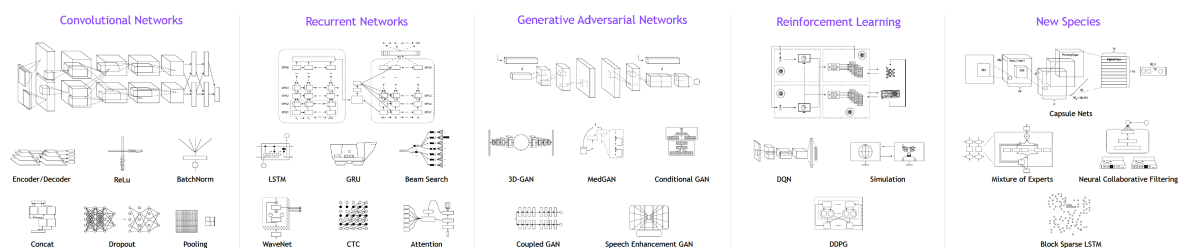
Artificial Neural Networks — 1975

Expectation Maximization — 1977

Decision tree — 1986

Q-learning — 1989

Random forest — 1995



Rysunek 1.1: Podział przedstawiający różne rodzaje współczesnych głębokich sieci neuronowych.

## Rozdział 2

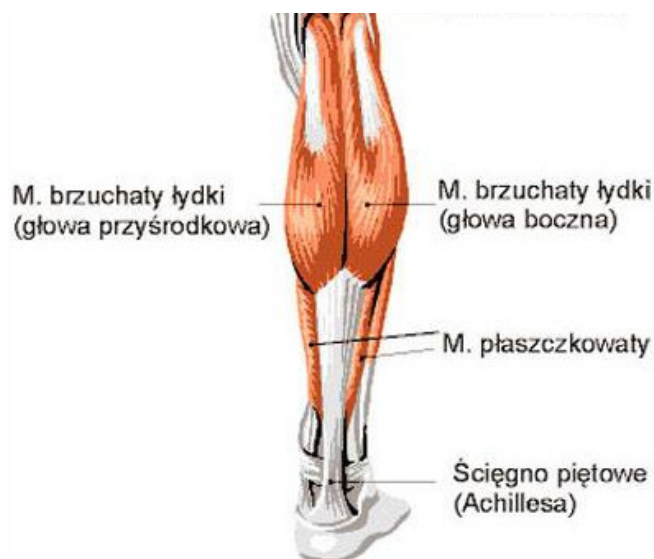
### Cel i przebieg pracy

## Rozdział 3

# Monitorowanie procesu gojenia ścięgna Achillesa

### 3.1 Ścięgno Achillesa

Ścięgno Achillesa, nazywane również ścięgnem piętowym, jest największym i najsilniejszym ścięgnem występującym w ciele ludzkim. Stanowi wspólne zakończenie mięśnia trójgłowego łydki, w którego skład wchodzić dwie głowy mięśnia brzuchatego i mięsień płaszczkowaty. Całość struktury zlokalizowana jest w tylnym, powierzchownym przedziale łydki, co zostało przedstawione na Rysunku 3.1. Z obu głów (brzuśców)



Rysunek 3.1: Lokalizacja mięśnia trójgłowego łydki wraz ze ścięgnem Achillesa.

mięśnia brzuchatego łydki wyrasta jedno szerokie, płaskie ścięgno, które jest początkiem części brzuchatej ścięgna Achillesa. Następnie ścięgno to łączy się z włóknami pochodzącymi od mięśnia płaszczkowatego, które układają się stycznie do wcześniej powstałej struktury. Wówczas kształt ulega stopniowemu zwężeniu i zaokrągleniu, aż do punktu o minimalnej szerokości (około 4 cm nad przyczepem dolnym [1]). W rejonie samego przyczepu dolnego znajdującego się na tylnej powierzchni kości piętowej, ścięgno ponownie jest płaskie i szerokie.

W kolejnych podsekcjach szczegółowo omówiona została anatomia ścięgna Achillesa, jego biomechanika, potencjalne urazy wraz z czynnikami im sprzyjającymi oraz proces gojenia i możliwości jego wspomagania. Wszystkie te aspekty są istotne z uwagi na możliwości monitorowania procesów fizjologicznych występujących w ścięgnie.

### 3.1.1 Anatomia

Średnia długość ścięgna Achillesa to 15 cm (11 - 26 cm). Średnia szerokość w rejonie początku wynosi 6.8 cm (4,5 - 8, 6 cm). Następnie, stopniowo ścięgno ulega zwężeniu do punktu o minimalnej szerokości 1.8 cm (1,2 - 2,6 cm). W rejonie samego przyczepu struktura ponownie się rozszerza i jej szerokość wynosi średnio 3.4 cm (2,0 - 4,8 cm) [2-3]. Zewnętrzną część ścięgna Achillesa stanowi ościęgno utworzone z tkanki łącznej włóknistej. Achil -Histologia -Unaczynienie (krew, nerwy)

### 3.1.2 Biomechanika

Zadaniem ścięgien jest transfer siły mięśniowej do układu szkieletowego.

**3.1.3 Urazy i czynniki im sprzyjające**

**3.1.4 Leczenie, fazy gojenia i rehabilitacja**

**3.2 Zastosowanie rezonansu magnetycznego**

**3.3 Zastosowanie ultrasonografii**

**3.4 Zastosowanie badań biomechanicznych**

**3.5 Inne metody**

# Rozdział 4

## Konwolucyjne sieci neuronowe

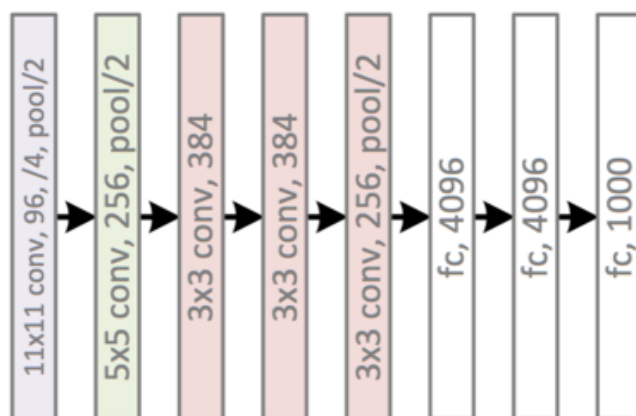
Konwolucyjne sieci neuronowe (ang. Convolutional Neural Networks)

### 4.1 Zarys historyczny

### 4.2 Przykłady współczesnych topologii

#### 4.2.1 AlexNet

Sieć AlexNet, której nazwa pochodzi od imienia głównego twórcy tej architektury Alexa Krizhevsky, zawiera blisko 60 milionów parametrów i 650 tysięcy neuronów. Architekturę zaprezentowano na Rys. 4.1



Rysunek 4.1: Topologia architektury AlexNet.

W skład topologii wchodzi pięć warstw konwolucyjnych i trzy typu fully-connected. Po pierwszej, drugiej i piątej warstwie konwolucyjnej występują operacje typu max-pool, stosowane do obszaru  $2 \times 2$ .

Pierwsza warstwa konwolucyjna przyjmuje na wejściu dane o wymiarze  $227 \times 227 \times 3$ , na których wykonywana jest operacja splotu z 96 filtrami z jądrem splotu o wymiarach  $11 \times 11 \times 3$  i krokiem 4. W rezultacie (uwzględniając również operacje max-pool) objętość wynikowa przekazywana do kolejnej warstwy ma wymiar  $27 \times 27 \times 96$ . W drugiej warstwie konwolucyjnej wykonywana jest operacja splotu z 256 filtrami z jądrem o wymiarach  $5 \times 5 \times 96$ . Wymiar objętości wynikowej zostaje ponownie zredukowany poprzez operacje max-pool do  $13 \times 13 \times 256$ . Kolejne 3 warstwy konwolucyjne są połączone bezpośrednio ze sobą. Trzecia warstwa zawiera 384 filtry o wymiarze  $3 \times 3 \times 256$ , w skład czwartej wchodzi 384 filtry o wymiarze  $3 \times 3 \times 384$ , a w piątej znajdują się 256 filtry ponownie o wymiarze  $3 \times 3 \times 384$ . Końcowe dwie warstwy typu FC zawierają po 4096 neuronów, a ostatnia zawiera tyle neuronów ile klas występuje w ostatecznym podziale - w oryginalnej pracy było to 1000 [AlexNet].

Przykładowa implementacja algorytmu przetwarzania sygnału wejściowego przez pierwszą warstwę sieci wygląda następująco:

1. Z danych wejściowych o wymiarze  $[227 \times 227 \times 3]$  wybierany jest co czwarty blok (zarówno wzdłuż wysokości jak i szerokości) o wymiarach  $[11 \times 11 \times 3]$ . Punkty krawędziowe, które stanowią margines potrzebny do wyliczenia splotu są zazwyczaj pomijane. W rezultacie otrzymywanych jest 217 punktów w każdym rzędzie i w kolumnie, w których mieści się  $[55 \times 55]$  tj. 3025 bloków.
2. Zarówno  $11 \times 11 \times 3 = 363$  wagi znajdujące się w 96 filtrach jak i wartości 363 punktów obrazowych znajdujących się 3025 blokach są przedstawiane w postaci macierzy  $A$  o wymiarach  $[96 \times 363]$  i  $B$  o wymiarach  $[363 \times 3025]$ .
3. liczony jest iloczyn skalarny w postaci  $A^T B = C$ , gdzie nowa, wyjściowa macierz  $C$  ma wymiar  $[96 \times 3025]$ .
4. Resultat w postaci macierzy  $C$  ponownie przewymiarowywany jest na postać  $[55 \times 55 \times 96]$ .

Praca nad architekturą wprowadziła kilka nowości w stosunku do poprzednich architektur takich jak LeNet usprawniając trening sieci. -ReLU -MultiGPU -LRN -dropout

#### 4.2.2 GoogleNet

#### 4.2.3 ResNet

#### 4.2.4 Złożenia

### 4.3 Zastosowania w medycynie

### 4.4 Problem nadmiernego dopasowania

### 4.5 Problem redukcji wymiarowości



## Rozdział 5

# Nowa metoda oceny procesu gojenia ścięgna Achillesa

### 5.1 Metodyka

### 5.2 Rozróżnienie ścięgna zdrowego i po zerwaniu

### 5.3 Obliczanie krzywych gojenia

#### 5.3.1 Topologia sieci

#### 5.3.2 Redukcja wymiarowości

#### 5.3.3 Miara wygojenia

## Rozdział 6

### Wyniki i walidacja

- 6.1 Ocena procesu gojenia z użyciem nowej metody
- 6.2 Porównanie z wynikami z rezonansu magnetycznego
- 6.3 Porównanie z wynikami ultrasonografii
- 6.4 Porównanie z wynikami badań biomechanicznych

## Rozdział 7

### Podsumowanie

# Bibliografia

- [1] Witold Pokorski and Graham G. Ross. Flat directions, string compactification and three generation models. 1998.

## **Dodatek A**

**AchillesDL: System komputerowego  
wspomagania oceny gojenia ścięgien  
i więzadeł**