

Michael Terörde

Untersuchung von Kanalkodierverfahren für den Einsatz in drahtlosen Sensornetzwerken

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2008 Diplom.de
ISBN: 9783842809499

Michael Terörde

**Untersuchung von Kanalkodierverfahren für den Einsatz
in drahtlosen Sensornetzwerken**

Michael Terörde

Untersuchung von Kanalkodierverfahren für den Einsatz in drahtlosen Sensornetzwerken

Michael Terörde

**Untersuchung von Kanalkodierverfahren für den Einsatz in drahtlosen
Sensornetzwerken**

ISBN: 978-3-8428-0949-9

Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2011

Zugl. Helmut Schmidt Universität · Universität der Bundeswehr Hamburg, Hamburg,
Deutschland, Fachstudie, 2008

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und der Verlag, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

© Diplomica Verlag GmbH

<http://www.diplomica.de>, Hamburg 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	7
1.1	Einleitung und Zielsetzung	7
1.2	Aufgabe der Kanalkodierung	8
1.3	Abgrenzung der Kanalcodes von anderen Kodierungsarten	10
2	Grundlagen	12
2.1	Grundbegriffe	12
2.1.1	Hammingdistanz	12
2.1.2	Hamminggewicht	13
2.1.3	Kanalkapazität	16
2.1.4	Perfekter Code	17
2.1.5	Coderate	17
2.1.6	Systematischer Code	18
2.1.7	Lineare Codes	19
2.1.8	Theorem der Kanalkodierung	19
2.2	Störungen des Funkkanals und Fehlerarten	20
2.3	Übersicht verschiedener Kanalkodierungs-Codes	23
2.4	Wiederholungscode	24
2.5	Paritätsbits	27
2.6	Automatic Repeat Request	29
2.7	Interleaving	31
3	Kanalkodierungsverfahren	34
3.1	Zyklische Redundanzprüfung	34
3.1.1	Algorithmus zur Berechnung des CRC-Prüfwerts	35
3.1.2	Algorithmus zur Dekodierung von CRC-Codes	37
3.2	Blockcodes	40
3.2.1	Hamming-Code	40
3.2.2	Shortened Hamming-Code	44
3.3	Zyklische Codes	46
3.3.1	Kodierung und Dekodierung zyklischer Codes	49
3.3.2	Realisierung der Kodierung mittels Schieberegister	51
3.4	Vergleich RS und BCH-Codes	53
3.5	BCH-Codes	56
3.5.1	Mathematische Grundlagen für BCH-Codes	57
3.5.2	Kodierung von BCH-Codes	59
3.5.3	Dekodierung von BCH-Codes	60
3.6	Faltungscodes	63
3.6.1	Kodierung und Dekodierung von Faltungscodes	63
3.6.2	Unterschied zwischen Blockcodes und Faltungscodes	68
3.7	Kanalkodierverfahren bei Bluetooth	69
3.8	Bewertung der verschiedenen Kodierverfahren	73

4	Simulation und Bewertung	76
4.1	Mikrocontroller und Bewertung des Rechenaufwands	76
4.1.1	Allgemeines und Aufbau eines Mikrocontrollers	76
4.1.2	Mikrocontroller MSP430 von Texas Instruments	78
4.2	Das (15,11)-Hamming Programm	79
4.3	Das (48,36)-BCH Programm	82
4.4	Simulation und Ergebnis	85
4.5	Implementierung in den MSP430	91
5	Zusammenfassung und Ausblick	93
	Literaturverzeichnis	95
	Symbolverzeichnis	96
	Abbildungsverzeichnis	97
	Tabellenverzeichnis	98
	Anhang A Tabelle zur Erstellung von Hamming-Codes	100
	Anhang B Simulationsergebnis in Fehlerraten	100
	Anhang C Simulationsergebnis in Absolutfehler	102
	Anhang D Grafische Simulationsergebnisse	104
	Anhang E Quellcode des (15,11)-Hamming-Codes	105
	Anhang F Quellcode des (48,36) – BCH-Code	110
	Anhang G Quellcode des BCH für den MSP430	118
	Anhang H CD mit erstellten Programmen	120

1 Einführung

1.1 Einleitung und Zielsetzung

Die Professur Elektrische Messtechnik entwickelt im Rahmen des Industrieprojektes „Energieautarke Aktor- und Sensorsysteme für die intelligente Vernetzung von Produktionsanlagen“, kurz EnAS, drahtlose Sensornetzwerke für die Fabrikautomatisierung. Es soll eine Fertigungsstrecke aufgebaut werden, welche über Funk gesteuert wird. Dabei muss die Kommunikation echtzeitfähig und zuverlässig sein, um den präzisen Produktionsablauf nicht zu gefährden. Durch Störungen im Funkkanal kann es zu Bitfehlern bei der Datenübertragung kommen.

Es wurden bereits technische Änderungen am System vorgenommen, um es robuster zu gestalten. Dazu gehören z.B. ein zweiter Funk-Transceiver auf dem Sensor-/ Aktormodul, der die Daten redundant sendet und empfängt.

Aus einer bereits abgeschlossenen Arbeit sind typische Fehlerbitströme bekannt, die bei unterschiedlichen Störern und Signal-Rausch-Abständen die verfälschten Bits angeben.

Diese Studienarbeit hat als Ziel mittels Kanalkodierung die Stör- und Übertragungssicherheit zu verbessern und somit eine robuste Kommunikation sicherzustellen. Es werden zuerst die Grundlagen der Kanalkodierung erklärt und dann unterschiedliche Verfahren hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit untersucht. Die Wahl fiel auf einen systematischen, zyklischen BCH-Code. Mit der Programmiersprache C wurde ein Programm geschrieben, um die Korrektur- und Fehlererkennungsfähigkeit der Codes zu simulieren und zu testen. Dabei wurden der (15,11)-Hamming-Code und der (48,36)-BCH-Code untersucht und miteinander verglichen.

Abschließend wurde der BCH-Code mit besonderem Hinblick auf die Verlängerung der Übertragungszeit mittels der Programmierentwicklungssoftware IAR Embedded Workbench für den Mikrocontroller MSP430 getestet.

Der Aufbau des Sensor-/Aktor-Moduls und mehr Informationen zum EnAS-Projekt in [KÖR-07].

1.2 Aufgabe der Kanalkodierung

Aufgabe der Kanalkodierung ist es eine fehlerfreie Kommunikation über einen Kanal, der die Nachricht verfälscht, zu gewährleisten. Man könnte dies über eine Kanalverbesserung erreichen, indem man z.B. höherwertige Kabel oder Bauteile verwendet. Das ist meistens mit hohen Kosten verbunden, die in keinem Verhältnis zu den Verbesserungen stehen. Außerdem sind damit Fehler noch nicht vollkommen ausgeschlossen. In dieser Arbeit geht es um den drahtlosen Einsatz und damit, im Gegensatz zum drahtgebundenen Kanal, fehleranfälligeren Funkkanal. Benutzt wird das 2,4 GHz ISM-Band, welches ein lizenzfreies Senden ermöglicht.

Erst die Kanalkodierung vermag beim Design von Übertragungs- und Speichersystemen die Anforderungen an hohe Zuverlässigkeit zu erfüllen und ist damit ein integraler Bestandteil der modernen Kommunikationstechnik.

Das Prinzip beruht darauf, dass der Kanalkodierer der Nachricht zusätzliche Informationen hinzufügt. Diese Redundanzen werden am anderen Ende des Kanals dazu verwendet bei der Übertragung aufgetretene Fehler zu erkennen und wenn möglich zu korrigieren. Die Abbildung 1.1 verdeutlicht den Aufbau einer typischen Nachrichtenstrecke. Ausgehend von einer Quelle wird der Nachricht Redundanz hinzugefügt und das Signal moduliert. Nun kann es zu Übertragungsfehlern kommen, die nach der Demodulation korrigiert werden können, damit die Senke die ursprüngliche Nachricht erhält. Welche zusätzlichen Daten angehängt werden und wie groß diese Daten sind entscheidet der zur Kodierung verwendete Code.

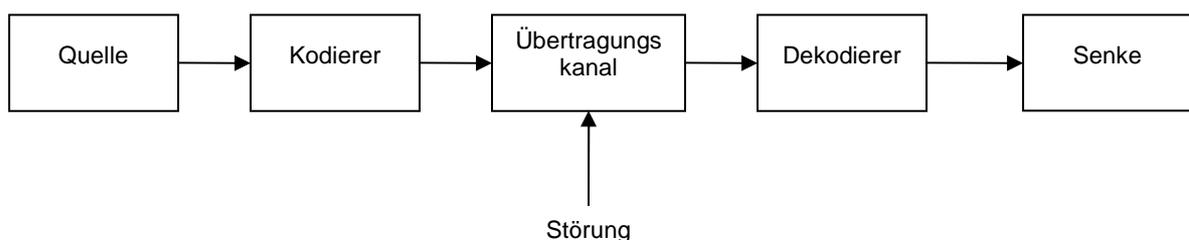


Abbildung 1.1 Aufbau einer Nachrichtenstrecke

Wenn der Sender die Daten vor der Übertragung in redundanter Weise kodiert, wird dieses Verfahren als Vorwärtsfehlerkorrektur, auf Englisch Forward Error Correction kurz FEC, genannt.

Die Codes können danach charakterisiert werden, wie viele Informationen sie der eigentlichen Nachricht hinzufügen und wie viele Fehler sie erkennen und korrigieren können.

Bei der Implementierung in der Praxis spielt auch der Aufwand, der beim Kodieren und Dekodieren entsteht, eine wichtige Rolle.

Die Sicherung von Nachrichten durch Kanalkodierung erlangt besondere Bedeutung, wenn stark gestörte Übertragungskanäle vorliegen, wenig Sendeleistung zur Verfügung steht oder extrem niedrige Fehlerraten erreicht werden müssen.

1.3 Abgrenzung der Kanalcodes von anderen Kodierungsarten

Die Tabelle 1.1 zeigt andere Kodierungsarten und nennt beispielhaft einige dazugehörige Vertreter.

Tabelle 1.1 Kodierungsarten

Quellenkodierung	Verschlüsselungscodes	Kanalkodierung	Codes zur spektralen Signalumformung
Strich/Morsecode	Playfair-Chiffre Vernam-System	Hamming-Codes	Gray-Codes
Shannon-Code		BCH-Codes	HDB3-Codes
Fano-Code		RS-Codes	HDB5-Codes
Huffman-Code		Faltungscodes	

Die gelisteten Kodierungsarten besitzen grundverschiedene Aufgaben. Bei der Quellenkodierung werden Quellcodes verwendet, die zur Datenkompression genutzt werden, um die natürliche Redundanz eines Nachrichtensignals zu verkleinern. Ein Beispiel für Redundanz in der deutschen Sprache ist das U hinter einem Q, denn dieses ist dort immer vorhanden. Das Wissen, dass der Buchstabe Q vorhanden ist, reicht also aus, um dahinter ein U zu setzen, auch wenn es nicht mitgesendet wurde.

Es gibt zum einen die verlustfreie Kompression, wenn die Daten nach der Anwendung der Dekodiervorschrift exakt gleich denen des Originals entsprechen. Hier werden häufig zu kodierende Wörter kurze Codewörter zugeordnet und selten vorkommenden Wörtern längere Codewörter. Das wird auch als Redundanzreduktion bezeichnet.

Zum anderen gibt es die verlustbehaftete Kompression, welche sich nicht fehlerfrei rekonstruieren lässt. Zum Beispiel können bei Musikstücken Frequenzanteile weggelassen werden, die für den Menschen nicht hörbar sind.

Codes zur Verschlüsselung stellen in der Regel eine geschickte Verwürfelung, eine Umkodierung, der Nachricht dar, sodass ein Abhören der Nachricht nur möglich ist, wenn der Code zur Entschlüsselung bekannt ist. Eine Erhöhung der Redundanz findet dabei nicht statt. Ziel ist es, die Nachrichten für Unbefugte unlesbar zu machen, um zu verhindern, dass Nachrichten gefälscht, abgehört oder vorgetäuscht werden.

Bei der Kanalkodierung gibt es Fehler korrigierende und Fehler erkennende Codes, die der Nachricht Redundanz hinzufügen, damit der Empfänger in der Lage ist, die Fehler zu korrigieren bzw. zu erkennen, die bei der Übertragung aufgetreten sind. Somit können Nachrichten von einer Quelle zu einer Senke mit einem Minimum an Fehlern übertragen werden und eine extrem hohe Zuverlässigkeit gewähren. Kanalcodes sind das Hauptthema dieser Studienarbeit. Nebenbei sei erwähnt, dass die Internationalen Standardbuchnummern ISBN, die Personalausweisnummer und sogar die Personenkennziffern deutscher Soldaten durch Fehler erkennende Codes erzeugt werden. Bei der Personenkennziffer stellt die letzte Zahl einen Prüfwert dar, den man über einen Schlüssel berechnen kann. Bei einer ISBN-Nummer kann durch die letzte Stelle bestimmt werden, ob eine Zahl vergessen wurde, oder ob zwei benachbarte Zahlen vertauscht wurden. Die Codes, die zur spektralen Formung verwendet werden, sind die sogenannten Leitungscodes. Sie nehmen in Kombination mit dem Modulationsverfahren Einfluss auf die Form des Spektrums des Signals, um bestimmte Eigenschaften wie z.B. Gleichstromfreiheit oder Taktrückgewinnung zu erreichen.