博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏　　名	齊藤　高大
学　　位	博　士（　工学　）
学 位 記 番 号	新大院博（工）第 475 号
学位授与の日付	平成 30 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
博 士 論 文 名	半導体レーザの周波数雑音を用いた高分解能距離計測
論 文 審 査 委 員	主査　教授・佐藤　孝
	副査　教授・鈴木　孝昌
	副査　教授・大河　正志
	副査　准教授・大平　泰生
	副査　准教授・岡　寿樹

博士論文の要旨

半導体レーザは強度雑音や周波数雑音、位相雑音などの量子雑音を持っている。半導体レーザ光のコヒーレンスを用いる様々な応用においては、これらの雑音は、電気的フィードバック等を用いて通常は抑圧される。しかし、この半導体レーザの雑音を高速なランダム信号としてとらえることで、様々な応用に利用することができる。例えば、本研究の対象である光距離計測においては、高い距離分解能を得るために、高速な信号が求められる。長距離光距離計測における一般的な距離計測方式は、短光パルスを用いた TOF(Time of flight)方式と CW(Continuous wave)レーザ光源の変調光を用いた位相差方式である。TOF 方式において測定精度の向上のために S/N を上げるには、高出力ピークパワーが必要とされ、位相差方式は変調周期による測定範囲の制限が問題点として挙げられる。また、両方式には、低コスト化を妨げる高速な光変調器が必要になってしまう。

そこで本論文では、半導体レーザの周波数雑音の高速性と非周期性を用いた変調を全く必要としない高分解能な光距離計測システムを検討した。周波数雑音を用いる主な理由は、雑音スペクトルが広帯域に広がっていること、光周波数弁別器によって、比較的簡単に大きな振幅の信号を得られることなどである。周波数雑音は、半導体レーザの発振周波数が、ランダムかつ高速に変動する現象である。このような特徴は、周波数雑音スペクトラムから知ることができ、数 GHz まで白色性のスペクトラムが広がっている。このような高速な光周波数の変動を検出するために、本研究では光周波数弁別器によって、周波数雑音を光強度変動に変換し、高速なフォトディテクタで、その変動を検出する方法を用いている。距離計測方法としては、主に RM-CW(Random modulation-CW)方式として知られるランダム信号を用いた距離計測方式に基づく方法を用いる。本方式ではまず、半導体レーザの光をリファレンスミラーとターゲットに向けて分割する。反射されて戻ってきた二つの光の周波数雑音を光周波数弁別器によって、光強度変動に変換し、フォトディテクタで受光する。電気信号に変換されたこれらの信号は、GHz 帯のサンプリング周波数を持つ高速な A/D でサンプリングされ、デジタル相互相関が求められる。

このデジタル相互相関は、片方の波形に対して、デジタル的に遅延を生じさせ、その遅延ごとに、2 つの波形の間の相互相関を計算するものである。リファレンス光路とターゲット光路を通ってきた信号の間には遅延差が生じているので、デジタル的に発生させた遅延が、この遅延差に最も近いときに相関値は最大となる。また、信号は非周期信号であるので、相関値が最大となる遅延はただひとつになる。光はリファレンス光路とターゲット光路を往復するので、ターゲットまでの光路長とリファレンスミラーまでの光路長の光路差を求めることができる。

本方式は、RM-CW 方式の一般的な利点の他に、半導体レーザの周波数雑音を用いることにより変調を全く必要としないなどの利点を持つ。しかし、デジタル相互相関に用いる遅延の時間分解能が A/D のサンプリング時間に一致するので、距離分解能がサンプリング時間×光速に制限されてしまう。分解能を向上させるためには、サンプリングレートを上げれば良いが、サンプリングレートとコストは、トレードオフの関係になる。

この距離分解能の制限に打ち勝つ方法として、本研究では最大相関値を示す相関時間を求めることに加えて、その相関値変化に着目することで、リファレンス光路とターゲット光路の間の光路差を距離分解能よりも短い範囲で変化させたときの相関値の変化を観測した。そして、この相関値変化特性をもとに、サンプリングレートを上げずに距離分解能を向上させる方法を開発した。

審査結果の要旨

本論文は、半導体レーザの発振周波数特性を用いた新たなレーザ光距離計測法を開発したものであり、以下のような特筆すべき成果を上げている。

(1) 通常は欠点として考えられている半導体レーザが持つ高速周波数雑音を、取り除くべき問題点としてではなく、逆に特徴としてとらえ、レーザ光距離計測において、新たな計測方法として検討を加え、開発に成功している。

(2) 提案したレーザ光距離計測法の分解能の改善に向けて、計測に用いるリファレンス光路に工夫を加える方法を提案し、分解能を約 100 倍向上させ、市販されている半導体レーザを用いたレーザ光距離計測装置を超える分解能を実現した。

よって、本論文は博士(工学)の博士論文として十分であると認定した。