慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	ダイレクトコンバージョンOFDM受信機における信号歪補償法の研究
Sub Title	Research on signal distortion compensation schemes in a direct conversion receiver
Author	眞田, 幸俊(SANADA, YUKITOSHI)
Publisher	
Publication year	2009
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2008.)
JaLC DOI	
Abstract	次世代の移動体通信の変復調方式として直交周波数分割多重（OFDM）の採用が見込まれている．他方端末における受信機構成としてダイレクトコンバージョン受信方式が有望である．しかし，ダイレクトコンバージョン受信方式は受信信号がアナログ回路の歪みの影響を受ける．本研究ではダイレクトコンバージョンOFDM受信機のアナログ回路で発生する歪みを，ディジタル信号処理を用いて補正する方式を検討した．そして広帯域信号の受信が可能であることを示した．
Notes	研究種目：若手研究(B) 研究期間：2006～2008 課題番号：18760281 研究分野：工学 科研費の分科・細目：電気電子工学
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_18760281seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究(B)
研究期間：2006～2008
課題番号：１８７６０２８１
研究課題名（和文）　ダイレクトコンバージョンＯＦＤＭ受信機における信号歪補償法の研究
研究課題名（英文）　Research on Signal Distortion Compensation Schemes in a Direct Conversion Receiver

研究代表者
眞田　幸俊（SANADA YUKITOSHI）
慶應義塾大学・理工学部・准教授
研究者番号：90293042

研究成果の概要：
次世代の移動体通信の変復調方式として直交周波数分割多重（OFDM）の採用が見込まれている．他方端末における受信機構成としてダイレクトコンバージョン受信方式が有望である．しかし，ダイレクトコンバージョン受信方式は受信信号がアナログ回路の歪みの影響を受ける．本研究ではダイレクトコンバージョン OFDM 受信機のアナログ回路で発生する歪みを，ディジタル信号処理を用いて補正する方式を検討した．そして広帯域信号の受信が可能であることを示した．

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2006 年度	1,200,000	0	1,200,000
2007 年度	1,100,000	0	1,100,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総　計	3,400,000	330,000	3,730,000

研究分野：工学
科研費の分科・細目：電気電子工学
キーワード：変復調，OFDM，ダイレクトコンバージョン

１．研究開始当初の背景

ユビキタスかつブロードバンドなワイヤレス通信を実現するために 2010 年をめどに，第 4 世代移動体通信の導入が見込まれている．当初は「50～100Mbps の大容量・高速通信」「シームレスな通信環境」「パーソナルに特化した端末」「状況に応じた情報サービス」を目標としていた．変復調方式としては OFDM 系の方式がダウンリンクにおいて検討されている．しかし，100MHz 以上の帯域幅に対応する受信機は，アナログ回路部分の精度が要求され，コストおよび消費電力が増加する．低コストかつ低消費電力な移動体受信機を構成するには，アナログ信号処理とディジタル信号処理の融合が必要である．そこで本研究では広帯域 OFDM 信号を低コスト，低消費電力で復調する受信機構成を検討した．

２．研究の目的

受信機のコストおよび消費電力を低減するには，受信信号を中間周波数帯へ変換せずに，直接ベースバンドに変換するダイレクトコ

ンバージョン型の受信機構成が望ましい．しかしダイレクトコンバージョン型の受信機においては特に

－I 相と Q 相の復調信号間の直交性がミキサ等の周波数依存性により崩れる．もしくは I 相と Q 相の復調信号間の増幅度に違いが発生する（IQ インバランス）

－ベースバンドに変換した信号の DC 成分にオフセットが生じる（DC オフセット）

－受信したキャリア周波数と再生したローカル周波数に差分が生じる（周波数オフセット）

などの理由により歪が発生する．OFDM 信号の受信機の場合には，その歪が，サブキャリア間干渉，DC オフセット推定誤差，周波数オフセット推定誤差となって現れるため，誤り率特性が劣化する．また MIMO や高次の変調方式を用いて高いデータレートの通信を行う際にはこの歪が顕著に影響する．このようなアナログ回路の誤差による信号の歪を改善するために，移動端末にも搭載可能な比較的簡易なディジタル信号処理を用いて信号歪の影響を緩和することが，本研究の目的である．

３．研究の方法

(1) ダイレクトサンプリング受信機におけるサンプリングジッタの影響

ダイレクトコンバージョン受信機の一種としてダイレクトサンプリング受信機の特性を検討した．図 3.1 はダイレクトサンプリングの概念図である．特にサンプリングタイミングに対するジッタの影響を考慮した．サンプリングジッタは I 相（cosine ローカル信号に対応した復調信号）と Q 相（sine ローカル信号に対応した復調信号）の間のクロストークを引き起こす．サンプリングジッタの解析には位相ロックループ（PLL）に対する位相雑音モデルを仮定した．雑音成分としては電圧制御発振器で発生する低周波成分と水晶発振器で発生する白色成分を考慮した．

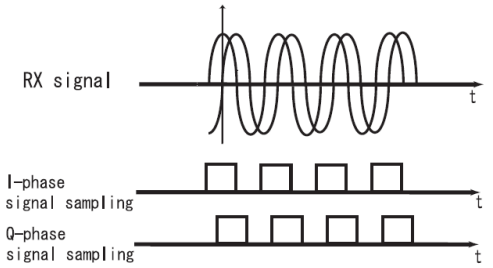


図 3.1　ダイレクトサンプリング

(2) ダイレクトコンバージョン受信機における符号化を用いた IQ インバランス補正

ダイレクトコンバージョン受信機では直交するローカル信号を無線周波数帯で生成する必要がある．その際に用いるπ/2 位相シフタに誤差があると I 相と Q 相の信号が直交しなくなる．これを IQ インバランスと呼ぶ．ダイレクトコンバージョン OFDM 受信機では IQ インバランスが対称なサブキャリア間の干渉となる．提案する方式は高次の変調を用いて 1 OFDM シンボル中に送信できるビット数を倍にする．そして図 3.2 のような組み合わせで対称なサブキャリア上で同一シンボルを 2 回送信する．高次変調を用いることにより，データレートを維持する．そして 2 シンボルにわたって復調することによりサブキャリア間の直交性を保つことができる．また異なるサブキャリアで同じ信号を送信することにより，周波数ダイバーシチ効果がある．

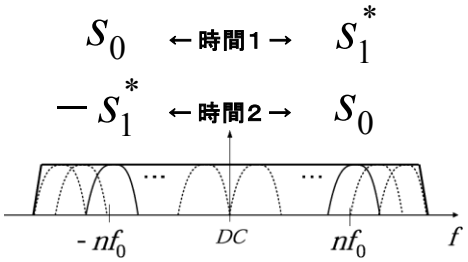


図 3.2　シンボル配置法

(3) ダイレクトコンバージョン受信機における微分フィルタを用いた周波数オフセット推定

ダイレクトコンバージョン受信機はローカル信号の自己ミキシングにより周波数変換後の信号に DC オフセットを生じる．低雑音アンプの利得が変更された場合には DC オフセットは図 3.3 のように高域通過フィルタ（HPF）の出力にその変動が現れ，周波数オフセット推定精度を劣化させる．そこで微分フィルタを用いて HPF 出力中の残余 DC オフセットを削除し，周波数オフセットを推定する方式を検討した．また IEEE802.11a 規格に準拠した無線 LAN 端末を用いて実験を行い，提案する方式により OFDM 信号を復調できることを確認した．

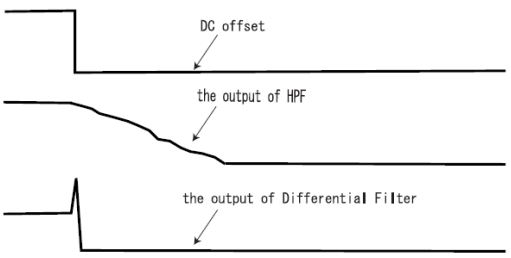


図 3.3　DC オフセットの影響と微分フィルタ

４．研究成果

(1) ダイレクトサンプリング受信機におけるサンプリングジッタの影響

ダイレクトサンプリング受信機におけるサンプリングジッタの影響を解析した結果を図 4.1 に示す．信号対雑音電力比（SNR）に対して，信号対干渉および雑音電力比（SINR）が下がっているのがわかる．これはサンプリングジッタの影響により IQ 相間で直交性が崩れ干渉が発生するためである．特にシンボルレートが増加するほどその影響が顕著に現れることが図に示されている．図 4.2 に誤り率とシンボルレートの関係を示す．ジッタ量が同じでもシンボルレートが高くなるほど IQ インバランスの影響が大きくなり，誤り率特性（BER）が増加することがわかる．

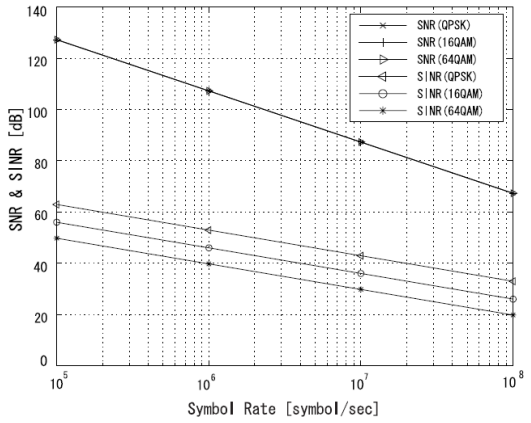


図 4.1　IQ 信号間のクロストークの影響

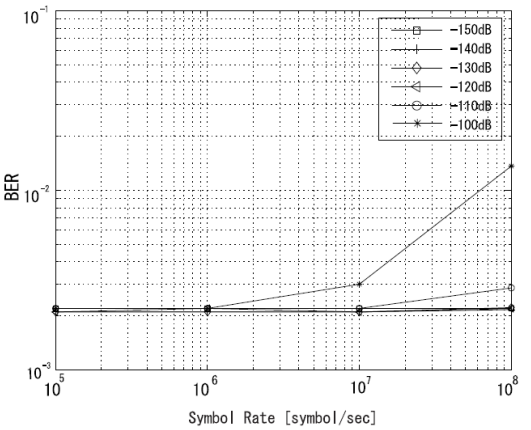


図 4.2　誤り率とシンボルレートの関係

(2) ダイレクトコンバージョン受信機における符号化を用いた IQ インバランス補正

符号化を用いた IQ インバランス補正法の効果を計算機シミュレーションで評価した結果を図 4.3 に示す．白色ガウス雑音路において提案する符号化方式は IQ インバランスの影響を抑え，BER 特性を改善していることがわかる．図 4.4 に周波数選択性フェージング路における提案方式の特性を示す．フェージング路のほうが従来方式と提案方式の特性差が拡大する．これは IQ インバランスによる対称サブキャリア間の干渉の影響が周波数選択性フェージングにより顕著に現れるためである．

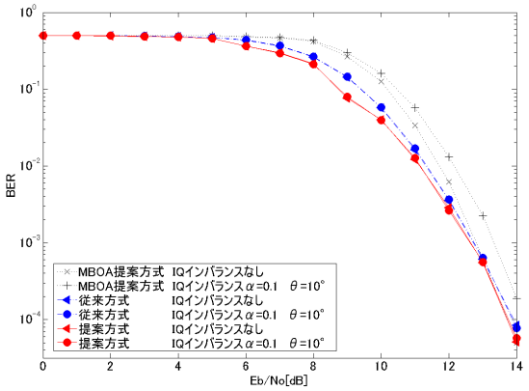


図 4.3　白色ガウス雑音路での提案補正法の特性

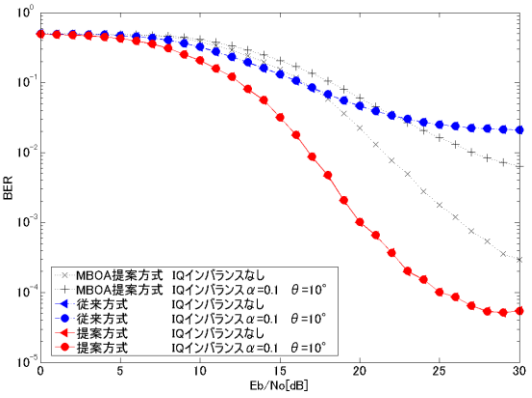


図 4.4　周波数選択性フェージング路での提案補正法の特性

(3) ダイレクトコンバージョン受信機における微分フィルタを用いた周波数オフセット推定

微分フィルタを用いて DC オフセットを削除するダイレクトコンバージョン受信機の周波数オフセット推定特性を計算機シミュレーションにて評価した．図 4.5 に低雑音増幅器の利得が変化した場合の推定誤差とサブキャリア間隔で正規化した周波数オフセットの関係を示す．図より微分フィルタを用いることにより周波数オフセット推定特性が改善していることがわかる．一方低雑音増幅器の利得が変化しない場合の周波数オフセット推定特性を図 4.6 に示す．この場合には微分フィルタがかえって雑音成分を強調するため周波数オフセット推定特性が劣化する．

また提案方式を無線 LAN 基地局から送信される信号に対して実験し，その効果を確認した．

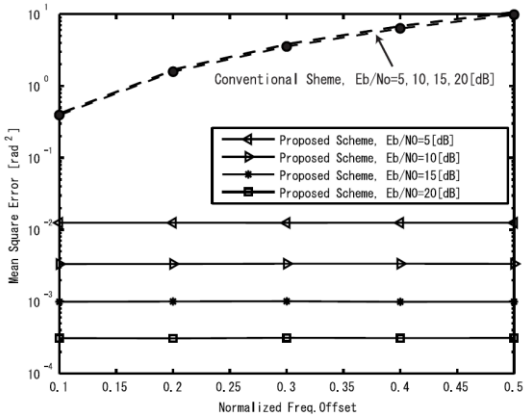
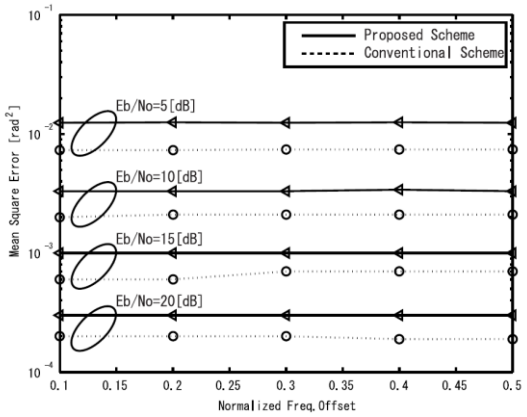


図 4.5　低雑音増幅器の利得が変化した場合の周波数オフセット推定誤差特性

図 4.6　低雑音増幅器の利得が変化しない場



合の周波数オフセット推定誤差特性

５．主な発表論文等
（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計２件）

[1] M. Inamori, A. M. Bostaman, and Y. Sanada, “Influence of Timing Jitter on Quadorature Charge Sampling,” IET Communications, vol.1, pp. 705-710, 2007 年, 査読有.
[2] Y. Kato, T. Ikuno, and Y. Sanada, “IQ Imbalance Compensation Scheme for MB-OFDM with Transmit Diversity,” IEICE Transactions on Fundamentals, vol.E89-A, pp. 3066-3074, 2006 年, 査読有.

〔学会発表〕（計５件）

[1] T. Shinkai, H. Nishimura, M.Inamori, and Y. Sanada, Experimental Investigation of Fractional Sampling in IEEE802.11a WLAN System,” The Eleventh IEEE International Conference on Communications Systems, 2008 年 11 月 20 日, Guangzhou, China.
[2] Y. Kato, M. Inamori, and Y. Sanada, “Multipath Diversity Through Fractional Sampling in MB-OFDM,” The 5th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, 2008 年８月 20 日, Sendai, Japan.
[3] 新開隼也, 西村晴輝, 稲森真美子, 眞田幸俊, “IEEE802.11a における Fractional Sampling の実験的検討,” 電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会, 2008 年７月 31 日, 小金井.
[4] T. Tamura and Y. Sanada, “Fractional Sampling OFDM/OQAM-IOTA on Multipath Channel With Long Delay Spread,” IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, 2007 年８月 24 日, Victoria, Canada.
[5] Y. Kato, T. Ikuno, and Y. Sanada, “IQ Imbalance Compensation Scheme for MB-OFDM with Transmit Diversity,” the 2006 IEEE International Conference on Ultra Wideband, 2006 年９月 26 日, Waltham, USA.

〔その他〕
研究室ホームページ
http://www.snd.elec.keio.ac.jp

６．研究組織
(1)研究代表者
眞田　幸俊（SANADA YUKITOSHI）
慶應義塾大学・理工学部・准教授
研究者番号：90293042
(2)研究分担者
該当なし
(3)連携研究者
該当なし