

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26420385

研究課題名(和文) 光ファイバ無線を用いたUWBセンサネットワークの研究・開発

研究課題名(英文) UWB sensor network system using radio over fiber

研究代表者

中村 一彦 (NAKAMURA, Kazuhiko)

山梨大学・大学院総合研究部・助教

研究者番号：40402086

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：光ファイバ無線に基づく超広帯域インパルス無線(UWB-IR)型センサネットワークに関する検討を行った。提案システムでは、GHzオーダの広帯域信号に対して有効な標本化ファイバブラッググレーティング(FBG)を用いた光信号処理技術を信号処理部に適用している。計算機シミュレーションおよび原理確認実験により、アンテナでの受信信号振幅が100mV以上であれば、E/O変換した光信号をピーク反射率-15dBの標本化FBGにより直接整形できることがわかった。この条件でオンオフキーイング(OOK)信号伝送を行った場合のビット誤り率は10以下を達成できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：An Ultra-Wideband Impulse Radio (UWB-IR) sensor network system using Radio over Fiber technique has been proposed. In the proposed system, an optical signal processing technique using sampled fiber Bragg grating (FBG) effective for GHz wideband signals is applied to pulse shaping module. Numerical simulations showed that if the received signal amplitude at the antenna is 100 mV or more, the E/O converted optical signal can be directly shaped by the sampled FBGs with the peak reflectance of -15 dB. Bit error rate of On/Off keying (OOK) signal transmission is achieved to less than 10. Also, in the experimental results, the OOK transmission using the signal generated by the sampled FBGs is achieved the target bit error rate of 10.

研究分野：無線通信・信号処理

キーワード：UWB 広帯域無線 標本化ファイバブラッググレーティング 光ファイバ無線

1. 研究開始当初の背景

超広帯域(Ultra Wideband: UWB)-インパルス無線(Impulse-Radio: IR)システムは、パルス幅が数十ピコ秒~1 ナノ秒程度の極短パルスを利用するため、伝送速度が数百 Mbps~数 Gbps の高速通信だけでなく、ミリ~センチメートルオーダの測距や車載・地中探査レーダ等の非通信目的への応用が期待されている。UWB-IR 無線システムを用いたパルスレーダによるセンサシステムは、利用するパルス幅がピコ秒~ナノ秒オーダと極短であるため従来のパルスレーダと比べ非常に高精度な測定が可能である。UWB-IR 無線システムは、等価等方放射電力(Equivalent Isotropically Radiated Power: EIRP)が最大で-41.3dBm/MHz 以下と非常に小さいため、伝送距離が伸びると環境雑音や他の無線システムからの干渉により性能が大きく劣化する。また、伝送速度やパルスレーダの分解能向上のため UWB-IR 信号のパルス幅を短くすると、センサ端末においてギガヘルツオーダの非常に高速な電気信号処理が必要となってしまう。

本研究の課題では、光ファイバ無線技術を適用してシステム構成を無線部と信号処理部に分離するとともに、数十 GHz の広帯域信号に対して有効な光信号処理技術を信号処理部に適用することで、環境雑音等の耐性を有する多点計測が可能な高精度 UWB-IR パルスレーダ型センサネットワークの構築を目指す。UWB-IR 無線システム向けの光信号処理技術についてはこれまでに、ファイバブラッググレーティングを用いて、振幅解像度が 10bit、時間解像度が 50G サンプル/秒を超える非常に高精度・高速な信号処理を既に実現しており、これらの技術をパルス生成、フィルタリング、多点計測に用いる光符号分割多重方式に適用することで、提案する光ファイバ無線による UWB-IR 型センサネットワークを実現することが十分に可能であると考えている。

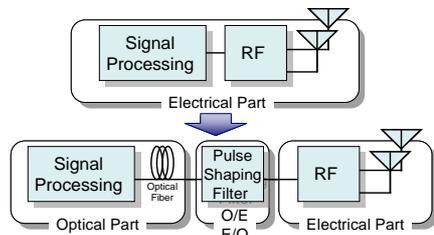


図1 光信号処理を用いた UWB 送信機

2. 研究の目的

本研究課題では、光ファイバ無線による環境雑音耐性を有する超広帯域インパルス無線(UWB-IR)型センサネットワークの構築を目的とする(図1参照)。信号の長距離伝送に光ファイバを利用することで環境雑音耐性向上を狙う。また、光符号分割多重や波長多重などの光信号の多重伝送技術を用いる

ことで多点計測に必要な複数チャネルの実装、そして広帯域・高速伝送に必要な UWB-IR パルス整形には UWB-IR 信号処理用標準化光ファイバブラッググレーティングデバイスを開発・利用することで、電気デバイスのみで構築したシステムでは困難な数十 GHz の帯域を有する広帯域・高精度センサネットワークの実現を目指す。

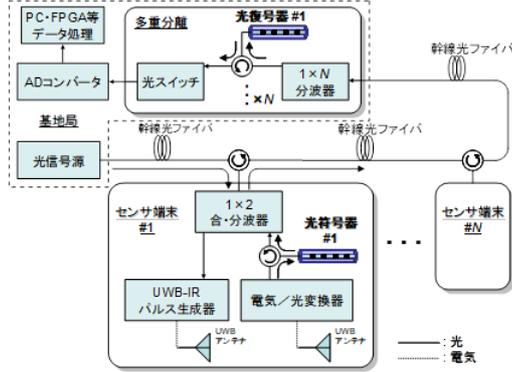


図2 提案システムのブロック図

3. 研究の方法

本研究でもっとも特徴的な点は、広帯域・極短パルスに対する信号処理、符号・復号化に、実現性が高く、高速動作が可能なトランスバーサルフィルタ(図3)として、光ファイバのコアに複数の FBG(図4)が配置された標準化 FBG を利用するところにある。電気/光、光/電気変換が必要となるが、標準化 FBG 自体の価格でいえば、数十円という非常に低コストで 10G サンプル/秒を大きく超えるトランスバーサルフィルタが実現できる(図5)。この標準化 FBG と広帯域なバランス型光検知器を利用することで、任意のインパルス応答を有する 20GHz 帯をもカバーできる UWB-IR パルス生成器の実現が可能となる提案システム構成についての設計・モデル化について検討し、そのモデルを元に計算機シミュレーションによる提案システムの検証を行う。また、並行して提案システムで利用する標準化 FBG 型符号器・復号器・フィルタについての設計・計算機シミュレーションによる検討も行う。後半では、前半で得られた成果を元に、提案システムの実験装置の構築に取りかかる。生成した UWB-IR 信号の波形、FCC スペクトルマスクへのマッチング、ジッタを調査し、所望の信号が生成されているかを理論・計算機シミュレーション結果を基に確認する。所望の UWB 信号として、パルス幅 300 ピコ秒、10dB 帯域幅 6GHz、中心周波数は 10GHz 帯では 6.5GHz、20GHz 帯では 25.5GHz、タイミングジッタ 3ps 以下を目標とする。

次に構築システム全体の効率化・性能向上の作業と並行して、設計・評価指標を元に標準化 FBG 型デバイスの有効性を詳細に検討する。提案する光信号処理を用いた UWB-IR 型センサネットワークの実現であり、ビット誤

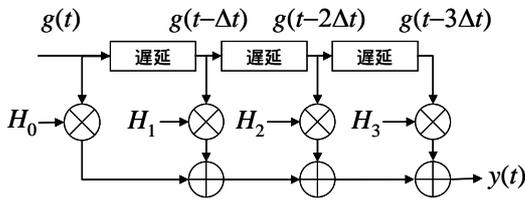


図3 トランスバーサルフィルタ

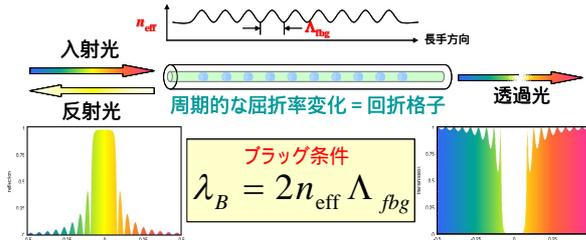


図4 ファイバブラッググレーティング(FBG)

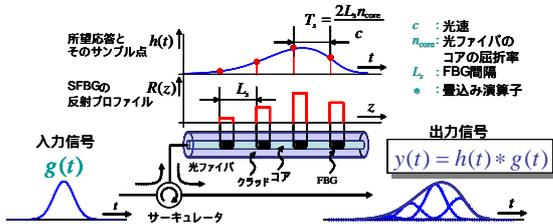


図5 標準化FBGを用いた光トランスバーサルフィルタ

り率（目標 10^{-3} 以下）やレーダシステムとしての分解能（目標 10mm 以下）の評価により、提案システムの有効性を示す。続いて、チャンネル間干渉の影響を調査し、干渉除去・抑圧の手段として高精度な FBG 型デバイスの設計・作製、デジタル信号処理を適用して、低ビット誤り率、高分解能化を目指す。標準化 FBG については、これまで出力波形のみの最適化について検討されているが、他チャンネルへの干渉、波長分散、電気デバイスでの波形歪などのパラメータを考慮することで、提案システムの性能向上に大きく寄与できると考えられる。

4. 研究成果

- (1) 提案システムの構築に向けて、端末部の光送受信器に関する検討を計算機シミュレーションにより行った。具体的には、1. 光信号生成部で利用する標準化ファイバブラッググレーティング(FBG)、2. レーダ用 UWB 信号の光/電気(O/E)・電気/光(E/O)変換部、3. 光ファイバ伝送部の設計を行い、計算機シミュレーションによりその評価を行った。その結果、アンテナでの受信信号振幅が 100mV 以上であれば、E/O 変換した光信号をピーク反射率-15dB の標準化 FBG により直接整形できることがわかった。この条件で

OOK 信号伝送を行った場合のビット誤り率は 10^{-3} 以下を達成できることを確認した。ただし、UWB 信号を電波法レベル -41.3dBm 以下のもと測定範囲を広げた場合受信信号レベルが 10mV 程度と非常に小さくなり、現状よりも高いピーク反射率の標準化 FBG が必要となる。光ファイバ伝送部での波長分散の影響については、スタンダード SMF の分散パラメータで距離を変えて検討した結果、5km 以下であれば上記 OOK 信号伝送時でのビット誤り率 10^{-3} 以下を達成できることを確認した。

- (2) 標準化 FBG の低反射率に起因する出力信号劣化の対策として、ファイバ上に直列に配置する FBG の個数と反射率の調整を行った。標準化 FBG のトータルでの反射率は FBG の個数と各反射率に依存する。ただし FBG 製造環境の制約上多数の FBG 反射率の精密な調整が困難であったため、個数を減らし各 FBG の反射率を上げることがを試みた。電磁界解析の結果、反射率を -7.5dB まで向上させることが可能であることを確認した。次に、O/E・E/O 変換部と広帯域アンテナで構成されたセンサ端末を構築し動作確認実験を行った。その結果、サンプリングオシロスコープにて 20mV 程度の受信振幅が得られ、十分に大きい受信信号を取得可能となった。
- (3) 構築した端末を利用して、センサ端末に外部から中心周波数 3~4GHz の OOK 信号を入力し電気/光変換のち光ファイバ伝送を行い、オシロスコープで得られた波形データからアイパターン評価を行うことで誤り率約 10^{-3} 以下であることを確認した。端末からの受信信号は 10mV と実験途中において受信レベルの低下が認められたため調査したところ、光検知器の感度が低下していたことが判明したが、残りの事業期間内で対処することが困難であると判断し、事業期間を延長して対応することとした。また、FBG の反射光を利用すると約 8dB の減衰を受けるため、OCDM に基づく多点計測は困難であると判断し、WDM によるシステムの検証を主に行う予定である。光源が複数必要となるが、受信信号レベルの向上が見込める。
- (4) 端末からの受信信号は 10mV と検証途中において受信レベルの低下が認められたため調査したところ、利用していた高速光検知器の感度が低下していたことが判明した。その対策と比較的安価な低感度光検知器の利用および消費電力・装置大型化の抑制を想定して、電気増幅器の追加ではなく標準化 FBG の反射率向上を目指し、次の 2 点：1. 複数の FBG の個々の反射率を上げる、2. FBG の個数を増加させる、について検証した。計算

機シミュレーションの結果では、前述 1 の方法では-3dB 以上の反射率が必要となり作製が困難であることが分かった。一方 2 の方法では個々のFBG は従来と同様の反射率で受信レベルを約 1.8 倍に向上することが分かった。約 3 倍の長尺の FBG が作製できる環境であれば実現性の点で期待できる方法である。しかしながら、本学で利用していた作製環境が処分されることとなり利用不可能となった。ただし、電磁界解析による計算機シミュレーションによる結果低い受信レベルのみが問題であるため、現状だと装置規模の増大を許せば既製品の高感度な高速光検知器や広帯域電気増幅器の利用で提案システムの有用性を損なうことなく十分対応可能であるといえる。高反射率の長尺な標準化 FBG を用意し、フィールドテストを行うことで本研究の実運用での有用性をさらに追及していくことが今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

中村一彦, 埴雅典, 405nm 青色 LD を用いたマルチビーム光無線伝送に関する一検討, 2016 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 2016.

永田晃太, 中村一彦, 埴雅典, 低 SNR サブキャリアのための 64QAM・QPSK ビットローディングを用いた 1.95Gbit/s OFDM 信号の高速光無線伝送, 2016 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, 2016.

〔その他〕

ホームページ等

<http://nerdb-re.yamanashi.ac.jp/Profiles/337/0033631/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 一彦 (NAKAMURA, Kazuhiko)

山梨大学・大学院総合研究部・助教

研究者番号: 40402086

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 研究協力者

該当なし