

Pflichtenheft zur Master-Thesis

Titel:

**Entwicklung eines Systems zur Entfernungsabschätzung für Phasen
basiertes UHF RFID Tracking durch Verwendung evolutionärer
Berechnungsverfahren**

Projektname:

PRPS-Evo

Erstellt durch

Christoph Gnip

Fachbereich Elektrotechnik und angewandte Naturwissenschaften
Westfälische Hochschule

Mai 2013

Zusammenfassung

Dieses Dokument beschreibt ausführlich die Aufgabenstellung der Masterarbeit von Christoph M. Gnip. Es ist in Form eines Pflichtenheftes aufgebaut, es existiert kein zugehöriges Lastenheft.

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	2
2	Zielvorgabe	2
2.1	Musskriterien	3
2.2	Sollkriterien	3
2.3	Wunschkriterien	3
2.4	Abgrenzungskriterien	3
3	Umsetzung	4
3.1	Problembeschreibung	4
3.1.1	Die Sache mit der Wellenzahl	4
3.1.2	Aktuelle Handhabung	4
4	Systemkenndaten	4
4.1	Hardware	4
4.2	Software	5
5	Werkzeuge und Umgebungen	5
5.1	Quellcodeverwaltung	5
5.2	Programmierung	5
5.3	Dokumentation	5
6	Projektplanung	6
6.1	Projektlaufplan	6
A	Projektlaufplan	8
B	Vorüberlegungen	9
C	Trilaterationsansatz	11

1 Motivation

Die Positionsbestimmung (Tracking) mittels RFID (Radio-Frequency Identification) bietet gegenüber vergleichbaren Methoden (z.B. Ultraschall, Optisch) verschiedene Vorteile. Das wesentlichste Unterscheidungsmerkmal ist, dass keine direkte Sichtlinie sog. LOS (Line of Sight) notwendig ist um ein Objekt zu lokalisieren. Der Grund dafür ist das zugrunde liegende Messprinzip. Insbesondere im Vergleich mit optischen Verfahren ist RFID damit überlegen. Weiterhin erlauben die als Positionsgeber verwendeten Tags zusätzliche Informationen auf ihnen abzulegen, beispielsweise eine Identifikationsnummer und Weiteres. Dadurch wächst das Anwendungsspektrum weiter. Das Auslesen von zusätzlichen Informationen ist in keiner der anderen Technologien möglich.

Das von dem Messsystem der Amedo GmbH verwendete Verfahren basiert auf der Messung der Phasenlage der Antwort eines Tags. Die Phasenlage ist direkt proportional zu einer Entfernung. Dabei kommt es aufgrund der Physik im wesentlichen zu folgenden Problemen:

1. Die Messung der Position erfolgt über die Auswertung der Phasenlage des empfangenen Signals in Bezug auf ein Referenzsignal. Da in der EU sind nur bestimmte Frequenzen für die Verwendung für RFID erlaubt (865,5–867,5 MHz) kann man die Wellenlänge mit: $\lambda \simeq 0,35m$ angeben. Daraus folgt, dass alle 35 cm die gleiche Konfiguration der Phase vorliegt. In dieser Arbeit wird dieser Umstand Isophasen genannt. Die gewonnene Information aus der Phase ist somit redundant, d.h. es lässt sich durch die Kenntnis der Phase nicht unmittelbar auf die korrekte Position schließen. Man kann das Problem umgehen in dem man auf die errechnete Position ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge addiert. Die sog. Wellenzahl (vgl. (1)).
2. Das System der Amedo STS verwendet eine spezielle Antennenanordnung um die Position zu ermitteln. Dabei wird eine Antennenanzahl >4 eingesetzt. Für jede dieser Antennen muss eine eigene Wellenzahl bestimmt werden. Durch Auslöschung des Signals, Absorption etc. kann es dazu kommen, dass eine Antenne eine unbestimmte Zeit lang kein Signal vom Tag empfängt. Wenn die Antenne nach dieser Zeit erneut ein Signal empfängt ist die ihr zugehörige Wellenzahl unbekannt und muss neu bestimmt werden.
3. In realen Umgebungen treten zusätzlich noch Reflexionen und ein sog. Multipath-Effekt auf. Dabei wird das Signal nicht auf dem Direkten Weg Antenne-Tag-Antenne empfangen sondern über einen unbekannten, längeren Weg. Dadurch kommt es zu einem Fehler in der Phase. Zusätzlich ist dieser Effekt individuell für jede Antenne.

Eine analytische Lösung des Problems ist schwierig und bisher nicht gelungen. In dieser Arbeit soll mittels numerischer Methoden und Modellen die beschriebenen Probleme zu gelöst werden.

2 Zielvorgabe

Im Folgenden ist die Aufgabenstellung detailliert ausgeführt. Die Anforderungen der Arbeit sind in Muss-, Soll- und Wunschkriterien unterteilt. Entsprechend dieser Einteilung ergibt sich die Priorität der Aufgaben.

2.1 Musskriterien

Ziel dieser Arbeit ist es ein System zu entwerfen und umzusetzen, das die eingangs beschriebene Problematik, der unbekannten, nicht analytisch bestimmbaren Wellenzahl löst. Dazu sollen evolutionäre Verfahren verwendet werden. Zu Beginn der Arbeit wird eine State of the Art-Erhebung durchgeführt, um die geeignetste Methode zu finden. Sollte sich herausstellen das diese Verfahren ein ungeeignetes Mittel zur Lösung dieses Problems darstellen, wird eine geeignete Methode gesucht und ausgewählt.

2.2 Sollkriterien

Die Vorarbeiten zu diesem Projekt lassen erwarten, dass die aktuell vorliegenden Messdaten nicht unmittelbar für die Auswertung verwendet werden können. Sollte sich diese Annahme im Laufe der Arbeit bestätigen, sind entsprechende Maßnahmen zu treffen, denkbar wären:

- Filterung der Daten
- Anpassung der Messdatenaufnahme
- interne Berechnungen im FPGA

2.3 Wunschkriterien

Ein in der Bearbeitung impliziertes Problem betrifft die Kalibrierung des Systems. Es ist erstrebenswert, dass die Ergebnisse dieser Arbeit auch einen Lösungsansatz zu dieser Problemstellung liefern. In Vorüberlegungen zu dieser Arbeit wurden Abschätzungen vorgenommen über die Realisierbarkeit der Aufgabe, dabei wurde auch ein Lösungsansatz mittels Neuronaler Netze diskutiert. Die Beurteilung dieses Ansatzes umfasst, dass es zur Zeit nicht praktikabel ist die entsprechend große Anzahl an Datensätzen zu generieren, der Ansatz generell vielversprechend ist. Es kann davon auszugehen, dass im Rahmen der Kalibrierung hinreichend viele Daten in ausreichender Güte anfallen, um ein Neuronales Netz zu trainieren. Wenn es in die Bearbeitungszeit der Arbeit passt, soll dieser Ansatz weiter verfolgt werden.

2.4 Abgrenzungskriterien

Algorithmen und Testanordnungen welche bereits entwickelt wurden sind einzusetzen und nicht neu zu erfinden. Es dürfen/ sollen alle bereits erbrachten Arbeitsergebnisse der Amedo STS genutzt werden und werden in dieser Masterarbeit mit entsprechender Quellenangabe verwendet werden. Das Messsystem PRPS ist ein komplexes, aus mehreren Komponenten bestehendes System. Bei Problemen o.Ä. die Funktionalität des Systems betreffen sind die jeweils zuständigen Ingenieure zu kontaktieren und mit ihnen gemeinsam eine Lösung zu erarbeiten.

Namentlich sind das:

- Bernd Borgwerth (Software und System)
- Markus Hüther (FPGA)
- Sebastian Gnip (Hardware und Elektronik)

3 Umsetzung

Dieses Kapitel beschreibt die beabsichtigte Herangehensweise des Autors an die ihm gestellte Aufgabenstellung. Aus den Beschreibungen geht hervor welche Schritte durchgeführt werden um das Projekt zu bearbeiten.

3.1 Problembeschreibung

Die Entfernungsmessung über die Phasenlage des Empfangenen Signals kann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$d(\Theta) = \frac{\lambda}{2} \left(\frac{\Theta}{2\pi} + n \right) \quad , \lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1)$$

Dabei meint $d(\Theta)$ die Distanz von einem Tag für die gemessene Phase Θ . Die Phase ist für alle $\frac{\lambda}{2}$ redundant. Daraus folgt, dass die eigentliche Distanz um ein ganzzahliges Vielfaches, nämlich $n \frac{\lambda}{2}$, verschoben werden muss. In dieser Arbeit wird $n :=$ **Wellenzahl** definiert. Die Erweiterung: $n_i, i = \{1, 2, \dots, j := \text{Anzahl der Antennen}\}$ ist offensichtlich und meint, dass für jede Antenne eine eigene, von den anderen unabhängige Wellenzahl existiert.

3.1.1 Die Sache mit der Wellenzahl

Wie oben beschrieben ist unter Kenntnis der Wellenzahl die Entfernung zu einer Antenne bestimmbar und eine sichere Positionierung kann berechnet werden. Diese Überlegung gilt insbesondere, wenn die Wellenzahl für allen Zeiten t bekannt ist. Das kann in einer realen Umsetzung niemals gewährleistet werden.

3.1.2 Aktuelle Handhabung

Aktuell wird dieses Problem durch eine Startposition gelöst. Das bedeutet, dass eine fest vorgegebene Position zu Beginn der Messung angefahren werden muss. An dieser Stelle sind für alle Antennen ihre n_i bekannt. Von nun an kann der Tag bewegt werden. Durch einen Grenzübergang (Übergang zu einem anderen $\frac{\lambda}{2}$ -Gebiet) wird die Wellenzahl angepasst und bleibt somit korrekt.

In der Wirklichkeit kommt es sehr häufig dazu, dass der Kontakt zu einer Antenne abbricht und diese nicht mehr gelesen werden kann. Im schlimmsten Fall bricht der Kontakt zu allen Antennen ab. In diesem Fall sind die Wellenzahlen ungültig und nicht bestimmbar. Folge: Es muss von der Startposition neu begonnen werden.

4 Systemkenndaten

Dieser Abschnitt enthält eine Beschreibung des Systems, Leistungsmerkmale, Kenndaten und die Möglichkeiten, die für die Entwicklung zur Verfügung stehen.

4.1 Hardware

Das Projekt verwendet das PRPS-System der Amedo STS. Es handelt sich dabei um ein System aus mehreren Antennen, die mehrere RFID-Tags in Echtzeit vermessen können. Die Messdatenaufnahme und -vorverarbeitung erfolgt durch einen FPGA. Des Weiteren steht in dem System ein PC mit dem Betriebssystem Ubuntu zur Verfügung. Nach der Vorverarbeitung durch den

FPGA werden die Daten zu dem PC übertragen und dort die abschließende Positionsberechnung durchgeführt. Die Schnittstelle zum Endkunden oder zu anderer Software erfolgt via TCP/IP und dem PRPS-Protokoll. Das Protokoll ermöglicht zusätzlich eine Steuerung der Hardware. Sollte es notwendig sein, eng tolerierte Messungen mit dem System aufzunehmen, stehe ein CNC-Lineartisch zur Verfügung.

4.2 Software

Für die Steuerung der Hardware wird das Tool AmedoPRPSHow eingesetzt. Dabei handelt es sich um eine der Entwicklung dienende Software, die es ermöglicht über das PRPS-Protokoll das PRPS-System zu steuern, die Daten zu empfangen und zu visualisieren.

In den Vorgesprächen zu dieser Arbeit wurde die Softwareplattform: Shark entdeckt. Shark ist eine Library, die bereits viele evolutionäre Methoden beinhaltet. Im Rahmen dieser Arbeit soll sie verwendet werden, da sie die Referenzimplementierung für den CMA-ES-Algorithmus ist. Weiterhin ist sie in C++ geschrieben und ermöglicht so eine einfache Portierung auf andere Plattformen.

Im Rahmen dieser Arbeit steht Matlab in der Version 2013b zur Verfügung. Der Einsatz von Matlab kann bei vielen Teilen der Arbeit als nützlich sein. Besonders bei einem voraussichtlichen Filterentwurf.

5 Werkzeuge und Umgebungen

5.1 Quellcodeverwaltung

In dieser Arbeit wird das Quelloffene Versionsverwaltungssystem Git verwendet. Das Repository wird auf den Servern des Web-dienst "GitHub.com" hinterlegt um einen Austausch zwischen den verschiedenen Umgebungen zu erleichtern. Dieses Repository stellt eine weitere Ausfallsicherheit dar, das Risiko eines Datenverlustes wird so erheblich reduziert. Gleichzeitig wird großer Wert auf die Sicherheit und Integrität der Daten gelegt. Wie im Folgenden genauer beschreiben.

5.2 Programmierung

Die Software, die im Rahmen erstellt wird, muss auf dem Linux-Rechner im PRPS lauffähig sein. Die Entwicklungsumgebung sollte aus Gründen der Einfachheit daher entweder die Möglichkeit zur Cross-Kompilierung bieten oder eine direkte Portierung der erstellten Programme ermöglichen. Am geeignetsten für diese Aufgabe ist die IDE (Integrated Development Environment) Eclipse. Diese wird in der Version Helios verwendet. Die Wahl des Betriebssystems fällt auf Ubuntu 12.04 LTS für die Programmierungsumgebung. Dabei wird die Umgebung in einer Virtuellen Maschine unter der Verwendung von Oracle Virtual Box aufgesetzt. Dies ermöglicht eine einfache Portierung und Dokumentation, da die gesamte Maschine einfach zwischen verschiedenen Rechnern und Betriebssystemen kopiert werden kann.

5.3 Dokumentation

Die Projektdokumentation (Thesis, Berichte, Präsentationen etc.) wird in L^AT_EX erstellt. Eine entsprechende Umgebung wird auf allen in dem Projekt verwendeten Rechnern installiert.

Während des Projekts wird in auf wöchentlicher Basis ein Bericht angefertigt aus dem der aktuelle Projektstand hervorgeht.

In dem Verteiler für die Wochenberichte befinden sich:

- Prof. Dr. Frank Bärmann
- Dipl. Ing. Volker Trösken

Die Wochenberichte sind bis Mitte der Folgeweche zu erstellen. Es erfolgt ein Review der Berichte von V. Trösken.

Die Literaturverwaltung erfolgt mit BibTeX, da L^AT_EX zur Anwendung für die Dokumentation kommt. Für die Erstellung der Quellcode Dokumentation wird Doxygen [1] verwendet. Das ermöglicht eine sehr leichte und automatisierte Dokumentation, die zusätzlich keinen Mehraufwand verursacht, da Quellcode-Kommentare für die Doku verwendet werden.

6 Projektplanung

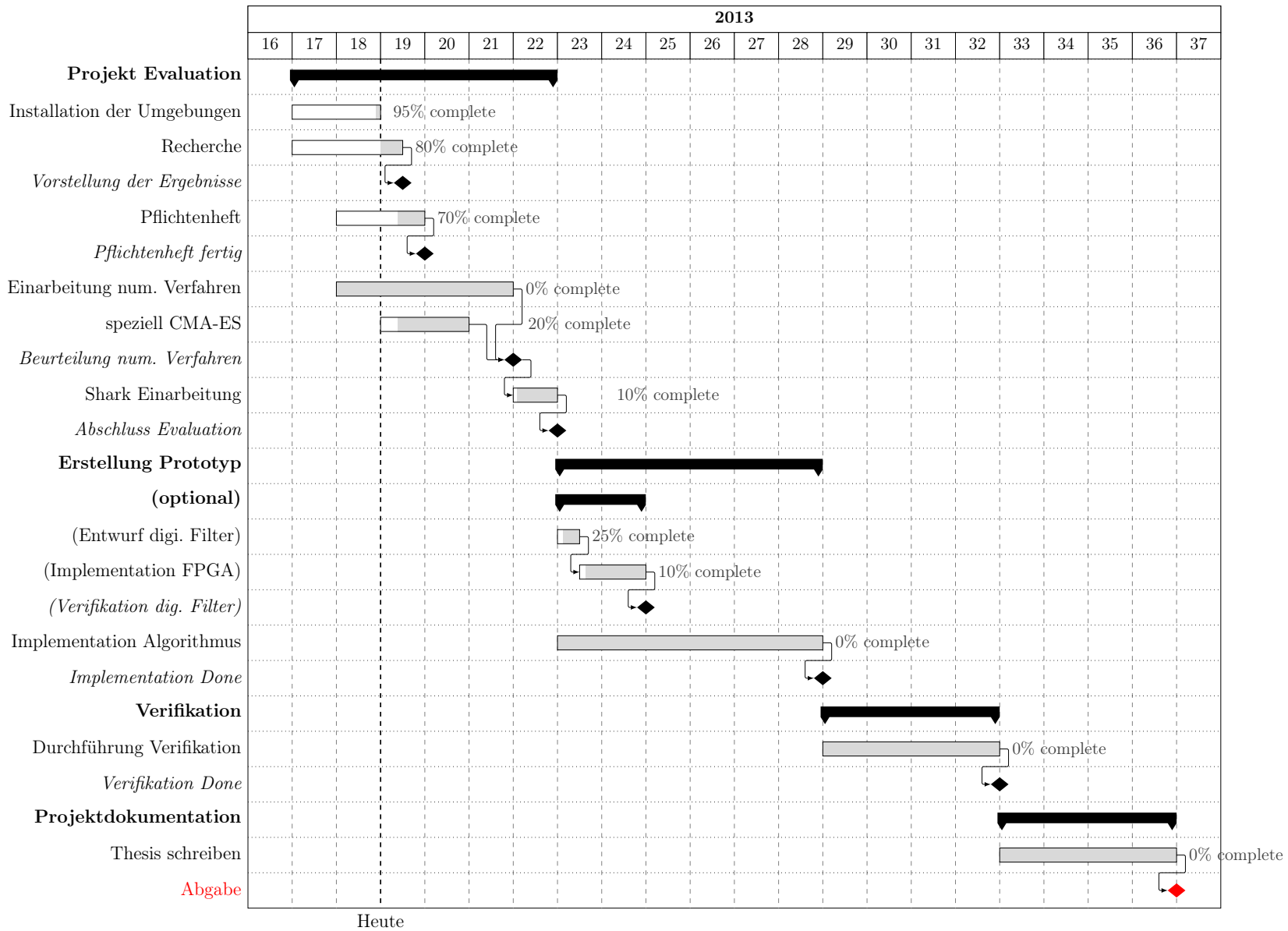
Die Dauer der Arbeit beträgt 20 Wochen. Start in der KW 17. Abgabe des Projekts ist am 9. September 2013. Eine Verlängerung um bis zu vier Wochen ist auf Antrag beim Prüfungsamt möglich.

6.1 Projektlaufplan

Eine erste Version des Projektlaufplans wird mit der Ausgabe des Pflichtenhefts gültig. Der Plan befindet sich im Anhang A. Der Projektlaufplan wird fortlaufend den Wochenberichte beigelegt um eine Übersicht über die Fortschritte zu ermöglichen.

Anhänge

A Projektlaufplan



B Vorüberlegungen

Auf den folgenden Seiten befindet sich eine Modellierung des physikalischen Zusammenhangs. Ziel ist die Entwicklung eines Modells, dass sich für die Verwendung in einer Minimierungsstrategie eignet.

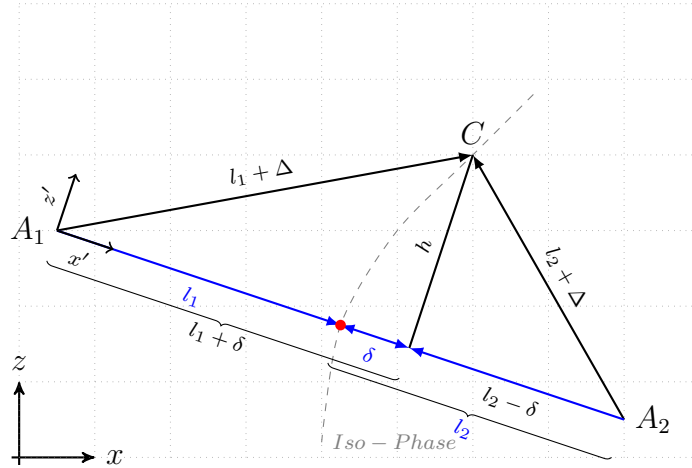


Abbildung 1: Entwurf des Modells für die Berechnung. Gezeigt ist, ein Tag und zwei Antennen. Die graue Linie stellt eine Iso-Fläche der Phase dar. Von diesen Flächen befinden sich N viele mit einem Abstand von $\frac{\lambda}{2}$ (der Übersicht halber nicht eingezeichnet).

Aus einfachen Überlegungen ergibt sich:

$$(l_1 + \Delta)^2 = (l_1 + \delta)^2 + h^2 \quad (2)$$

$$(l_2 + \Delta)^2 = (l_2 - \delta)^2 + h^2 \quad (3)$$

aus (2):

$$h^2 = (l_1 + \Delta)^2 - (l_1 + \delta)^2 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &= l_1^2 + 2l_1\Delta + \Delta^2 - [l_1^2 + 2l_1\delta + \delta^2] \\ &= l_1^2 + 2l_1\Delta + \Delta^2 - l_1^2 - 2l_1\delta - \delta^2 \\ &= 2l_1\Delta + \Delta^2 - 2l_1\delta - \delta^2 \end{aligned} \quad (5)$$

analog dazu lässt sich aus (3) ableiten:

$$h^2 = 2l_2\Delta + \Delta^2 + 2l_2\delta - \delta^2 \quad (6)$$

Wir suchen einen Ausdruck um Δ zu eliminieren, (5)=(6):

$$\begin{aligned} 2l_1\Delta + \Delta^2 - 2l_1\delta - \delta^2 &= 2l_2\Delta + \Delta^2 + 2l_2\delta - \delta^2 \\ 2l_1\Delta + \Delta^2 - 2l_2\Delta - \Delta^2 &= 2l_2\delta - \delta^2 + 2l_1\delta + \delta^2 \\ \Delta(l_1 - l_2) &= \delta(l_1 + l_2) \\ \Delta &= \delta \frac{(l_1 + l_2)}{(l_1 - l_2)} \end{aligned} \quad (7)$$

(7) in (5) einsetzen:

$$\begin{aligned} h^2 &= 2l_1\delta \left(\frac{(l_1 + l_2)}{(l_1 - l_2)} \right) + \delta^2 \left(\frac{(l_1 + l_2)}{(l_1 - l_2)} \right)^2 - 2l_1\delta - \delta^2 \\ &= \underbrace{\left(\frac{(l_1 + l_2)}{(l_1 - l_2)} - 1 \right)^2}_{a_0} \delta^2 + \underbrace{\left(\frac{(l_1 + l_2)}{(l_1 - l_2)} - 1 \right)}_{a_1} 2l_1\delta \end{aligned} \quad (8)$$

Nun können wir für δ den Ausdruck x' einführen. und erhalten:

$$h^2 = a_0 x'^2 + a_1 x' \quad (9)$$

Gleichung (9) drückt aus, dass sich die Berechnung noch in dem Koordinatensystem der beiden gewählten Antennen liegt. Es ist noch eine geeignete Koordinatensystem-Transformation zu wählen um auf ein vernünftiges Referenz-Koordinatensystem zu kommen. Weiterhin gelten die Überlegungen nur für diesen Zweidimensionalen Fall. Eine Anwendung auf die dritte Dimension sollte über die Erweiterung von $h^2 = y^2 + z^2$ möglich sein.

C Trilaterationsansatz

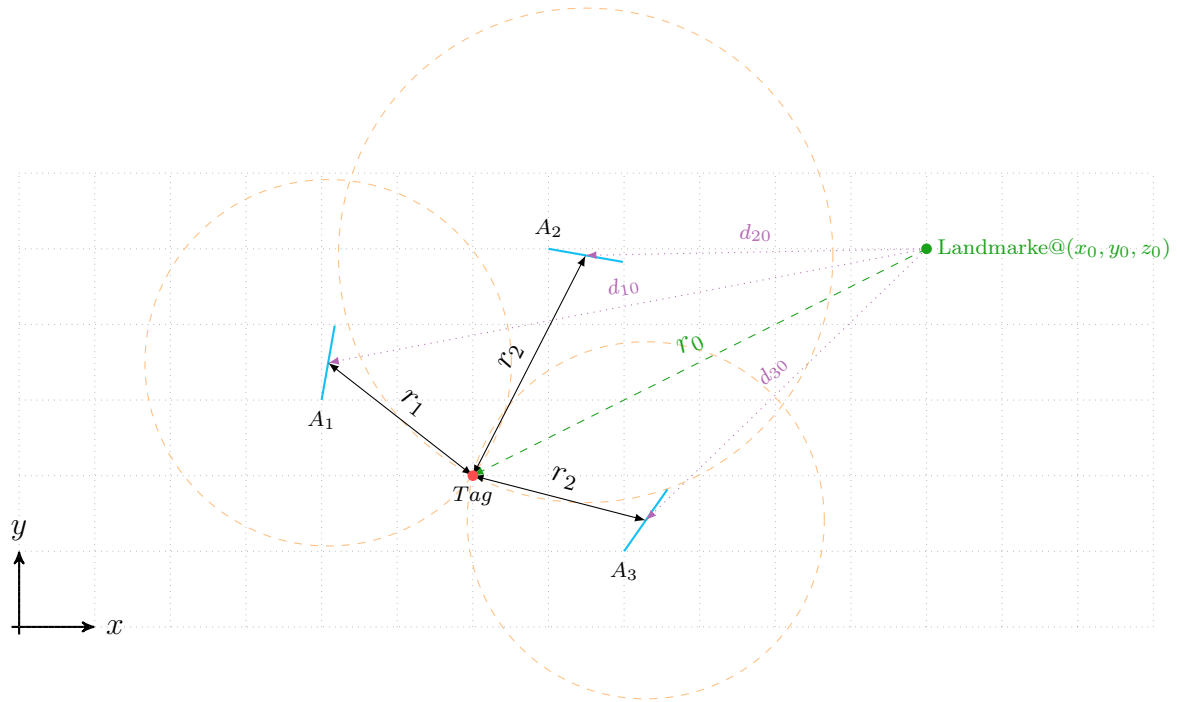


Abbildung 2: 2D-Übersicht auf die Szene mit drei Antennen, einem Tag und einer Landmarke. Die Position von $\{A_1, A_2, A_3\}$, sowie der Landmarke, zum Koordinatenursprung sind bekannt. Die Vektoren r_1, r_2, r_3 sind die gemessene Entfernung zu einer Antenne. Die Landmarke wird im späteren Verlauf eine Antenne sein, die ihrerseits eine gemessene Entfernung r_0 produziert. Der Schnittpunkt aller Kreise ist die Lösung der gemessenen Entfernung und der geom. Anordnung, die sich für die Position des Tags ergibt.

Folgende Nomenklatur und Symbole gelten für diesen Abschnitt:

- k ist der Index der Antennen, es gilt $k = \{1, 2, \dots, 8\}$
- $r_k :=$ Abstand vom Tag zur Antenne
- $d_{k0} :=$ Abstand zur Landmarke
- fette Großbuchstaben stehen für Matrizen
- fette Kleinbuchstaben stehen für Vektoren

Wir starten mit der Überlegung über den geometrischen Zusammenhang zwischen der Antennenposition von Antenne k zu der Position des Tags r_k :

$$r_k^2 = (x - x_k)^2 + (y - y_k)^2 + (z - z_k)^2 \quad (10)$$

Es ergibt sich für den Fall, dass drei Antennen den Tag lesen:

- 3 Gleichungen
- 3 Unbekannte

- quadr. Gleichungssystem

Das Gleichungssystem sieht wie folgt aus:

$$\begin{aligned} r_1^2 &= (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \\ r_2^2 &= (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 \\ r_3^2 &= (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 \end{aligned} \quad (11)$$

Wie in verschiedenen Beispielen gezeigt¹, kann man die Koordinaten unmittelbar berechnen. Im Weiteren wird versucht, zusätzliche Informationen für eine Linearisierung zu verwenden. Von der Landmarke sind die (x, y, z) -Koordinaten bekannt. Und wurden (z.B. durch Kalibrierung) in einem vorherigen Schritt bestimmt. Wir können notieren:

$$d_{k0}^2 = (x_k - x_0)^2 + (y_k - y_0)^2 + (z_k - z_0)^2 \quad (12)$$

$$\begin{aligned} r_k^2 &= (x - x_k)^2 + (y - y_k)^2 + (z - z_k)^2 \\ &= (x - x_k + x_0 - x_0)^2 + (y - y_k + y_0 - y_0)^2 + (z - z_k + z_0 - z_0)^2 \\ &= ((x - x_0) - (x_k - x_0))^2 + ((y - y_0) - (y_k - y_0))^2 + ((z - z_0) - (z_k - z_0))^2 \\ &= (x - x_0)^2 - 2(x - x_0)(x_k - x_0) + (x_k - x_0)^2 \quad \underbrace{+ \dots + \dots}_{y \text{ \& z Terme analog}} \end{aligned} \quad (13)$$

Durch Umstellen von (13) erhalten wir:

$$\begin{aligned} (x - x_0)(x_k - x_0) + \dots + \dots &= -\frac{1}{2}[r_k^2 - (x_k - x_0)^2 - (x - x_0)^2 + \dots + \dots] \\ (x - x_0)(x_k - x_0) + \dots + \dots &= \frac{1}{2}[(x_k - x_0)^2 + (x - x_0)^2 + \dots + \dots - r_k^2] \\ (x - x_0)(x_k - x_0) + (y - y_0)(y_k - y_0) + (z - z_0)(z_k - z_0) &= \\ \frac{1}{2}[(x_k - x_0)^2 + (x - x_0)^2 - (y_k - y_0)^2 + (y - y_0)^2 - (z_k - z_0)^2 + (z - z_0)^2 - r_k^2] \end{aligned} \quad (14)$$

Vergleich von (14) mit (12) bringt:

$$\begin{aligned} (x - x_0)(x_k - x_0) + (y - y_0)(y_k - y_0) + (z - z_0)(z_k - z_0) &= \\ \frac{1}{2}[\underbrace{(x_k - x_0)^2 + (z_k - z_0)^2 + (y_k - y_0)^2}_{d_{k0}^2} + \underbrace{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}_{r_0^2} - r_k^2] \end{aligned} \quad (15)$$

$$(x - x_0)(x_k - x_0) + (y - y_0)(y_k - y_0) + (z - z_0)(z_k - z_0) = \frac{1}{2}[d_{k0}^2 + r_0^2 - r_k^2] \quad (16)$$

mit

$$c_{k0} = \frac{1}{2}[d_{k0}^2 + r_0^2 - r_k^2] \quad (17)$$

können wir das lineare Gleichungssystem abschließend schreiben:

$$0 = \begin{pmatrix} x_1 - x_0 & y_1 - y_0 & z_1 - z_0 \\ x_2 - x_0 & y_2 - y_0 & z_2 - z_0 \\ x_3 - x_0 & y_3 - y_0 & z_3 - z_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} c_{10} \\ c_{20} \\ c_{30} \end{pmatrix} \quad (18)$$

Das Gleichungssystem hat die allg. Form: $0 = \mathbf{Ax} + \mathbf{b}$

¹z.B. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Trilateration&oldid=553215995>

Literatur

- [1] D. van Heesch, “Doxygen — Sourcecode documentation System.” <http://www.stack.nl/~dimitri/doxygen/>. [Online, zuletzt geprüft am 7.5.2013].