

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13157 号
------	---------------

氏 名 中島 康雄

論 文 題 目

1bit A/D変換器に雑音を活用した受信機の解析
(An analysis of a receiver with noise-aided 1bit analog-to-digital converters)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	山里 敬也
委員	名古屋大学	教授	片山 正昭
委員	名古屋大学	准教授	岡田 啓
委員	名古屋大学	准教授	松本 隆太郎
委員	東京大学	准教授	杉浦 慎哉

論文審査の結果の要旨

中島康雄君提出の論文「1bit A/D変換器に雑音を活用した受信機の解析」は、1bit A/D変換器を用いた受信機を、雑音を活用した現象（確率共鳴）の通信分野における応用として検討しまとめた先駆的な論文である。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景である、1bit A/D変換器を用いた通信システムについて述べた。1bit A/D変換器はその省電力性や高速化が容易といった特徴から、ミリ波通信の分野において受信機への利用が期待されている。1bit A/D変換器の持つ非線形性は雑音によって緩和されることが知られている一方で、その非線形性について理論的に扱った研究は少なく、従来用いられていた解析手法はその仮定のためにモデル化が不十分であるという問題がある。それに対し、雑音によって非線形性が改善される確率共鳴現象に着目して解析を行うことでより一般的な仮定における解析が可能になる。

第2章では、雑音を活用した1bit A/D変換器受信機のシステムモデルについて示した。雑音を活用した1bit A/D変換器受信機は、低相関な雑音に加わったサンプル点を複数得られる構成である必要がある。サンプル点を複数得る方法としては複数のアンテナを用いる手法と、時間軸で複数点サンプリングする方法がある。時間軸でサンプリングする場合、加わる雑音を低相関にするために、広帯域雑音を加える必要がある。その具体的な手法として、フィルタ後に広帯域雑音を付与する手法と、スペクトル拡散を用いる手法について述べている。

第3章では、雑音を活用した1bit A/D変換器受信機の一部である、単一の1bit A/D変換器に着目して入出力特性の解析を行った。まず、1bit A/D変換器の出力の期待値と分散に着目することで、出力を確定信号と出力雑音に分解する手法について提案した。提案解析手法は従来解析手法よりも仮定が一般的であるため、SNRや雑音分布に依らず適用可能であるという利点がある。それにより、1bit A/D変換器に雑音に加わることで起こる確率共鳴現象を正確に表現できる。提案解析手法では、出力のうち確定信号の部分が、入力に対して線形となる範囲を明らかにすることができる。また、出力雑音の入力振幅に対する依存性についても明らかにすることができる。

第4章では、雑音を活用した1bit A/D変換器と線形系との特性比較を行った。比較には複数点のサンプル点を用いる受信機を想定し、独立な複数のサンプル点の平均値に対する、線形出力との二乗誤差の観点から比較を行っている。入力雑音がガウス分布の場合、1bit A/D変換器受信機の出力二乗誤差は線形受信機より小さくならない。また、サンプル点数が十分大きい場合は入力SNRと出力SNRを比較することができ、入力SNRが非常に小さい場合、出力SNRは入力SNRに対して-1.96 dB劣化する。入力雑音が一様分布の場合、1bit A/D変換器受信機の出力は、期待値が線形かつ、出力の分散が線形受信機よりも小さくなる領域が存在することを示した。

第5章では、雑音を活用した1bit A/D変換器受信機における信号復調手法について述べた。1bit A/D変換器から得られた独立な複数のサンプル点を線型結合することで、送信信号及び送信シンボルを再生することが可能である。また、送信信号・シンボルに対して再生信号・シンボルの期待値が線形となる条件は3節で提案した解析手法によって導くことができる。また、この範囲内においては、各種変調信号に対して線形系における理論を基にした信号復調手法を用いることができ、それによって誤り率特性を最善にすることができることを示した。

以上の検討により、雑音を活用した1bit A/D変換器受信機の持つ特性を理論的に明らかにした。雑音を活用した1bit A/D変換器受信機における、線形受信機に対する性能劣化は、本研究で明らかにした条件において約1.96dB差まで抑えることができる。1bit A/D変換器を用いることによって消費電力が数十から数百分の一に抑えることが可能であると考え、この性能劣化は許容可能な状況が存在すると考えられる。

本論文の検討は、1bit A/D変換器を用いた受信機における信号処理や性能評価・設計に寄与すると考えられる。それにより、高分解能ADCの適用が難しい高周波数・広帯域を用いた通信システムの発展が期待される。

以上のように本論文では、雑音に着目した解析によって1bit A/D変換器を用いた受信機の基礎特性を明らかにすると共に、従来研究におけるモデル化手法を一般化した結果が得られるという点で学術的意義が大きい。さらに、従来の受信機との特性比較を通して1bit A/D変換器を用いた受信機の有効性について述べられている点で工学的意義も大きい。よって、本論文の提出者である中島康雄君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。