

# Anhang

## 1 Backpropagation Algorithmus

$\nabla C$  ist eine Sammlung von partiellen Ableitungen der verschiedenen Vektoren und Matrizen, die die Parameter im KNN darstellen. Die hier beschriebene Ableitung ist für ein Neuronales Netzwerk mit vier Schichten wie in Kapitel 2 beschrieben:

$$C(I) = \frac{\sum_{n=1}^m |Y_n - O(I_n)|^2}{2m}$$

$$O(I) = \tanh(b_3 + w_3 \tanh(b_2 + w_2 \tanh(b_1 + w_1 I)))$$

$$\frac{\partial C}{\partial b_3} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m |Y_n - O(I_n)| \odot \frac{d \tanh(z_3)}{d z_3}$$

$$\frac{\partial C}{\partial w_3} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m |Y_n - O(I_n)| \odot \frac{d \tanh(z_3)}{d z_3} a_2$$

$$\frac{\partial C}{\partial b_2} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m |Y_n - O(I_n)| \odot \frac{d \tanh(z_3)}{d z_3} (w_3)^T \odot \frac{d \tanh(z_2)}{d z_2}$$

$$\frac{\partial C}{\partial w_2} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m |Y_n - O(I_n)| \odot \frac{d \tanh(z_3)}{d z_3} (w_3)^T \odot \frac{d \tanh(z_2)}{d z_2} a_1$$

$$\frac{\partial C}{\partial b_1} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m |Y_n - O(I_n)| \odot \frac{d \tanh(z_3)}{d z_3} (w_3)^T \odot \frac{d \tanh(z_2)}{d z_2} (w_2)^T \odot \frac{d \tanh(z_1)}{d z_1}$$

$$\frac{\partial C}{\partial w_1} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m |Y_n - O(I_n)| \odot \frac{d \tanh(z_3)}{d z_3} (w_3)^T \odot \frac{d \tanh(z_2)}{d z_2} (w_2)^T \odot \frac{d \tanh(z_1)}{d z_1} I_n$$

- vierte Schicht
- dritte Schicht
- zweite Schicht

Oder verallgemeinerte (Nielson,Chapter 2):

$$\frac{\partial C}{\partial b_L} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m |Y_n - O(I_n)| \odot \frac{d \tanh(z_L)}{d z_L}$$

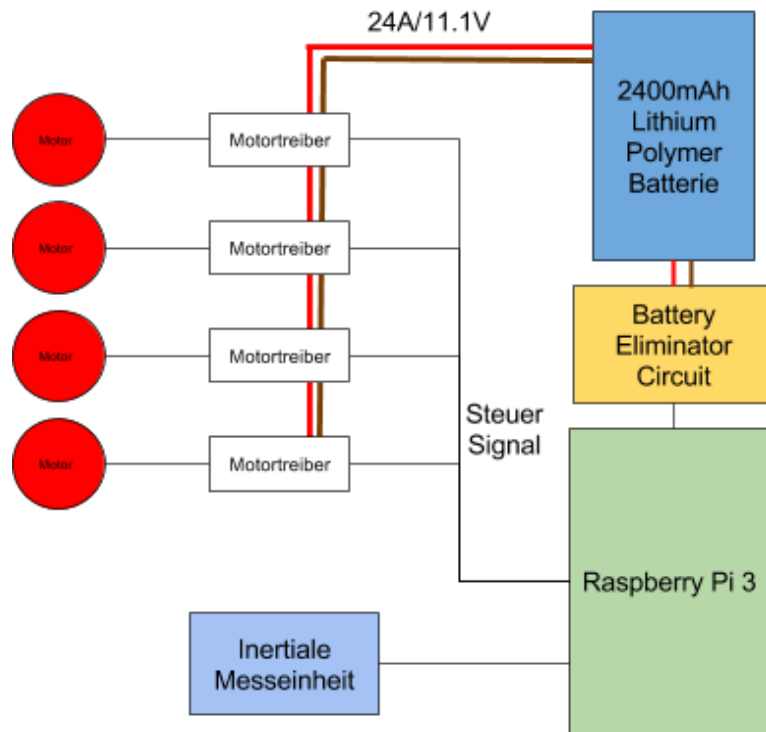
$$\frac{\partial C}{\partial w_L} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m |Y_n - O(I_n)| \odot \frac{d \tanh(z_L)}{d z_L} a_{L-1}$$

$$\frac{\partial C}{\partial b_l} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m \frac{\partial C}{\partial b_{l+1}} (w_{l+1})^T \odot \frac{d \tanh(z_l)}{d z_l}$$

$$\frac{\partial C}{\partial w_l} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m \frac{\partial C}{\partial b_{l+1}} (w_{l+1})^T \odot \frac{d \tanh(z_l)}{d z_l} a_{l-1}$$

Wobei  $\odot$  das Hadamard Produkt darstellt und  $( )^T$  eine Matrix transponiert.  $l$  markiert die Schicht die behandelt wird und  $L$  stellt die letzte Schicht des Netzwerks dar.

## 2 Aufbau des Quadrocopters



### 2.1 Hardware

Der Quadrocopter besteht aus einem Kohlenstofffaser Rahmen mit 250mm Durchmesser und vier brushless Elektromotoren mit Carbon-Propellern, jeweils mit einer Leistung von ca. 90 Watt. Jeder Motor wird durch einen Motor Treiber betrieben, der den 11.1 V/4.8 A Gleichstrom von der 2400 mAh Batterie in Drehstrom für die Motoren umwandelt. Ein so genannter Battery Eliminator Circuit gibt einen 5 V/2.5 A Gleichstrom für den Flugcomputer aus. Der Flugcomputer ist ein Raspberry Pi 3, der mit einer Inertialen Messeinheit verbunden und kommuniziert mit dieser über das I2C Kommunikationsprotokoll. Der Sensor ist separat von der restlichen Struktur schwingend gelagert, um die Übertragung von Motorvibrationen auf die Sensorik zu vermeiden.

Die Hardware basiert auf einem ersten Prototypen mit schwächeren Motoren und einem Holzrahmen. Dieser war aufgrund der schwächeren Motoren weniger reaktionsschnell und litt unter Vibrationsproblemen, die die Messung von zuverlässigen Ausrichtungsdaten deutlich erschwerte.

## **2.2 Software**

Der Raspberry Pi läuft auf einer reduzierten Version des Linux Betriebssystems. Dieser wird über eine SSH Verbindung von einem separaten Rechner kontrolliert. Um die Drehzahl der Motoren verändern zu können wird ein digitales Pulsweitenmodulations-Signal an die Motortreiber gesendet, das das Kommunikationsprotokoll des Funkempfängers einer normalen Spielzeugdrohne nachahmt. Die Flugsoftware wurde ursprünglich in Python programmiert, dann allerdings auf C umgestellt, da damit die Kontrollfrequenz von 50 Hz auf ca. 220 Hz gesteigert werden konnte und der rechenintensive Backpropagation Algorithmus auf der Drone ausgeführt werden konnte und nicht auf einen externen stärkeren Rechner exportiert werden musste. Jede der einzelnen Entwicklungsstufen ist in ihrem eigenen C Script festgehalten, wobei jedes dieser Programme sich zur Kommunikation mit den Sensoren, zu Steuerung der Motoren und zur Durchführung der KNN Operationen auf die gleichen Header-files bezieht. Der gesamte Finale Programmcode ist ebenfalls auf diesem Datenträger enthalten.