

BACHELOR THESIS  
Leon Chun Wai Yuen

# Entwicklung eines Frameworks für Digitale Zwillinge für unbemannte Luftfahrzeuge

---

FAKULTÄT TECHNIK UND INFORMATIK  
Department Informatik

Faculty of Engineering and Computer Science  
Department Computer Science

Leon Chun Wai Yuen

# Entwicklung eines Frameworks für Digitale Zwillinge für unbemannte Luftfahrzeuge

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung  
im Studiengang *Bachelor of Science Informatik Technischer Systeme*  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Thomas Clemen  
Zweitgutachter:

Eingereicht am: PLATZHALTER

**Leon Chun Wai Yuen**

**Thema der Arbeit**

Entwicklung eines Frameworks für Digitale Zwillinge für unbemannte Luftfahrzeuge

**Stichworte**

Digitaler Zwilling, Human-Drone Interaction, Quadrocopter, Unbemanntes Luftfahrzeug, Jogging

**Kurzzusammenfassung**

PLATZHALTER

**Leon Chun Wai Yuen**

**Title of Thesis**

Implementation of a digital twin framework for unmanned aerial vehicles

**Keywords**

Digital Twin, Human-Drone Interaction, Quadrocopter, Unmanned aerial vehicle, Jogging

**Abstract**

PLATZHALTER

---

## Danksagung

# Inhaltsverzeichnis

# Abbildungsverzeichnis

# Tabellenverzeichnis

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Unbemannte Luftfahrzeuge, im englischen Unmanned Aerial Vehicle, kurz UAV, werden vermehrt in verschiedenen Anwendungsfeldern eingesetzt. Besonders sogenannte Social Drones werden eingesetzt, um Menschen in ihrem Alltag zu unterstützen, indem sie beispielsweise für den Menschen Einkaufen gehen (zitat) oder Sachen Transportieren. Außerdem können Social Drones Aufgaben übernehmen, die Menschen mit einer körperlicher Beeinträchtigung nicht mehr können. (Beispiel)

In Zukunft sollen Social Drones komplexere Aufgaben übernehmen können. In dieser Arbeit wird ein Digitaler Zwilling Framework für unbemannte Luftfahrzeuge vorgestellt, der dieses Problem angeht.

## 1.2 Zielsetzung

Das Ziel der Bachelorarbeit ist der Entwurf und Implementation eines Digitalen Zwilling Frameworks für unbemannte Luftfahrzeuge im MARS Framework.

Das Framework soll in der Lage sein ein physisches UAV in einem virtuellen Modell zu repräsentieren und durch einen kontinuierlichen Datenaustausch den aktuellen Zustand zu simulieren. Ein 3D Modell des physischen UAV soll entwickelt werden, damit die Bewegung überwacht und visualisiert werden kann. Des Weiteren soll das Framework eine Schnittstelle anbieten, um das Modell zu erweitern. Das Modell soll dynamisch angepasst und an den physischen UAV übertragen werden können. Für die direkte Interaktion des Digitalen Zwilling soll das System über eine Schnittstelle für Benutzereingaben verfügen.



Das fertige System soll zum Schluss ein Anwendungsfall demonstrieren. Es wird ein Jogging Trainer entwickelt, der einen Menschen beim Joggen begleitet. Durch die Analyse von fitnessbezogenen Daten des Benutzers soll das UAV ihr Flugverhalten anpassen. Der Benutzer soll durch das Flugverhalten zum längeren Durchhalten animiert werden,

Das fertige Modell soll in der Lage sein durch zukünftige Anforderungen und Anwendungen erweitert zu werden zu können. Zu den möglichen Erweiterungen gehören zum Beispiel das Hinzufügen neuer Datenquellen oder der Entwicklung weitere und komplexere Aktionen für das UAV.

### 1.3 Abgrenzung der Arbeit

### 1.4 Gliederung der Arbeit

## 2 Grundlagen

Dieses Kapitel stellt in relevanten Grundlagen der Bachelorarbeit vor und dienen dem verständnis der nachfolgenden Kapitel.

### 2.1 Unbemanntes Luftfahrzeug

Ein unbemanntes Luftfahrzeug, im englischen als Unmanned Aerial Vehicle, sind Luftfahrzeuge, die von Piloten ferngesteuert werden oder autonom sind.

### 2.2 Quadrocopter

Unter Quadrocoptern werden unbemannte Luftfahrzeuge bezeichnet, die im Flug von vier vertikalgerichteten Rotoren getragen werden. Wegen der Ausrichtung der Rotoren können Multicopter sich im drei dimensionalen Raum frei bewegen. Der Vertikalflyug ermöglicht dem Multicopter an einer festen Position zu verbleiben.

#### 2.2.1 Tello Drone

#### 2.2.2 Bauteile

Sensoren: Accelerometer, Gyroskop, Inertia Measurement uni, Magnetometer, Barometer,

Framework

Motoren und Propeller

Batterie

### 2.2.3 funktionsweise

Bewegungsrichtung: yaw, thrift, roll

## 2.3 Human-Drone Interaction

Die Human-Drone Interaction ist ein Forschungsfeld der Human-Robotic Interaction [?] und beschäftigt sich mit der Erforschung und Evaluation neuer Interaktionswege mit einem UAV. Als Drohne sind in Human-Drone Interaction meistens Multicopter gemeint.

## 2.4 Digitaler Zwilling

Das Konzept des Digitalen Zwilling wurde 2002 von Micheal Grieves eingeführt und beschreibt die Modellierung eines physischen, nicht domainspezifischen Objekts in einem virtuellen Raum.

Die virtuelle Repräsentation des physischen Objekts ermöglicht die Simulation unterschiedlicher Szenarien, um die bestmögliche Konfiguration des Systems für den gegebenen Zustand vorzunehmen und sie auf das physische Objekt anzuwenden.

**physischer Raum**

**Virtuelle Raum**

**Modell des Digitalen Zwillings**

**physischer Umgebung**

## Virtuelle Umgebung

### 2.4.1 Definition und Geschichte

### 2.4.2 Anwendungen

### 2.4.3 Digitaler Zwilling für Unbemannte Luftfahrzeuge

## 2.5 Multi-Agent System

## 2.6 MARS Framgework

### 2.6.1 Multi-Agend System with Mars

Agent

layer

### 3 Verwandte Arbeit



## 4 Anforderungsanalyse

### 4.1 Funktionale Anforderungen

ID	Komponente	Beschreibung
F01	Digitaler Zwilling	Der DZ fragt in periodischen Abständen Statuswerte des physischen UAV.
F02	Digitaler Zwilling	Der DZ speichert alle erfassten Statuswerte des physischen UAV ab.
F03	Digitaler Zwilling	Der DZ seinen letzten Zustand wiederherstellen, wenn der Zustand mit dem des PZ übereinstimmt.
F04	Digitaler Zwilling	Endet oder bricht die Kommunikation zwischen dem PZ und dem DZ ab, wird der letzte Zustand des UAV gespeichert und der UAV landet zum automatischen Landen befohlen.
F05	Digitaler Zwilling	Fall der physischen UAV seinen Zustand ändert, passt sich der Zustand des DZ an.
F06	Phys. UAV	Falls der DZ seinen Zustand aktualisiert, wird die Änderung an den physischen UAV gesendet und ausgeführt.
F07	Phys. UAV	Falls die Batterie der PZ bei 10Prozent liegt, wird der UAV automatisch gelandet.
F08	Visualisierung	Das virtuelle UAV besitzt die gleichen kinetischen und physischen Eigenschaften wie die des physischen UAV.
F09	Visualisierung	Alle Bewegungen und Zustandsänderungen des physischen UAV werden vom virtuellen UAV gespiegelt.
F10	Visualisierung	Für die Visualisierung des physischen UAV im virtuellen Raum wird ein virtueller UAV erstellt.
F11	Kommunikation	Falls der DZ gestartet wird, verbindet sich der DZ mit dem physischen UAV.
F12	Kommunikation	Falls der DZ sich nach 5 Sekunden keine Verbindung zum PZ aufbauen kann, wird der Prozess beendet.
F13	Benutzerausgabe	Die Videoübertragung des physischen UAV wird in Echtzeit übertragen.
F14	Benutzerausgabe	Der Zustand und die Attributel des physischen UAV werden auf dem Rechner angezeigt.
F15	Fehlerzustand	Falls das physische UAV nach 5 gesendeten Befehlen keine Antwortnachricht zuruckliefert, wird der physische zum Landen befohlen.
F16	Fehlerzustand	Falls der DZ einen unbekannten Fehlercode erhält, wird das phy-

### 4.1.1 Use Case Beschreibung

Name	Digitalen Zwilling und UAV verbinden
Actor	UAV, Benutzer, System
Description	Starten und verbinden der Drohne mit dem Digitalen Zwilling
Precondition	Das UAV ist eingeschaltet. Der Computer ist über WLAN mit dem UAV verbunden
Scenario	<ol style="list-style-type: none"><li>1. System show something</li><li>2. User do this</li><li>3. System do that</li></ol>
Result	Digitaler Zwilling und UAV sind verbunden.
Extensions	3a If something do something
Exceptions	<ol style="list-style-type: none"><li>2.1 System message: "Nope"</li><li>2.2 System message: "Bad action"</li></ol>



## 4.2 Nicht funktionale Anforderungen

ID	Beschreibung
NF01	Der Digitale Zwilling akzeptiert nur aktuelle Nachrichten und verwirft alle Nachrichten, die älter als 2 Sekunden sind.
NF02	Der Digitale Zwilling kann durch benutzerspezifische Anforderungen erweitert werden

Tabelle 4.2: Nicht funktionale Anforderungen

# 5 Konzeption

## 5.1 Systemarchitektur

### 5.1.1 Quadroter

Für den Entwicklung des Systems wird eine Tello Drohne von Rize verwendet. Die Drohne verfügt über einen Höhenmesssensor und eine Monokamera.

### 5.1.2 MARS Framework

### 5.1.3 Konzeptvorschlag des UAV

#### Grundkonzept eines Digitalen Zwilling Frameworks

Zu den Komponenten eines Digitalen Zwilling Frameworks gehören ein realer Raum, ein virtueller Raum und einem Kommunikationsschnittstelle, die die beiden Räume verbindet [? ]. Der Digitale Zwilling setzt sich aus mehreren virtuellen Räumen zusammen, die das Verhalten und die Eigenschaften des physischen Objekts im physischen Raum widerspiegelt. Verbunden durch eine bidirektionale Kommunikationsschnittstelle können sich beide Systemen gegenseitig austauschen und ihren aktuellen Zustand synchronisieren. Über Sensoren nimmt physischen Objekt seine Umgebung und sich selbst wahr und übermittelt diese Attribute an den Digitalen Zwilling, der seinen Zustand ändert. Wiederum kann der Digitale Zwilling im virtuellen Raum Prozesse optimieren und sie an das physische Objekt zurückschicken. Basierend auf dieses Prinzip soll das vorgestellte Framework ein Modell für UAV besitzen und modelliert im virtuellen Raum die Eigenschaften des physischen UAV nach. Der UAV übermittelt kontinuierlich seine Zustandsinformationen an den Digitalen Zwilling. Im Virtuellen Raum können Funktionalitäten entwickelt werden,

die die Parameter optimieren können. Die modifizierten Parameter können anschließen an das physische Objekt zurückgesendet werden. Eine Visualisation bietet dem Benutzer die Bewegungen des physischen UAV zu verfolgen und seine Aktivitäten zu überwachen.

### **Konzeptvorschlag des DTUAV**

## 6 Implementierung

## 7 Evaluation

### 7.1 Quellcodeevaluation

Das System wird mit Unit Testes überprüft. Das Testen soll Fehlelr und Bugs frühzeitig identifizieren und gewährleisten, dass das System die Anforderungen korrekt erfüllt. Für das überprüfen der Testszenarien wird das NUnit Framework verwendet.

### 7.2 Systemevaluation/Case Study

(Beschreibung des Versuchs)

## 8 Abschluss

### 8.1 Zusammenfassung

### 8.2 Diskussion

### 8.3 Ausblick

## A Anhang

## **Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung**

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

---

Ort

---

Datum

---

Unterschrift im Original