

Kurzfassung der Dissertation

Kodierte Anregung in der photoakustischen Bildgebung

Martin P. Mienkina, Lehrstuhl für Medizintechnik, Ruhr-Universität Bochum

Die photoakustische Bildgebung ist eine der am schnellsten in der Forschung an Bedeutung gewinnenden bio-medizinischen Bildgebungstechniken. Der photoakustische Effekt basiert auf der Erzeugung akustischer Wellen durch die Bestrahlung eines Objektes mit gepulster bzw. modulierter elektromagnetischer Strahlung. Wird elektromagnetische Strahlung von einem Objekt absorbiert, so kommt es zu einer Erwärmung, die zu einer räumlichen Expansion des Körpers führt. Die so erzeugte Druckwelle kann mit Ultraschallwandlern detektiert werden. Die photoakustische Bildgebung ermöglicht es, die Vorteile des hohen optischen Kontrasts mit der geringen akustischen Streuung in Biogewebe zu verbinden. Für bio-medizinische Anwendungen wird die optische Energiedichte so gewählt, dass keine bleibende Schädigung im Gewebe entsteht und es nur zu einer transienten Erhöhung der lokalen Temperatur im Millikelvin-Bereich kommt.

Der photoakustische Effekt kann für die morphologische, funktionale und molekulare Bildgebung von biologischem Gewebe eingesetzt werden. Die echtzeitfähige *in-vivo* Darstellung der vaskulären Morphologie, die orts aufgelöste *in-vivo* Messung der Sauerstoffsättigung des Blutes, sowie die Quantifizierung der Konzentration tumorspezifischer Kontrastmittel, wie z.B. Goldnanostäbchen, wurden erfolgreich demonstriert.

Der breite Einsatz der Photoakustik für bio-medizinische Anwendungen wird momentan primär durch die teuren und unhandlichen Laserquellen, wie z.B. OPO (optischer parametrischer Oszillator) Nd:YAG Systeme, begrenzt. Eine attraktive Alternative zu diesen Systemen sind Laserdioden. Sie sind deutlich preiswerter und kompakter als die OPO-Nd:YAG Systeme. Gepulste Hochleistungs-Laserdioden weisen zwar eine deutlich niedrigere Pulsenergie als OPO-Nd:YAG Systeme auf, können jedoch bei einer viel höheren Pulswiederholrate betrieben werden. Somit ist es möglich, die niedrige Pulsenergie der Laserdioden durch Mittelung zu kompensieren, ohne die Bildaufnahmezeit zu reduzieren. Die maximal einsetzbare Pulswiederholrate (PRF) ist zum einen technisch, zum anderen fundamental durch die akustische Laufzeit der photoakustisch erzeugten Signale zwischen der photoakustischen Quelle und dem Detektor begrenzt. Im Rahmen dieser Arbeit wird diese fundamentale Begrenzung durch die Nutzung der kodierten Anregung umgangen und somit der SNR-Gewinn pro Zeiteinheit gegenüber einfachen Mittelungsmessungen erhöht. Die kodierte Anregung wurde weiterhin auf eine gleichzeitige multispektrale Anregung erweitert, was eine zusätzliche Steigerung des SNR-Gewinns pro Zeiteinheit gegenüber einer sequentiell durchzuführenden Mittelungsmessung ermöglichte.

Entsprechend wurden Konzepte für die mono- und multispektrale photoakustische Kodierung entwickelt und Modelle der zugehörigen Signalverarbeitung aufgestellt, die eine Vorhersage des Kodiergewinns erlaubten. Es wurde weiterhin ein auf gepulsten Laserdioden basierendes photoakustisches Bildgebungssystem realisiert. Dieses System erlaubte die praktische Realisierung der Konzepte zur kodierten photoakustischen Bildgebung. Als Ultraschallempfangssystem wurde ein modifiziertes klinisches Ultraschallsystem verwendet, um eine mögliche Translation in eine prä-klinische oder klinische Umgebung zu erleichtern. Dieses System wurde erfolgreich zur kodierten photoakustischen Bildgebung von technischen Phantomen eingesetzt. Es konnte experimentell gezeigt werden, dass beim Einsatz der Kodierung ein höherer SNR-Gewinn erzielt werden konnte als bei einer bezüglich der Aufnahmedauer äquivalenten Mittelungsmessung. Die theoretisch vorhergesagten Kodiergewinne konnten erfolgreich experimentell verifiziert werden. Insbesondere die unipolaren, orthogonalen, komplementären Sätze von Sequenzen ermöglichen eine artefaktfreie, multispektrale, kodierte photoakustische Bildgebung. Es konnte gezeigt werden, dass multispektrale Laserdiodesysteme, die Kodierung nutzen, einen zu OPO-Nd:YAG Systemen äquivalenten SNR bieten. Beim Einsatz kommerziell verfügbarer Komponenten ermöglicht die Kodierung eine Reduktion der Anzahl notwendiger Laserdioden verglichen mit nicht kodierten Systemen um 30%.