
Local blood flow modeling and analysis from video sequences of human tissue

Abstract: The ability to extract the heart rate and other vital parameters from video recordings of a person has attracted much attention over the last years. In contrast to most works, which only consider vital parameters globally, this work examines video recordings for local characteristics with the aim of visualizing the blood flow through human skin tissue. In addition to a possible medical application, this blood flow visualization is used to improve security systems.

To examine the local properties as heart rate and blood flow of a human, a video database with 88 recordings from twelve subjects is created. Simultaneously to the video acquisition, the electrocardiogram (ECG) and photoplethysmogram (PPG) of the subjects are measured as ground truth using a vital sign monitor. This work uses remote photoplethysmography (rPPG) to describe the blood flow through the skin tissues of the neck and face. The blood flow is modeled locally based on a local rPPG signal representation. The ECG and PPG measurements verify pulse frequencies extracted via rPPG. The most accurate methods to estimate the global pulse rate as well as the local rPPG are identified during this study. In RGB images, the green color channel achieved the best results to extract the global pulse rate and the local rPPG signal is best represented by a chrominance based signal. Deeper investigations of the local rPPG signal reveal a time difference between distinct spatial regions. Using this information, a blood flow model through human skin tissue in the neck and face is defined and maps of the signal-to-noise ratio (SNR), the time delay and the magnitude of the extracted signal visualize the local blood flow. The blood flow of all subjects is evaluated and shows a similar blood flow path for the majority of the participants. Based on the developed blood flow model, a presentation attack detection (PAD) system is proposed, that specializes in identifying a partial face and neck coverage in the video. The system is tested using six additional datasets showing a person with different facial coverings, such as a mask or a thick layer of makeup. All six masks can be detected and identified as presentation attacks. Besides, it becomes possible to detect differences in blood circulation in the head using the resulting blood flow visualization. As a result, the position of the carotid artery and the differences in blood supply between the forehead and the rest of the face can be extracted.

This work presents a method to visualize the propagation of the human pulse and blood flow through the skin tissue in the neck and face. This method has the potential to be used as an alternative and precise medical diagnostics (e.g., for tissue differentiation in tumorous tissue). Moreover, this thesis proposes a PAD system that detects whether a person is alive and if this person is wearing some kind of face cover by using a 10s video recording. This system showed promising results and could eventually be used in automated border control systems at airports in the future.

Keywords: Blood flow, presentation attack detection, remote photoplethysmography, cardiovascular, heart rate, pulse rate.

Lokale Modellierung und Analyse des Blutflusses aus Videoaufnahmen von menschlichem Gewebe

Zusammenfassung: Die Möglichkeiten, die Herzfrequenz und andere Vitalparameter aus Videoaufnahmen von Personen zu extrahieren, hat in den letzten Jahren viel Aufmerksamkeit erregt. Im Gegensatz zu den meisten Arbeiten, die Vitalparameter nur global betrachten, werden in dieser Arbeit Videoaufnahmen auf lokale Merkmale untersucht, um den Blutfluss durch menschliches Hautgewebe zu visualisieren. Neben einer möglichen medizinischen Anwendung kann diese Blutflussvisualisierung auch zur Verbesserung von Sicherheitssystemen eingesetzt werden.

Um die lokalen Eigenschaften wie Herzfrequenz und Blutfluss eines Menschen zu untersuchen, wird im Rahmen der Erstellung dieser Arbeit eine Videodatenbank mit 88 Aufnahmen von zwölf Proband*innen angelegt. Zeitgleich zur Videoaufnahme werden mit einem Vitalparameter-Monitor das Elektrokardiogramm (EKG) und Photoplethysmogramm (PPG) der Proband*innen gemessen. Die ermittelten Werte dienen der vorliegenden Arbeit als Bezugsgröße (d.h., Grundwahrheit). Diese Arbeit verwendet die remote photoplethysmography (rPPG), um den Blutfluss durch das Hautgewebe von Hals und Gesicht zu beschreiben. Der Blutfluss wird, basierend auf einer lokalen rPPG-Signaldarstellung, lokal modelliert. Die EKG- und PPG-Messungen überprüfen die über rPPG extrahierten Pulsfrequenzen. Die genaueste Methode zur Schätzung der globalen Pulsfrequenz sowie des lokalen rPPGs werden in dieser Studie identifiziert. In RGB-Bildern erzielt der grüne Farbkanal die besten Ergebnisse, um die globale Pulsfrequenz zu extrahieren, und das lokale rPPG-Signal wird am besten durch ein chrominanz-basiertes Signal dargestellt. Intensivere Untersuchungen des lokalen rPPG-Signals zeigen eine Zeitdifferenz zwischen verschiedenen räumlichen Regionen. Auf Grundlage dieser Information wird ein Blutflussmodell durch menschliches Hautgewebe im Hals und Gesicht definiert. Die Visualisierungsansichten des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR), der Zeitverzögerung und des Amplitudenspektrums des extrahierten Signals, visualisieren den lokalen Blutfluss. Der Blutfluss aller Proband*innen wird ausgewertet und zeigt für die Mehrheit der Teilnehmer*innen einen identischen Verlauf. Basierend auf dem entwickelten Blutflussmodell wird ein Presentation Attack Detection (PAD) System vorgeschlagen, das auf die Identifizierung einer partiellen Gesichts- und Halsdeckung im Video spezialisiert ist. Das System wird mit sechs zusätzlichen Videoaufnahmen getestet, die eine Person mit unterschiedlichen Gesichtsbedeckungen, wie beispielsweise einer Maske oder einer dicken Make-up-Schicht, zeigen. Alle sechs Verdeckungen können erkannt und als Präsentationsangriffe identifiziert werden. Außerdem macht es die Blutflussvisualisierung möglich, Unterschiede in der Durchblutung des menschlichen Kopfes zu erkennen. Dadurch können die Position der Halsschlagader und die Unterschiede in der Blutversorgung zwischen der Stirn und dem Rest des Gesichts extrahiert werden.

Diese Arbeit stellt eine Methode vor, um die Ausbreitung des menschlichen Pulses und die Durchblutung durch das Hautgewebe im Hals und Gesicht zu visualisieren. Das Potenzial dieser Methode besteht darin, es als alternative und präzise medizinische Diagnostik einzusetzen (z. B., zur Gewebedifferenzierung bei tumorösen Gewebe). Darüber hinaus schlägt diese Arbeit ein PAD-System vor, das in einer zehnstufigen Videoaufzeichnung erkennt, ob das aufgenommene Objekt eine lebende Person ist und/oder ob Teile des Gesichts geschminkt bzw. maskiert worden sind. Dieses System zeigte vielversprechende Ergebnisse und könnte in Zukunft z.B. in automatisierten Grenzkontrollsystemen auf Flughäfen seinen Einsatz finden.
