

論文内容の要旨

博士論文題目

近赤外カラー眼底カメラの実用化に向けた撮像素子および 映像処理技術の開発と評価

(Development and evaluation of image sensor and image processing technologies for practical use of near-infrared color fundus camera)

氏 名 祖父江 基史

(論文内容の要旨)

撮影照明に可視光ではなく3波長の近赤外(NIR)光を用いる眼底カメラが提案されている。3波長のNIR光を用いることで撮影した画像合成による眼底像のカラー化が可能となり、またNIR光は眩しくないため被験者のみで眼底像撮影が可能となる。人の眼底は、非侵襲で血管の様子を観察できる唯一の場所であり、緑内障や白内障などの眼疾患だけではなく、高血圧や動脈硬化、糖尿病性網膜症など生活習慣病に関わる疾患の検診も可能であるため、このような自撮りが可能なNIRカラー化眼底カメラはパーソナルヘルスケアへの応用が期待されている。本研究では、このNIRカラー技術およびその応用分野である眩しくないNIRカラー化眼底カメラの実用化に関する課題抽出、技術提案、試作および評価を行った。

NIRカラー技術に関しては、色再現性が課題の1つであったが、監視用途などでは完全に暗闇なることは少なく、可視光が僅かに存在する薄暗闇で利用されることが多いことから、NIRに加えて、微小な可視光を取り入れて、可視光とNIRの各3つの波長の合計6つのチャンネルを利用することにより色再現性を高める技術を提案し、その効果を確認することができた。

また、眩しくないNIRカラー化眼底カメラに関しては、従来は、高速かつ不規則な固視微動や生体内のボケなどに対処した画像処理をリアルタイムで提供することが難しかったが、不規則な固視微動に対応したトラッキング手法、生体内のボケを解消するデコンボリューションなどにより、画像を鮮明化する手法を提案した。そして、本提案のカメラシステムは医療現場で実務的に活用可能で、撮影された画像は眼疾患および生活習慣病疾患の検出に役立つ可能性を確認できた。

加えて、製品の小型化、低価格化に必須のNIRマルチスペクトルイメージセンサの設計、製造に関して、従来の研究では、多層膜干渉フィルタがガラス基板上に堆積され、センサチップに接合され、7.5 μm のピクセルピッチで行われたが、本研究では、NIRマルチスペクトルフィルタをセンサに直接堆積する4 μm ピクセルピッチでのNIRマルチスペクトルイメージングセンサに取り組み、製造したNIRマルチスペクトルイメージングセンサが、設計の意図通りの性能が発揮できていることを確認できた。そして、NIRマルチスペクトルイメージングセンサを眩しくないNIRカラー眼底カメラに取り付け眼底を撮影し、医療に関連する有意義な情報を提供できることが確認できた。また、今後のNIRマルチスペクトルセンサの改良に必要な最大の課題の一つが、画素間のクロストーク問題であることを明らかにした。

本研究において得られた成果や知見は、新たな医学的知見の拡大に結び付き、眼疾患に加え、生活習慣病などの重要な健康問題の改善ならびにその関連分野、医療用途への展開が可能である。

(論文審査結果の要旨)

撮影照明に可視光ではなく3波長の近赤外(NIR)光を用いる眼底カメラが提案されている。3波長のNIR光を用いることで撮影した画像合成による眼底像のカラー化が可能となり、またNIR光は眩しくないため被験者のみで眼底像撮影が可能となる。人の眼底は、非侵襲で血管の様子を観察できる唯一の場所であり、緑内障や白内障などの眼疾患だけではなく、高血圧や動脈硬化、糖尿病性網膜症など生活習慣病に関わる疾患の検診も可能であるため、このような自撮りが可能なNIRカラー化眼底カメラはパーソナルヘルスケアへの応用が期待されている。本研究では、このNIRカラー技術およびその応用分野である眩しくないNIRカラー化眼底カメラの実用化に関する課題抽出、技術提案、試作および評価を行った。

NIRカラー技術に関しては、色再現性が課題の1つであったが、監視用途などでは完全に暗闇なることは少なく、可視光が僅かに存在する薄暗闇で利用されることが多いことから、NIRに加えて、微小な可視光を取り入れて、可視光とNIRの各3つの波長の合計6つのチャンネルを利用することにより色再現性を高める技術を提案し、その効果を確認することができた。

また、眩しくないNIRカラー化眼底カメラに関しては、従来は、高速かつ不規則な固視微動や生体内のボケなどに対処した画像処理をリアルタイムで提供することが難しかったが、不規則な固視微動に対応したトラッキング手法、生体内のボケを解消するデコンボリューションなどにより、画像を鮮明化する手法を提案した。そして、本提案のカメラシステムは医療現場で実務的に活用可能で、撮影された画像は眼疾患および生活習慣病疾患の検出に役立つ可能性を確認できた。

加えて、製品の小型化、低価格化に必須のNIRマルチスペクトルイメージセンサの設計、製造に関して、従来の研究では、多層膜干渉フィルタがガラス基板上に堆積され、センサチップに接合され、7.5 μm のピクセルピッチで行われたが、本研究では、NIRマルチスペクトルフィルタをセンサに直接堆積する4 μm ピクセルピッチでのNIRマルチスペクトルイメージングセンサに取り組み、製造したNIRマルチスペクトルイメージングセンサが、設計の意図通りの性能が発揮できていることを確認できた。そして、NIRマルチスペクトルイメージングセンサを眩しくないNIRカラー眼底カメラに取り付け眼底を撮影し、医療に関連する有意義な情報を提供できることが確認できた。また、今後のNIRマルチスペクトルセンサの改良に必要な最大の課題の一つが、画素間のクロストーク問題であることを明らかにした。

本研究において得られた成果や知見は、新たな医学的知見の拡大に結び付き、眼疾患に加え、生活習慣病などの重要な健康問題の改善ならびにその関連分野、医療用途への展開が可能である。その成果は、学術的に新しい知見を見出していると判断され、審査委員一同は、本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。