

Kurzfassung

In den letzten Jahren ist die Nachfrage nach effizienten und zuverlässigen Kommunikationsnetzwerken stark gestiegen. Leistungsfähige Fehler korrigierende Codes wurden eingeführt, um diesem Bedarf nachzukommen. Die (iterativen) Algorithmen, welche zur Decodierung dieser modernen Codes verwendet werden, sind äusserst rechenintensiv. Eine hohe Rechenleistung wird benötigt, um die decodierten Daten in Echtzeit bereitstellen zu können. Die meist mobilen Anwender hingegen fordern leistungsverbrauchsarme Elektronik. Die Kombination beider Anforderungen - hohe Rechenleistung bei kleinem Leistungsverbrauch - führte zu einem vermehrten Interesse an analoger Kommunikationselektronik; auch das Interesse an analoger Decodierung von Fehler korrigierenden Codes ist gestiegen.

Der erste Teil dieser Dissertation bespricht verschiedene Implementierungen analoger Decoder. Ein analoger Decoder kann als Übersetzung eines code-darstellenden (Faktor-)Graphen in analoge Elektronik verstanden werden. Der auf dem (Faktor-)Graph ausgeführte Dekodier-Algorithmus (zum Beispiel der Summe-Produkt-Algorithmus) entspricht dann dem Einschwingvorgang in der analogen Schaltung. Es wird angenommen, dass die Rechenleistungssteigerung bei konstantem Leistungsverbrauch (oder die Verminderung des Leistungsverbrauchs bei konstanter Rechenleistung) von analogen Decodern gegenüber einem digitalen Decoder etwa einem Faktor von 100 entspricht.

Die folgenden Implementierungen solch analoger Decoder werden besprochen: Hamming Decoder, welche diskret aus zwei Generationen von "softgates"¹ aufgebaut sind, ein integrierter Hamming Decoder, sowie ein

¹ "Softgates" sind bidirektionale Gatter, welche mit Wahrscheinlichkeiten statt mit

integrierter Reed-Muller Decoder werden vorgestellt. Eine umfangreiche Sammlung von Fehlerwahrscheinlichkeitskurven aller Decoder, gemessen unter verschiedenen Betriebsbedingungen, belegen die Funktionalität aller Schaltungen. Die Kurven zeigen auch das Verhalten der Decoder gegenüber nicht-idealen Transistoren auf.

Eine neuartige Schaltung zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten der Symbole bei der PAM- (pulse amplitude modulation) oder QAM- (quadrature amplitude modulation) Übertragung wurde eingeführt. Diese einfache Transistor-Schaltung verträgt sich gut mit den bestehenden Schaltungen der analogen Decodierung: Die Ausgänge der Schaltung sind Ströme, welche proportional zu den gesuchten "Symbol-Wahrscheinlichkeiten" sind.

Der zweite Teil dieser Arbeit konzentriert sich auf Analog/Digital- und Digital/Analog-Wandler mit unpräzisen Elementen. Die digitale Datenverarbeitung ist omnipräsent und der Bedarf an schnellen, leistungsarmen und hochauflösenden Analog/Digital- und Digital/Analog-Wandlern ist anhaltend hoch. Sehr präzise Wandler benötigen üblicherweise grosse Bauteile, um die geforderten kleinen Toleranzen zu erzielen; grosse Bauteile bedingen aber auch grosse Ströme, um hohe Geschwindigkeiten zu erreichen. Dieser Konflikt kann durch das Verwenden von kleinen, unpräzisen Bauteilen und der Einführung einer digitalen Korrektur umgangen werden.

Es kann gezeigt werden, dass die effektive Auflösung eines digital-korrigierten Analog/Digital-Wandlers nur leicht von der Grösse der Ungenauigkeit der Komparatoren abhängt. Deshalb können solche Wandler mit ungenauen Bauteilen minimaler Grösse und anschliessender digitaler Korrektur gebaut werden. Diese Beobachtung konnte mit Messungen an einem integrierten Analog/Digital-Wandler bestätigt werden: Mit 256 ungenauen Komparatoren und einer digitalen Korrektur konnte eine effektive Auflösung von fast 7 bit erreicht werden.

Eine ähnliche Beobachtung wurde für Digital/Analog-Wandler mit kleinsten (und ungenauen) gesteuerten Stromquellen gemacht: Ein Wandler mit 12 kleinen (unpräzisen) Stromquellen und digitaler Korrektur erreichte eine effektive Auflösung von mehr als 10 bit und dies fast unabhängig von der Genauigkeit der Stromquellen.

Diese Arbeit schliesst mit einer Zusammenfassung aller erzielten Resultate sowie mit einer Sammlung von Forschungsanregungen in den Gebieten der analogen Decodierung und der digital-korrigierten Wandler.

Stichworte: Faktorgraph, Message-Passing Algorithmus, Summe-Produkt-Algorithmus, analoge nicht-lineare Transistor-Schaltung, translineare Schaltung, analoge iterative Decoder, “soft symbol” Detektion, digitale Datenübertragung, Analog/Digital-Wandler, Digital/Analog-Wandler, Kalibrierung, Post-Korrektur, ungenaue Elemente.