



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT



Lehrstuhl für Technische Elektronik

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. habil. Robert Weigel

Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer

Bachelorarbeit

im Studiengang

„Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (EEI)“

von

Christof Pfannenmüller

zum Thema

Aufbau und Inbetriebnahme einer mobilen Basisstation für feldstärkebasierte Lokalisierung

Betreuer: Felix Pflaum, Dipl.-Ing.

Beginn: 25.04.2016

Abgabe: 26.09.2016

Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen wurde.

Alle Ausführungen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

Erlangen, den 26. September 2016

Christof Pfannenmüller

Abstract

Zur Lokalisierung von mobilen Sensorknoten, welche in einem Sub-GHz-Frequenzbereich von 868 MHz arbeiten, sollte eine energieeffiziente Art der Ortung umgesetzt werden. Dazu sollte mithilfe einer auf Feldstärke basierten Ortung die genaue Position der Sensorknoten festgestellt werden. Um dies zu ermöglichen wurde eine Basisstation mit sechs Transceiver-ICs der Bauart TDA5340 entworfen. Die Steuerung übernahm ein Mikrocontroller der Baureihe XMC4500. Diese Basisstation sollte dabei ein Auslesen der empfangen Daten sowohl über den USB-Standard, als auch über Ethernet als zweite Kommunikationsschnittstelle ermöglichen. Die dabei verwendete Hardware basierte zum Großteil auf Bauteilen des Herstellers Infineon. Die Platine der Basisstation wurde mit Altium Designer entwickelt und umgesetzt. Dabei wurde die Verbindung zwischen der Steuereinheit und den Transceivern mit dem SPI-Protokoll umgesetzt. Die einzelnen Sende-/Empfangseinheiten wurden dabei gleichmäßig in alle Raumrichtungen zeigend angeordnet und so gestaltet, dass diese bei Bedarf abgetrennt und mit einer Kabelverbindung weiter voneinander entfernt konnten. Die Peripherie der verwendeten TDA5340 Transceiver generierte im Programmablauf nach einer Kommunikation mit dem Sensor ein Interrupt Signal. Dies erlaubte dem Mikrocontroller die Daten der einzelnen Empfangseinheiten auszulesen, zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt weiterzuleiten. Beim Messen der Feldstärke wurde ausgenutzt, dass die vorliegende Feldstärke bereits durch den TDA5340-Empfänger zur Verfügung gestellt wurde.

Antenne in verschiedene Richtungen ...

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Motivation	3
1.2	Zieldefinition	3
1.3	Projektmanagement	3
2	Platinenaufbau	5
2.1	Vorüberlegungen	5
2.2	Layoutprogramm Altium Designer	5
2.3	verwendete Hardware	6
2.3.1	TDA5340	6
2.3.2	XMC4500	8
2.3.3	Ethernet	9
2.3.4	Spannungsversorgung	9
2.4	Generierte Dokumente	9
3	Software	11
3.1	DAVE Entwicklungsumgebung	11
3.2	verwendete Peripherie des XMC4500	11
3.2.1	USIC	11
3.2.2	ERU	11
3.2.3	USB	11
3.3	verwendete Bibliotheken	11
3.3.1	XMC Libraries (XMC Lib)	11
3.3.2	SPI Library	11
3.3.3	TDA5340 Library	11
3.3.4	Virtueller COM Port	11
3.4	Programmablauf	11
3.4.1	Konfiguration der Funkmodule	11
3.4.2	interruptbasierte Datenerfassung	11
3.4.3	Weiterleitung der erfassten Daten	11
4	Feldtest	13
4.1	Aufbau	13
4.2	Durchführung	13

4.3 Ergebnisse und Auswertung	13
5 Zusammenfassung und Ausblick	15
Abbildungsverzeichnis	17
Tabellenverzeichnis	19
6 Anhang	21
6.1 Seriennummern	21

Einleitung

noch unterzubringen: wohin das Gehäuse?

1.1 Motivation

1.2 Zieldefinition

1.3 Projektmanagement

Als Versionskontrolle für das Projekt wurde Github eingesetzt.

Platinenaufbau

2.1 Vorüberlegungen

Um Sicherzustellen, dass alle Antennen gleichmäßig in die sechs vorgegebenen Raumrichtungen abstrahlen sollte bereits die Platine symmetrisch aufgebaut werden. Dazu wurden zuerst das Layout der sechs identischen Transceiver-Einheiten mit dem TDA5340 Baustein und den Antennen erstellt und anschließend gleichmäßig um die weiten notwendigen notwendigen Segmente der Schaltung angeordnet.

2.2 Layoutprogramm Altium Designer

Bei dem Entwicklungswerkzeug „Altium Designer“ des Entwicklers Altium Limited handelt es sich um ein System zum Entwurf von gedruckten Schaltungen oder PCBs (Printed Circuit Boards). Ein solches Programm wird auch als Electronic Design Automation (EDA) oder ECAD für electronic CAD bezeichnet, da es den Entwickler bei der Umsetzung der Anforderungen in einen Schaltplan unterstützen soll. Wie viele andere EDA-Programme ist auch Altium Designer so aufgebaut dass sich der Entwickler zuerst mit dem allgemeinen Schaltplan befassen kann und erst zu einem späteren Zeitpunkt die tatsächliche Anordnung auf dem PCB-Substrat festgelegt wird. Somit können zuerst im Schematic Editor die Funktionen der Schaltung umgesetzt werden. Dazu werden die verwendeten Bauteile aus zuvor angelegten Bibliotheken verwendet oder es werden bestehende Bibliotheken verwendet, die etwa vom Hersteller der Bauteile zur Verfügung gestellt werden. Altium selbst bietet hierfür auch diverse Möglichkeiten an und stellt Bauteile nach Hersteller und Art geordnet bereit. In den Bibliotheken sind alle im weiteren Verlauf benötigten Informationen über die einzelnen Bauteile enthalten. So liegen dort etwa entsprechenden Abbildungen für das Bauteil im Schaltplan vor. In den so genannten „Footprints“ zu jedem Bauteil, welche ebenfalls in den Bibliotheken enthalten sind, wurde zuvor die für das physikalische Gehäuse notwendigen Abmessungen und Löt pads festgelegt. Da es Bauteile wie den verwendeten Mikrocontroller in verschiedenen Gehäusen geben kann besteht somit auch die Möglichkeit hier verschiedene Footprints zu wählen. Da viele

Gehäuse herstellerübergreifend genormt sind, konnten teilweise bestehende Footprints genutzt werden oder diese mehrfach verwendet werden. Ebenfalls

Bauteileingabe und schaltplan MULTi channel - multi sheet

Altium Designer ist dabei in drei Teilbereiche unterteilt: im „Board Planning Mode“ liegt der Fokus auf dem Anordnen der einzelnen Bauteile und Komponenten auf der Leiterplatte, außerdem wird in diesem Bereich die Form und Ausmaße der Leiterplatte festgelegt. Im 2D-Modus des PCB-Editors lassen sich anschließend die aus der Definition im Schaltplan ergebenden elektrischen Verbindungen örtlich auf den verschiedenen Kupferebenen (Layern) anordnen. Die Hauptarbeit findet also in diesem Teil des PCB-Editors statt. Der 3D-Modus dient anschließend zur Evaluation des Designs und zur Anpassung an Gehäuse oder andere Komponenten. DRC Ein Bestückungsdruck wurde auf den Teilplatinen für die Transceiver aus Platzgründen weggelassen.

2.3 verwendete Hardware

2.3.1 TDA5340

Der verwendete Transceiver TDA5340 wird von Infineon Technologies AG entwickelt und vertrieben. Er ist teil der SmartLEWISTM Produktfamilie die energiesparende Lösungen für Funkanwendungen im Frequenzspektrum unterhalb von einem Gigahertz bietet. Der Transceiver kommuniziert mit seinem Host über das SPI-Protokoll, der Mikrocontroller ist in diesem Fall sternförmig mit den einzelnen TDA-Bausteinen verbunden, die als Slaves fungieren. Die Daten werden auf drei gemeinsamen Leitungen übertragen, eine vierte Leitung dient dem XMC zur Auswahl des gewünschten Slaves für die Kommunikation. Diese „not Chip select“-Leitung (NCS) arbeitet active-low, sodass der jeweilige TDA5340 eine Interaktion akzeptiert sobald diese vom XMC-Baustein auf Erdpotential gezogen wird. Von den drei eigentlichen Datenleitungen fungiert eine als reiner Ausgang des Masters bzw. Dateneingang des TDA (MOSI), eine zweite als Eingang des Masters (MISO) und die dritte als ein vom XMC getriebenes Clock-Signal. Bei dem auf MISO und MOSI anliegenden Signal handelt es sich um ein unipolar kodierte non-return-to-zero Signal, welches einer logischen 0 bei Erdpotential entspricht. Der TDA unterstützt acht verschiedene Instruktionen, die es erlauben entweder einzelne Register des Bausteins zu lesen bzw. zu schreiben, auf mehrere hintereinander folgende Register oder auf die beiden Puffer des Bausteins zuzugreifen. In den beiden Puffern, die als FIFO-Strukturen (first-in-first-out) aufgebaut sind, werden die vom TDA erkannten und demodulierten bzw. die auf Übertragung wartenden Signale zwischengespeichert. Diese Zwischenspeicherung soll den Mikrocontroller entlasten, so können entsprechende Datenpakete dem TDA5340 mitgeteilt werden und dieser übernimmt selbstständig eine korrekte Modulation und Übertragung mit den eingestellten Parametern.

Der TDA5340 kann sowohl mit einer Spannungsversorgungsspannung von 5V als auch bei 3,3V arbeiten. Da aber der XMC nur bei letzterer betrieben werden kann, wurde der TDA-Baustein und die externe Beschaltung einfachheitshalber auch auf 3,3V ausgelegt.

Package -transparent modes of tda (Des weiteren erlaubt der Baustein noc) Anpassnetzwerk IF Filter SMA zweiseitige platine, Top und Botom, zwei kupferflächen

Um zu einem späterem Zeitpunkt eine größere Entfernung zwischen den einzelnen

Antennen, und somit auch den jeweiligen Transceivern zu erlauben, wurde eine Sollbruchstelle vorgesehen. Dadurch könnten die gesamte Baugruppe von der Mutterplatine entfernt werden, was unter Umständen notwendig gewesen wäre um größere Unterschiede in der Signalstärke an den einzelnen Transceivern zu erhalten, und somit eine bessere Auflösung in der Ortung zu erlauben. Dazu wurden Anschlussleisten im Rastermaß $2,54\text{mm}$ an beiden Seiten der Sollbruchstelle vorgesehen. Die Verbindung der Transceiver-Einheiten mit der Hauptplatine wurde über diese Sollbruchstelle mit Leiterbahnen gewährleistet. Nach dem Abtrennen der TDA-Teilplatine, an der durch Bohrungen vorgesehenen Bruchstelle, wäre die elektrische Verbindung durch Kabel sichergestellt worden. Da es sich bei den zu übertragenden ausschließlich um digitale Signale handelt hätte dies unproblematisch mit ungeschirmten Flachbandkabeln ermöglicht werden können. Ein solches Vergrößern des Abstandes der Antennen war jedoch nicht notwendig. Neben der Versorgungsspannung, Masse und den vier für die SPI-Kommunikation notwendigen Signalen wurden noch die drei multifunktionalen Digitalausgänge und der power-on reset-Pin dem XMC4500 über die Buchsenleisten zur Verfügung gestellt.

Die Antenne wurde am oberen Ende jeder TDA5340-Teilplatine vorgesehen. Als Anschluss für die Antenne wurde hier eine Koaxialbuchse in SMA-Ausführung (Sub-Miniature-A) verwendet, welche auf 50Ω angepasst ist. Durch den Koaxialsteckverbinder konnte sichergestellt werden, dass alle notwendigen Frequenzen auch korrekt und unge-dämpft passieren können. Das Anpassnetzwerk zwischen dem integrierten Transceiver und der verwendeten SMA-Buchse diente der Leistungsanpassung zwischen den Pins des TDA5340 und der 50Ω -Koaxialbuchse. Der Aufbau des Anpassnetzwerkes basiert auf einem von Stefan Erhard erstellten Schaltplan für eine Aufsteckplatine für das Evaluationsboard „XMC 2Go“ von Infineon. Durch die Verwendung von hoch abgestimmten Spulen und Kondensatoren mit Toleranzen von nur $\pm 0,05\text{pF}$ bei einem Nennwert von $2,5\text{pF}$ wurde die korrekte Anpassung sichergestellt.

Zur Verbesserung der Hochfrequenzeigenschaften wurden die nach dem Freiräume zwischen den Leiterbahnen mit einer Kupferfläche gefüllt, die mit dem Masseanschluss kontaktiert war. Durch die Verwendung von Vias, vor allem im Bereich des Anpassnetzwerkes, sollte eine niederohmige Verbindung zwischen den beiden Masseflächen auf der Ober- bzw. Unterseite der Platine erreicht werden. Daneben dienten diese, auf Nullpotential liegenden Vias, jedoch vor allem der Abschirmung der Pfade für die HF-Signale gegen mögliche Einkoppelungen aus der Umgebung, welche ankommende Funksignale stören könnten.

Obwohl der TDA5340 einen eingebauten Zwischenfrequenz-Filter hat, der über eine umschaltbare Bandweite verfügt, wurde ein externer Keramikfilter verwendet. Der TDA stellt dafür zwei Pins bereit, zwischen denen ein solcher Filter mit einer Frequenz von $10,7\text{MHz}$ angeschlossen werden kann. Ohne einen hier extern angeschlossenen Filter würde der TDA als einfacher heterodyner Mischer direkt auf die Zwischenfrequenz 274kHz heruntermischen. Bei Verwendung eines externen Keramik oder auch eines LC π -Filters kann das ankommende HF-Signal jedoch in zwei Stufen gefiltert werden, ehe es in das Basisband demoduliert wird, was zu einer höheren Signalqualität führt.

Die elektrischen Verbindungen zwischen den beiden Eingängen des Low Noise Amplifier und dem Anpassnetzwerk wurden mit dem „Differential Pair Routing“-Feature von Altium Designer erstellt. Durch ein im Schaltplan auf die positive und die negative elektrischen

Verbindung zwischen dem TDA5340 und dem Anpassnetzwerk wird das Leitungspaar als differentiell markiert. Anschließend kann mit dem interaktiven „Differential Pair Routing“ einer der beiden Leitungen begonnen werden. Altium Designer wird dabei selbstständig versuchen die zweite Leiterbahn des Paares so anzuordnen, dass die beiden Leiterbahnen symmetrisch und parallel zueinander liegen. Durch die Verwendung des „Differential Pair Routing“ versucht Altium Designer auch die Länge der beiden Verbindungen anzugleichen. Durch die Anpassungen der differentiellen Leiterbahnen wird eine gleichmäßige Übertragung sichergestellt. Da diese Leitungen hochfrequente Signale führen, ist eine genaue Anpassung notwendig.

Um Einkopplungen auf die Pfade für hochfrequente Signale zu vermeiden wurde das für den Transceiver benötigte Quarz möglichst weit vom Sende- bzw. von den Empfangsanschlüssen des TDA angeordnet. Aus diesem Grund wurde der für den Oszillator benötigte Quarz mit einer Frequenz $f_{Crystal} = 21,948717 \text{ MHz}$ zwischen dem IC und vorgesehenen Stiftleiste platziert. Die Frequenz des benötigten Quarzes ergibt sich aus dem Zusammenhang

$$f_{Crystal} = f_{IF2} * 80 = \frac{f_{IF1}}{39} * 80 = \frac{10,7 \text{ MHz}}{39} * 80 = 21,948717 \text{ MHz} \quad (2.1)$$

wobei die Zwischenfrequenz der ersten Stufe durch die internen funktionalen Blöcke des TDA und den Keramikfilter vorgegeben ist. Die weiteren Faktoren ergeben sich aus dem Aufbau des Empfängers und werden von Infineon bereitgestellt.

2.3.2 XMC4500

Die Hauptsteuerung der Basisstation übernimmt ein Mikrocontroller der Bauart XMC4500, welcher aus der Mikrocontroller-Familie XMC4000 von Infineon stammt. Diese Baureihe stellt energieeffiziente ICs bereit welche für industrielle Steuerungen und „Sense & Control“ optimiert sind. Der XMC4500 basiert auf einem Kern CortexTM-M4 des britischen Herstellers ARMTM. Daneben ist der Mikrocontroller auf die von Infineon selbst entwickelte Entwicklungsumgebung DAVETM angepasst. Im speziellen Anwendungsfall kommt die Variante des XMC mit 144 Pins und einem Flash-Speicher von 1024 Kilobit zum Einsatz. Der Chip ist dabei in ein „Low Profile Quad Flat Package“-Gehäuse (LQFP) verbaut. Durch die Wahl dieses Gehäuses konnte die elektrische Verbindung mit der Platine relativ leicht durch löten erreicht werden. Im Gegensatz zum ebenfalls erhältlichen BGA-Gehäuse des XMC sind in diesem alle Kontakte direkt erreichbar und können verlötet werden.

PP2 an Interrupeingang Zur Verteilung der entstehenden Abwärme wurde auch in diesem Bereich der Platine frei gebliebener Abschnitte zwischen den Leiterbahnen mit geerdeten Kupferflächen gefüllt. Durch teilweise auch mehrfache Durchkontaktierungen wurde sowohl eine saubere Kontaktierung der Flächen durchgeführt um Flächen schwimmenden Potentials zu vermeiden. Durch die Vias wurde aber auch die thermische Leitfähigkeit zwischen den beiden Kupferlagen erhöht und somit die Abgabe entstehender Wärme von den Bauteilen verbessert. Beim verwendeten LQFP-Gehäuse des XMC4500 liegt die Rückseite des Halbleiters offen und ist nicht im Gehäuse verschlossen. Im Bereich unter der offenliegenden Rückseite des Chips ist deswegen zur Wärmeableitung ein Feld von 6x6 Vias vorgesehen. Dieser Aufbau dient dazu die Temperatur des Chips (junction temperature) auf den maximal erlaubten Wert $T_j = 150^\circ\text{C}$ zu beschränken.

Quarz (dämpfungswiderstand) Für mögliche spätere Anwendungsfälle wurde außerdem ein Quarz für die Realtime-Clock des XMC4500 vorgesehen

Reset taster LEDs Die Programmierung des Mikrocontrollers erfolgt über das JTAG-Interface über welches auch das debuggen möglich ist. Der XMC4500 stellt dafür ein JTAG Modul bereit welches mit der in IEEE1149.1 festgelegten Standards übereinstimmt. Verwendet wird hierfür die achpolige Variante des Debug-Steckers bei dem der Platine vom JTAG-Adapter Versorgungsspannung und Masse sowie Signale für Reset, Systemtakt und die Steuerleitung übergeben wird.

Abblockkondensatoren

Für die Kommunikation des Mikrocontroller mit einem Computer wird die im XMC bereitgestellte Peripherie genutzt. Dabei arbeitet die bereitgestellte Hardware nach den Spezifikationen für USB 2.0 und den „On-The-Go“-Spezifikationen der Version 1.3. Zur Verbindung mit einem anderen Gerät wurde deshalb eine kombinierte Micro-USB-Buchse verwendet welche sowohl für Typ A oder Typ B Stecker geeignet ist. Um sowohl den Mikrocontroller als auch einen an die Basisstation angeschlossenen Computer gegen Fehlerströme über die USB-Leitung zu schützen wurden die Datenleitungen mit so genannten TVS-Dioden (Transient Voltage Suppressor), welche gegen Masse geklemmt sind geschützt. Sowohl positive als auch negative Spannungsspitzen werden dadurch gegen Masse kurzgeschlossen, was zum Schutz des XMC bzw. des angeschlossenen Computer führt. Um eine Verpolung bei Stromversorgung über die USB-Buchse, und somit eine Zerstörung, zu vermeiden wurde eine Schottky-Diode im Strompfad zum Spannungsregler vorgesehen. Diese soll einen Stromfluss im Verpolungsfall unterbinden. Da der Mikrocontroller für die Kommunikation über das USB-Interface die aktuelle Busspannung auf der USB-Leitung benötigt, muss der extra dafür vorgesehene Pin des XMC direkt und ohne schützende Schottky-Diode mit der 5V Leitung der USB-Buchse verbunden werden.

2.3.3 Ethernet

Die Ethernetschnittstelle der Basisstation basiert auf dem RelaxKit von Infineon. Genau wie im Evaluations Board des Herstellers Infineon wurde der Ethernet-Controller KSZ8031RNL von Mircel Inc. verwendet. Dieser stellt alle wichtigen Peripherien selbst zur Verfügung und muss somit nur noch durch ein Quarz und diverse Kapazitäten und Induktivitäten an den Versorgungsleitungen ergänzt werden. Da die im Controller verbaute Stufe zur Interruptgenerierung nur über einen schwachen Pull-Up Widerstand verfügt, musste ein externer Widerstand von $1k\Omega$ verbaut werden. Am Reset-Eingang wurde ebenfalls ein Pull-Up Widerstand verbaut. Dieser wurde um zwei Dioden sowie einen Kondensator zu der im Datenblatt empfohlenen Verschaltung erweitert. So kann sichergestellt werden, das sowohl beim Anlegen einer Spannung an das Gesamtsystem, als auch bei einem Reset des Ethernetbausteins durch den steuernden Mikrocontroller alle Spannungen im sicheren Bereich liegen und die Funktion gewährleistet ist. Da der KSZ8031RNL nicht lieferbar war und die anfallende Datenmenge nur von geringem Umfang ist, wurde der Controller und die entsprechende Netzwerkbuchse von Würth Electronics zunächst nicht bestückt. Somit wurde eine Verwendung des Ethernet-Controllers auch in der Software des XMC-Mikrocontroller nicht umgesetzt. Da jedoch ein entsprechendes Softwareprojekt für das RelaxKit von Infineon zur Verfügung gestellt wird (TODO wird es das auch

wirklich + webseite zitieren), wäre eine Netzwerkkommunikation vermutlich mit wenigen Anpassungen leicht umzusetzen.

2.3.4 Spannungsversorgung

Abwärme deswegen nicht Infineon LDO

2.4 Generierte Dokumente

Software

3.1 DAVE Entwicklungsumgebung

3.2 verwendete Peripherie des XMC4500

3.2.1 USIC

3.2.2 ERU

3.2.3 USB

3.3 verwendete Bibliotheken

3.3.1 XMC Libraries (XMC Lib)

3.3.2 SPI Library

3.3.3 TDA5340 Library

3.3.4 Virtueller COM Port

3.4 Programmablauf

3.4.1 Konfiguration der Funkmodule

3.4.2 interruptbasierte Datenerfassung

3.4.3 Weiterleitung der erfassten Daten

speichergröße uint immer da 32bit mikrocontroller

Feldtest

4.1 Aufbau

4.2 Durchführung

4.3 Ergebnisse und Auswertung

Zusammenfassung und Ausblick

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

6.1	Seriennummern der im Projekt verwendeten TDA5340	21
-----	--	----

Anhang

EINFÜGEN: Layout Stefan Erhard Bilder Altium 3D Modelle

6.1 Seriennummern

Alle TDA5340 verfügen über eine eingebaute Seriennummer, welche ausgelesen werden kann. Die Seriennummern der verwendeten TDA5340 sind in der Tabelle aufgeführt.

TDA	Seriennummer
TDA1	33020236
TDA2	11727080
TDA3	11545236
TDA4	11728870
TDA5	11550773
TDA6	33026263

Tab. 6.1: Seriennummern der im Projekt verwendeten TDA5340

Literatur
