



Sensor Networks for Position and Performance Measurements in Sports

Bachelorthesis

Studiengang: Elektro- und Kommunikationstechnik

Autor: Oliver Buntschu

Betreuer: Dr. Andrea Ridolfi, BFH

Benjamin Habegger, Axiamo

Experten: Martin Rumo, BASPO

Auftraggeber: BFH / Axiamo

Datum: 30.06.2016

Versionen

Version	Datum	Status	Bemerkungen
1.0.0	30.06.2016	aktuell	Erstversion

Management Summary

Im Spitzensport werden diverse technische Hilfsmittel eingesetzt um die Leistung in Training und Wettkampf zu analysieren. Besonders von Interesse ist dabei der Bewegungsablauf der Athletin / des Athleten. Um die Bewegungsdaten optimal auswerten zu können ist eine Verknüpfung mit der Position des Sportlers unumgänglich. In Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Axiamo soll ein Sensornetzwerk aufgebaut werden, welches die Positionsbestimmung in diversen Sportarten ermöglicht.

Es gibt bereits verschiedene Methoden und Produkte um die Positionsbestimmung, das sogenannte Tracking, durchzuführen. Verbreitete Technologien wie beispielsweise das aus dem Fussball bekannte Videotracking sind aufwendig in der Bedienung und ihre Genauigkeit abhängig von äusseren Einflüssen. Mittlerweile gelten Systeme, die auf Distanzmessung basieren, als State-of-the-Art. Dabei kann die Position aus den Distanzen zu bekannten Referenzpunkten berechnet werden. Bestehende Produkte sind zwar von sehr guter Qualität, aber auch sehr teuer und bisher nur für wenige Vereine oder Organisationen erschwinglich.

Das Sensornetzwerk basiert auf einem Funkmodul, welches die Distanzmessung nach der Time-of-Flight Methode durchführt und von der Firma Axiamo bereits evaluiert werden konnte. Das Funkmodul wird in zwei verschiedenen Sensorknoten integriert, einerseits im bestehenden Bewegungssensor Axiamote, welchen die Athletin / der Athlet auf sich trägt, andererseits in den neu entwickelten Ankermodulen. Im Minimum drei Exemplare des Ankermoduls bilden die Referenzpunkte für die Positionsbestimmung und werden rund um das Spielfeld oder die Anlage fix positioniert. Sie kommunizieren mit dem Bewegungssensor, wobei dessen Funkmodul den Datentransfer initiiert. Die daraus berechnete Distanz sowie die erhaltenen Bewegungsdaten werden von den Ankermodulen per WLAN regelmässig an einen Server geschickt. Die Serverapplikation wird typischerweise auf einem Tablet ausgeführt, was eine handliche Möglichkeit zur Echtzeitanalyse bietet.

Im Rahmen der Thesis wurde die komplette Hardware für das Ankermodul entwickelt, produziert und in Betrieb genommen. Als zentrales Element agiert der Intel Edison, ein Embedded Linux Modul, das nebst dem guten Leistungs-Grösse-Verhältnis durch ein breites Angebot an Schnittstellen überzeugt. Die Firmware steuert nebst der Distanzmessung mit dem Funkmodul auch die Wireless-Verbindung zum Server.

Inhaltsverzeichnis

Management Summary	i
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Ziele der Arbeit	2
2. Stand der Technik	3
2.1. Leistungsanalyse im Sport	3
2.2. Positionsbestimmung	3
2.3. Bewegungsprofil	5
3. Bewegungs- und Positionsmessung	7
3.1. Konzept Bewegungsmessung	7
3.2. Konzept Distanzmessung	8
3.3. Sensornetzwerk	9
4. Umsetzung	11
4.1. Hardware Ankermodul	11
4.2. Firmware Ankermodul	13
4.3. Server Applikation	15
5. Resultate	17
5.1. Hardware Ankermodul	17
5.2. Distanzmessung	17
6. Schlussfolgerungen	19
6.1. Fazit	19
6.2. Ausblick	19
Selbständigkeitserklärung	21
Glossar	23
Literaturverzeichnis	25
Abbildungsverzeichnis	27
Tabellenverzeichnis	29
A. Anhang Hardware Ankermodul	31
A.1. Dimensionierung	31
A.2. Pinbelegungen	32
A.3. Led Visualisierung	34
A.4. Fertigungsanleitung	34
A.5. Inbetriebnahme	35
A.6. Stand der Hardware	36
B. Inhalt der CD-ROM	39

1. Einleitung

1.1. Motivation

Im Zeitalter der Digitalisierung und dem bevorstehenden *Internet of things* (IoT) sind elektronische Geräte allgegenwärtig. Auch im Leistungssport wird vermehrt auf technische Hilfsmittel zurückgegriffen. Dabei sind nebst den physiologischen Daten wie Herzfrequenz und Blutdruck vor allem auch Beschleunigungsdaten der Bewegungsabläufe von Interesse. Diese können sowohl für Trainingsgestaltung oder Leistungsanalyse in Trainings und Wettkampf genutzt werden, aber auch Aufschluss über die Kräfte auf den Körper und mögliche Fehlbelastungen geben. Dadurch kann im Optimalfall allfälligen chronischen Verletzungen durch andauernde, schadende Belastungen vorgebeugt werden. Um diese Daten optimal auswerten zu können, ist eine Verknüpfung mit der Position des Athleten / der Athletin eine grosse Hilfe. Die Positionsbestimmung, auch unter dem Begriff *Tracking* bekannt, erfolgt in der Regel in Bezug auf ein Spielfeld in Spielsportarten oder relativ zu Geräten oder Bahnen in der Leichtathletik. Verschiedene Methoden und Produkte zur Positionsbestimmung wie zum Beispiel das aus dem Fussball bekannte Videotracking sind vergleichsweise aufwendig in der Bedienung und ihre Genauigkeit abhängig von den Umgebungsbedingungen. Heute gelten Systeme, die auf Distanzmessung basieren, als State-of-the-Art. Produkte, die diese Technologie nutzen, erreichen eine hohe Genauigkeit, sind aber selbst für den Leistungssport eine kostspielige Investition.

Das Projekt **Sensor Networks for Position and Performance Measurements in Sports** entsteht in Zusammenarbeit mit dem Start-Up-Unternehmen *Axiomo* und der eidgenössischen Hochschule für Sport in Magglingen / BASPO. Das Ziel des Projektes ist es, eine kostengünstige Alternative zur Positionsbestimmung zu entwerfen, mit welcher die Erfassung der Bewegungsdaten eines Athleten / einer Athletin verknüpft werden kann. Eine mögliche Anwendung ist beispielsweise die Leichtathletik-Disziplin Hürdenlauf. Hier stehen primär die Positionen des Absprunges und der Landung vor und nach einer Hürde im Zentrum. Die Firma Axiomo stellt mit dem vielseitigen Beschleunigungssensor Axiamote ein Produkt her, welches bestens zur Analyse der Bewegungen von Sportlern geeignet ist und beispielsweise zur Analyse im Laufsport verwendet wird. Die Erweiterung mit der Positionsbestimmung eröffnet ein weites Feld von zusätzlichen Einsatzmöglichkeiten, auch ausserhalb des Sports.

1.2. Ziele der Arbeit

Ziel der Bachelorthesis ist ein System zu entwerfen, implementieren und testen, welches Distanzen zwischen Athlet und einem Referenzpunkt am Sportgerät oder Spielfeldrand, sowie die Bewegung des Athleten misst. Dies beinhaltet folgende Teilarbeiten:

1. Es muss die Distanz zwischen Athlet und Referenzpunkt gemessen werden können.
 - a) Es muss eine funktionsfähige Hardware entwickelt und als Prototyp produziert werden.
 - b) Die Distanz soll mit einer Genauigkeit von +/- 20 cm gemessen werden können.
 - c) Ein Testkonzept zur Distanzmessung soll erarbeitet werden.
2. Ein Konzept zum Sensornetzwerk muss erarbeitet werden.
 - a) Die Kommunikation zwischen den verschiedenen Komponenten muss definiert werden.
 - b) Die Rollen im Netzwerk müssen definiert werden.
 - c) Das Netzwerk soll aufgebaut und in Betrieb genommen werden.
3. Die Position des Athleten soll aus den Distanzmessungen ermittelt werden.
 - a) Die ermittelte Position soll in einem User Interface angezeigt werden.
 - b) Die Axiamo Applikation kann mit der Positionsermittlung erweitert werden.

2. Stand der Technik

In diesem Kapitel werden verschiedene Aspekte der Analyse im Sport kurz betrachtet, sowie bestehende Lösungen und Prinzipien vorgestellt und verglichen. Dabei wird ein nicht abschliessender Überblick über Interessen und Möglichkeiten des Einsatzes von technischen Hilfsmitteln präsentiert.

2.1. Leistungsanalyse im Sport

Die Ansätze bei der Analyse der Leistung von Athleten können in verschiedene Kategorien ([1], s. 3) unterteilt werden. Die Unterteilung ist ursprünglich auf Spielsportarten ausgelegt, lässt sich aber auch für Leichtathletik-Disziplinen gut anwenden:

1. Physiologische Faktoren

Diese Faktoren sollen Aufschluss über die körperliche und koordinative Leistung oder Belastung geben. Darunter fallen Kennwerte wie beispielsweise die Herzfrequenz, die Geschwindigkeit oder die zurückgelegte Distanz.

2. Taktisches Verhalten

Bei der Analyse vom Verhalten des Athleten sollen gewählte Strategien, aber auch allfällige Stärken und Schwächen beobachtet werden können.

3. Gemischte Faktoren

Bei der gemischten Analyse geht es um fortgeschrittenere und kombinierte Erkenntnisse. Dies kann die Be- trachtung der körperlichen Faktoren in Abhängigkeit von verschiedenen Spielsituationen oder von Ereignissen im Wettkampf sein.

Die Positionsbestimmung eines oder mehreren Athleten ist für sämtliche Aspekte der Analyse von grosser Relevanz und bildet die Grundlage für weitere Erkenntnisse. Es ist daher wichtig, eine zuverlässige Methode zu finden, welche die Bedürfnisse der jeweiligen Anwendung abdeckt. Verschiedene Technologien zur Positionsbestimmung unterscheiden sich unter anderem in folgenden Punkten ([1], s. 6).

- Automationsgrad (halbautomatisch / automatisch)
- Umgebungsbedingungen (indoor / outdoor / gemischt)
- Präzision (und deren Abhängigkeit von äusseren Einflüssen)
- Maximale Abtastrate

2.2. Positionsbestimmung

2.2.1. GPS Tracking

Eine simple und günstige Variante zur Positionsbestimmung ist das GPS-Tracking. Dieses nutzt den Empfang der Funksignale von GPS Satelliten oder anderen Navigationssatellitensystemen (GNSS). Um die Positionsbestimmung durchzuführen ist der Signalempfang von mindestens vier Satelliten notwendig. Mit fortgeschrittenen Verfahren wie beispielsweise dem Differentiellen GPS (DGPS) kann eine Genauigkeit bis in den Zentimeterbereich ([2], s. 104-105) erreicht werden. Beim GPS-Tracking trägt der Sportler (oder allgemein das zu lokalisierende Objekt) einen GPS-Empfänger (Tag), welcher die Funksignale empfängt und auswertet.

Vorteile

Die Möglichkeit, die Positionsbestimmung mit einem Standalone-Modul durchführen zu können ist ein grosser Vorteil, es existieren zahlreiche einfach einzusetzende GNSS Module. Dabei können direkt globale Positionsdaten und die Höhe über Meer verknüpft mit der Uhrzeit ausgelesen werden. Weiter erlaubt es GPS-Tracking, unabhängig mehrere Objekte oder Personen mit konstanter Abtastrate zu lokalisieren.

Nachteile

Der gewichtige Nachteil dieser Technologie liegt in der Verbindungsqualität. Obwohl jeweils zwischen 20 und 30 Satelliten in Betrieb sind, kann je nach meteorologischen Verhältnissen und der geografischen Lage der Betrieb erheblich beeinträchtigt werden. So ist die Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden, Häuserschluchten und Wäldern nur schlecht oder gar nicht möglich. Zudem ist die maximale Abtastrate mit bis zu 20 Messungen pro Sekunde ([3], s. 4) zu langsam um gewisse Bewegungen abzudecken.

2.2.2. Videotracking

Vor allem aus dem Fussball und anderen professionellen Spielsportarten bekannt ist die Methode Videotracking. Hierbei werden die Bilder von mehreren Kameras verarbeitet um die Spieler auf dem Spielfeld zu identifizieren und verfolgen. Es handelt sich dabei um halbautomatische Systeme, die einen Bediener erfordern, um die Spieler zu Beginn und bei Fehlzuordnungen zu identifizieren. Dies kann zwar durch Kombination mit GPS-Tags umgangen werden, bringt aber die in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Einschränkungen mit sich.

Vorteile

Das Videotracking liefert zusammenhängende Positionsdaten für mehrere Objekte, da Spieler und Ball gleichzeitig erfasst und lokalisiert werden. Ebenfalls vorteilhaft ist, dass die Athleten keinerlei Sensor oder Tag tragen müssen, welcher ihre Leistung beeinflussen kann.

Nachteile

Nebst der Notwendigkeit eines Bedieners zur Laufzeit hat das Videotracking auch in der Qualität der Messung einen gewissen Schwachpunkt. Die Präzision hängt hauptsächlich von den eingesetzten Kameras ab und sinkt mit zunehmender Distanz zu den Objekten / Athleten.

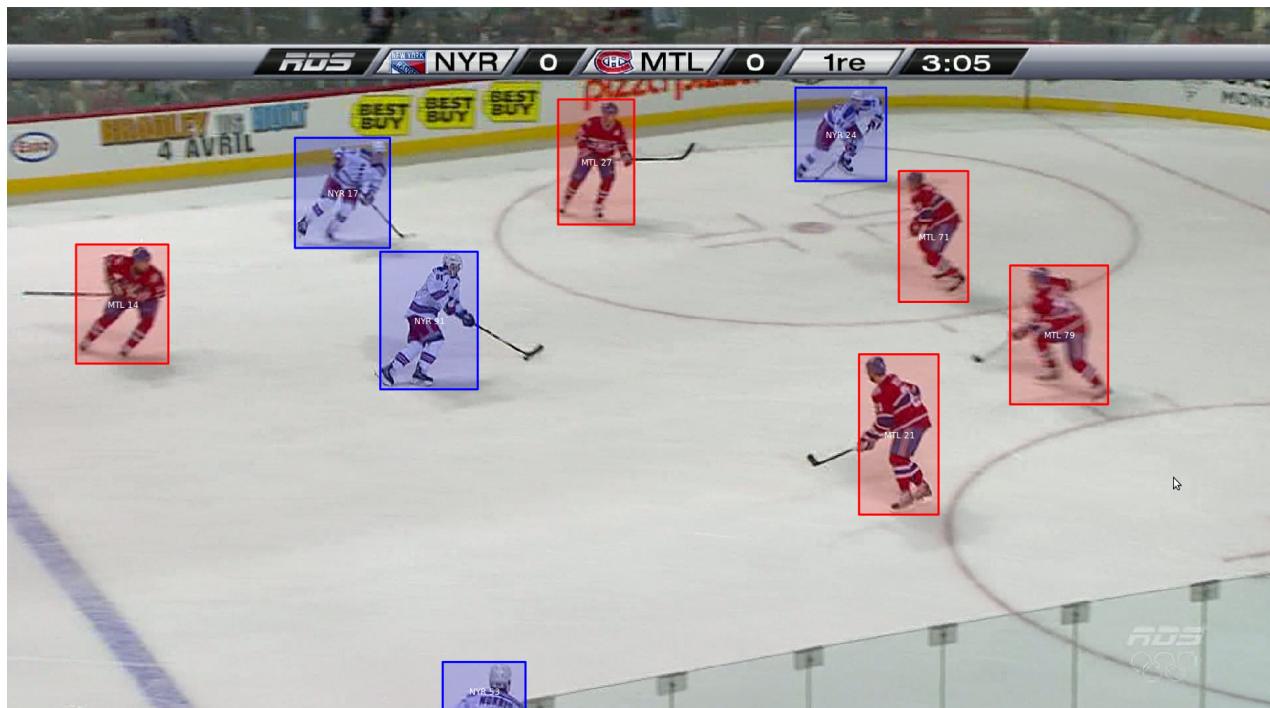


Abbildung 2.1.: Videotracking im Spitzensport [4]

2.2.3. Distanzmessung

Diese Systeme berechnen eine Position basierend auf gemessenen Distanzen zu fix positionierten Referenzpunkten. Die effektive Implementierung der Distanzmessung kann dabei variieren, gängig ist allerdings die Time-of-Flight (TOF) Methode. Dabei werden Funksignale zwischen Referenzpunkt und mobilem Tag verschickt und mittels Zeitstempeln wird deren Flugzeit ermittelt. Unter Berücksichtigung der bekannten Ausbreitungsgeschwindigkeit von Funksignalen im Raum kann daraus die Distanz berechnet werden.

Vorteile

Das Verfahren erlaubt sowohl eine hohe Abtastfrequenz als auch eine gute Genauigkeit, ist zudem auch in Gebäuden funktionsfähig.

Nachteile

Die Distanzmessung erfordert das Tragen eines Tags, was viele Sportler als störend empfinden und vor allem im Wettkampf oft untersagt ist.

Local Positioning Measurement System

Ein bestehendes Produkt, das auf Basis der Time-of-Flight Methode funktioniert, ist das *Local Positioning Measurement System (LPMS)* des Unternehmens *inmotiotec*, welches auch am BASPO eingesetzt wird. Dieses System liefert Messwerte mit einer Präzision von bis zu 3 cm und einer Abtastfrequenz von 1000 Hz, ist aber mit Gesamtkosten von über 2 Millionen Franken auch sehr teuer. [5]



Abbildung 2.2.: LPMS Prinzip anhand der Anwendung *Hockey Track* [6]

2.3. Bewegungsprofil

Unter dem Bewegungsprofil werden Daten über die Bewegungsabläufe eines Athleten verstanden. Darunter fallen typischerweise die Beschleunigung von einzelnen Körperteilen (z.B. Fuss, Arm, Rumpf) und deren Rotationsgeschwindigkeit. Weitere mögliche Daten sind zum Beispiel Muskelaktivitäten oder die räumliche Orientierung. Die Erstellung des Bewegungsprofiles erfolgt in zwei Schritten, Messung der Rohdaten und Verarbeitung der Rohdaten. Zur Messung der Rohdaten existiert heutzutage eine breite Auswahl an tragbaren Sensoren ([7], s. 2, 11).

3. Bewegungs- und Positionsmessung

Dieses Kapitel beinhaltet das Konzept des Sensornetzwerkes für die Bewegungs- und Positionsmessung. Dazu gehören nebst der Struktur des Sensornetzwerkes auch die Messprinzipien für Bewegung und Position.

3.1. Konzept Bewegungsmessung

Für die Erfassung der Bewegungsdaten wird auf den vielseitigen Sensor Axiamote von Axiamo zurückgegriffen. Dieser ist dank minimaler Grösse und geringem Gewicht ideal um praktisch störungsfrei Messungen zum Bewegungsablauf durchzuführen, dazu wird er beispielsweise am Schuh des Athleten befestigt. Mit dem Axiamote können Daten in 11 physikalischen Freiheitsgraden gemessen werden [8]:

- Accelerometer
3-achsig, Bereich: $\pm 16 \text{ g}$
- Gyroscope
3-achsig, Bereich: $\pm 2000 \text{ }^{\circ}/\text{s}$
- Magnetometer
3-achsig, Bereich: $\pm 4800 \text{ } \mu\text{T}$
- Barometer
Bereich: 10 - 2000 mbar, Auflösung: 0.016 mbar
- Thermometer
Auflösung: 0.1 °C

Aus der Kombination der Beschleunigungs-, Rotations- und Magnetfelddaten lässt sich ein umfassendes Bewegungsprofil erstellen, die Messung von Luftdruck und Temperatur bietet eine zusätzliche Korrekturmöglichkeit. Der Axiamote lässt sich per USB oder Bluetooth verbinden und schickt die gemessenen Daten so an ein Anzeigegerät. Zur Anzeige und Auswertung existiert eine plattformübergreifende Software-Applikation (Windows, Linux, Android), welche je nach Anwendung mit verschiedenen Funktionen (zB. Erkennung der Bodenkontaktzeit von Sprintern) ausgestattet ist. Der Sensor ist auf einen Akkubetrieb von mindestens zwei Stunden bei maximaler Abtastrate ausgelegt.



Abbildung 3.1.: Bewegungssensor Axiamote [8]

3.2. Konzept Distanzmessung

Zur Ermittlung der Position wird aufgrund der hohen möglichen Abtastfrequenz und der Einsatzmöglichkeit in Gebäuden auf die Distanzmessung mit der Time-of-Flight Methode zurückgegriffen. Eingesetzt wird das Funkmodul *DWM1000* der Firma *decaWave*. Der darauf enthaltene Transceiver Chip *DW1000* nutzt UWB Funktechnik um Nachrichten zu verschicken und empfangen. Das Modul enthält sämtliche RF-Elektronik und Antenne, lässt sich über SPI ansteuern und verspricht eine Messgenauigkeit von ± 10 cm. Abhängig der Datenrate sollen Distanzen von bis zu 250 Metern gemessen werden können. [9]



Abbildung 3.2.: Funkmodul decaWave DWM1000 [10]

Die Distanzmessung zwischen zwei DWM1000 Modulen funktioniert mit dem Verfahren *double-sided two-way ranging*, dargestellt in Abbildung 3.3. Die beiden beteiligten Module nehmen vom Sende- und Ankunftszeitpunkt der verschickten Nachrichten präzise Zeitstempel. Die Messung wird von Modul A initiiert, worauf Modul B antwortet. Dies stellt die sogenannte erste Runde (*first round trip measurement*) dar, woraus die beiden Zeiten T_{reply1} (Verarbeitungszeit von Modul B / Antwortverzögerung) und T_{round1} (Dauer der Runde) hervorgehen. Die Antwort von Modul B ist gleichzeitig der Start für die zweite Runde, worauf wiederum Modul A mit einer Nachricht antwortet. Die so durchgeführte zweite Runde liefert die Zeiten T_{reply2} und T_{round2} . Aus den vier Zeiten kann mit den Formeln 3.1 und 3.2 die Flugzeit T_{prop} und anschliessend die Distanz d (unter Berücksichtigung der Lichtgeschwindigkeit c) zwischen den beiden Modulen berechnet werden.

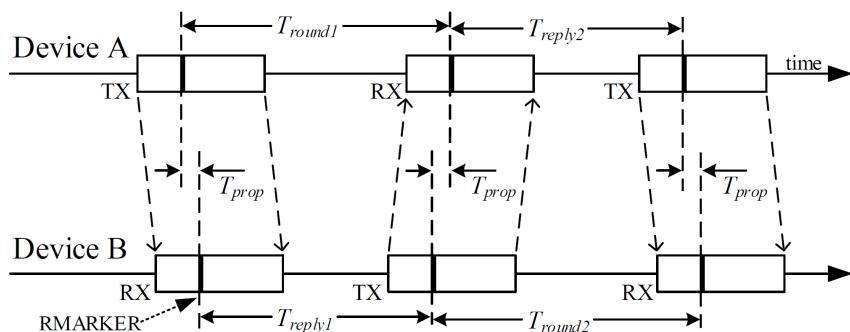


Abbildung 3.3.: Nachrichtenübermittlung beim *double-sided two-way ranging* [9]

$$T_{prop} = \frac{(T_{round1} \cdot T_{round2}) - (T_{reply1} \cdot T_{reply2})}{T_{round1} + T_{round2} + T_{reply1} + T_{reply2}} \quad (3.1)$$

$$d = T_{prop} \cdot c \quad (3.2)$$

Vorteil der doppelten Übertragung (zwei Runden, *double-sided*) gegenüber einer Einfachen (*single-sided*) ist die Minimierung des Messfehlers durch die Verarbeitungszeit. Details zu diesem und weiteren möglichen Verfahren können dem User Manual des DWM1000 entnommen werden. [9]

3.3. Sensornetzwerk

Um die Messung von Bewegungsprofil und Position zu realisieren, wird ein drahtloses Sensornetzwerk (Wireless Sensor Network, WSN) eingesetzt. *“Ein WSN kann allgemein als Netzwerk von Sensorknoten beschrieben werden, welche ihre Umgebung gemeinsam abtasten und steuern.”* ([11], s. 19)

Ein WSN beinhaltet üblicherweise verschiedene Sensorknoten, welche über einen Gateway die Daten durchs Internet dem Nutzer (Client) zur Verfügung stellen.

Das geplante Sensornetzwerk, exemplarisch dargestellt in Abbildung 3.4, besteht aus drei verschiedenen Komponenten:

1. Bewegungssensor Axiamote

Der in Kapitel 3.2 vorgestellte Sensorknoten Axiamote wird durch die Distanzmessung erweitert und bietet so eine kombinierte Lösung für die beiden Messungen. Der Bewegungssensor wird vom Sportler getragen und stellt für die Positionsbestimmung den mobilen Tag dar. Die Integration und Ansteuerung (Hard- und Software) des DWM1000 im Axiamote wird von Axiamo Mitarbeitern durchgeführt.

2. Ankermodul

Das Ankermodul bildet einen Referenzpunkt für den Athleten und wird an einem Sportgerät oder am Spielfeldrand mit bekannter Position befestigt. Zur (2D-)Positionsbestimmung durch Triangulation müssen mindestens drei Referenzpunkte, sprich Ankermodule eingesetzt werden. Sie übernehmen die Kommunikation sowohl zum Bewegungssensor als auch zum Server / Anzeigegerät.

3. Anzeigegerät

Als Anzeige- und Bedienelement dürfte typischerweise ein Android-Tablet operieren, was eine handliche Möglichkeit zur Echtzeitanalyse bietet. Möglich sind aber auch andere Androidgeräte oder Computer, auf welchen eine Serverapplikation ausgeführt wird.

Die Distanzmessung zwischen Bewegungssensor (Tag) und jeweils einem Ankermodul (Anchor) wird vom Tag initiiert. Zum Schluss der Messung sind seitens Anchor die in Kapitel 3.2 beschriebenen Zeiten bekannt, was das Ankermodul in eine Distanz umrechnet. Der Bewegungssensor spricht der Reihe nach alle verfügbaren Ankermodule an. Die Ankermodule senden die Distanzwerte in regelmässigem Abstand per WLAN an den Server, wo die Position trianguliert wird. Es ist dabei vorgesehen, dass alle Ankermodule direkt zum Server kommunizieren, aber auch die klassische WSN Variante, ein Ankermodul fungiert als Gateway, ist denkbar.

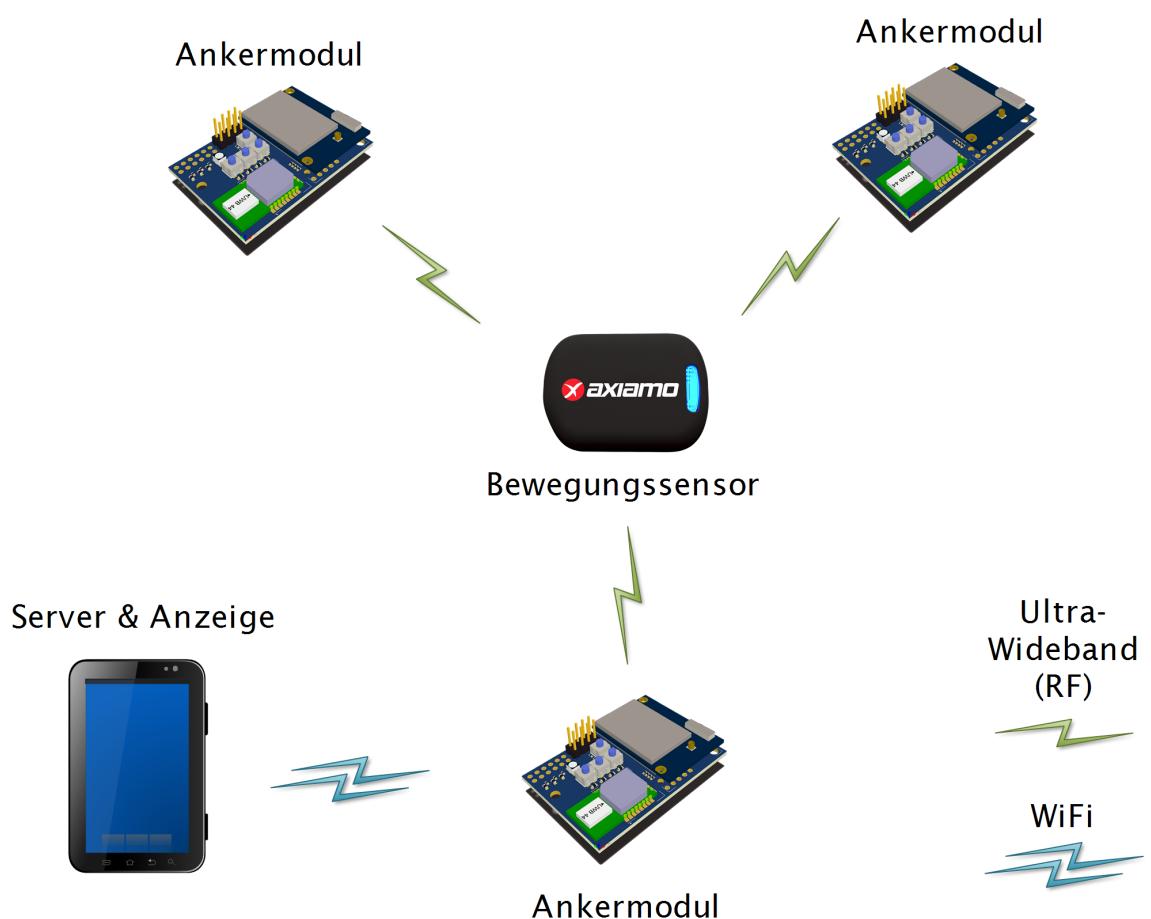


Abbildung 3.4.: Konzept des Sensornetzwerkes

4. Umsetzung

Das Kapitel behandelt die Realisierung der entwickelten Hardware- und Software-Komponenten. Es wird dabei nicht bis ins Detail auf das Hardware-Design und die Software-Entwicklung eingegangen, vielmehr gibt das Kapitel Aufschluss über den Lösungsansatz zu den definierten Zielen.

4.1. Hardware Ankermodul

Das Ankermodul ist eine Neuentwicklung, rund um die beiden zentralen Komponenten, das DWM1000 Funkmodul und das Prozessormodul Intel Edison. Das On-Board Power Management ermöglicht den Betrieb bei Energieversorgung ab Akku, USB oder DC-Adapter, sowie die kontrollierte Ladung des Akkus. Zwei USB-Schnittstellen ermöglichen nebst dem Laden des Akkus auch die *On-the-go* (OTG) Funktionalität und die gleichzeitige serielle Kommunikation mit dem Intel Edison. Das Ankermodul stellt zudem eine breite Auswahl an weiteren Kommunikationsschnittstellen zur Verfügung. In der Tabelle 4.1 sind die Eckdaten des Ankermoduls im Überblick aufgeführt.

Dimensionen (ohne Gehäuse)	
Grösse	55 x 40 x 10 mm
Gewicht	ca. 25 g
Zentrale Komponenten	
Intel Edison	Intel Atom CPU 500MHz dual-core, 1GB RAM
Funkmodul decaWave	integrierter UWB Transceiver für Time-of-Flight Distanzmessung
Schnittstellen	
Wireless	Dual-band (2.4 und 5 GHz) IEEE 802.11
Bluetooth	BT 4.0 und 2.1 EDR
USB OTG	USB 2.0
Extension Port	I2C, SPI, UART, GPIO
Energieversorgung	
DC Input	4.1V .. 6.6V / 2A
USB	5V / 2A
Akku	Lithium-Polymer / 3.7V / 1A Ladestrom
Akku Betriebsdauer	10 - 12h

Tabelle 4.1.: Eckdaten Ankermodul

Nebst dem Schema sind weitere Details wie Pinbelegungen von Jumpern, Fertigungs- und Testunterlagen, sowie eine Übersicht über Betriebsspannungen und Leds im Anhang A, Hardware Ankermodul, verfügbar.

4.1.1. Intel Edison

Der Intel Edison ist das zentrale Bauteil des Ankermoduls. Es handelt sich dabei um ein komplettes Modul, welches die Kommunikationsschnittstellen WLAN und Bluetooth mitsamt Antennen bereits enthält. Auf dem Hauptprozessor, einer dual-core, dual-threaded Intel Atom 500 MHz CPU mit 1 GB RAM, operiert ein Embedded Linux Betriebssystem. Dabei handelt es sich um eine modifizierte Version der Poky Linux Distribution des Yocto Projects ([12]). Als sekundärer Prozessor im Modul ist ein 32-bit, 100 MHz Intel Quark Microcontroller verbaut. Dieser kann zwar mit Einschränkungen genutzt werden, allerdings verunmöglicht die vorläufig nicht unterstützte SPI-Funktionalität den Einsatz in Kombination mit dem decaWave Funkmodul. Der Intel Edison besitzt zudem 40 GPIO Pins, welche entweder frei oder mit vordefinierten Funktionen (zum Beispiel I2C, SPI, etc.) konfiguriert werden können. Speziell zu erwähnen dabei ist, dass der Logiklevel der GPIO Pins bei 1.8 V liegt, während die angeschlossene Peripherie auf 3.3 V ausgelegt ist. Zur Lösung dieses Problems sind zwei bidirektionale Levelshifter für je acht Signale verbaut. Details zur Pinbelegung und der angeschlossenen Peripherie ist im Anhang in Kapitel A.2 ersichtlich.

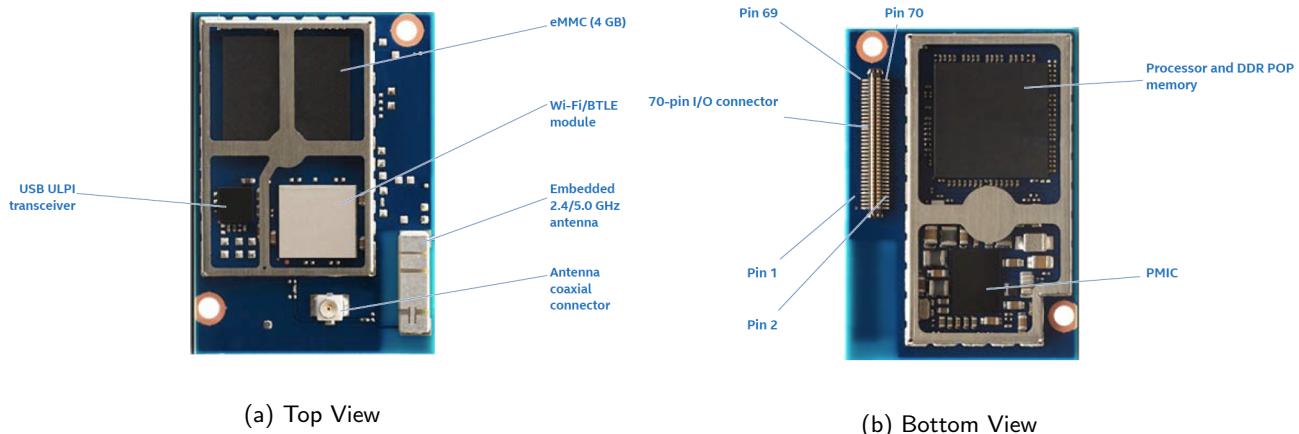


Abbildung 4.1.: Prozessormodul Intel Edison [13]

4.1.2. Distanzsensor DWM1000

Wie beim Intel Edison handelt es sich auch beim DWM1000 um ein vollumfängliches Modul. Die Ansteuerung erfolgt primär über die SPI-Schnittstelle, zur erweiterten Kontroll-Option (beispielsweise um Low Power Modes zu nutzen) sind aber auch die Signale *EXT0N*, *WAKEUP*, *RSTn* und *IRQ* zum Host Controller, sprich dem Edison, geführt. Vier Leds geben visuelles Feedback zur Funkkommunikation des Moduls. Für genauere Informationen kann das DW1000 User Manual ([9], s. 125) konsultiert werden, einen Überblick über verschiedenen Leds auf dem Ankermodul findet sich im Anhang unter A.3.

4.1.3. Power Management

Zum Power Management gehören verschiedene Aufgaben und Komponenten. An oberster Stelle steht die stetige Gewährleistung der verschiedenen Betriebsspannungen für die verbauten Module und die Peripherie. Die Energieversorgung kann flexibel ab USB, DC-Adapter oder Akku erfolgen. Beim Akku wird aufgrund des guten Masse-Leistungs-Verhältnis die Lithium-Polymer-Technologie gewählt. Dabei handelt es sich um eine Ausführung der Lithium-Ionen-Technologie, welche unter anderem im Modellbau und der Unterhaltungselektronik zum Einsatz kommt. Da Lithium-Polymer-Akkus elektrisch ziemlich empfindlich sind (Überladung, Tiefentladung), ist eine spezielle Lade- / Schutzschaltung nötig. Die minimale geforderte Betriebsdauer des Ankermoduls liegt bei 2.5 Stunden.

Dies reicht aus um sowohl eine etwas längere Trainingseinheit, aber auch beispielsweise ein Fussballspiel abzudecken. Angestrebt wird jedoch eine Akkulaufzeit von rund 12 Stunden.

4.2. Firmware Ankermodul

Bei der Firmware für das Ankermodul handelt es sich um eine Applikation für den Intel Edison, welche mit C++ unter dem Qt Framework entwickelt wurde und direkt nach dem Boot-Prozess des Linux Betriebssystems gestartet wird. Die Firmware basiert auf der plattform-unabhängigen DecaLibrary von Axiamo, einer Bibliothek zur Ansteuerung des Funkmodul DWM1000. Dies heisst einerseits, dass verschiedene Funktionen übernommen werden können, andererseits aber auch, dass die Struktur der Firmware in gewissen Bereichen der Library, bzw. der Firmware-Struktur des Axiamote, angepasst sein muss. Die Applikation gliedert sich so in verschiedene Klassen:

- **EdisonDecaAnchor**

Die Klasse stellt als oberste Instanz das Ankermodul dar. Sie verwaltet und steuert die nachfolgenden, funktionellen Klassen.

- **DecaAnchorBSL**

Die Board Support Library (BSL) stellt die Schnittstelle zwischen der Hardware des Ankermoduls und der restlichen Firmware zur Verfügung. Sie ermöglicht die Nutzung sämtlicher auf dem Modul enthaltenen Peripherie und Kommunikationsschnittstellen, dazu gehört auch der **SPI_Master**.

- **UWBDW1000**

Diese Klasse ist Teil der DecaLibrary. Sie übernimmt die kontinuierliche Steuerung der Distanzmessung durch die Kommunikation mit dem DWM1000.

- **CustomIncrementTimer**

Um einen Timer ähnlich demjenigen auf dem Axiamote zu modellieren, dient die Klasse CustomIncrementTimer. Es handelt sich dabei um einen Timer, welcher in einem eigenen Thread läuft, ein regelmässiges Timeout generiert, aber jeweils einmalig auch mit einem anderen Increment (Timerwert) überschrieben werden kann.

- **Client**

Die Klasse Client regelt die Wireless-Kommunikation mit dem Server.

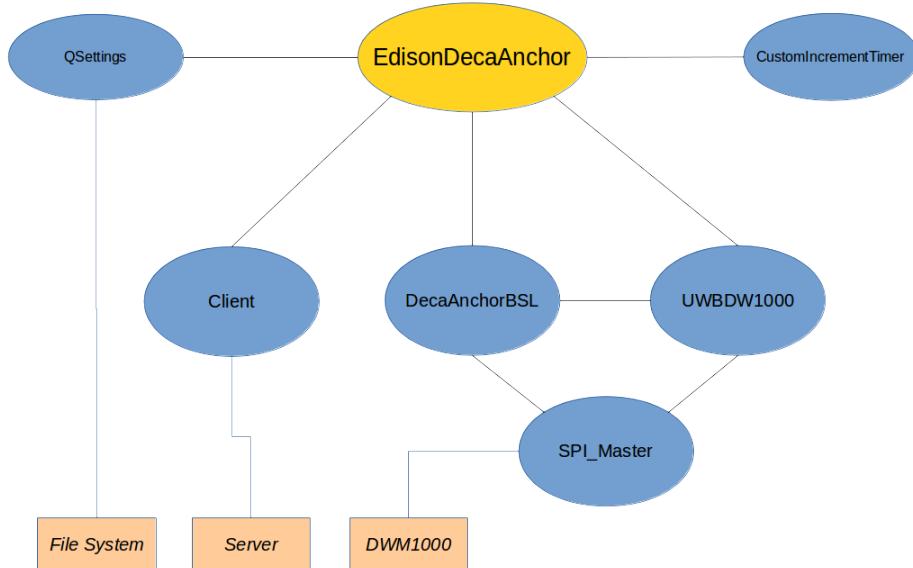


Abbildung 4.2.: Ankermodul Firmwarestruktur

Das Diagramm in Abbildung 4.2 zeigt das Zusammenspiel der verschiedenen Klassen. Nachfolgend sind die wichtigsten Klassen kurz genauer erläutert. Im weiteren wird auf die Doxygen Code-Dokumentation verwiesen, wo die einzelnen Klassen und Funktionen ausführlich erläutert werden.

4.2.1. Board Support Library

Zur Inbetriebnahme der Hardware dient die Board Support Library, implementiert in der Klasse *DecaAnchorBSL*. Nebst Funktionen zur Ansteuerung der Komponenten werden hier zu Beginn mehrere Schritte zur Initialisierung des Boards durchgeführt:

1. Einschalten der On-Board Spannungen
2. Einschalten der Levelshifter
3. Konfiguration der Überwachung des Power Managements
4. Konfiguration des Funkmodul DWM1000
5. Konfiguration der Peripherie (Taster, Leds, etc.)

Zu den einzelnen Schritten gehört auch die Initialisierung der jeweiligen GPIO Pins oder Interfaces. Die Board Support Library stützt sich dabei auf die Low Level Library MRAA von Intel, welche unter anderem die API für den Intel Edison zur Verfügung stellt. [14]

SPI_Master

In der Klasse *SPI_Master* wird die Funktionalität der SPI Schnittstelle zusammengefasst. Nebst der Initialisierung stehen vor allem die Funktionen zur Steuerung des Chip-Select Pins und eine *Transfer*-Funktion zur Verfügung. Obwohl die Board Support Library in der aktuellen Implementation nur den DecaWave DWM1000 per SPI ansteuert ist die Klasse im Prinzip universell für jegliche SPI Devices nutzbar, allerdings nicht für mehrere gleichzeitig, da im *SPI_Master* nur ein Chip-Select Pin definiert ist.

4.2.2. Distanzmessung

Die kontinuierliche Durchführung der Distanzmessung mit dem DWM1000 übernimmt die Klasse *UWBDW1000*. Dabei wird die Rolle des Gerätes unterschieden, entweder das Device operiert als Anker oder als Tag. Die Unterscheidung basiert auf den gerätespezifischen Settings (Klasse *QSettings* des Qt Framework, legt ein editierbares Settings-File im Dateisystem des Geräts ab).

Um eine fortlaufende Messung zu garantieren, ist eine Zustandsmaschine realisiert, welche abhängig von der Rolle des Geräts implementiert ist. Vereinfacht beschrieben läuft die Messung in fünf Schritten ab:

1. *Blink* (Tag-zu-Anker)
Der Tag macht mit sogenannten Blink-Nachrichten auf sich aufmerksam.
2. *Ranging Init* (Anker-zu-Tag)
Ein Anker, der die Blink-Nachricht des Tags empfangen hat, antwortet mit einer Ranging-Init-Nachricht, um die Messung zu starten.
3. *Poll* (Tag-zu-Anker)
Zum Auftakt des Messverfahrens (*double-sided two-way ranging*, siehe Kapitel 3.2) sendet der Tag eine Poll-Nachricht, verlangt so nach einer Antwort des Ankers.
4. *Response* (Anker-zu-Tag)
Sobald der Anker die Poll-Nachricht empfängt, schickt er eine Antwort (Response-Nachricht).
5. *Final* (Tag-zu-Anker)
Zum Abschluss der Messung übermittelt der Tag mit der Final-Nachricht die Zeitstempel, worauf der Anker die Distanz berechnet und der Tag erneut mit der Blink-Nachricht beginnt.

Während die beiden Geräte jeweils auf eine Antwort warten, läuft parallel ein Timer (*CustomIncrementTimer*), welcher verhindert, dass die Zustandsmaschine in einem Wartezustand gefangen ist, wenn beispielsweise eines der beiden Geräte ausser Reichweite kommt oder ausgeschaltet wird. Die Zustandsmaschine wird jeweils vom Timer oder vom Interrupt-Signal des DWM1000 angestossen, sprich in den nächsten Zustand gebracht.

4.2.3. Server Kommunikation

Bei der Kommunikation zum Server, die von der Klasse *Client* durchgeführt wird, handelt es sich um eine TCP/IP-Verbindung über die Wireless-Schnittstelle des Intel Edison. Die Verbindungsdaten (Adresse und Port) werden aus den Settings gelesen, können somit nachträglich noch dem Server angepasst werden. Die Firmware versucht regelmässig eine Verbindung mit dem Server aufzubauen, dazu läuft ein Standard-Timer im Hintergrund. Sobald eine TCP/IP-Verbindung steht, schickt das Ankermodul regelmässig (mit einem 5-Sekunden-Intervall) Keepalive-Nachrichten an den Server, um zu signalisieren, dass das Modul noch aktiv und in Reichweite ist. Die Klasse Client stellt weiter Funktionen zur Verfügung, um sowohl Distanz-Daten, als auch Bewegungsdaten zum Server zu übertragen. Der Aufbau der verschiedenen Nachrichten wird durch eine TCP/IP Library definiert, darin ebenso enthalten ist ein universeller Parser zur Interpretation der Nachrichten.

4.3. Server Applikation

Die Server Applikation ist eine Software, welche dank der Benutzung des Qt-Framework plattform-unabhängig auf einem Computer oder einem Androidgerät ausgeführt werden kann. Was im Moment noch ein eigenständiges Programm ist, sollte längerfristig in die bestehende Software von Axiamo integriert werden können. Die Applikation beinhaltet die folgenden Teilbereiche:

1. Server Kommunikation

Nach Start der Applikation wird ein TCP/IP-Server aufgebaut, welcher auf Verbindungsanfragen von Ankermodulen wartet und reagiert. Er nutzt, fix festgelegt, den Port 42424, die Adresse ist abhängig vom Netzwerk, in dem er sich befindet. Der Server greift auf die selben Library-Definitionen und -Funktionen zurück wie die Ankermodul-Firmware.

2. Datenverwaltung

Zur Datenverwaltung gehört einerseits die Positions berechnung vom Tag, andererseits die Speicherung der Positions-, Distanz- und Bewegungsdaten.

3. User Interface

Im User Interface sollen alle aktiven Tag und deren Distanz zu den Referenzpunkten, respektive deren Position angezeigt werden. Auch eine Visualisierung der Daten ist denkbar.

5. Resultate

5.1. Hardware Ankermodul

In der Bachelorthesis wurde die Revision 1.0 des Ankermoduls produziert und in Betrieb genommen. Mit Ausnahme der Überwachung des Akkuladestandes konnten sämtliche Features erfolgreich getestet werden. Dieser Fehler ist für den Betrieb des Prototypen allerdings nicht kritisch, da er im Notfall auch zuverlässig ab USB- oder DC-Energieversorgung funktioniert und der Akku geladen werden kann. Zur Behebung und einiger Optimierungen im Layout wegen, wurde ein Re-Design, die Revision 1.1, entworfen und konnte ebenfalls bereits produziert, allerdings noch nicht vollumfänglich getestet werden.

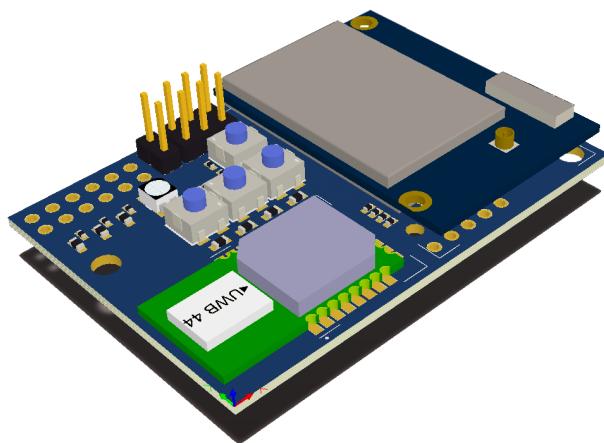


Abbildung 5.1.: Modul EdisonDecaAnchor, Revision 1.1

5.2. Distanzmessung

Die Distanzmessung mit dem Funkmodul DWM1000 konnte realisiert werden, allerdings ist die Messung bisher sehr instabil und läuft nur für wenige Zyklen. Die Messwerte bewegen sich im Bereich einer Genauigkeit von einem Meter. Da die Sample Size aber sehr klein ist und keine beständigen Bedingungen geschaffen werden konnten, sind diese Werte mit Vorsicht zu genießen.

Mühe bereitet hier vor allem der Fakt, dass der Betrieb des Funkmoduls und der Zustandsmaschine Ansprüche an das Timing der SPI-Kommunikation und der Verarbeitung stellt. Mit dem Intel Edison, welcher aufgrund des Linux-Betriebssystems nicht optimal für Echtzeitanwendungen ist, stösst man bei diesen Bedingungen schnell an gewisse Grenzen.

6. Schlussfolgerungen

6.1. Fazit

Die Bachelorthesis hat wichtige Erkenntnisse für das Projekt Positionsbestimmung der Firma Axiamo gebracht. Auch wenn das geplante Sensornetzwerk nicht in vollem Umfang realisiert werden konnte, ist mit dem Ankermodul ein Produkt entstanden, welches ganz sicher in der Testphase und dereinst vielleicht sogar als Teil des definitiven Sensornetzwerkes eingesetzt werden kann. Vor allem die Wireless Schnittstelle und das vielseitige Power Management auf dem Modul wissen zu überzeugen. Hingegen ist die Lösung mit dem Intel Edison für die Distanzmessung mit dem DWM1000 nicht optimal. Im Gegensatz zur Ansteuerung ab dem Axiamote ist auf dem Intel Atom Prozessor kein Echtzeitbetriebssystem vorhanden. Diese Situation könnte sich aber ändern, wenn beim sekundär verbauten Mikrocontroller in einem Update des Intel Edison dereinst die SPI-Schnittstelle funktioniert.

6.2. Ausblick

Abschliessend lässt sich im Projekt Sensor Networks for Position and Performance Measurements in Sportssagen, dass weiterhin ein grosses Potential besteht. Die Nachfrage nach technischer Unterstützung im Spitzensport ist gross und auch der Breitensport zeigt zunehmend Interesse. Die Kombination einer Positionsbestimmung mit dem Bewegungssensor Axiamote verspricht aufschlussreiche, neue Analysemöglichkeiten und ist auf gutem Weg, eine kostengünstige Alternative zu heutigen kommerziell erhältlichen Systemen zu bieten. Unklar ist, in welchem Rahmen die Firma Axiamo die Distanzmessung ab dem Intel Edison weiterverfolgt, am Konzept der Time-of-Flight Messung dürfte aber festgehalten werden und das Ankermodul kann eine tragende Rolle für ein Sensornetzwerk spielen.

Selbständigkeitserklärung

Ich bestätige, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Sämtliche Textstellen, die nicht von mir stammen, sind als Zitate gekennzeichnet und mit dem genauen Hinweis auf ihre Herkunft versehen.

Ort, Datum: Biel, 30.06.2016

Name, Vorname: Buntschu Oliver

Unterschrift:

Glossar

Axiomo Spin-off Unternehmen der Berner Fachhochschule.

Axiamote Bewegungssensor der Firma *Axiomo*.

BASPO Bundesamt für Sport.

BSL Board Support Library.

C++ Objektorientierte Programmiersprache.

DGPS Differentielles GPS.

DWM1000 Funkmodul der Firma *decaWave* zur Distanzmessung mit der Time-of-Flight Methode.

GNSS Global Navigation Satellite System.

GPS-Tracking Positionsbestimmung mittels GPS Technologie.

IoT Internet of things, die Vernetzung und Sensorüberwachung von Maschinen, Geräten und weiteren Objekten.

LPMS Local Positioning Measurement System, Trackingsystem der Firma *inmotiotec*.

MRAA Low Level Library für verschiedene Plattformen innerhalb der Intel IOT Familie, “*It's short, easy to type and means whatever you want/nothing, though i think the first letter stands for 'monkeys'.*” [15].

OTG USB on-the-go, erlaubt einem Gerät sowohl als USB Host wie als USB Client zu agieren.

Qt Eine C++ Klassenbibliothek zur plattformübergreifenden Programmierung.

SPI Serial Peripheral Interface, Standard für einen synchronen, seriellen Datenbus zur Ansteuerung von digitalen Peripherie-Geräten.

Tag Elektronisches Modul zur Kennzeichnung von Gegenständen oder Personen.

TCP/IP Transmission Control Protocol / Internet Protocol, verbreitetes Netzwerkprotokoll.

TOF Time-of-Flight, Methode zur Distanzmessung via Flugzeit von Funksignalen.

UWB Ultra Wideband, Funktechnologie die einen grossen Frequenzbereich nutzt.

Videotracking Positionsbestimmung durch den Einsatz von Kameras.

WSN Wireless Sensor Networks, ein Netzwerk von Sensorknoten, welche kooperativ die ihre Umgebung überwachen und steuern.

Literaturverzeichnis

- [1] R. Leser, A. Baca, and G. Ogris, "Local Positioning Systems in (Game) Sports," 2011. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3231285/pdf/sensors-11-09778.pdf>
- [2] J.-M. Zogg, *GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten.* ublox, 2014. [Online]. Available: http://zogg-jm.ch/Dateien/Update_Zogg_Deutsche_Version_Jan_09_Version_Z4x.pdf
- [3] GPSPORTS, *Understanding GPS Tracking,* 2013. [Online]. Available: http://www.gpsports.com/support/FAQ_GPS_Tracking.pdf
- [4] U. of British Columbia. Image Videotracking. [Online]. Available: <http://www.cs.ubc.ca/~shervmt/images/right2.png>
- [5] BASPO. (2016) Local Positioning Measurement System LPMS. [Online]. Available: <http://www.baspo.admin.ch/de/bildung-und-forschung/forschung/forschungsthemen-der-ehsm/lpm-local-position-management.html>
- [6] H. Track. Image Local Positioning Measurement in Hockey. [Online]. Available: http://www.hockey-track.com/wp-content/uploads/2015/01/skizze_4_hockeytrack_mit_allen_nummern.png
- [7] B. H. Dobkin, "Wearable motion sensors to continuously measure real-world physical activities," 2013. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4035103/pdf/nihms568974.pdf>
- [8] Axiamo, *Axiamoto x1 - Product Flyer,* 2016. [Online]. Available: <http://www.axiamo.com/download/downloads/documentation/AxiamoFlyer.pdf>
- [9] *DW1000 User Manual,* Decawave Ltd, 2016.
- [10] Digikey. Image DWM1000. [Online]. Available: <http://media.digikey.com/Photos/Decawave%20Limited/DWM1000.JPG>
- [11] IEC, "Wireless Sensor Networks," 2016. [Online]. Available: <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-internetofthings-LR-en.pdf>
- [12] yocto project. (2016) Poky reference distribution. [Online]. Available: <https://www.yoctoproject.org/tools-resources/projects/poky>
- [13] *Intel Edison Compute Module - Hardware Guide,* Intel Corporation, 2015.
- [14] I. IOT. (2016) mraa documentation. [Online]. Available: <http://iotdk.intel.com/docs/master/mraa/>
- [15] Intel. Issue 338, MRAA. [Online]. Available: <https://github.com/intel-iot-devkit/mraa/issues/109>
- [16] *Intel Edison Breakout Board - Hardware Guide,* Intel Corporation, 2015.
- [17] *DWM1000 Datasheet,* Decawave Ltd, 2015.

Letztes Abrudatum sämtlicher Links: 30.06.2016

Abbildungsverzeichnis

2.1. Videotracking im Spitzensport [4]	4
2.2. LPMS Prinzip anhand der Anwendung <i>Hockey Track</i> [6]	5
3.1. Bewegungssensor Axiamote [8]	7
3.2. Funkmodul decaWave DWM1000 [10]	8
3.3. Nachrichtenübermittlung beim <i>double-sided two-way ranging</i> [9]	8
3.4. Konzept des Sensornetzwerkes	10
4.1. Prozessormodul Intel Edison [13]	12
4.2. Ankermodul Firmwarestruktur	13
5.1. Modul EdisonDecaAnchor, Revision 1.1	17

Sämtliche Abbildungen ohne Quellenangabe wurden selbst erstellt.

Tabellenverzeichnis

4.1. Eckdaten Ankermodul	11
A.1. Grobe Abschätzung der Stromaufnahme	31
A.2. Übersicht der Systemspannungen	32
A.3. Pinbelegung Intel Edison, Power Management und USB	32
A.4. Pinbelegung Intel Edison, weitere Schnittstellen	33
A.5. Pinbelegung Intel Edison, diverse Peripherie	33
A.6. Überblick der verbauten Leds	34

A. Anhang Hardware Ankermodul

A.1. Dimensionierung

Bei der Dimensionierung des Akkus wird von den Stromverbrauchswerten in Tabelle A.1 ausgegangen. Dabei handelt es sich um eine grobe Abschätzung der mittleren Stromaufnahme und nicht um eine genaue, auf Tests gestützte Berechnung:

Bereich	Stromverbrauch	Bemerkung
Intel Edison	200mA	Maximalwert aus Hardware Guide ([16], s. 10)
DWM1000	30mA	Erklärung und Berechnung in Gleichung A.1
Peripherie	170mA	unter anderem verschiedene Leds
Total	400mA	

Tabelle A.1.: Grobe Abschätzung der Stromaufnahme

Für die Stromaufnahme des DWM1000 gilt, gestützt auf Spezifikationen aus dem Datenblatt ([17], s. 12):

$$I_{DWM1000} \approx I_{IDLE} + (I_{RXTX,MAX} \cdot \eta) = 13.4mA + (160mA \cdot 10\%) \approx 30mA \quad (\text{A.1})$$

Die Auslastung der Funkkommunikation (η) ist dabei eine Abschätzung. Von den Leds (genauer beschrieben unter A.3) wird angenommen, dass bei Akkubetrieb im Schnitt maximal 9 Stück (1x Betriebsled, 3x RGB, 3x GPIO, 1x DecaWave, 1x UART) aktiv sind und mit knapp 20 mA auskommen. Noch nicht berücksichtigt ist hier die Funktion als energieliefernder USB-Host.

Aufgrund des totalen Stromverbrauches und der angestrebten Betriebsdauer resultiert folgende Berechnung für die Kapazität des Akkus:

$$Q = I \cdot t = 400mA \cdot 12h = 4800mAh \quad (\text{A.2})$$

Auf Basis der Berechnungen wurde eine Einzelzelle mit 3.7 V Nennspannung und einer Kapazität von 4000 mAh gewählt. Dessen Kapazität liegt zwar etwas unter dem berechneten Wert, allerdings bezieht sich dieser auch auf den geschätzten Maximalstrom. Zur Kontrolle wird mit dem absoluten Minimalwert für die Betriebsdauer zurückgerechnet:

$$I = Q/t = 4000mAh/2.5h = 1600mA \quad (\text{A.3})$$

Die so möglichen 1.6 A dürften selbst mit der Funktion als USB-Host und voller Auslastung nur schwer zu erreichen sein, somit ist die Akku-Kapazität in Ordnung, wenn auch eher an der oberen Grenze. Da der Akku aber nicht fix im Ankermodul verlotet wird, ist es durchaus auch möglich kleinere oder grössere Akkus anzuschliessen.

A.2. Pinbelegungen

Systemspannungen

Auf dem Ankermodul existieren nebst der Akkuspannung verschiedene weitere Spannungen, Tabelle ?? bietet eine Übersicht.

Bezeichnung	Spannungswert	Testpunkt	Quelle	Bemerkung
V_{SYS}	4.35 V	TP1	Laderegler	Betriebsspannung Intel Edison
V_{5V}	5 V	TP2	Boost Converter	USB OTG Spannung (auch bei Akkubetrieb)
V_{3V3}	3.3 V	TP3	Buck Converter	Betriebsspannung DWM1000
V_{1V8}	1.8 V	TP4	Intel Edison	Logik-Level Intel Edison
V_{BAT}	ca. 3.7 V	J2,1	Akku	Akkuspannung, Ladespannung: 4.2 V
V_{CHG}	5 V	J3,1	USB Charge Port	Ladespannung USB
V_{DC}	4.1 - 6.6 V	J1,1	DC Adapter	Ladespannung DC

Tabelle A.2.: Übersicht der Systemspannungen

Intel Edison

In den Tabellen A.3 - A.5 ist die Pinbelegung des Anschluss-Steckers des Intel Edison auf dem Ankermodul ersichtlich. Für die komplette Pinbelegung und die Spezifikationen wird auf das Datenblatt ([13], s. 14) und das erstellte Schema (auf der CD-ROM enthalten) verwiesen.

Bezeichnung	Pin	Funktion
DCIN	14	Input, Spannung ab Akku oder DCIN
PWRBTN	17	Power Button / Sleep (Low-aktiv)
GP81	70	-> Power Gauge, AL/CC
GP82	64	-> Laderegler, Laden abgeschlossen
GP14	48	-> Buck Converter, Board 3V3 Enable
GP15	42	-> Boost Converter, USB 5V Enable
USB ID	3	USB OTG ID Pin
USB DP	16	USB OTG D+
USB DM	18	USB OTG D-
USB VBUS	20	USB OTG Power Input
FAULT	19	USB OTG Power Fault Input
PSW	21	USB OTG Power Output Enable
GP134	22	USB UART RX -> FTDI Chip
GP135	27	USB UART TX -> FTDI Chip

Tabelle A.3.: Pinbelegung Intel Edison, Power Management und USB

Bezeichnung	Pin	Funktion	Bemerkung
GP128	65	UART CTS	Permanent Logic High
GP129	63	UART RTS	Not connected
GP130	61	UART RX -> USART TX (TP103)	Level Shift -> 3V3
GP131	46	UART TX -> USART RX (TP102)	Level Shift -> 3V3
GP19	41	I2C 1 SCL -> Power Gauge / TP104	Level Shift -> 3V3
GP20	43	I2C 1 SDA -> Power Gauge / TP105	Level Shift -> 3V3
GP27	45	I2C 6 SCL (TP106)	Level Shift -> 3V3
GP28	47	I2C 6 SDA (TP107)	Level Shift -> 3V3
GP109	55	SPI CLK -> DWM1000 / TP109	Level Shift -> 3V3
GP110	53	SPI CS0 -> DWM1000 / TP108	Level Shift -> 3V3
GP111	51	SPI CS1 -> NC	Not usable
GP114	59	SPI MISO -> DWM1000 / TP111	Level Shift -> 3V3
GP115	57	SPI MOSI -> DWM1000 / TP110	Level Shift -> 3V3
GP40	52	-> DWM1000, EXTON	Level Shift -> 3V3
GP41	54	-> DWM1000, WAKEUP	Level Shift -> 3V3
GP42	50	-> DWM1000, RSTn	Level Shift -> 3V3
GP43	56	-> DWM1000, IRQ	Level Shift -> 3V3

Tabelle A.4.: Pinbelegung Intel Edison, weitere Schnittstellen

Bezeichnung	Pin	Funktion	Bemerkung
GP83	68	-> GPIO 0 (TP100)	Level Shift -> 3V3
GP84	44	-> GPIO 1 (TP101)	Level Shift -> 3V3
GP79	62	-> Enable Level Shifter 1	
GP80	66	-> Enable Level Shifter 2	
GP12	35	-> D20, RGB-LED, Green	FET-Driver
GP13	33	-> D20, RGB-LED, Red	FET-Driver
GP182	37	-> D20, RGB-LED, Blue	FET-Driver
GP44	24	-> D40, LED, Green	FET-Driver
GP45	26	-> D41, LED, Orange	FET-Driver
GP46	28	-> D42, LED, Red	FET-Driver
GP47	30	-> S30, Push Button	
GP48	32	-> S31, Push Button	
GP49	34	-> S32, Push Button	

Tabelle A.5.: Pinbelegung Intel Edison, diverse Peripherie

A.3. Led Visualisierung

Auf dem Ankermodul sind verschiedene Leds verbaut, welche entweder den Systemstatus signalisieren, Datentransfer der Kommunikationsschnittstellen signalisieren oder zu Debugging-Zwecken, respektive zur späteren zusätzlichen Nutzung frei belegbar sind. Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht von Farbe und Funktion der verschiedenen Leds:

Bereich	Bezeichner	Farbe	Funktion
Power Management	D1	Grün	Externe Speisespannung angelegt
Power Management	D2	Rot	Akku wird geladen
Power Management	D3	Blau	Betriebsled Ankermodul
Power Management	D4	Rot	Power Fail 3V3 Spannung
Schnittstellen	D5	Gelb	USB UART RX
Schnittstellen	D6	Orange	USB UART TX
Peripherie	D20	RGB	Freie Verwendung
Peripherie	D40	Grün	Freie Verwendung
Peripherie	D41	Orange	Freie Verwendung
Peripherie	D42	Rot	Freie Verwendung
Distanzmessung	D50	Grün	DWM1000 RX OK
Distanzmessung	D51	Rot	DWM1000 SFD
Distanzmessung	D52	Gelb	DWM1000 RX
Distanzmessung	D53	Orange	DWM1000 TX

Tabelle A.6.: Überblick der verbauten Leds

A.4. Fertigungsanleitung

Das Ankermodul kann grösstenteils gemäss den Produktionsunterlagen (Schema, Stückliste und Bestückungsplan, enthalten auf der angehängten CD-ROM) gefertigt werden. Allerdings sind einige Punkte zu beachten. Zur Flexibilität gegenüber zukünftigen Erweiterungen sind einige Bauteile zur optionalen Bestückung vorgesehen:

Ladeschaltung

Um die Temperatur des Akkumulators beim Ladevorgang zu überwachen, besitzt der Charger-Chip ein Thermistor-Eingang, zum Anschließen herausgeführt am Jumper R5. Falls am Akku kein NTC-Widerstand vorhanden ist, kann dieser offen gelassen und durch Bestücken von R6 = 10K überbrückt werden. Falls ein NTC angeschlossen wird, darf R6 nicht bestückt werden.

Zusätzlich besitzt der Charger einen internen Lade-Timer. Falls dieser genutzt werden soll, kann er durch entsprechende Bestückung einer Kapazität an C12 aktiviert werden. Andernfalls ist für C12 ein Null-Ohm Widerstand zu bestücken, keinesfalls darf C12 offen gelassen werden.

On-Board Spannungen

Die Enable-Signale der beiden Power Converter (3.3V und 5V) werden von der Intel Edison Firmware gesteuert. Durch entsprechende Pull-Up- oder Pull-Down-Widerstände kann gewählt werden, was der Zustand der Converter ohne Edison, respektive beim Bootvorgang oder allgemein gesagt der Default-Zustand ist. Durch Bestücken der Pull-Down-Widerstände (20K, R33 und R43) sind sie ausgeschaltet bis die Firmware dies ändert. In diesem Fall

werden die Pull-Up-Widerstände (R32 und R42) nicht bestückt. Durch umgekehrte Bestückung wird der gegenteilige Effekt erreicht.

I2C Fuel Gauge

Die Fuel Gauge zur Überwachung des Akkuladestands wird per I2C angesteuert. Um das Edison-interne Interface I2C 1 dafür zu nutzen, werden die Widerstände R110 = 0R und R111 = 0R bestückt, R112 und R113 bleiben offen. Um das andere Interface zu nutzen (I2C 6) bestückt man die Widerstände R112 = 0R und R113 = 0R, R110 und R111 bleiben offen.

A.5. Inbetriebnahme

Für die Inbetriebnahme des Ankermoduls sollen folgende Schritte befolgt werden:

1. Visuelle Kontrolle

Kurze visuelle Prüfung der SMD-Bestückung, mögliche Fehler: Kurzschlüsse beim Intel Edison Stecker (P1) oder den übrigen Chips (U*).

2. Widerstandsmessung

Alle in Bezug zum GND Netz (TP5 / J1,2 / J2,2 / R15,2):

- VSYS (TP1), R = 100..900k
- 5V0 (TP2), R = 100..900k
- 1V8 (TP3), R = 100..900k
- 3V3 (TP4), R = 100..900k

- CHG_VSYS_out (JP1,1), R = 100..900k
- DC_in (J1,1), R = 100..900k
- USB_in (C5,1), R = 100..900k
- Accu_in (J2,1), R = 100..900k

Der genaue Wert der Ein-/Ausgangsimpedanzen ist dabei nicht von Bedeutung (der Wert wird aufgrund der Kapazitäten sowieso steigen), er sollte aber im Kilo-Ohm Bereich liegen und es dürfen auf keinen Fall Kurzschlüsse auftreten.

3. Spannungsmessung DC-in

- > Jumper JP1 offen lassen, Intel Edison nicht anstecken
- > DC Spannungsquelle an DC_in (J1) anschliessen, U = 4,1..6,6V, I_limit = 0,5A

Die grüne *Externe Speisespannung Led* (D1) leuchtet.

- I_power_supply = ca. 20mA
- U_CHG_VSYS_out (JP1,1) = 4.35V
- U_VSYS (TP1) = floating
- U_5V0 (TP2) = floating
- U_1V8 (TP3) = floating
- U_3V3 (TP4) = floating

> Jumper JP1 schliessen

Die blaue *Betriebsled* (D3) leuchtet zusätzlich.

- I_power_supply = ca. 40mA
- U_VSYS (TP1) = 4.35V
- U_5V0 (TP2) = floating
- U_1V8 (TP3) = floating
- U_3V3 (TP4) = floating

> Spannungsquelle ausschalten, Intel Edison anstecken, Spannungsquelle einschalten

- I_power_supply = ca. 150mA
- U_VSYS (TP1) = 4.35V
- U_5V0 (TP2) = floating
- U_1V8 (TP3) = 1.8V
- U_3V3 (TP4) = floating

4. Spannungsmessung USB-in

> DC Spannungsquelle ausschalten, USB Spannungsquelle am *USB Charge Port* (J3) einstecken
> Die Spannungsmessungen von Schritt 3 wiederholen

5. Intel Edison Überwachen

> Jumper JP1 öffnen
> USB Kabel vom *USB charge / UART port* (J3) zu einem USB Host verbinden (zB. Laptop mit ubuntu Betriebssystem)
> Jumper JP1 schliessen
> Serielles Terminal auf dem Host öffnen (zB. `$ screen /dev/ttyUSB0 115200`)

Der Stream mit den Boot Nachrichten des Intel Edison erscheint im Terminal, gefolgt von einer Login Abfrage

-> Login und Passwort: root / IntelEdison

Der Intel Edison lässt sich nun wie ein gewöhnliches Linux bedienen.

6. DecaAnchorTest Applikation

> Intel Edison mit der Board Test Applikation programmieren, Voraussetzung: Custom Linux Image mit Qt Framework

7. Spannungsmessung On-Board

- U_5V0 (TP2) = 5.0V
- U_3V3 (TP4) = 3.3V

8. Weitere Tests Noch zu definieren, bzw. in der Test Applikation zu implementieren sind umfassendere Tests des Power Managements (inklusive Akkubetrieb und -ladung), der USB Host Funktionalität und den zur Erweiterung herausgeführten Schnittstellen (SPI, I2C, UART, GPIO).

A.6. Stand der Hardware

EdisonDecaAnchor Revision 1.0

Bei der ersten Ausgabe des Ankermoduls sind folgende Probleme bekannt:

- Ein Thermistor muss zum Ladevorgang angeschlossen sein
Behebung: R4 = 10k. Entweder 10k NTC Widerstand an Jumper R5 anschliessen oder mit parallelem, normalem 10k Widerstand überbrücken.
- Signal CHG_ON, gleichzeitiger Pull-Up auf 1.8 V und durch Led auf 3.3 V
Behebung: Verbindung zum Edison und R119 trennen. (rev 1.1)
Quickfix: Entfernen des Led-Vorwiderstandes
- Signal AL_CC, gleichzeitiger Pull-Up auf 1.8 V und auf 3.3 V
Behebung: Entfernen von R22
- DCIN berücksichtigt nur die externe USB-Spannung, nicht aber die DC Spannung
Behebung: Kombination der beiden Inputs mit Schottky Dioden (rev 1.1)
- Enable Signale der Power Converter mit optionalen Pull-Ups auf VSYS, zu hoch für Intel Edison
Behebung: optionale Pull-Ups (R203 und R206) auf 1.8 V (rev 1.1)

- Falsche Orientierung des Intel Edison Steckers
Behebung: neues Routing (rev 1.1) Quickfix: Intel Edison 180 Grad gedreht einstecken.
- FS1 Chip Select des SPI Interface kann nicht genutzt werden
Behebung: FS0 direkt verwenden, Auswahl-Widerstände R105 und R106 entfernen (rev 1.1) Quickfix: R105 = NC, R106 = 0R
- GP77 kann nicht verwendet werden
Behebung: Herausgeführte GPIOs neu GP83 und GP84 (rev 1.1)
- I2C Leitungen (SDA und SCL) brauchen beidseitig des Levelshifters Pull-Up Widerstände
Behebung: Einfügen von 2k Pull-Ups (ev. reichen sogar 910R)(rev 1.1)
- Levelshifter TXB0108 für I2C Betrieb ungeeignet
Behebung: Ersetzen durch pinkompatiblen TXS0108E

Nicht ausführlich getestet wurden:

- Strombegrenzungen (USB OTG, Gesamtsystem und Akkuladung)
- Überwachung der Akkuladung (Fuel Gauge)
- Serielles Interface UART 1
- I2C Interfaces

Von der produzierten 10-Stück-Serie der Revision 1.0 des Ankermoduls ist der aktuelle Stand wie folgt:
Die Exemplare mit den Nummern 1 und 2 wurden getestet, die oben beschriebenen Probleme behoben (Quickfixes) und sind zur Firmwareentwicklung in Betrieb. Die Module 3 bis 10 wurden weder visuell noch funktionell getestet und sind unmodifiziert. Bei diesen Modulen ist kein Funkmodul DWM1000 verbaut.

EdisonDecaAnchor Revision 1.1

Von der 10-Stück-Serie der Revision 1.1 konnten 3 Stück produziert, allerdings bisher erst teilweise in Betrieb genommen werden.

B. Inhalt der CD-ROM

Hardware Ankermodul

- Datasheets/
 - Design/EdisonDecaAnchor.7z
 - rev_1_0/
 - rev_1_1/
- Datenblätter aller verbauten Komponenten
Altium Source Files, komplettes Projekt, Stand 30.06.2016
Fertigungsunterlagen der Revision 1.0
Fertigungsunterlagen der Revision 1.1

Firmware Ankermodul

- Firmware Ankermodul.7z
 - tcpipLibrary.7z
 - BoardTestApplication.7z
- Sourcecode Firmware, komplettes Projekt, Stand 30.06.2016
Sourcecode TCP/IP Library, Stand 30.06.2016
Sourcecode Board Test Application, komplettes Projekt, Stand 30.06.2016

Software Server Applikation

- ServerApplication.7z
 - tcpipLibrary.7z
- Sourcecode Server Application, komplettes Projekt, Stand 30.06.2016
Sourcecode TCP/IP Library, Stand 30.06.2016

Referenzen

Begleitende Literatur, aus dem Literaturverzeichnis

Sonstige Dokumente

Pflichtenheft, Projektstudie, Book Abstract und Poster