

直交周波数分割多重無線信号の光単側波帯ファイバ伝送技術の研究開発 (092102003)

A Research on Technologies of Optical Single Sideband Modulation and its Fiber Transmission for Orthogonal Frequency Division Multiplexing Signals

研究代表者

高野勝美 山形大学

Katsumi Takano Yamagata University

研究期間 平成 21 年度～平成 23 年度

概要

直交周波数分割多重(OFDM)無線信号は、マルチパス環境下でも高速シリアルデジタル信号を送送でき、さまざまな無線サービスでの利用が検討されている。しかし、伝送エリア端では急激に品質が劣化するので、伝送距離延伸の選択肢が必要である。本研究は、OFDM 無線信号を光ファイバで中継伝送する新しい基盤技術の研究開発を行った。具体的には、光ファイバの波長帯域を十分に活用できるように光単側波帯(SSB)変調の適用を行った。さらに、SSB 変調の広帯域化のために、新規な光 SSB 変調方式として光領域位相推移型光 SSB 変調方式を提案し、実験によりその実証を行った。

Abstract

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) wireless signal is capable of many communication services, because it can serve high speed serial digital transmission under multi-path condition. More options for long reach of OFDM wireless transmission have been required to overcome the difficulty of signal receive at the edge of wireless area. This project explores the key technologies for optical fiber transmission to enhance the reach of OFDM wireless. The first one is the optical single sideband (SSB) modulation fiber transmission for OFDM. The second one is the novel optical SSB scheme using optical Hilbert transformers based on optical signal processing.

1. まえがき

直交周波数分割多重(OFDM)無線信号は、マルチパス環境下でも高速シリアルデジタル信号を送送でき、さまざまな無線サービスでの利用が検討されている。しかし、伝送エリア端では急激に品質が劣化するので、その場合に対応可能な伝送距離延伸の選択肢が必要である。光ファイバを用いた OFDM 無線信号の直接伝送は魅力的であるが、FTTH で運用中の光ファイバを用いるためには、信号占有帯域幅の小さくできる技術が必要である。そこで、本研究では、OFDM 無線信号を光単側波帯(SSB)変調し、光ファイバで中継伝送する新しい基盤技術の研究開発を行った。地上波デジタル放送波に電氣的位相推移型光 SSB 変調を施し、100km の光ファイバ伝送を行った。また、光 SSB 変調の広帯域化のために、光領域位相推移型光 SSB 変調方式を提案し、そのための光ヒルベルト変換器の試作を行い、その原理確認実験を実施した。

2. 研究内容及び成果

2-1. 地上波デジタル放送波の光 SSB 変調光ファイバ伝送

OFDM 無線信号として地上波デジタル放送電波(以下、地デジ放送波)を利用し、光ファイバ伝送を行った。伝送実験系を図 2-1 に示す。光 SSB 変調は電気領域位相推移型光 SSB 変調器と、ヒルベルト変換器としてマイクロ波ハイブリッドカップラを用いた。地デジ放送波は、米沢天元台デジタルテレビ放送中継所(以下、米沢天元台局)から発せられた放送波を、山形大学工学部 7 号館屋上にて八木アンテナで受信し、その信号を利用した。6つのチャンネルからなり、以下のような周波数である。すなわち、24ch (NHK 教育): 536-542 MHz、28ch (NHK 総合): 560-554 MHz、32ch (山形放送): 584-590 MHz、34ch (山形テレビ): 596-602 MHz、37ch (テレビユー山形): 614-620 MHz、40ch (さくらんぼテレビジョン): 632-638 MHz、である。なお、受信アンテナの出力で観測した地デジ放送波(28ch)の品質は、電界強度: 59 dBμV、CNR: 30 dB、BER: 10^{-8} 以下、であった。変調器に印加される信号電圧

は約 170 mVpp であり、変調度は約 0.05 である。このとき、光変調器出力での側波帯抑圧比は 10.04 dB であった。

次に、シングルモード光ファイバ(SMF)を 100 km 準備し、光ファイバ伝送を行った。伝送光ファイバの中間地点に光ファイバ増幅器を挿入した。光ファイバ増幅器では、ピーク電力対平均電力比が大きい信号が入射する場合には、利得の変化が波形歪みを引き起こすことが懸念されるが、地デジ放送波周波数に関しては問題が少ない。復調方式は、フォトダイオードで直接検波する方法を採用した。直接検波以外の候補としては、近年研究の進捗が著しいデジタルコヒーレント受信方式も考えられるが、地デジ放送波の光ファイバによる直接的なパススルーであれば、受信装置の構成はシンプルな方が望ましいと考えた。

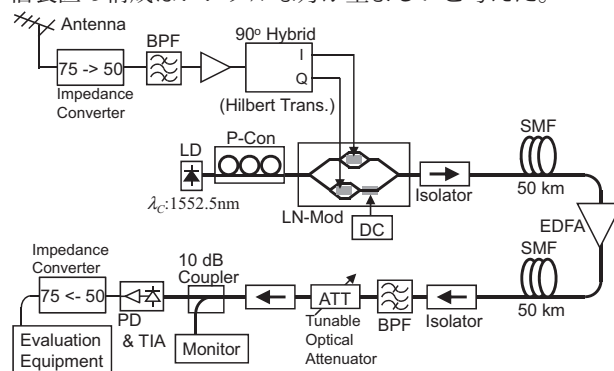


図 2-1. 地上波デジタル放送波の光 SSB 光ファイバ伝送実験

実験は、受信光強度を変えながら、地デジ信号のビット誤り率(BER)を測定した。結果を図 2-2 に示す。28ch では、受信電界強度が 45 dBμV 以上で、BER が 2×10^{-4} 以下となった。ファイバが無い場合(B to B)の場合と比較すると 28ch では約 2 dB のペナルティが発生している。それ以上のチャンネルでは、約 4 dB ものペナルティが発生している。これは、これらのチャンネルはチャンネル間周波数が幾分狭いためと考えられる。

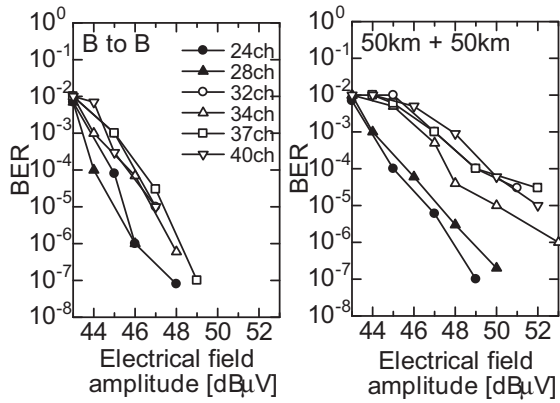


図 2-2. 地デジ電界強度とビット誤り率の関係

2-2. 光ファイバ伝送時の歪みに関する検討

位相推移法による光単側波帯変調は、側波帯抑圧比を比較的高く取れるメリットがある一方で、ヒルベルト変換器が必要となる。高周波電気信号に対してはマイクロ波ハイブリッドカップラがその役割を担うことができる。OFDM 無線信号の周波数帯が明確である場合には、その周波数に適合するハイブリッドカップラを用いればよいが、周波数に対して柔軟なシステムにするためには、光回路によるヒルベルト変換を行うことが有効と考えられる。そこで、FIR デジタルフィルタのヒルベルト変換を光回路に適用した光ヒルベルト変換器の試作を行い、それを用いた光領域位相推移型光単側波帯変調の実証実験を行った。

ヒルベルト変換は FIR フィルタによって近似的に実現できることが知られている。光ヒルベルト変換は、そのフィルタ理論に基づき、光導波路の遅延と分岐を用いて実現できると考えられる。図 2-3 は、近似的光ヒルベルト変換器のインパルス応答とその光回路構成図である。1つの Mach-Zehnder 干渉計 (MZI) は 3 次の光ヒルベルト変換器に相当し、2つの異なるフリースペクトラルレンジ (FSR) を有する MZI を並列に接続することで 7 次の光ヒルベルト変換が可能である。3 次および 7 次の近似光ヒルベルト変換器を、MZI などの光部品をディスクリットに組み合わせて試作した。今回、 τ を 12.5 ps とし、2つの MZI のフリースペクトラルレンジ(FSR)はそれぞれ 40 GHz、13.3 GHz とした。それらは単一モード光ファイバで接続されている。

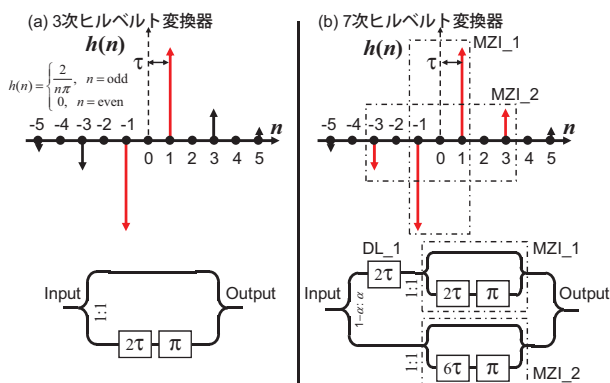


図 2-3. 3 次および 7 次光ヒルベルト変換器の構成

この光ヒルベルト変換器の動作確認実験をするために、光領域位相推移型光 SSB 変調信号発生の実験を行った。図 2-4 に実験系を示す。LN 強度変調器によってベースバンド信号で変調された光は、EDFA で増幅され、BPF で不要な ASE 光を除去された後に光カップラに入る。光カップラでは入力された光を 2 分岐し、一方を同相成分とする。

他方の光を光ヒルベルト変換器である MZI に入力する。MZI は、スペクトルヌルとなる周波数が光搬送波周波数と一致するように遅延量を微調整する。この状態はスペクトルヌルによって側波帯を除去するものではないことに注意する。直交成分生成経路での過剰な光損失や遅延を同相成分にも付加するために、可変光減衰器ならびに可変光遅延器を用いる。同相成分と直交成分は偏光が一致するように光カップラで合波する。この出力をグレーティング型光スペクトラムアナライザおよびサンプリングオシロスコープで評価した。なお、光源は 1552.5nm に波長安定化したものを用いた。ベースバンド信号には 10 GHz の正弦波を用い、LN 強度変調器への印加電圧は、振幅を LN 強度変調器の V_{π} 電圧と一致させ、透過率零点にバイアスした。なお、この実験系では、搬送波に対する直交位相シフトを同相成分生成経路で与えているので、下側波帯が抑圧された光 SSB 変調波が生成されるはずである。得られた光 SSB スペクトルを図 2-5 に示す。下側波帯が 10.97 dB 抑圧された光 SSB 変調信号が得られた。

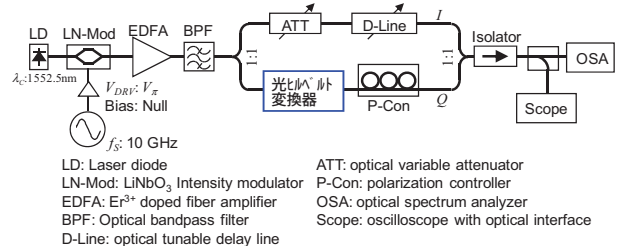


図 2-4. 光領域位相推移型光 SSB 変調信号生成実験

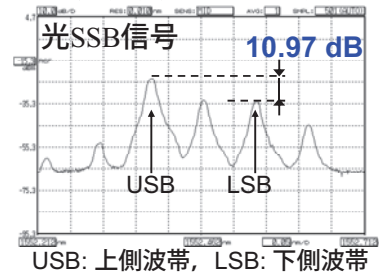


図 2-5. 光領域位相推移型光 SSB 変調スペクトル

3. むすび

地上波デジタル放送波に電気的位相推移型光 SSB 変調を施し、100km の光ファイバ伝送を行い、その性能を明らかにするとともにエラーフリー伝送を確認した。また、新たに光領域位相推移型光 SSB 変調を提案し、その実証実験により、10dB 以上の側波帯抑圧比を観測した。

【誌上発表リスト】

- [1] K. Takano, A. Hashiba, K. Saito and K. Nakagawa, "Numerical analysis on EDFA saturated-gain response to OFDM signals," The 5th Asia-Pacific Microwave Photonics Conference, (26 April, 2010)
- [2] K. Takano, T. Murakami, Y. Sawaguchi, and K. Nakagawa, "Influence of self-phase modulation effect on waveform degradation and spectral broadening in optical BPSK-SSB fiber transmission", Optics Express, Vol. 19, No.10, pp 9699-9707 (May 9, 2011)
- [3] K. Takano, Y. Ichijo, K. Oikawa, M. Sugimoto, and K. Nakagawa, "Peak level mitigation of optical SSB modulation using highpass Hilbert transformations," Asia-Pacific Microwave Photonics Conference 2012 (APMP2012), (25-27 April, 2012)

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www31.atwiki.jp/takanoscope09/>