Zur Erfassung und Auswertung von Informationen auf der Rückseite des Auges musste an der eHealth research center des CSIRO zum ersten mal ein Verfahren entwickelt werden, welches auf eine Sequenz von Augenaufnahmen angewandt werden sollte. Ziel war es zu untersuchen, ob die Veränderung der Gefäßbreite durch den Puls optisch messbar ist. Die Grundlage zur Messung der Breite von Gefäßen in einem Einzelbild wurde von Phd. Studentin Shaung Yu zur Verfügung gestellt, so dass eine Integration dieser Lösung ermöglicht wurde.

Das Medium, welches jeweils ausgewertet wird, ist eine Infrarotaufnahme der menschlichen Retina mit der Auflösung von 1600x1200 Pixeln. Um eine Sequenz von solchen Bildern abzuarbeiten, wurde eine Pipeline mit drei Hauptschritten und vielen Unterschritten entwickelt. Mit dessen Hilfe werden eine Vielzahl von Parametern aus der Bildersequenz extrahiert, wie zum Beispiel die Veränderung der Gefäßdicke über Zeit. Weiterhin werden weitere Pipelinerelevanten Methoden umgesetzt, die für ihren regulären Ablauf notwendig, als auch für die Auswertung und Verifizierung der Zwischenschrittergebnisse sehr hilfreich sind.

In den folgenden Absätzen werden die wichtigsten Methoden der Pipeline zur Auswertung und Analyse der Gefäßbreite erörtert.

Quality:

Die einzelnen Frames der Bilderserie haben zum Teil starke Unterschiede in der Qualität. Diese Qualitätsunterschiede reichen von kleinen Verschmutzungen bzw. Fremdkörpern, die während der Serie über einen bestimmten Bereich schweben und einige Gefäße verdecken, bis zu großen Verzerrungen des gesamten Bildes durch schnelle Bewegung und Blinzeln. Solche Frames müssen vorher identifiziert und ausgeschlossen werden, so dass die Analyse auf eine möglichst unverzerrte und unverdeckte Bilderserie angewandt werden kann. Dafür ist es sehr schwierig, eine automatisierte Methode zu entwickeln auf Grund der unterschiedlichen Natur der Verzerrungen, die auftreten können. Die Einschätzung, ab wann ein Frame einer Serie ausgeschlossen werden soll, muss daher manuell und nach eigenem Ermessen stattfinden. Dafür zieht man mehrere Frames vor und nach einem Blinzeln oder einer ruckartigen Bewegung des Auges in Betracht und identifiziert diejenigen, wo eine Verzerrung wie zum Beispiel eine Streckung des gesamten oder eines Teils des Bildes zu erkennen ist. Dieser Schritt ist von höchster Priorität, da eine Verzerrung die Gefäßbreite enorm verändert und letztendlich zu komplett falschen Messwerten führen kann. Das Entfernen von einzelnen Frames aus einer Serie hat keine weiteren Auswirkungen auf die Folgende Pipeline, als dass weniger Datensätze zur Verfügung stehen und alles, was damit zusammenhängt. Das könnte möglicherweise ungenauere Messwerte verursachen, da wichtige Ereignisse wie zum Beispiele die systolische Spitze eines Gefäßes damit übersehen werden könnten. Angesichts der Folgen einer Verzerrung und der Tatsache, dass betroffene Frames ohnehin nicht analysiert werden können, wird der Einfluss von entfernten Frames jedoch vernachlässigt.

Stabilisierung

Ist nun eine möglichst unverzerrte Bilderserie gegeben, muss diese noch stabilisiert werden, da für eine genaue Messung der Parameter die Gefäße möglichst an einem festen Punkt in der Serie sein sollten. Als Referenz wird dabei die optische Disk genommen, die der Ursprung der Gefäße der Retina und durch einen dunklen Kreis leicht zu erkennen ist. Es ist in jeder Bilderserie zumindest eine leichte Bewegung der Retina immer gegeben. Meistens wird jedoch ein großes Bewegungsspektrum beobachtet, seien es einfache Bewegungen wie das langsame, kontinuierliche driften der Retina von einem Punkt zum anderen, oder komplizierte Bewegungsmuster wie ruckartiges Zucken des Auges von einem Punkt zum nächsten in unterschiedliche Richtungen. Letzteres kann auch durch das entfernen einzelner Frames aus der Qualitätsselektierung resultieren, so dass durch fehlende Frames die Retina plötzlich auf einem anderen Ort des Bildes auftaucht. Jegliche Art von Bewegung kann die Messung und die resultierenden Messwerte stören. Deshalb sollte in jedem Fall die Serie stabilisiert werden. Dafür wurden mehrere Methoden angewandt und untersucht, um das bestmögliche Resultat zu erzielen.

Python Feature Matching

Dies ist eine eigene Implementierung der Bildstabilisierung mittels OpenCV in python. Dafür wird ein brute force matcher mit dem SIFT descriptor implementiert. Das erste Frame einer Serie ist dabei das Referenzbild, worauf alle weiteren Frames ausgerichtet werden. Zunächst werden im Referenzbild und im zu stabilisierenden Frame alle features identifiziert und dann miteinander mittels der Funktion knnMatch gepaart. Den gepaarten features der beiden Frames können anschließend die Koordinaten entnommen werden, aus deren Differenz der x- und y-Positionen anschließend ermittelt werden kann, wie stark und in welche Richtung das zu stabilisierende Frame vom Refernzbild abweicht. Diese Verschiebung wird inverse auf das auszurichtende Frame angewandt so dass alle Gefäße und die optische Disk auf der Selben Position sind, wie im Referenzframe.

For the first time ever, a procedure had to be developed at the eHealth research center of the CSIRO in order to collect and evaluate information on the back of the eye, which was intended to be applied to a sequence of retinal images. The aim was to investigate whether the change in vessel width caused by the pulse was optically measurable. The basis for measuring the width of vessels in a single image was developed by Phd. Shaung Yu, so that this solution could be integrated.

The medium that is evaluated is a monochromatic infrared image of the human retina with a resolution of 1600x1200 pixels. To process a sequence of such images, a pipeline with three main steps and many sub steps has been developed. It is used to extract a large number of parameters from the image sequence, such as the change in vessel thickness over time. In addition, other pipeline-relevant methods are also implemented, which are mandatory for their regular flow as well as very helpful for the evaluation and verification of the intermediate step results.

In the following paragraphs, the most important methods of the pipeline for evaluating and analyzing vessel width are explained.

Quality

The individual frames of the picture series sometimes have strong differences in quality. These quality differences range from small contaminants or foreign bodies that hover over a certain area during the series and cover some vessels, up to large distortions of the entire image through rapid movement and blinking. Such frames must be identified and excluded beforehand so that the analysis can be applied to a series of images that are as undistorted and uncovered as possible. Therefore, it is very difficult to develop an automated method because of the different nature of the distortions that can occur. The estimation of when a frame of a series should be excluded must, therefore, be done manually and at one's own judgment. To do this, several frames are taken into account before and after a blinking or abrupt movement of the eye and identified where distortion such as stretching of the whole or part of the image can be seen. This step is of highest priority, as distortion changes the vessel width enormously and can ultimately lead to completely wrong measurement values. Removing individual frames from a series has no effect on the following pipeline except that fewer records are available and everything related to it. This could possibly cause inaccurate readings, as important events such as the systolic peak of a vessel could be overlooked. However, given the consequences of distortion and the fact that affected frames cannot be analyzed anyway, the influence of remote frames is neglected.

Stability

If the image series is as undistorted as possible, it must be stabilized, because for an exact measurement of the parameters the vessels should be at a fixed position in the series. The reference is the optical disc, which can be easily recognized as the origin of the retinal vessels and by the dark circle. There is always a slight movement of the retina in every series of pictures. However, a wide range of movements is usually observed, be it simple movements such as the slow, continuous drifting of the retina from one point to another, or complicated movement patterns such as sudden twitching of the eye from one point to another in different directions. The latter can also result from the removal of individual frames from the quality selection, so that due to missing frames the retina suddenly appears at a different location in the image. Any kind of movement can interfere with the measurement and the resulting measurement values. Therefore, the series should always be stabilized. Several methods have been used and investigated to achieve the best possible result.