

広帯域光源を用いた実時間光水面センシングシステムの研究

増田 浩次, 宇田川 健太, 北村 心

島根大学 総合理工学研究科 (〒690-8504 島根県松江市西川津 1060)

A study on the real time sensing system of water surface using a broadband light source

Hiroji MASUDA, Kenta UDAGAWA, and Kokoro KITAMURA

Interdisciplinary Graduate School of Sci. and Eng., Shimane Univ., 1060 Nishi-kawatsu, Matsue, Shimane 690-8504

Abstract: From the viewpoint of the applications of disaster prevention and mitigation, and shipping, water-surface sensing of the sea, lake, and river is an important technology. We have been studying an optical water-surface sensing technique using a broadband light source. In this paper, we propose a novel method for sensing water-surface positions and wave heights by using a buoy set on the water surface which reflects the optical beam from the broadband light source. We also report a theoretical investigation on the operation characteristics of the proposed method.

Key Words: real time, sensing, water surface, light source

1. はじめに

水面状態のセンシング技術は、接触型、非接触型に分類できるが、超音波および電磁波（電波および光）を用いた非接触型センシングは、設置・運用性および性能の観点で、今後の研究開発が期待される重要な技術である¹⁻⁷⁾。我々は近年、防災・減災、船舶操業などの応用を目指し、光を用いた水面状態のセンシング技術（「光水面センシング技術」と呼ぶ）の研究を行っている^{2,3,8-10)}。特にこれまでに、光ビームを水面と岸や構造物などとの境界近傍に照射することにより、水位や波高を検出する手法（「経路分離法」と呼ぶ）の検討結果を報告している。本検討では、水面に設置した既存あるいは新規設置のブイ（buoy, 浮標）と水面との境界近傍に光ビームを照射する新規な水面状態センシング方法を提案する。また、その提案方法のシステム構成および基本特性に関する検討結果を示す。

2. システム構成

上記「経路分離法」および本提案方法のシステム構成を、Fig. (a)および(b)にそれぞれ示す。経路分離法では、光送信器（OS）からの多波長多経路の光ビーム（光パルスまたは変調光）を、水面境界近傍に照射し、物体および水面からの反射特性の違いを用いて水面境界位置を測定する^{2,3,9)}。光受信器（OR）は、空間フィルタ、光波長選択性フィルタ、フォトダイオードアレイを有する。一方、本提案方法では、水面に浮いているブイ（既存または新規設置のもの）と水面との境界近傍に光ビームを照射する。そのブイは、水底に設置したアンカー、または船舶や海上風力発電設備などに固定されているものとする。上記の2つのシステム構成を比較すると、経路分離法では、センシング可能な位置が、岸や構造物などの位置に限定されており、所望位置での水位や波高情報が得られない場合がある。一方、本提案方法では、ブイ

が設置可能な任意の位置における水面状態がセンシングできるという利点を有する。

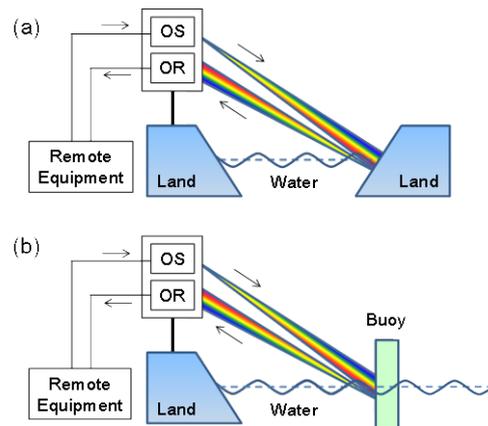


Fig. 1 Schematic system configurations

3. 増幅自然放出光源の特性

本提案システムでは、センシング用の光源として広帯域光源を用い、後段に波長分散を付与する光回路を設置して、多波長多経路の光ビームを発生させるものとする。その広帯域光源として、エルビウム添加光ファイバ（EDF）を増幅媒質として用いた、増幅自然放出光光源（ASE光源）を検討している。Fig. 2(a)に、ASE光源の構成を示す。EDFは、半導体レーザを励起光源（波長 $1.48\mu\text{m}$ ）とし、後方向から励起している。Fig. 2(b)に、励起光パワー（ P_p ）が $4.4\sim 10.7\text{mW}$ の場合の出力スペクトルを示す。光スペアナを用いて測定を行ったが、分解能は 0.2nm とした。スペクトル平坦帯域（ BW_{flat} ）および平坦度（ ΔP , peak-to-peak）として、 $P_p=5.5\text{mW}$ において、 $BW_{flat}=36\text{nm}$ （ $1527\sim 1563\text{nm}$ ）、 $\Delta P=1.3\text{dB}$ 、また、 $P_p=6.8\text{mW}$ において、 $BW_{flat}=15\text{nm}$ （ $1543\sim 1558\text{nm}$ ）、 $\Delta P=0.1\text{dB}$ が得られている。上記のように、高い励起効率で、最

大約 37nm 程度の広い帯域が得られている。また、上記の波長分散光回路としては、回折格子などの光デバイスが使用可能である。

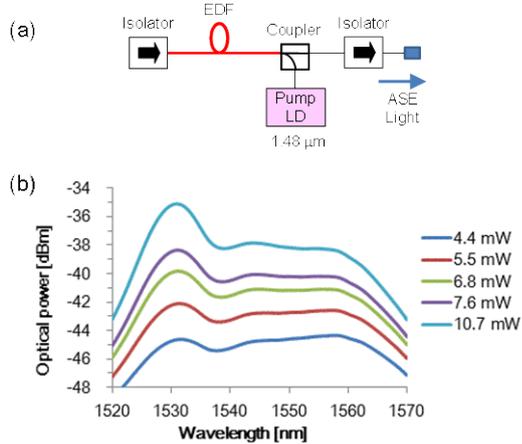


Fig. 2 (a) Configuration and (b) optical spectra of the amplified spontaneous emission light source

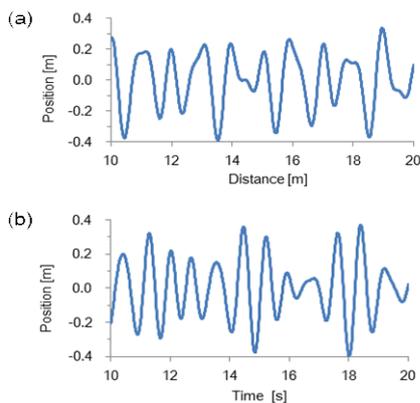


Fig. 3 Water surface positions as a function of (a) distance and (b) time

4. センシング特性に関する水面形状の解析

本提案方法では、ブイと水面の境界位置のセンシングを行うので、ブイおよびブイの近傍の水面の位置変動特性を把握する必要がある。水面波における水の動きは実際にはかなり複雑であるが、ここでは、重力波と表面張力波の深海波モデルを用いて基本特性の解析を行う¹¹⁾。簡単のため、 x 方向に伝搬する1次元の水面波(直線波近似)の、位置 x 、時刻 t における垂直方向の位置を $h(x, t)$ とする。3波長のフーリエ級数合成を用い、それらの波長を λ_i 、振幅を A_i とする。また、位相速度 v_i を、 $x=t=0$ における3波長成分の位相を簡単のためゼロとする。この時、位置 $h(x, t)$ は、

$$h(x, t) = \sum_{i=0}^2 h_i(x, t) = \sum_{i=0}^2 A_i \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda_i}(x - v_i t)\right] \quad (1)$$

となる。

ここで、典型例として、3つの波長および振幅を以下のように仮定する。 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2 = 1.0\text{m}, 1.6\text{m}, 0.63\text{m}$ 、また、 $A_0, A_1, A_2 = 0.2\text{m}, 0.1\text{m}, 0.1\text{m}$ 。この時の支配的な波の波長 $\lambda_0 = 1.0\text{m}$ に対する位相速度および周期は、それぞれ $v_0 = 1.25\text{m/s}$ および $T_0 = 0.8\text{s}$ である。これらのパラメータを用いて計算した位置 $h(x, t)$ の波形を Fig. 3 に示す。(a)が、 $t = 0$ における距離依存性 ($x = 10 \sim 20\text{m}$)、(b)が、 $x = 0$ における時間依存性 ($t = 10 \sim 20\text{s}$) である。Fig. 3(b)より、実時間センシング実現のためには、センシング時間間隔を、 T_0 より十分小さな値 (T_{min}) にすればよいことがわかる。例えば、 T_{min} を T_0 の $1/1000$ とすると、 $T_{min} = 0.8\mu\text{s}$ となる。上記の計算は一つの例であって、他のパラメータ、例えば、支配的な波長が $10\text{cm}, 10\text{m}$ などにおいても同様な計算が可能である。また、用いる波長数の増加、および波長分布の高精度化も適宜行うことが可能である。

5. 結論

水位・波高などの水面状態の実時間センシング実現を目指し、新規の方式提案およびセンシング特性に関する水面形状の解析を行った。水面に設置した既存あるいは新規設置のブイと水面との境界近傍に光ビームを照射する新規なセンシング方法を提案した。また、水面の鉛直方向位置の時間波形の解析から、実時間センシングのための所要センシング時間間隔を明らかにした。

参考文献

- 1) 松村 他, OFS シンポジウム, I-08, pp. 50-57, 2013
- 2) 増田, 北村, 光技術コンタクト, Vol. 51, No. 7, pp. 11-17, 2013
- 3) 北村, 増田, 光アライアンス, Vol. 26, No. 5, pp. 22-26, 2015
- 4) 椎名, 中川, レーザセンシングシンポジウム, P-5, 2013
- 5) 椎名, 中川, レーザセンシングシンポジウム, P-23, 2014
- 6) 森, 島田, 椎名, 馬路, 竹元, 信学技報, OFT2014-63, 2016
- 7) 椎名, 島田, 森, 馬路, 竹元, 信学技報, OFT2014-64, 2016
- 8) 増田, 田山, 北村, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-13-18, p.317, 2012
- 9) 増田, 徳永, 北村, 阿佐, 宇田川, 岸本, 信学技報, OFT2014-19, 2014
- 10) 増田, 宇田川, 北村, 後藤, 相原, 信学技報, OFT2016-9, 2016
- 11) The Feynman Lectures on Physics, Vol. 1, Sec. 51-4, 1963