

Thomas Ersepke

Eine kontaktlose Alternative für das respiratorische Gating in der PET

Entwicklung eines Doppler-
Radarsensors für die Positronen-
Emissions-Tomographie



Forschungsreihe der FH Münster

Die Fachhochschule Münster zeichnet jährlich hervorragende Abschlussarbeiten aus allen Fachbereichen der Hochschule aus. Unter dem Dach der vier Säulen Ingenieurwesen, Soziales, Gestaltung und Wirtschaft bietet die Fachhochschule Münster eine enorme Breite an fachspezifischen Arbeitsgebieten. Die in der Reihe publizierten Masterarbeiten bilden dabei die umfassende, thematische Vielfalt sowie die Expertise der Nachwuchswissenschaftler dieses Hochschulstandortes ab.

Thomas Ersepke

Eine kontaktlose Alternative für das respiratorische Gating in der PET

Entwicklung eines Doppler-
Radarsensors für die Positronen-
Emissions-Tomographie



Springer Spektrum

Thomas Ersepke
Bochum, Deutschland

Forschungsreihe der FH Münster
ISBN 978-3-658-10021-6 ISBN 978-3-658-10022-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-10022-3

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Fachmedien Wiesbaden ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Abstract

In der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) führen längere Aufnahmezeiten in Kombination mit der Atmung des Patienten zu einer Bewegungsunschärfe in den rekonstruierten Bilddaten. Das respiratorische Gating ist eine Methode zur Kompensation dieser Artefakte und benötigt ein Respirationssignal des Patienten. Klinisch etablierte Methoden zur Respirationssmessung in der PET bedürfen der Anbringung einer Sensorik am Patienten, welche zeitaufwendig ist. Das Continuous-Wave-Doppler-Radar-Verfahren ist eine Methode zur Bewegungsdetektion und basiert auf der Messung der Phasenverschiebung eines, an einem bewegten Ziel reflektierten, Signals. Durch Verwendung von Frequenzen im Mikrowellenbereich wird die kontaktlose Messung der Auslenkung der Körperoberfläche, während der Atmung des Patienten, bei nur geringer Abschwächung durch Textilien und Kunststoffe, ermöglicht. Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines kontaktlosen CW-Doppler-Radarsensors für das respiratorische Gating in der PET. Die Entwicklung des Sensors beinhaltete die Auswahl einer geeigneten Radararchitektur sowie den Aufbau mehrerer mobiler Prototypen und die Entwicklung einer digitalen Signalverarbeitung zur Extraktion eines Respirationssignals. Im Rahmen der Validierung des Prototyps konnten hohe Messgenauigkeiten im Submillimeterbereich festgestellt werden. Während klinischer Versuche wurde der entwickelte Sensor mit dem klinisch etablierten Verfahren sowie weiteren aktuellen Methoden zur Respirationssmessung verglichen. Zwischen den Respirationssignalen des Radarsensors und denen der genannten Methoden konnten dabei hohe Korrelationen nachgewiesen werden. Zudem ermöglichte die simultane Messung mit drei Radarsensoren die Betrachtung mehrerer Körperregionen während der Atmung des Patienten. Damit bietet der entwickelte Sensor eine vielversprechende und kontaktlose Alternative für die Respirationssmessung in der PET bei problemloser Durchdringung von Textilien und Kunststoffen, ohne dass eine Vorbereitung des Patienten nötig wird.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Grundlagen	3
2.1 Respiratorisches Gating in der Positronen-Emissions-Tomographie	3
2.1.1 Positronen-Emissions-Tomographie	3
2.1.2 Konzept des respiratorischen Gatings	4
2.1.3 Methoden zur Respirationsmessung in der Positronen-Emissions-Tomographie	7
2.2 Continuous-Wave-Doppler-Radar	10
2.2.1 Elektromagnetische Eigenschaften von Medien im Mikrowellenbereich	10
2.2.2 Prinzip des Continuous-Wave-Doppler-Radars	13
2.3 Anwendungen des CW-Doppler-Radar-Verfahrens	16
3. Ziel der Arbeit	19
4. Anforderungsspezifikationen	21
5. Methoden	25
5.1 Entwicklung eines Prototyps	25
5.1.1 Auswahl des Doppler-Radar-Moduls	25
5.1.2 Aufbau einer Verstärkerschaltung	27
5.1.3 Auslegung des Radoms	28
5.2 Signalverarbeitung	29
5.2.1 Demodulation des Signals	30
5.2.2 DC-Offset-Kompensation	32
5.3 Validierung des Prototyps	35
5.3.1 Messung von Auslenkungen in Hauptstrahlrichtung	35
5.3.2 Winkelabhängigkeit der Messgenauigkeit	38
5.3.3 Einfluss von Textilien und Kunststoffen auf die Signalqualität	39
5.3.4 Respirationsmessungen an Probanden	40
5.3.5 Einfluss von Bewegungen im Umfeld der Respirationsmessung	41
5.3.6 Einfluss von Funkanwendungen	43

5.4 Klinische Versuche.....	43
5.4.1 Messaufbau.....	44
5.4.2 Vergleich mit weiteren Messmethoden	45
5.4.3 Simultane Messung für mehrere lokale Regionen.....	45
5.4.4 Respirationsmessung an einer Maus	46
6. Ergebnisse.....	49
6.1 Vergleich mit weiteren Methoden zur Respirationsmessung.....	49
6.2 Extraktion eines Signals für die kardiovaskuläre Aktivität.....	54
6.3 Simultane Messung mit mehreren Sensoren.....	55
6.4 Respirationsmessung an einer Maus	56
7. Diskussion.....	59
7.1 Entwicklung des Doppler-Radarsensors	59
7.2 Klinische Versuche.....	60
8. Zusammenfassung und Ausblick.....	63
Anhang.....	65
A.1 Hardware des Doppler-Radarsensors	65
A.2 Signalverarbeitung	67
A.3 Validierung.....	71
A.4 Ergebnisse.....	73
Literaturverzeichnis	79
Abkürzungsverzeichnis	85
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	87
Danksagung.....	89

1. Einleitung

Die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) spielt eine wichtige Rolle in der medizinischen Diagnostik, da das Verfahren die Darstellung von funktionellen Stoffwechselvorgängen auf molekularer Ebene erlaubt. Lange Aufnahmezeiten in Kombination mit willkürlichen und unwillkürlichen Bewegungen des Patienten führen zu einer Bewegungsunschärfe in den rekonstruierten Bilddaten und können zu einer fehlerhaften Quantifizierung von Läsionen führen.

Das respiratorische Gating ist ein Verfahren zur Kompensation dieser Bewegungsunschärfe, hervorgerufen durch die Atmung (Respiration) des Patienten. Hierfür muss ein Respirationssignal des Patienten während des Zeitraums der PET-Messung bereitgestellt werden. Klinisch etablierte Methoden zur Respirationssmessung in der Positronen-Emissions-Tomographie benötigen einen direkten Kontakt zum Patienten und bedürfen einer Vorbereitung, welche Zeit und Personal beansprucht.

Das Continuous-Wave-Doppler-Radar-Verfahren bietet eine Möglichkeit der kontaktlosen Messung der Respiration bei geringer Abschwächung der elektromagnetischen Strahlung durch Textilien und Bettdecken, sowie Kunststoffe. Damit bietet das Verfahren einen vielversprechenden Ansatz für die Bereitstellung eines Respirationssignals während einer PET-Messung.

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines kontaktlosen Doppler-Radarsensors für das respiratorische Gating. Es soll dabei ein valides Respirationssignal von dem Sensor generiert werden, ohne dass eine Vorbereitung des Patienten nötig ist.

Die Entwicklung des Sensors beinhaltet den Aufbau der Sensor-Hardware sowie die Entwicklung der digitalen Signalverarbeitung für die Generierung eines Respirationssignals. In den Anforderungsspezifikationen werden die geforderten Leistungen des Sensors definiert und mögliche Störeinflüsse abgeschätzt. Im Rahmen der Validierung wird der Prototyp anhand der definierten Anforderungen geprüft. Anhand von klinischen Versuchen soll das entwickelte Verfahren mit der klinisch etablierten Methode sowie weiteren, aktuellen Methoden zur Respirationssmessung, verglichen werden.