

DISS. ETH NO. 21956

4D Flow Visualization with Dynamic Vision Sensors

A dissertation submitted to
ETH ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

David Johannes Borer

MSc ETH Masch.-Ing., ETH Zürich
born May 5, 1979
citizen of Erschwil SO, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Thomas Rösgen, examiner
Prof. Dr. Tobi Delbrück, co-examiner

2014

Abstract

Flow visualization in wind tunnel testing can provide an intuitive insight into flow phenomena. The simplicity, cost and responsiveness of the visualization method is of crucial importance for practical use. In this work we aim to develop a cost-effective and fast visualization method based on tracking neutrally buoyant soap bubbles with a set of novel cameras. The “Dynamic Vision Sensor” registers the temporal change in illumination with very low latency, capturing fast processes at a low data rate. In contrast to frame based cameras, the pixels of the Dynamic Vision Sensor operate individually. The pixels are sensitive to the time derivative of the logarithm of the intensity; this design offers a high dynamic range of reportedly $120dB$. Intensity changes are reported as a stream of events; an event is the basic unit of information consisting of the pixel address, the time instant of intensity change and whether the change is positive or negative.

The use of helium filled soap bubbles as tracers is an established technique for large scale applications. The advantage are good visibility at distances on the order of meters and low inertia. In this work a new type of bubble generator was designed and built to enable low bubble densities and constant conditions during testing.

For a 3D reconstruction of the particle tracks three cameras are used. Two cameras already provide an operable 3D tracking system; a third camera is used to increase the probability of detection in areas of poor lighting or in areas with reflections and poor background contrast.

The particle tracking scheme employs a Kalman filter to estimate the particles’ position and velocity. The Kalman filter offers an ideal framework to process the sequential data from the Dynamic Vision Sensors and can handle 2D tracking and 3D reconstruction in a similar manner. The 3D tracking algorithm combines the data from multiple cameras in a straightforward fashion; the number of cameras is not limited. This work provides the proof of concept with three cameras.

The system performance is evaluated with experimental data from wind

tunnel measurements with three different test objects. The results are presented and discussed.

Zusammenfassung

Strömungsvisualisierung in Windkanälen erlaubt eine intuitive Einsicht in fluiddynamische Prozesse und Strömungsphänomene. Für die praktische Anwendung ist es von Vorteil eine Visualisierungsmethode einzusetzen, die einfach im Aufbau ist und zeitnahe Resultate liefern kann. Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methode für volumetrische Geschwindigkeitsmessungen mittels einer neuartigen Art von Kamera, des sogenannten “Dynamic Vision Sensor” (kurz DVS). Die DVS registriert nur die Änderung in Lichtintensität, wobei jedes Pixel individuell gesteuert wird und mit einer hoher zeitlichen Auflösung im Bereich von Mikrosekunden reagieren kann. Die Datenrate gegenüber normalen Kameras wird drastisch reduziert, gepaart mit einer hohen dynamischen Bandbreite von 120 dB ermöglicht sie einen neuartigen Ansatz für den Einsatz im Bereich der Strömungsvisualisierung. Die Änderungen werden in Form von “Ereignissen” übertragen, die jeweils die Pixeladresse, den Zeitpunkt der Änderung und die Änderungsrichtung kodieren.

Die Methode verwendet auftriebsneutrale, heliumgefüllte Seifenblasen als Tracer. Der Vorteil der Seifenblasen sind gute Sichtbarkeit und eine geringe Eigendynamik, die eine direkte Korrelation zwischen Strömung und Geschwindigkeit der Tracer ermöglicht. Ein neuer Typ von Seifenblasengenerator wurde entwickelt und gebaut um eine geringe Seifenblasendichte und konstante Testbedingungen zu ermöglichen.

Um die Bahnlinien von Seifenblasen in einem Volumen zu erfassen werden 3 Kameras eingesetzt. Dies erlaubt eine dreidimensionale Rekonstruktion und verringert die Gefahr von Datenlücken durch ungenügende Beleuchtung und fehlerhafte Rekonstruktion der Bahnlinien.

Ein Kalman Filter wird eingesetzt um die Position und Geschwindigkeit der Seifenblasen zu bestimmen. Der Kalman Filter bietet ein ideales Grundgerüst um den sequentiellen Datenstrom der DVS zu verarbeiten und kann sowohl für 2D Tracking als auch für 3D Rekonstruktion eingesetzt werden. Der implementierte 3D Tracking Algorithmus kann mit Daten von mehre-

ren Kameras umgehen wobei die Anzahl der Kameras grundsätzlich nicht begrenzt sind. Das Konzept wird in dieser Arbeit anhand 3 Kameras demonstriert.

The Leistungsfähigkeit des Systems wird anhand experimenteller Messungen im Windkanal demonstriert. Die Ergebnisse werden präsentiert und diskutiert.