

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420407

研究課題名(和文)多波長光を用いた高精度実時間水面センシング方式の研究

研究課題名(英文) Study on the real-time optical water surface sensing system with high-precision using multi-wavelengths light

研究代表者

増田 浩次 (MASUDA, Hiroji)

島根大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：60583127

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：防災・減災、漁業、環境及び娯楽応用の観点から、海、湖沼・ダム及び河川の水面及び地象センシングは重要である。その実現技術の一つとして我々が検討している、多波長・多経路の光ビームを用いた実時間動作型の水面センシングシステムに関し、その構成法の検討結果を報告する。特に、高出力増幅自然放出光源の高ピークパワー・低コヒーレンス特性、及び良好な受光パワー・時間波形特性を実験により明らかにした。

研究成果の概要(英文)：From the viewpoint of the applications of disaster prevention and mitigation, fishery, environment and entertainment, water-surface and terrestrial-phenomena sensing of the sea, lake, dam and river is an important technology. In this report, we describe a study on the configuration of the water-surface sensing system that utilizes multi-wavelengths and multi-paths of optical beams and is able to operate in real time.

研究分野：光計測

キーワード：水面 光センシング 実時間

1. 研究開始当初の背景

海、湖沼及び河川の水面センシングは、防災、漁業、環境応用などにおいて重要である。例えば、海における津波や高潮の実時間モニタや、集中豪雨に伴う河川の急激な増水の実時間モニタにより防災が可能となる。水面センシングの従来技術として、衛星を用いた遠隔計測や航空機搭載の光時間領域反射測定器(OTDR)を用いた方法などが報告されているが、高精度な実時間水面センシングは達成されていない。そこで本研究では、光通信分野で開拓された光ファイバと波長多重技術を用いた新規な実時間水面センシング方式を提案する。

2. 研究の目的

本研究では、光ファイバと波長多重技術を用いた、多波長かつ多経路な変調光を有する高精度な実時間水面センシング方式を新規提案し、その方式の基本性能を理論及び実験により検証する。すなわち、本方式の変調光に対する信号対雑音比特性、適応距離、水位・波高の分解能などの基本特性を、実験室及びフィールドにて検証する。本研究により、実用上十分な精度を有する実時間水面センシングシステムの可能性を示す。

3. 研究の方法

まず、本システムの基本性能を理論及び室内実験により検証する。次に、フィールド調査及び実験を行う。理論及び室内実験検討では、送信器、受信器間の光波伝搬特性を、水面及びその近傍における光波の反射・散乱などを考慮したシミュレーションにより明らかにし、受信器における信号対雑音比特性の明確化を行う。また、フィールド調査及び実験では、本方式における光波伝搬に関する水面形状時間変動の明確化と、適応距離、水位・波高の分解能などの基本特性評価を行う。さらに、送信器と受信器に関し、信頼性・安定性及び経済性を考慮した構成最適化の検討を行う。上記の検討により、本提案方式の防災、漁業、環境等の応用における有効性を検証する。

4. 研究成果

まず、理論検討として、本提案方式のシステム構成に関し、適用形態、全体構成及び構成回路について考察・設計を行った。また、新規センシング方式として、偏波変調法と経路分離法の提案を行った。本提案システムの基本光学特性の実験検証を行った。室内実験とし、CW光または偏波スクランプリング光を用いた。CW光の波長数は、1または2とした。上記の偏波変調法及び経路分離法の原理確認実験に成功した。光源として増幅自然放出(ASE)光源とレーザ光を用いた。ASE光の広帯域性の実験確認と光フィルタでの多波長光への切り出し実験、2波長光の受信光回路における分離実験に成功した。室内実験

において水槽の水面を波立たせ、ガウシアンビームを水面に照射した場合の受光パワーの時間波形を測定し、水面形状変化に対応した時間波形が得られることを確認した。実験結果を図1に示す。

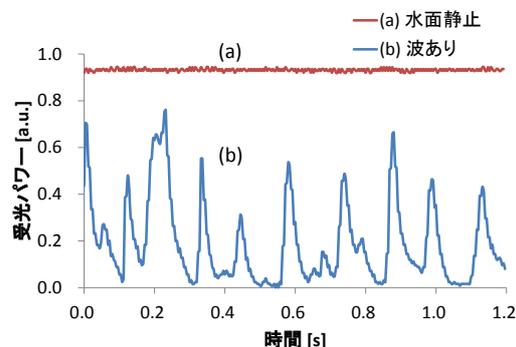


図1 2波長送出実験における受光パワーの時間波形

さらに、数値計算により、光ビーム伝搬距離、光送信器・光受信器配置、及び水位変動と所要時間分解能の関係を定量的に明らかにした。光送受信器の配置は、前方向配置及び後方向配置とした。また、水面形状の時間変化と、受光パワーの時間変化の対応関係を、簡単な具体例を取り上げて、数値計算により定量評価した。無給電型の光受信回路の構築に向けた検討として、受光パワーの光ファイバ入射角依存性の実験により明らかにした。フィールド調査として、河川、本学の近郊にある河川として朝酌川、湖沼としての宍道湖及び中海、海としての島根半島の日本海において、水面形状基本特性撮影として静止画・動画撮影などを行った。また、市販の2種類のレーザ距離計(可視光及び近赤外光使用)を用いたフィールド調査を行い、拡散反射光受光による水面センシングが不可能であることを確認した。

次に、多波長・多経路の光ビームを用いた実時間動作型の水面センシングシステムに関し、その構成法と動作・性能に関する検討を推進した。まず、理論及び方式検討として、光パルスを用いた構成における信号対雑音比特性を考慮し、光パルス受信判定の閾値レベルを有するシステム構成の提案を行った。また、多波長の光パルスの発生法として、増幅自然放出光源、光サーキュレータ、アレイ導波路回折格子、光遅延用光ファイバ及びファイバミラーモジュールなどを用いた光源の提案を行い、1経路多波長または多経路多波長の送受信構成の提案を行った。また、室内実験において、上記の提案の構成・動作及び基本特性の確認を行った。

水面でのフレネル反射特性に関し、雨滴落下時などのフィールド環境を想定し、フィールド調査及び室内実験を行った。室内実験では、実験水槽への水滴落下時の受光パワー時間波形の基本特性を確認した。特に、光ファイバコリメータモジュールから送出される

光ビームのモードフィールド径 (MFD) 依存性を実験確認した。水面における水面波の特性波長に比べ、MFD を大きく設定することにより、光パルスの安定した受信が可能であることを確認した。実験結果を図 2 に示す。

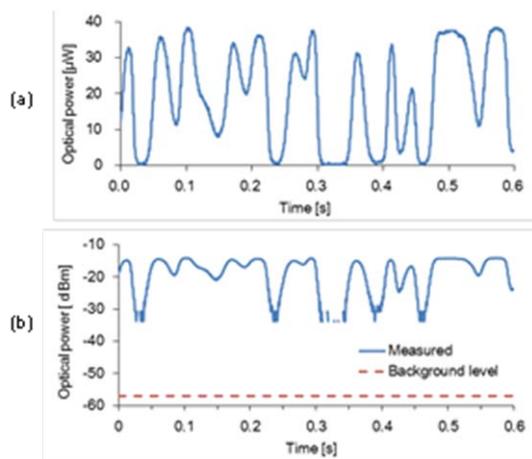


図 2 受光パワーの時間依存性
(a)線形スケール, (b)dB スケール

また、水面近傍の水中からの拡散反射光の受光パワー特性を室内実験により調べた。川の水と水道の水及び CW 光を用いて実験を行い、受光パワーのレベル及び時間波形の基本特性を評価した。さらに、我々が提案した経路分離法及び偏波変調法における水位検出精度特性の検討を行った。1.5 μm 近傍の伝搬光を用いることにより、数 mm 程度までの水位検出が可能であることを実験確認した。水中での光の吸収係数の波長依存性を考慮した理論・実験検討により、本システムにおける最適波長に関する特性の明確化を行った。実験結果を図 3 に示す。

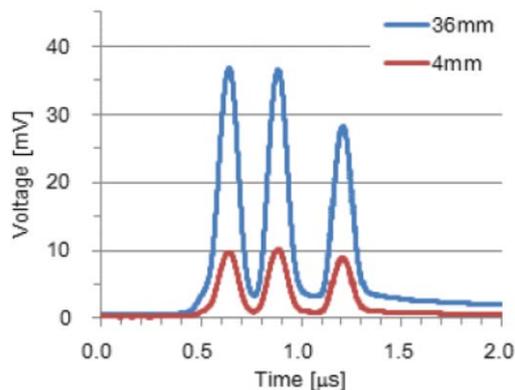


図 3 3 波長光パルスの時間波形

さらに、パルス光を用いたセンシングに関する実験検討を行った。まず、上記の経路分離法に、1 経路多波長の光パルスを用いることにより、水面センシングの高速化・高性能化を図った実験検討を行った。経路分離法の光源として、ASE 光のスペクトルスライスとパルス化により、3 波長の無偏波・低コヒーレンス光を発生させた。上記の光源を用いた

室内実験により、拡散反射光の受光ピークパワーに関し、高い値及び良好な時間安定性を実験確認した。

また、受光パワー時間波形の水面状態依存性の明確化を行った。その結果、我々が提案する方法が、水面が波立った場合においても適用可能であることを明らかにした。光パルスのピークパワーが、パルス変調のパラメータである繰り返し周波数及びデューティに顕著に依存することを実験により明らかにした。送信光のピークパワーとして約 54W という高い値が得られた。実験結果を図 4 に示す。

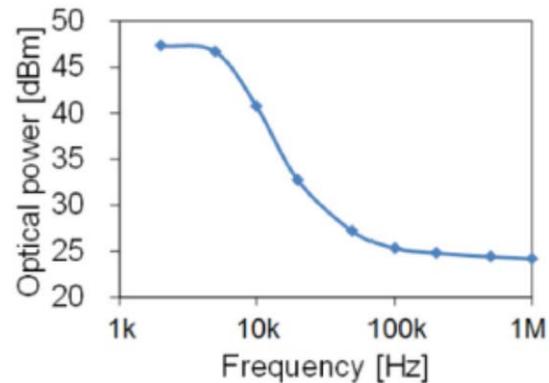


図 4 光パルスピークパワーの繰り返し周波数依存性

次に、散乱光受光型の光水面センシングシステムにおいて、光伝搬特性の実験検証を行った。湖の水を用いた室内実験により、水面が静かな場合および波立った場合のいずれにおいても、雑音レベルに比べ十分高い信号レベルが得られた。実験結果を図 5 に示す。

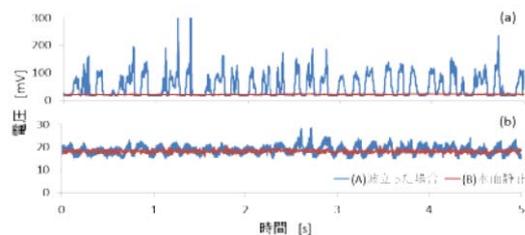


図 5 受光パワーの時間波形

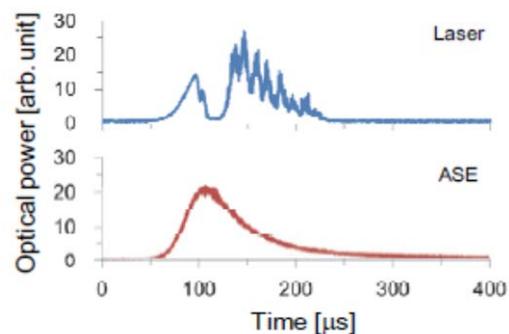


図 6 光パルスの時間波形

また、高出力 ASE 光源特性および受光パワーの散乱媒質依存性を実験により明らかにした。ASE 光源を用いることで、SBS による波形歪が生じないことを確認した。実験結果を図 6 に示す。また、受光パワーは液体中の散乱体の濃度が高いほど高い値を示し、入力光パワーに対して線形な応答を示すことを確認した。

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. 北村心, 増田浩次, 「光を用いた水面センシング」, 光アライアンス, Vol. 26, No. 5, pp. 22-26, 2015, 解説記事
2. 増田浩次, 北村心, 「光を用いた水面センシング」, 光技術コンタクト, Vol. 51, No. 7, pp. 11-17, 2013, 解説記事

[学会発表] (計 24 件)

1. 相原弘和, 増田浩次, 後藤春可, 北村心, 「散乱光受光型光水面センシングシステム構成法の検討」, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 2016 年 3 月 21 日, 東京工業大学 (東京都目黒区)
2. 後藤春可, 増田浩次, 相原弘和, 北村心, 「散乱光受光型光水面センシングシステムにおける光伝搬特性」, 2016 年電子情報通信学会総合大会, 2016 年 3 月 15 日, 九州大学 (福岡市)
3. 北村心, 相原弘和, 富谷祐司, 宇田川健太, 後藤春可, 増田浩次, 「光パルスを用いた水面センシングシステムにおける光源構成法の検討」, OPJ2015, 30pD7, 2015 年 10 月 30 日, 筑波大学 (東京都文京区)
4. 後藤春可, 富谷祐司, 相原弘和, 宇田川健太, 北村心, 増田浩次, 「光パルスを用いた実時間光水面センシング経路分離法における受光パワー特性」, 平成 27 年 (第 66 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, 15-7, 2015 年 10 月 17 日, 山口大学 (宇部市)
5. 増田浩次, 北村心, 富谷祐司, 後藤春可, 相原弘和, 船越康央, 「光水面センシングシステムの経路分離法における光源構成法の検討」, 平成 27 年 (第 66 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, 15-6, 2015 年 10 月 17 日, 山口大学 (宇部市)
6. 増田浩次, 後藤春可, 富谷祐司, 北村心, 相原弘和, 船越康央, 宇田川健太, 「多波長の光パルスを用いた実時間水面センシング技術の検討」, 第 33 回レーザセンシングシンポジウム, C-4, pp. 113-115, 2015 年 9 月 11 日, 大田区産業プラザ P10 (東京都大田区)
7. 北村心, 増田浩次, 徳永星哉, 大西健太, 岸本淳志, 阿佐直樹, 宇田川健太, 「多

波長光を用いた地象センシングシステム構成法の検討」, 2015 年電子情報通信学会総合大会, 2015 年 3 月 13 日, 立命館大学 (草津市)

8. 阿佐直樹, 徳永星哉, 増田浩次, 北村心, 「光水面センシングシステムにおける受光パワーのビーム径依存性」, 2015 年電子情報通信学会総合大会, 2015 年 3 月 13 日, 立命館大学 (草津市)
9. 増田浩次, 徳永星哉, 北村心, 阿佐直樹, 宇田川健太, 岸本淳志, 「光水面センシングシステムの経路分離法における受光パワー特性」, OPJ2014, 7pD5, 2014 年 11 月 7 日, 筑波大学 (東京都文京区)
10. 岸本淳志, 徳永星哉, 北村心, 増田浩次, 「光水面センシングシステムの経路分離法における受光パワーの信号光波長依存性」, 平成 26 年度 (第 65 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, p. 121, 2014 年 10 月 25 日, 福山大学 (福山市)
11. 宇田川健太, 徳永星哉, 北村心, 増田浩次, 「光水面センシングシステムの経路分離法における水位検出精度特性」, 2014 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-13-11, p. 298, 2014 年 9 月 23 日, 徳島大学 (徳島市)
12. 徳永星哉, 宇田川健太, 大坂瑞貴, 北村心, 増田浩次, 「光水面センシングシステムの偏波変調法における水位検出精度特性」, 2014 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-13-10, p. 297, 2014 年 9 月 23 日, 徳島大学 (徳島市)
13. 阿佐直樹, 増田浩次, 徳永星哉, 岸本淳志, 北村心, 「光水面センシングにおける受光パワー波形の水面形状依存特性」, 2014 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-13-9, p. 296, 2014 年 9 月 23 日, 徳島大学 (徳島市)
14. 増田浩次, 徳永星哉, 北村心, 阿佐直樹, 宇田川健太, 岸本淳志, 「多波長光を用いた水面・地象センシングシステム構成法の研究」, 電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会, OFT2014-19, pp. 17-22, 2014 年 8 月 29 日, 釧路ロイヤルイン (釧路市)
15. 徳永星哉, 松井淳, 春名優, 山内裕太, 北村心, 増田浩次, 「偏波変調を用いた光水面センシングシステムの検討」, 2014 年電子情報通信学会総合大会, B-13-22, p. 518, 2013 年 3 月 19 日, 新潟大学 (新潟市)
16. 増田浩次, 徳永星哉, 北村心, 春名優, 松井淳, 道畑和也, 大崎健太, 「光を用いた地象センシングシステム構成法の研究」, 電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会, OFT2013-76, pp. 169-174, 2014 年 2 月 28 日, ネストホテル沖縄 (沖縄市)
17. 増田浩次, 道畑和也, 信川友宏, 徳永星哉, 北村心, 「光水面センシングシステ

ム用光源構成法の研究」, レーザー学会
学術講演会第34回年次大会, 21aVI-10,
2014年1月21日, 北九州国際会議場(門
司市)

18. 北村心, 徳永星哉, 春名優, 松井淳, 増田浩次, 「光を用いた水面センシングシステムの研究」, 第52回光波センシング技術研究会, pp. 157-162, 2013年12月4日, 東京理科大学(東京都新宿区)
19. 松井淳, 徳永星哉, 北村心, 増田浩次, 「水面センシングシステムにおける受光パワー波形特性の理論検討」, 平成25年度(第64回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, p. 213, 2013年10月19日, 岡山大学(岡山市)
20. 春名優, 徳永星哉, 道畑和也, 北村心, 増田浩次, 「光を用いた全方向配置による水面センシングシステムの検討」, 平成25年度(第64回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, p. 212, 2013年10月19日, 岡山大学(岡山市)
21. 増田浩次, 徳永星哉, 北村心, 「光を用いた水面センシングシステムの研究」フォトニックセンシング最前線, P-13, p. 91, 2013年9月30日, 東京大学(東京都文京区)
22. 徳永星哉, 田山恵一, 北村心, 増田浩次, 「多波長光を用いた水面センシングシステム構成法の基本検討」, 2013年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-13-14, p. 366, 2013年9月17日, 福岡工業大学(福岡市)
23. 増田浩次, 徳永星哉, 北村心, 「光を用いた水面センシングシステム構成法の検討」, 2013年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-13-13, p. 365, 2013年9月17日, 福岡工業大学(福岡市)
24. 徳永星哉, 北村心, 田山恵一, 増田浩次, 「光を用いた水面センシングシステムにおける受光パワー波形特性」, 電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会, OFT2013-13, pp. 1-4, 2013年8月22日, 北海道大学(札幌市)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ecs.shimane-u.ac.jp/~masuda/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

増田 浩次 (MASUDA, Hiroji)

島根大学・総合理工学研究科・教授

研究者番号: 60583127

(2) 研究分担者

北村 心 (KITAMURA, Kokoro)

島根大学・総合理工学研究科・助教

研究者番号: 60549179