

SGA – ASSPA – SSAC BULLETIN

Nr. 74 – «Intelligentes Vision System für Robotik-Anwendungen»

Editorial

Sehr verehrte Mitglieder und Mitgliederinnen,

gerne begrüsse ich Sie für unser Spätsommer Bulletin. Wir stellen Ihnen darin die Arbeit des Preisträgers Nicolai Häni unseres SGA Förderpreises für Masterstudenten vor. In seiner Arbeit entwickelte Herr Häni ein Vision System, mit dem ein Roboter die Güte von Äpfeln an den Bäumen auf grossen Plantagen mithilfe von Bildauswertungen beurteilen kann, also ein typisches Merkmalerkennungssystem basierend auf Messungen. Diese Art der Auswertung von Messungen können dann für übergeordnete regelungstechnische Anwendungen von Nutzen sein. Von sensors.ch ist in diesem Bulletin ebenfalls eine Zusammenfassung der Bachelor Arbeit des sensors.ch Preisträgers Herrn Sven Schneeberger mit dem Titel «Time of Flight Distanzmessung» enthalten.

Wir begrüssen es, wenn sich jedes Jahr möglichst viele Nachwuchskräfte für diese Preise bewerben. Deshalb fordern wir Sie auf, Werbung für diese Preise zu machen.

Wir hoffen, Sie finden noch weitere nützliche Informationen in dieser Ausgabe und wünschen Ihnen noch ein gutes Sommerende und einen guten Herbstanfang.

Mit freundlichen Grüssen
Peter Gruber



Kontakt

Dr. Peter Gruber
Grenzacherweg 116
4125 Riehen
pgconsult@gmx.ch

HSLU Technik & Architektur

Technikumstr. 21
6048 Horw
E-Mail: peter.gruber@hslu.ch

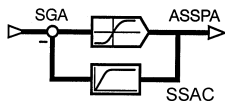
VORSCHAU – VORSCHAU – VORSCHAU

SGA Meeting 2017 findet am 1. Februar 2017 an der HSLU Technik & Architektur in Horw statt. Im Rahmen des Meetings werden die diesjährigen Förderpreise verliehen. Detailinformationen werden wir Ihnen Ende des Jahres zustellen. Für die Teilnahme am Meeting sollten Sie sich schon heute den Termin vormerken.

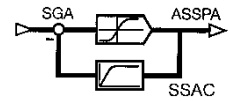


Inhalt

Editorial	1
SGA Generalversammlung 2016	2
Besichtigung Jura Cement Werk Wildeg	2
SGA Förderpreis Master Thesis 1. Preis	5
Termine und Infos	14
Ausschreibung SGA Förderpreis	14
Ausschreibung SATW Fördergelder	14
sensors.ch Generalversammlung	15
sensors.ch Preis 2016	16
vierter internationaler Wettbewerb iCAN'16	18
Firmenbesuch VOLPI AG	20
Pressemitteilung des AMA Verbandes	21
Firmenbesuch Endress+Hauser Flowtec AG	22
sensors.ch kommende Veranstaltungen	24



SGA-Generalversammlung



Die diesjährige Generalversammlung wurde am 31. Mai 2016 im Anschluss an die Besichtigung der Firma **jura cement** abgehalten.

Erfreulicherweise konnten vom Präsidenten Jürg Keller 22 Personen begrüsst werden. Das Protokoll der GV finden Sie im Anhang am Ende des Bulletins. Herzlichen Dank für Ihr Kommen.



Besichtigung **jura cement** – Werk Wildegg

Anlässlich der diesjährigen Generalversammlung bot uns das Zementwerk Wildegg, der Firma «**jura cement**» die Möglichkeit das Werk zu besichtigen. Herr Jürg Hitz, Leiter Technik, hat uns in einem ersten Teil anhand von Folien den Werdegang des Zementwerkes und die Produktion des Zements näher gebracht.

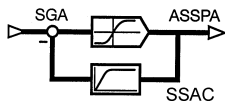
Dabei erfuhren wir, dass Zement ein zentraler Bestandteil des Betons ist und dass jährlich über 4 Millionen Tonnen in den 6 Zementwerken der Schweiz produziert werden.

Der Standort Wildegg hat ein jährliches Produktionsvolumen von 800 000 Tonnen – ca. 14'000 Güterwaggons oder 18 % der gesamten Schweizer Produktion.

Zement wird in 4 Produktionsschritten hergestellt. An erster Stelle steht der Abbau von Kalkstein und Mergel im Steinbruch. Diese natürlichen Rohstoffe sind in der Region ausreichend vorhanden. Noch vor dem Abbau wird eine Deckschicht aus Humus und Unterboden abgetragen, der bei der späteren Rekultivierung wieder zum Einsatz kommt.

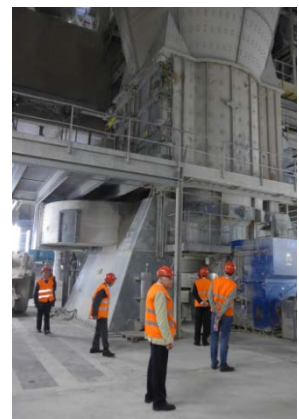
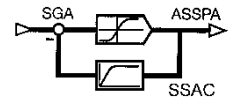


Das Material wird nach der Sprengung zum Brecher gebracht, wo es weiter verkleinert wird. Der Transport erfolgt umweltschonend über Förderbänder zwischen Steinbruch und dem Zementwerk. Wie man sieht, ist auch die Aare kein Hindernis.



Eine Rohmehlmühle verarbeitet das Gestein zu feinem Steinmehl. Zudem trocknet die heisse Abluft des Wärmetauscherturm das Rohmaterial. Durch den Einsatz eines Homogenisier-Silos wird auf eine möglichst konstante chemische Zusammensetzung geachtet.

Im Drehofen wird in der Sinterzone bei 1450 °C unter ständigem Drehen des Ofens das Rohmaterial zu Zementklinker gebrannt. Der Zementofen ist 56 m lang und besitzt einen Durchmesser von 3,8 Metern.



Im Zementwerk werden in der Schweiz anfallende Abfallstoffe sinnvoll verwertet. Dadurch wird der Energiebedarf zu 75 % mit alternativen Brennstoffen abgedeckt. Im wesentlichen wird dadurch der Einsatz von Steinkohle minimiert. Als Abfallstoffe werden Altöl, Lösungsmittel, Trockenklärschlamm, sterilisiertes Fleischmehl, Kunststoffe, Papierfangstoffe und Altreifen eingesetzt und zur Erzeugung der Prozesswärme verwendet.

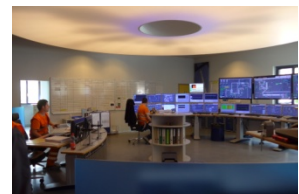
Nach dem Abkühlen besitzen die Zementklinker bereits alle Eigenschaften von fertigem Zement. Die tennisballgrossen Brocken werden zur besseren Verarbeitung aufgebrochen und müssen jetzt nur noch in der Zementmühle gemahlen werden.

Alle diese Verarbeitungsschritte werden rund um die Uhr überwacht. Dieser Kontrollraum fand natürlich grosses Interesse bei den SGA Besuchern.

Danach steht dem Versand nichts mehr im Wege. Nur ca. 5 % in Säcken, der Rest als Losezement. Die Hälfte wird auf der Schiene transportiert und der Rest kommt per LKW zum Kunden.

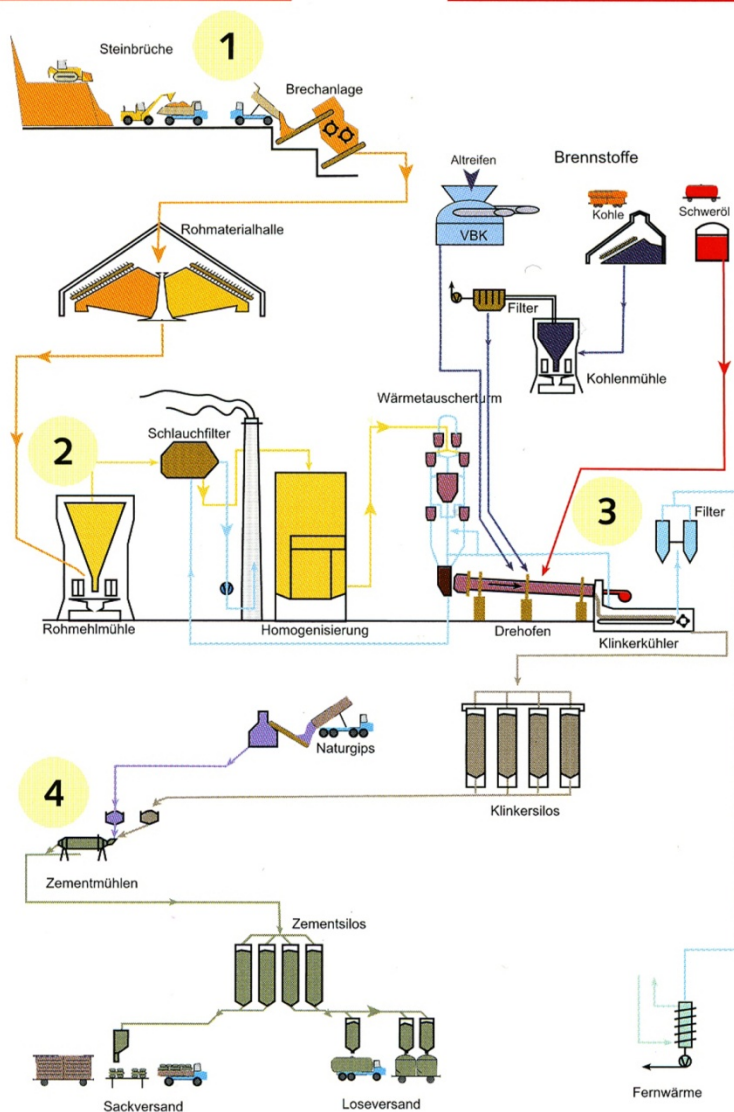
Für alle die nicht an dieser interessanten und beeindruckenden Führung teilnehmen konnten besteht die Möglichkeit eines virtuellen Besuches unter folgendem Link:

[Virtuelle-Fabrik](#)



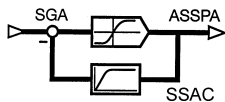
Zement wird in vier Produktionsschritten hergestellt. Der Prozess beginnt mit dem Abbau von Kalkstein und Mergel im Steinbruch **1**. Das Rohmaterial gelangt nach dem Mahlen **2** über den Wärmetauscherturm in den 57 m langen Drehofen **3**. Bei einer Temperatur von 1450° C wird das Rohmehl in einem chemischen Prozess zu Klinker gebrannt. Aus diesem Zementklinker entsteht nach der Mahlung **4** und der Zugabe von Gips das Endprodukt Zement.

Herstellung



An dieser Stelle vielen Dank der SGA an Herrn J. Hitz für die interessante Führung und das zur Verfügung gestellte Infomaterial (Basis dieses Beitrages) sowie der Firma Jura Cement die uns die Besichtigung ermöglicht und das Wohlfahrtshaus für unsere GV zur Verfügung gestellt hat.





SGA Förderpreis 2015

Der Förderpreis 2016 für die beste Masterarbeit wurde nach der Präsentation beim SGA Meeting am 21. Januar 2016 an Herrn Nicolai Häni vergeben. (siehe auch Bulletin Nr. 73 Seite 3).

Diese MSE Master Thesis hat den Titel:

«Design and Implementation of an Eye-in-Hand Vision System for Orchard Inspection»

Autor:
Nicolai Häni
MSE Industrial Technologies
Advisor ZHAW:
Dr. Dejan Scatovic
Advisor UMN:
Dr. Volkan Isler

Bei der Eingabe der Arbeit schrieb Herr Häni:

«Das Interesse in Methoden zur Automatisierung der Landwirtschaft, getrieben von einem erhöhten Bedarf an Lebensmitteln, der mangelnden Verfügbarkeit von saisonalen Arbeitskräften und einem gestiegenen Bedürfnis an Produkten höchster Qualität ist signifikant. Als ein Resultat dessen werden verschiedenste Roboter und andere Maschinen entwickelt um Arbeiten wie Unkraut jäten, ernten von Früchten und Gemüsen sowie Pestizid und Dünger Applikation zu automatisieren. Das Ausführen solcher Aufgaben in einem unstrukturierten Umfeld, wie zum Beispiel Obstplantagen, ist ein herausforderndes, neues Betätigungsfeld im Gebiet der Robotik.»

Diese Masterarbeit wurde in Kooperation mit dem Robotic Sensor Network Laboratory an der University of Minnesota durchgeführt, welches sich auf Anwendungen in der Umweltrobotik spezialisiert hat. Das Projekt hat zum Ziel eine Apfelplantage mit Hilfe von verschiedensten Robotern zu kartieren, um den Bauern nützliche Statistiken zu liefern wie zum Beispiel die Anzahl und Grösse der Früchte. Um zusätzlich Aussagen über die Reife der Früchte machen zu können und eventuell vorhandene Insekten, Infektionen oder Krankheiten zu bekämpfen, wird ein mobiler Roboter zur Nahinspektion der Früchte entwickelt. Informationen dieser Art erlauben es dem Bauer seine Ressourcen gezielter einzusetzen.»

Es freut uns, dass es Herrn Häni gelungen ist eine Freigabe für den nachfolgenden Artikel zu erlangen. Besten Dank!

Zur Beachtung: Der nachfolgende Artikel unterliegt dem Copyright

«© 2016 IEEE. Personal use of this material is permitted. Permission from IEEE must be obtained for all other uses, in any current or future media, including reprinting/republishing this material for advertising or promotional purposes, creating new collective works, for resale or redistribution to servers or lists, or reuse of any copyrighted component of this work in other works.»

Visual Servoing in Orchard Settings

Nicolai Häni¹ and Volkan Isler²

Abstract—We present a general framework for accurate positioning of sensors and end effectors in farm settings using a camera mounted on a robotic manipulator. Our main contribution is a visual servoing approach based on a new and robust feature tracking algorithm. Results from field experiments performed at an apple orchard demonstrate that our approach converges to a given termination criterion even under environmental influences such as strong winds, varying illumination conditions and partial occlusion of the target object. Further, we show experimentally that the system converges to the desired view for a wide range of initial conditions. This approach opens possibilities for new applications such as automated fruit inspection, fruit picking or precise pesticide application.

I. INTRODUCTION

There is significant interest in automating farm tasks driven by increasing demand for food, insufficient labor availability and widespread use of precision agriculture methods. As a result, various robots and other machinery are being developed for weeding, picking, fertilizer or pesticide application and similar tasks. Performing these in an autonomous fashion in unstructured environments such as orchards is a challenging next frontier for robotics.

In this paper we focus on the development of an autonomous system for close up apple inspection. Suppose a robot has identified a fruit in its field of view and must place an end effector or a sensor to a given pose with respect to the fruit. For example, many apple diseases start at the stem or the blossom ends of the fruit, which are not easily observable from an outside view [1]. Instead, a camera mounted on a manipulator can be used to perform close-up inspection of the fruits. Another interesting field of application is automated acquisition of empirical data. Various works have used Near Infra-Red (NIR) technology to measure parameters such as the content of fructose, glucose, the internal moisture of the fruit and their acidity [2]. While these tasks are currently performed either manually or automated after the picking of a fruit, a fully autonomic framework which allows for inspection in the field throughout the growing process is desirable. The resulting sensor placement task resembles a classical visual servoing problem for which there exist two primary approaches [3]:

- 1) Image Based Visual Servoing (IBVS) approaches use observations of distinctive features and their desired final locations in the image plane to compute the

camera movement. Common features used are point features or more general geometric features such as lines and ellipses.

- 2) Position Based Visual Servoing (PBVS) approaches estimate the object's pose using an accurate 3D model of the object. The necessary camera movement is computed using the comparison between the object pose and a desired view pose of the camera.



Fig. 1. Robotic system for close up inspection in apple orchard setting

In the case of outdoor apple fruit inspection, both approaches have limitations. The PBVS approach is well known to have stability issues when calibration errors or errors in the computed pose are introduced into the system [4]. The variability of apple shapes as well as the presence of environmental conditions such as inconsistent illumination and/or partial occlusion of the target make this approach unsuitable for our setup. IBVS approaches on the other hand have stability issues when the image Jacobian becomes singular as we will see later in this paper. We will further see how this issue can be overcome by the correct choice of image features. Further it is challenging to define IBVS features a priori for a wide variety of shapes and to track them as their visibility and illumination changes. *Our primary contribution is an approach to overcome these challenges.*

Our work is based on the assumption that in a previous step a partial or complete model of the environment was acquired, and the target fruits have been identified. Further, we assume that the target pose is within the reach of the manipulator. One justification of this assumption is that approximate locations of fruits can be identified in a surveying step e.g., using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) [5] which can be used to *roughly* place the base near the fruit. The focus of this paper is on the following step of *precisely*

¹Nicolai Häni is with Zurich University of Applied Sciences and currently a visiting scholar at University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, USA, haeni001@umn.edu

²Volkan Isler is with the Department of Computer Science and Engineering, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, USA isler@cs.umn.edu

placing the end effector with respect to the identified fruit. We start the paper by reviewing related work, after which we present an overview of our system. Section III will introduce the underlying geometric model and justify our selection of the feature vector. Afterwards we present in Section IV the computation of the initial position together with our choice of servo controller (which was developed by F. Chaumette in [6]). Our main contributions, namely the robust tracking approach and experimental validation both in controlled indoor and outdoor settings are presented in Sections V and VI.

II. RELATED WORK

Vision based manipulator control, commonly known as visual servoing, is an established research area. Early approaches date back to 1979 when Hill and Park introduced the terminus system [7]. Today, well-established methods are routinely used in controlled settings such as factory floors [8]. Extending these approaches to dynamic environments with inconsistent or changing illumination and occlusions remains an active research domain.

Recent work by Panday et al. [9] uses a linear combination of 3D models to provide visual servoing for various object categories. This approach uses a pose estimation which is possible due to the unambiguous nature of the models, the availability of accurate 3D model instances and a setup which offers consistent illumination and does not contain clutter or occlusion. Kurashiki et al. [10] used an IBVS approach to control a mobile robot to follow a road boundary. Although the approach has been tested in indoor and outdoor environments so are the extracted features only used to enhance the scalability of additionally acquired LIDAR data. Other proposed approaches used visual servoing techniques to completely or partially control UAV's in outdoor environments. Mondragon et al. [11] implemented a 3 Degree Of Freedom (DOF) controller for continuous following of a 3D moving target by a UAV. The approach is robust to illumination changes and dynamic enough to filter wind disturbances. The single target however is rather large and clearly distinguishable from the background. In our approach we go a step further by providing object tracking in cluttered, occluded environments where multiple, small targets are present in the images. Mahony et al. [12] track parallel lines to maneuver a UAV. They provide a controller designed specifically for the UAV's kinematic setup together with simulations but unfortunately no analysis of the controllers behavior in outdoor environments. I. Sa and P. Corke [13] used a line tracker for tracking of a pole in indoor and outdoor environments. In outdoor environments an IMU sensor is used for model prediction and they compare their tracker to the moving edges tracker implemented in the VISP library [14]. Although their approach beats the VISP tracker this comes as no surprise as they are able to rely on the IMU data for model prediction that allows for an active recovering after dropped frames. In our approach we only use the image data to control a robot and we provide a mechanism for recovering solely from visual data. None of

the mentioned approaches take occlusions into consideration and the controllers are only used in non-, or semi-cluttered environments. With our proposed solution we overcome these limitations by introducing appropriate features, an approach for tracking them and experiments to validate our approach in field conditions.

III. OVERVIEW OF THE APPROACH

A schematic overview of our approach is given in Figure 2. We assume the availability of a preprocessing step that places the robot base near the fruit. The following visual servo control loop relies on the detection and tracking of features.

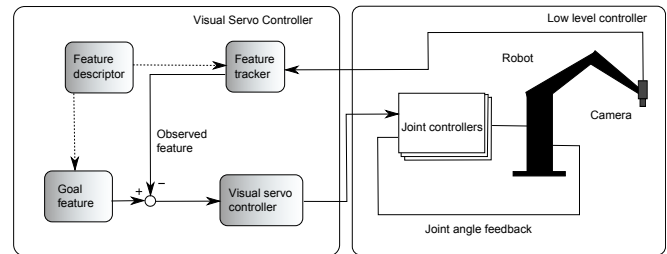


Fig. 2. Overview of our approach

A. System Description

The system setup, shown in Figure 1, consists of a 6 DOF Kinova Mico robotic manipulator and an Asus Xtion sensor which is rigidly mounted on the robots end effector. The system can be mounted on an Unmanned Ground Vehicle (UGV) such as the Husky developed by Clearpath robotics. While the depth information from the sensor is valuable, *the IBVS approach presented here relies only on the RGB component of the input images*. There are two reasons for the choice of using RGB data as our control input. (i) The main reason is that acquisition of depth data by sensors such as the Asus Xtion or the Microsoft Kinect requires the projection of a light pattern in the NIR spectrum (around 800 nm) onto the environment. By observing this pattern with a special NIR camera the depth information can be computed by comparing the observed pattern to an undistorted one. In the presence of strong illumination sources, which is typical in outdoor settings, the depth information is not available as the sun superimposes the laser information. (ii) The Asus Xtion in our case requires a minimum sensing distance of approximately 0.8m which makes it inappropriate for some close-up inspection tasks. However, we use the RGB-D platform for this project because it offers an inexpensive color camera with a resolution of 640×480 pixel at 30fps. Due to its lightweight construction, it is ideal for an eye in hand configuration.

Although IBVS approaches are known to be robust with respect to calibration errors as well as errors in the computation of the feature depth Z [15] our approach depends on the transformation of the camera velocities into robot velocities. For this purpose, we used the hand-eye calibration method proposed by Tsai and Lenz [16] to calibrate our system.

B. Low level controls

The low level controls were provided by the manufacturer and executed on an embedded controller inside the manipulator. It consists of a PID controller and a ROS interface that allows us to control the robot using position or velocity commands in Cartesian or joint space. This design has one major drawback: during the testing stage it turned out that the velocity controller puts several thresholds on the inputs. Any velocity that falls under this threshold is simply filtered out by the controller. In our visual servoing approach the resulting camera velocities become small as we get closer to the target. We overcome this limitation by using an adaptive-, instead of a constant gain. This adaptive gain increases the velocities incrementally when the feature error becomes small.

C. High level controls

The high level control framework is based on modular software packages we developed: a hardware abstraction of the robot is used as its software representation. It keeps the internal states up to date and communicates with the hardware. A tracker instance is responsible for the visual feature detection. The features are handed over to the visual feedback controller which generates the camera velocities using a visual servoing control law. Using the hardware abstraction and the computed robot Jacobian we compute the resulting robot velocities by transforming the camera velocities into the robot coordinate frame with

$${}^r v_r = \begin{bmatrix} {}^r R_c & S({}^r T_c) {}^r R_c \\ 0_{3 \times 3} & {}^r R_c \end{bmatrix} {}^c v_c \quad (1)$$

where r denotes the robots-, and c the camera's coordinate system. S is the skew symmetric matrix of the angular velocities $\omega(t)$, R is the rotation and T the translation between those coordinate systems. The states of the rotation and translation are updated at every time step t and kept in the hardware abstraction layer. The visual servoing control law was implemented using the Visual Servoing Platform (VISP) from the Lagadic Research Laboratory in Rennes, France [14].

D. Modeling of the Feature Vector

Providing automated visual inspection of apple fruits enforces constraints on the selection of the visual feature vector, namely:

- The have to provide valid and consistent features for a variety of object shapes and textures.
- The features have to lead to a stable control law.
- The chosen features have to be robust with respect to illumination changes and partial occlusion of the target.

Point features, although well established in visual servoing research, can not be used in our setup as no consistent apple shapes and textures are present. A position based approach is not taken into consideration as it requires accurate, unambiguous 3D models and an accurate calibration method.

To define a feature vector for a variety of shapes we approximate the apple shape by a sphere and use its projection into the image plane as our visual feature. The projection of a sphere in the image plane is an ellipse or a circle in the case where the sphere and the camera's optical axis align. However experiments using elliptical features that were manually initialized and tracked using a moving edges tracker (MET) showed that illumination changes and occlusion lead to holes and deformations of the boundary.

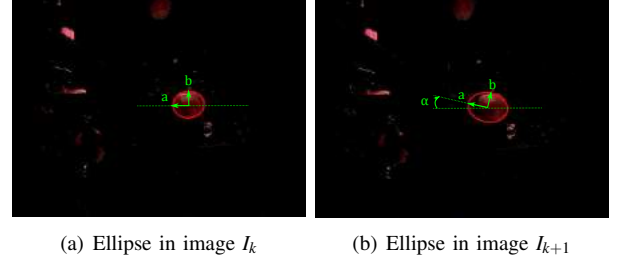


Fig. 3. Ellipse tracking using MET in two consecutive images. The contour jumps between two consecutive frames.

These deformations impair the estimation of the ellipse parameters and lead to ellipses which rotate around their optical center as seen in Figures 3(a) and 3(b). This rotational movement introduces large rotations in the computed velocity vector v_c which in turn leads to an oscillating behavior of the robot until the features leave the cameras field of view.

Instead of using manually initialized elliptical features and the MET approach we impose two hypothesis on our feature vector, namely that the ellipse's major axis a and its minor axis b relate roughly as $a \approx b$ and that the rotation angle α between the images x -axis and the ellipse's major axis a is $\alpha = 0$. This means that the rotation of the camera around its optical axis becomes obsolete which reduces our controller design from a 6 DOF to a 5 DOF controller.

IV. INITIALIZATION AND VISUAL SERVO CONTROLLER

In Section III we formulated the assumption that a preprocessing step generates a model of the environment. Further the model of an apple is approximated by a sphere in $\mathbb{R}^3$ which is defined as

$$(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2 - R^2 = 0 \quad (2)$$

with point (X_0, Y_0, Z_0) being the origin of the sphere. To simplify notation we write sphere $S(O, R)$ with O being the spherical models center point and R being the radius of S . We use this spherical model to define an initial view plane that is used as the starting point of our visual servoing control law. Given a point $P_i \in \mathbb{R}^3$ with coordinates (X_i, Y_i, Z_i) which has to be inspected, we define a tangential plane U to point P_i with

$$AX + BY + CZ - D = 0 \quad (3)$$

that has normal vector $n = (A, B, C)$. Without computing the plane parameters we can define the plane's normal vector using the sphere center O and point P_i as

$$n = \frac{\vec{OP_i}}{\|\vec{OP_i}\|} \quad (4)$$

Using this normal vector we define an initial position of the camera along the normal at distance d . In case of availability of a perfect model of the environment and a static target apple we could define distance d between target apple and the camera position to be the final inspection distance. As this is not the case we select distance d big enough so that the whole sphere is guaranteed to be observable considering the dynamics of the system and potential errors in the model. In Section VI-A, we present experiments to identify the region within which the proposed feature selection and tracking approach are robust to deviations from the optimal viewing angle.

We now present the servo law: A visual servoing approach is defined by minimizing an error function $e(t)$, defined as the difference between an observed visual feature vector s and their desired location s^* in the image plane which can be written as

$$e(t) = s - s^* \quad (5)$$

The time variation of the features in the image plane $\dot{s}$ is related to the cameras velocity v_c by

$$\dot{s} = L_s v_c \quad (6)$$

in which L_s is called the interaction matrix or the image feature Jacobian, related to s . The time variation of the error function is related to the camera velocities similarly by

$$\dot{e} = L_e v_c, \text{ where } L_e = L_s \quad (7)$$

Using an exponential decrease of the feature error during the visual servoing is defined as $\dot{e} = -\lambda e$. By using (7) and the exponential error decrease we get an equation that relates the feature error to the cameras velocity by

$$v_c = -\lambda L_e^{-1} e \quad (8)$$

We approximate our target object by a sphere which projects to the image plane as an ellipse with center (x_0, y_0) of the form

$$\frac{((x-x_0)\cos(\alpha) + (y-y_0)\sin(\alpha))^2}{a^2} + \frac{((x-x_0)\sin(\alpha) + (y-y_0)\cos(\alpha))^2}{b^2} - 1 = 0 \quad (9)$$

This ellipse is parametrized by 5 parameters: its center point (x_0, y_0) , major axis a , minor axis b and the angle α between the major axis and the image's x -axis. A visual servoing approach using ellipse features was proposed first by Chaumette [6]. Instead of using the angular function α directly he proposed to use parameter $t = \tan(\alpha)$.

It can easily be seen that this approach becomes degenerate in the case when the projection of the sphere becomes a

circle as t is then undefined. This is of course always the case when the cameras optical axis and the sphere center are aligned which would make this approach unsuitable for our purpose. Chaumette [6] addressed this problem by using the ellipse's center of gravity (x_0, y_0) and the normalized inertial moments $(\mu_{20}, \mu_{11}, \mu_{02})$ to parametrize the feature ellipses. In this case μ_{20} and μ_{02} describe the variance in x and y direction respectively and the moment μ_{11} is the covariance between μ_{20} and μ_{02} and describes the orientation of our circle. By defining the observed feature vector as $F_o = s(x_0, y_0, \mu_{02}, \mu_{11}, \mu_{20})$ and the target features as $F_d = s^*(x_0^*, y_0^*, \mu_{02}^*, \mu_{11}^*, \mu_{20}^*)$ we compute the visual servoing error $e = s - s^*$ as

$$e = s - s^* = \begin{bmatrix} x - x^* \\ y - y^* \\ \mu_{20} - \mu_{20}^* \\ \mu_{11} - \mu_{11}^* \\ \mu_{02} - \mu_{02}^* \end{bmatrix} \quad (10)$$

Using this feature vectors leads to the interaction matrix whose derivation is presented in [6]. We note that the interaction matrix requires computation of the feature depth Z which is not trivial. In our case we can use the results of the preprocessing step which gives us an estimate of the model and it's parameters. This way, we obtain an approximation of the target apple's diameter d_A with which we compute the feature depth Z as follows

$$Z = -f \frac{d_A}{w_p \mu_p} \quad (11)$$

with the cameras focal length f (mm), the observed ellipses diameter w_p (pixel), the image pixel size μ_p (mm/pixel) and the model's diameter d_A (mm). Lastly we define our convergence criteria for the algorithm as the sum of squared feature errors which can be written as

$$e = \sum_{i=1}^n (s_i - s_i^*)^2 \quad (12)$$

V. THE VISUAL FEATURE TRACKER

Tracking methods such as the moving edges tracker [17] have been shown to work well in indoor environments. Testing these methods in the apple orchard setting revealed three challenges when using such an out of the box tracker:

- The target has to be specified manually.
- The tracker is not robust to illumination changes.
- In a dynamic outdoor environment the standard tracker loses track of the manually specified target apple after an average of three iterations.

To address these challenges, we developed a custom visual feature detection and tracking approach which is initialized as seen in Figure 4.

A first image I_k is acquired in which we search for possible target apples $F_i(O_i, r_i)$ where $O_i(x_i, y_i)$ is the observed projections center point. This search is carried out by an adaptive Hough transform (HT) search in the image. Using only a Hough transform as tracking input would have various

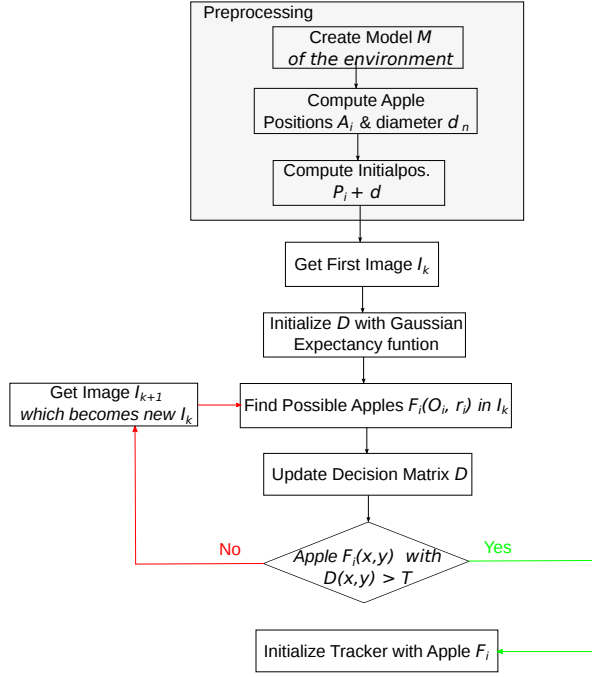


Fig. 4. Preprocessing and initialization of the feature tracker

shortcomings: (i) The HT depends on various parameters that have to be tuned for each image which makes it unsuitable for a fully automatic approach. (ii) The HT does not provide a mechanism for accurate selection of a target out of multiple possibilities according to spatial location and radii criteria. (iii) If the parameters do not match well, the HT algorithm returns possible targets that are not apples. For our adaptive HT we vary the parameters from coarse to fine to find an unsorted structure of possible targets and use this only as an estimate of possible targets. This is a necessary step as an image may very well include more than one apple at any time. To select a target apple from the set of possible targets we create a decision matrix D . This matrix is initialized with a kernel K which maps our expectation of location and radius of the projection of our selected apple in the image plane. In other words we use a Gaussian kernel with expected projection radius r_p at the image's principal point $O_p(x_p, y_p)$.

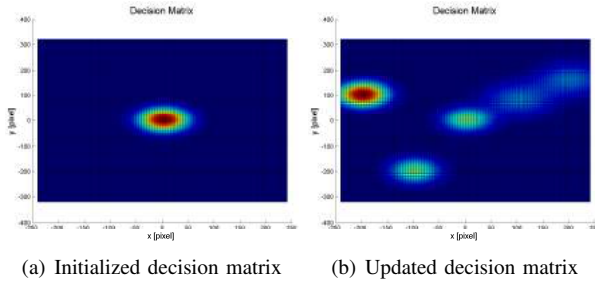


Fig. 5. Decision Matrix initialized and after update cycles

After initialization of the decision matrix we use the found vector of possible targets to update the decision matrix using weighted probabilities for each observed candidate target to

create kernels K_i . In a first step we sort all target apples according to a confidence score c_s that takes the spatial location and the projected radius into consideration as

$$c_s = \left| \frac{x-x_0}{x_0} \right| + \left| \frac{y-y_0}{y_0} \right| + \left| \frac{r-r_0}{r_0} \right| \quad (13)$$

with (x, y, r) being the center point and radius of the observed feature projection and (x_0, y_0, r_0) being the ideal center point and radius of the projection in the image. We use our confidence score to sort the probable targets.

In the next step we assign evenly distributed, normalized weights to the sorted targets F_{is} . If the adaptive HT returns $i = (1, \dots, N)$ possible targets then we assign a weight w_i to the sorted targets with

$$w_i = \frac{i}{\sum_{i=1}^N i} \quad (14)$$

From our initialization process we know that a target apple is present in the image space. The probability that the desired apple is contained in the image is therefore

$$P(I|F_s) = 1 \quad (15)$$

From this we are able to write the probability assigned to each possible target as

$$P(I|F_{is}) = P_i(I|F_s)w_i \quad (16)$$

Using these probabilities we define updating kernels K_i as

$$K_i = w_i \left(\frac{(x-x_i)^2}{2r^2} + \frac{(y-y_i)^2}{2r^2} \right) \quad (17)$$

K_i is another Gaussian kernel that is computed using the possible targets center point, the observed features radius r which is the average of the minor and major axis of the observed ellipse and the amplitude $V = P(I|F_{is})$. The decision matrix is updated with each kernel by adding them to the decision matrix at their prospective location (x_i, y_i) . The usage of position and radius to compute the sorting of our weighting scheme for potential apples increases the robustness of the whole tracking approach as it filters out false positives. This update process is repeated for every image $I_k \leftarrow I_{k+1}$ until a kernel meets the selection criteria S_c .

Our selection criteria is defined as $S_c = D(x, y) > T$ where T is a threshold that is empirically selected to require a minimum of two and a maximum of five update cycles to find our selected target apple. Next the visual feature tracker is initialized with the current image and the decision matrix.

Using this target we define a circular ROI R that contains the target which becomes our new search space. Using the freeman chain code in this region we find a vector of n boundaries from which we use the longest one as the representation of the boundary of our target. Using the boundary points p_i we compute an elliptical model for the observed target, using the RANSAC algorithm to eliminate

boundary points that do not belong to the target's boundary such as defects or holes.

Algorithm 1 Feature tracking algorithm after initialization

Input: I_k , Selected Apple features F_s from initialization (Figure 4)

- 1: Update D with the position of the selected $F_s(x_s, y_s, r_s)$
 - 2: Create Region Of Interest (ROI) $R(x_s, y_s, r_s)$ from F_s that satisfies S_c
 - 3: **while** $F_s(x_s, y_s) \neq I_k(x_p, y_p)$ **do**
 - 4: $I_k \leftarrow I_{k+1}$
 - 5: **if** F_s not found in R and $R < I_k$ **then**
 - 6: Increase size of R
 - 7: **else if** $R > I_k$ **then**
 - 8: Reset D to force reinitialization of the tracker
 - 9: **else**
 - 10: Update D and R with $F_s(x_s, y_s, r_s)$
 - 11: Compute feature vector $F_o(x_o, y_o, \mu_{02}, \mu_{11}, \mu_{20})$ from boundary points $p_i(x_i, y_i)$
 - 12: Pass F_o to the visual servoing control law
 - 13: **end if**
 - 14: **end while**
-

Using the left over points we compute the observed feature vector $F_o(x_o, y_o, \mu_{02}, \mu_{11}, \mu_{20})$ with $(x_o, y_o) = \frac{1}{N} \sum_i^N x_i, \frac{1}{N} \sum_i^N y_i$ and the moments are computed using

$$\mu_{ij} = \sum_x \sum_y (x - x_o)^i (y - y_o)^j \quad (18)$$

The robustly estimated feature vector F_o is the tracker's output and is passed to the visual servoing algorithm. Using our tracking approach guarantees the robustness of the visual servoing controller with respect to occlusion and illumination changes. To update the tracker we repeat the steps until convergence is achieved. This assures that the once selected apple is being tracked as we continuously use information from former frames I_{k-1} . This is embedded in the decision matrix. One can see that if the tracker does not find a valid target in R we increase the size of the ROI incrementally to the whole image space. If the ROI consists of the whole image space we reset D and force a reinitialization of the tracker.

VI. EXPERIMENTS

For the validation of our approach we extensively tested the system in indoor and outdoor settings. The reader can view videos of some of these experiments in the accompanying video.

A. Indoor Experiments

To evaluate the initial behavior of the system, we first performed experiments in a controlled, indoor setup. Controlled refers here to constant illumination and static target objects as there is no wind. For the indoor experiments a 3D model of an artificial tree was constructed from which the apple locations and initial sensor position were computed.

The initial position was selected 0.5m away from the apple in $-y$ -direction and as a convergence metric we use the residual sum of squared feature errors which has to converge to $e < 0.0001 \text{ mm}^2$ between desired and observed features.

For the following experiments we show three Figures: (i) The first figure shows the target apple at the initial position. The target apple's observed projection is shown in green and the desired projection is shown in red. (ii) The second figure shows the target apple when convergence is achieved. (iii) Finally we plot the error convergence and the computed velocity vectors.

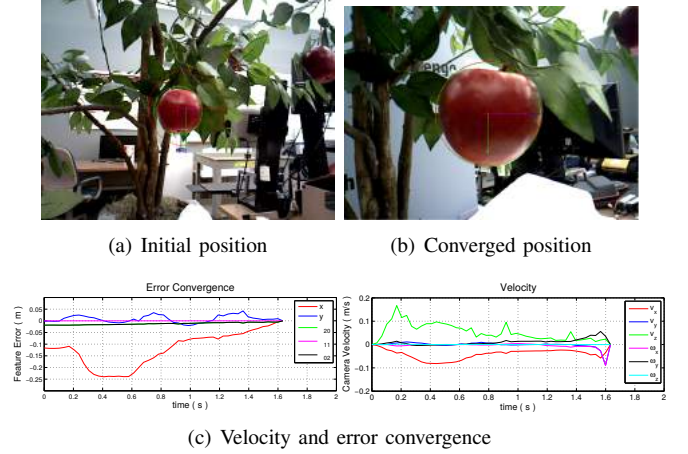


Fig. 6. Indoor experiment under controlled conditions

For the first experiment we observe that the apple is initially in proximity of the principal point of the image. The error in y -direction first gets larger as the robot tries to minimize the maximal error which is in the camera's z -axis. After about 1.5s the error converges.

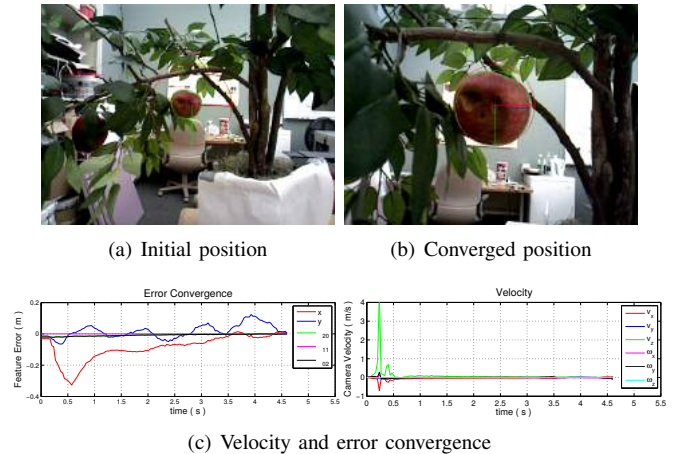


Fig. 7. Close up inspection of a real fruit with disease

In the next experiment the convergence was tested using an apple with diseases which are visually detectable as patches of dark texture and holes in the apples surface. The error in y -direction first increases while the error control law tries to minimize the main error in z -direction. The time increase is due to the increased distance between initial position and

target which makes the robot approach a singularity which leads to slow movements. One notices a large peak in the camera velocity. This is due to a large initial error and due to the fact that the adaptive gain increases the velocity. However we put limit maximal possible robot velocity to feasible values.

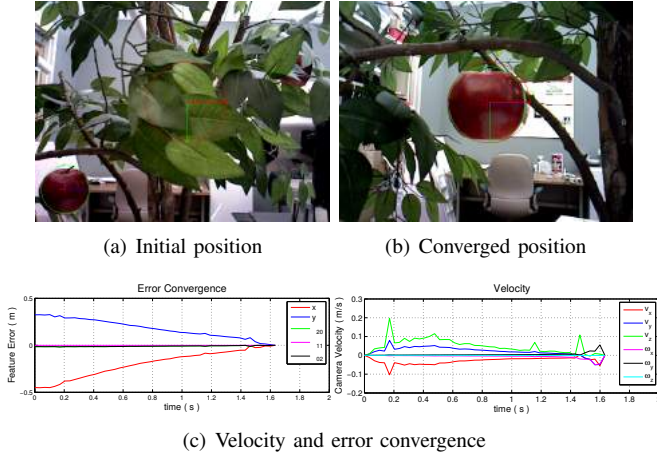


Fig. 8. Convergence when target location is at the lower left image corner

In the next experiment it can be observed that the error converges in cases where the target object is present in the lower left or the upper right corner of the image. The viewing cone for which we can guarantee convergence of the visual feature error is limited by the viewing angle of the sensor which is 43° in vertical and 57° in horizontal direction and the workspace of the manipulator which is in the interval $[0, 0.8]$ m.

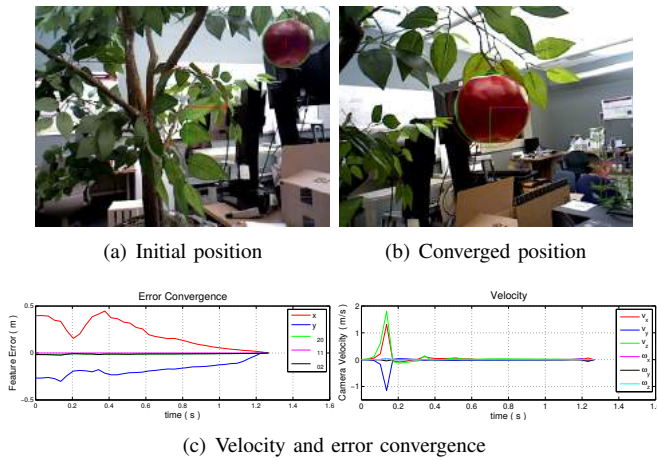


Fig. 9. Convergence when target location is in the upper right image corner

B. Field Experiments

The field experiments were conducted at the UMN Landscape Arboretum Horticultural Research Center in Eden Prairie, MN. In the outdoor experiments we had no 3D model of the environment and hence no model from which to compute the initial position. To show convergence in

outdoor settings we randomly selected a position of the robot approximately 0.5m away from the target in direction of the robot's $-y$ axis. However as these initial positions are only approximations of the true sensor locations and no ground truth is available the convergence times of the outdoor experiments can not be directly compared with each other or the indoor experiments.

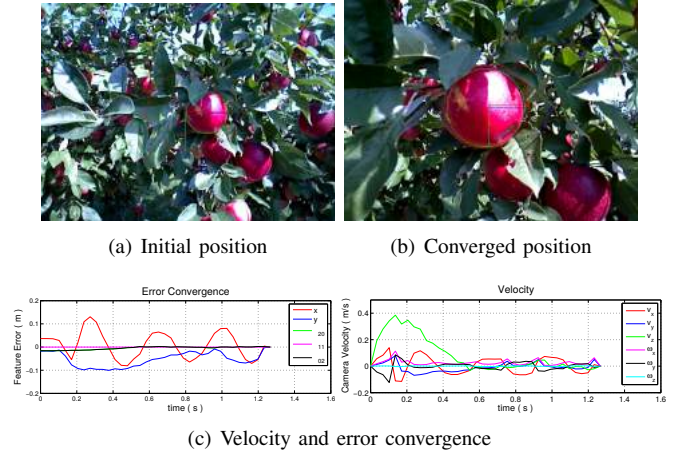


Fig. 10. Outdoor experiment with light wind (avg. 16km/h)

The experiments were conducted on a sunny day so that the apple surface is partially in the shadow and shows strong specular reflections on other parts of the apple. Further during the experiment the wind conditions were alternating with average wind speeds of 16km/h and peaks of up to 25.6km/h according to the National Weather Service. In Figure 10(c) we see the behavior of the control algorithm in such conditions. A slight oscillation of the feature error can be observed which is due to this system dynamics.

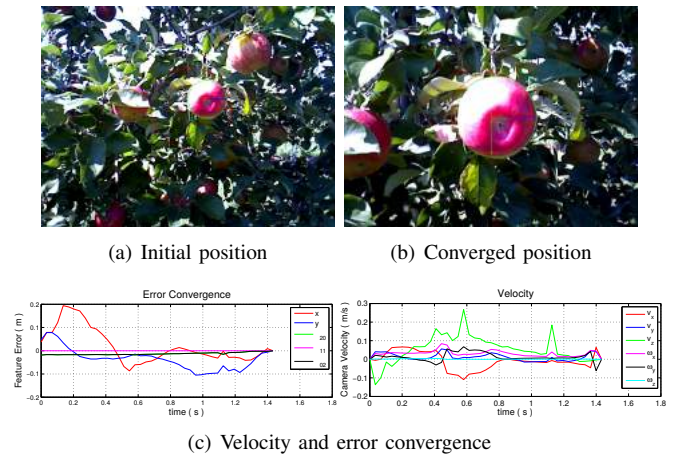


Fig. 11. Servoing on apple in bottom up view

To test our approach from a different view point, we chose a “bottom up configuration“ in which the camera looks up towards the blossoming point of an apple. Although approximately a third of the apple’s surface is under the influence of strong specular reflections we show in Fig. 11(a) that the apple can be identified and tracked correctly until

convergence is achieved in Fig. 11(b). Fig. 11(c) shows the convergence of the control law for this case. The oscillation of the controller is due to wind.

C. Partial Occlusion Handling

One of the problems in visual servoing is the handling of occlusions. We differentiate between two different cases: (i) Starting the visual servoing process with an occluded object in view and (ii) The occurrence of occlusions during the process. The occurrence and avoidance of occlusions during the process of visual servoing have been well studied in recent years. For an overview see Cazy et al. [18]. However in an outdoor setup like an apple orchard it is likely that already the initial view of a target object is occluded.

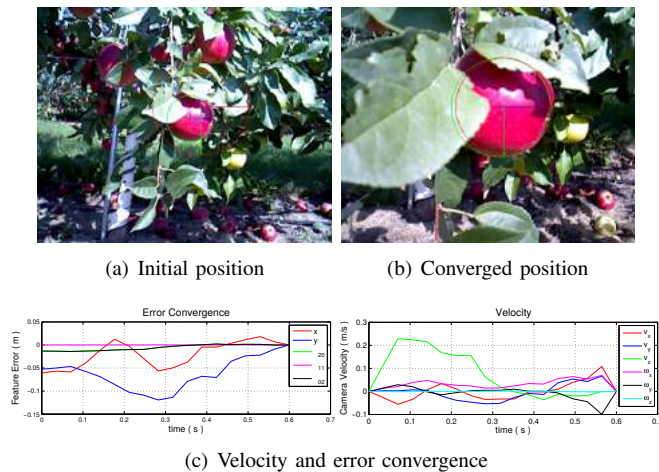


Fig. 12. Outdoor experiment with inconsistent illumination, partial occlusion

In this experiment the tracker has to handle partial occlusion as well as specular reflections and shadows. Although other apples are present in the image our tracker still focuses on the correct one thanks to the usage of decision matrix D . In Fig. 12(c) it can be seen that convergence is achieved when the initial view contains a partially occluded target object. The tracker can not handle an arbitrary amount of occlusion. As soon as more than 50% of the apple boundary is occluded the tracker is either not able to detect the apple or keep it in view over the whole visual servoing distance.

VII. CONCLUSION

In this paper, we presented a robotic system for close-up inspection of fruits in orchards. Specifically, we identified visual features and proposed a tracking mechanism, coupled with a servoing controller that we then tested in an orchard environment. Our technique overcomes challenges associated with illumination changes, occlusions and disturbances. Controlled indoor experiments as well as outdoor experiments in an orchard on a windy day validated the effectiveness of the approach. A direction for future research is to investigate the coupling of the controller with a mechanism to actively avoid occlusions. For this purpose it would be interesting to investigate the advantages of a stereo camera setup. In

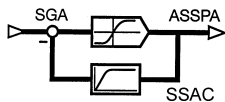
cases where the target feature (e.g. the stem end) is not visible, manipulating the scene (e.g. by moving a leaf) is a challenging, yet exciting, research direction.

VIII. ACKNOWLEDGEMENTS

We thank UMN Department of Horticultural Science for allowing us to perform experiments in their orchard. This work was supported in part by UMN MnDrive initiative, NSF grants # 1317788 and # 1111638, and USDA NIFA MIN-98-G02.

REFERENCES

- [1] W. F. Wayne, "Apple Scab Fact Sheet." [Online]. Available: <http://nysipm.cornell.edu/factsheets/treefruit/diseases/as/as.asp>
- [2] J. T. Alander, V. Bochko, B. Martinkauppi, S. Saranwong, and T. Mantere, "A Review of Optical Nondestructive Visual and Near-Infrared Methods for Food Quality and Safety," *International Journal of Spectroscopy*, vol. 2013, pp. 1–36, 2013.
- [3] E. Malis, "Survey of vision-based robot control," *ENSIETA European Naval Ship Design Short Course, Brest, France*, 2002.
- [4] F. Chaumette, "Potential problems of stability and convergence in image-based and position-based visual servoing," in *The confluence of vision and control*. Springer, 1998, pp. 66–78.
- [5] P. Roy, N. Stéfás, P. Tokekar, P. Cheng, H. Bayram, and V. Isler, "Robotic surveying of apple orchards," University of Minnesota, Computer Science and Engineering, Tech. Rep. 15-010, 2015.
- [6] F. Chaumette, "Image Moments: A General and Useful Set of Features for Visual Servoing," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 20, no. 4, pp. 713–723, Aug. 2004.
- [7] J. Hill and W. T. Park, "Real time control of a robot with a mobile camera," in *Proc. 9th ISIR*, Washington D.C., Mar. 1979, pp. 233–246.
- [8] S. Hutchinson, G. D. Hager, P. Corke et al., "A tutorial on visual servo control," *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, vol. 12, no. 5, pp. 651–670, 1996.
- [9] H. Pandya, K. Madhava Krishna, and C. V. Jawahar, "Servoing across object instances: Visual servoing for object category," in *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA'15*. IEEE, May 2015, pp. 6011–6018.
- [10] K. Kurashiki, M. Aguilar, and S. Soontonvanichkit, "Visual Navigation of a Wheeled Mobile Robot Using Front Image in Semi-Structured Environment," *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. Vol. 27, no. No. 4, pp. 392–400, Jan. 2015.
- [11] I. F. Mondragn, P. Campoy, M. Olivares-Mendez, and C. Martinez, "3d object following based on visual information for Unmanned Aerial Vehicles," in *Robotics Symposium, 2011 IEEE IX Latin American and IEEE Colombian Conference on Automatic Control and Industry Applications (LARC)*, Oct. 2011, pp. 1–7.
- [12] R. Mahony and T. Hamel, "Image-based visual servo control of aerial robotic systems using linear image features," *Robotics, IEEE Transactions on*, vol. 21, no. 2, pp. 227–239, 2005.
- [13] I. Sa and P. Corke, "Improved line tracker using IMU and Vision for visual servoing," in *Australasian Conference on Robotics and Automation*, 2013. [Online]. Available: <http://www.araa.asn.au/acra/acra2013/papers/pap116s1-file1.pdf>
- [14] E. Marchand, F. Spindler, and F. Chaumette, "Visp for visual servoing: a generic software platform with a wide class of robot control skills," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 12, no. 4, pp. 40–52, December 2005.
- [15] B. Espiau, "Effect of camera calibration errors on visual servoing in robotics," in *Experimental Robotics III*, T. Yoshikawa and F. Miyazaki, Eds. London: Springer-Verlag, 1994, vol. 200, pp. 182–192.
- [16] R. Tsai and R. Lenz, "A new technique for fully autonomous and efficient 3d robotics hand/eye calibration," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 5, no. 3, pp. 345–358, Jun. 1989.
- [17] E. Marchand and F. Chaumette, "Feature tracking for visual servoing purposes," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 52, no. 1, pp. 53–70, 2005.
- [18] N. Cazy, P.-B. Wieber, P. R. Giordano, and F. Chaumette, "Visual Servoing when Visual Information is Missing: Experimental Comparison of Visual Feature Prediction Schemes," in *ICRA'15-IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2015.



Termine – Links IFAC

Infos zu allen Veranstaltungen der IFAC können Sie direkt auf der SGA Webseite entnehmen. Es sind alle IFAC News aufgeschaltet.

Termine – IMEKO

Infos und Daten zu allen IMEKO Events entnehmen Sie bitte der [IMEKO Webseite](#)

Ausschreibung SGA Förderpreis

Die Ausschreibung des SGA Förderpreises läuft bis 4. Oktober 2016. Um den Preis bewerben können sich Bachelor-, Master- und MAS-Studierende von ETH, EPFL und Schweizer Fachhochschulen, die ihre Arbeit im Studienjahr 2015-2016 abgeschlossen haben. Detailinformationen unter www.sga-asspa.ch



Ausschreibung SATW Fördergelder

Projektanträge bzw. Fachförderungsgesuche können direkt bei der SATW mit Hilfe des Onlinetools eingereicht werden. Möglich ist dies mit dem Onlineformular der SATW
Download: [Projektantrag](#)

Die Gesuche für das Jahr 2017 können noch bis 19. 09. 2016 eingereicht werden.

Interessante Publikationen der SATW stehen unter folgendem Link zur Verfügung:

[Download](#) Publikationen

Neue Vorstandsmitglieder

Michael Hubatka und Ruprecht Altenburger wurden an der GV einstimmig gewählt.

Michael Hubatka hat an der Hochschule für Technik Rapperswil (HSR) Elektrotechnik studiert und anschliessend dort den Master of Science in Engineering absolviert. Bis 2012 war er im Labor für Regelungstechnik bei Prof. Dr. Markus Kottmann tätig und wechselte dann zur MECOS AG in Winterthur. Dort ist er als Control System Engineer tätig und nimmt Magnetlager in Betrieb. Er ist verheiratet und hat zwei Kinder.

Prof. Dr. Ruprecht Altenburger hat an der Universität Freiburg im Breisgau (D) Physik studiert und 2007 an der Universität in Stuttgart (D) promoviert (Dr.-Ing.). An ZHAW School of Engineering ist er als Professor für Regelungstechnik tätig.

Seine Arbeits- und Forschungsschwerpunkte sind

- Simulation mechatronischer Systeme
- gekoppelte Simulation von FEM-Modellen mit Regelung
- Prädiktivregelung
- Mehrgrössenregelung.



Impressum

Das Bulletin erscheint dreimal jährlich und wird den Mitgliedern per E-Mail zugestellt. Es ist für PDF und Bildschirm optimiert. Die gedruckte Version erscheint daher nicht im doppelseitigen Layout.

Redaktion SGA Dr. Peter Gruber
sensors.ch Peter Kirchhofer

Gestaltung SGA Sekretariat Christl Vogel

Auflage 150 Exemplare SGA + 150 Exemplare sensors.ch

Redaktionsschluss für Bulletin Nr. 75 – November 2016

Herausgeber

Schweizerische Gesellschaft für Automatik

Association Suisse pour l'Automatique

Swiss Society for Automatic Control

Adresse

SGA Sekretariat
Christl Vogel
Eggwilstr. 16a
CH.9552 Bronschhofen
Tel. 076 215 67 57

sekretariat@sga-asspa.ch

sensors.ch – Generalversammlung 2016

Am 14. Juni 2016 fand bei der Fa. Endress+Hauser Flowtec AG in Reinach/BL die ordentliche GV von sensors.ch statt. Im Anschluss an das vom Gastgeber offerierte Mittagessen in der grosszügig ausgestatteten Kantine konnten die anwesenden Mitglieder an einem Fabrikrundgang teilnehmen.

Aus der Traktandenliste der GV sind die folgenden Punkte vielleicht auch für Nicht-Mitglieder von Interesse:

Firmenbesuche

Der Präsident stellt eine Liste der sechs im Jahre 2015 besuchten Firmen vor:

- EMPA, Dübendorf (19. März 2015 mit 14 TN)
- Caran d'Ache, Genève (28. April 2015 mit 19 TN)
- Meyer Burger, Thun (02. Juni 2015 mit 20 TN)
- CSEM, Neuchâtel (06. Okt. 2015 mit 26 TN)
- TRISA, Triengen (06. Nov. 2015 mit 18 TN)
- Stöckli Swiss Sports AG (04. Dez. 2015 mit 18 TN)

Autor:

Peter Kirchhofer
Tel. 061 281 19 45 (privat)
peter.kirchhofer@alumni.ethz.ch

Insgesamt nahmen 115 Personen bei den Besichtigungen teil.

Sponsoring der iCAN Contests

Der dritte «international Contest of Application in Nano-micro – Technology» (iCAN) wurde im Juni 2015 in Anchorage/Alaska abgehalten, und das Schweizer Team BeMap («**B**icycle **e**nvironmental **M**apping **D**evice»), ein tragbares Gerät mit GPS und weiteren Sensoren zum kontinuierlichen Umweltmonitoring) errang dabei einen zweiten Preis.

Der vierte «international Contest of Application in Nano-micro – Technology» (iCAN) wurde im Juli 2016 in Paris abgehalten. Siehe dazu den ausführlichen Bericht in diesem Bulletin.

Sensors.ch Preis 2016

Für den sensors.ch-Preis 2016 wurden 5 Arbeiten eingereicht und nach den Kriterien «Zieldefinition», «Originalität», «Mögliche Anwendungen», «Präsentation» und «Diskussion» von den drei Jury-Mitgliedern aus dem Vorstand beurteilt. Es wurde die Bachelor-Arbeit von Sven Schneeberger von der Berner Fachhochschule (BFH) mit dem Titel «Die Time of Flight Distanzmessung» bestimmt. Die Arbeit wurde von Herrn Professor Dr. Bertrand Dutoit von der BFH betreut. Ziel der Arbeit war es herauszufinden, ob ein bestimmtes Time of Flight - Sensorsystem als potentielle Technologie für den Auftraggeber in Frage käme.

Eine ausführlichere Darstellung zur prämierten Arbeit findet der Leser im gesonderten Beitrag «Time of Flight Distanzmessung» in diesem Bulletin.

sensors.ch-Preis 2016 «Die Time of Flight Distanzmessung»

Für den sensors.ch-Preis 2016 wurde die Bachelor-Arbeit von Sven Schneeberger von der Berner Fachhochschule (BFH) mit dem Titel « Die Time of Flight Distanzmessung » als beste Arbeit erkoren.

Die Arbeit wurde von Herrn Professor Dr. Bertrand Dutoit von der BFH betreut.

Ziel war es herauszufinden, ob ein bestimmtes kommerziell erhältliches Time of Flight - Sensorsystem als potentielle Technologie für den Auftraggeber der Bachelor-Arbeit in Frage käme.

Bei der Distanzmessung nach dem klassischen Time of Flight (ToF) - Prinzip beleuchtet ein sinusförmig in seiner Helligkeit modulierter Lichtstrahl das zu vermessende Objekt. Das reflektierte Licht wird dann mit einem schnell arbeitenden Photoempfänger aufgenommen.

- Die Modulationsfrequenz f_{mod} des Lichtes beträgt z.B. 20 MHz (Amplituden-Modulation, AM), entsprechend einer Wellenlänge λ_{mod} von 15 m.
- Licht als elektromagnetische Strahlung breitet sich mit der Lichtgeschwindigkeit von 300'000 km/s aus.
- 20 MHz entspricht einer Periodendauer von $1\text{ s} / (20 \times 10^6) = 50\text{ ns}$.
- Das Licht legt in diesen 50 ns eine Strecke von $300'000\text{ km/s} \times 50 \times 10^{-9}\text{ s} = 15\text{ m}$ zurück, entsprechend einer Periode von 20 MHz.
- Ein beleuchteter Punkt im Abstand von 7,5 m wirft das modulierte Licht über den Hin- und Rückweg von insgesamt 15 m mit einer Phasenverzögerung von 360° zurück.
- Um eine Abstandsmessung mit 5 mm Auflösung durchzuführen, muss die Phasenlage der AM des reflektierten Lichtstrahles somit auf $360^\circ \times 5\text{ mm} / 7'500\text{ mm} = 0,24^\circ$ genau bestimmt werden. Dies würde einer zeitlichen Auflösung von $50\text{ ns} \times 5\text{ mm} / 7,5\text{ m} = 33\text{ ps}$ (!) bzw. einer Abtastrate jedes Pixels von 30 GHz entsprechen.

Dank dem folgenden Ansatz kann durch nur 4 Helligkeits-Messungen pro Periode mit einer Phasenverschiebung von je 90° (d.h. mit einer zeitlichen Auflösung von nunmehr nur 50 ns / 4 = 12,5 ns bzw. einer Abtastrate jedes Pixels von 80 MHz) die Amplitude, der Offset und die Phasenverschiebung des reflektierten Lichtes berechnet werden:

Amplitude A = Wurzel aus $\{(A_0 - A_2)^2 + (A_1 - A_3)^2\} \times \frac{1}{2}$

Offset B = $(A_0 + A_1 + A_2 + A_3) / 4$ = Mass für die mittlere Helligkeit

Phase φ = $\arctan \{(A_0 - A_2) / (A_1 - A_3)\}$ = Mass für den Abstand D

Abstand D = $\varphi \times 300'000\text{ km/s} / (4\pi \times f_{\text{mod}})$ berechnet anhand von φ und f_{mod}

- Neben dem klassischen ToF – Prinzip gibt es alternativ auch das Puls-Laufzeit-Verfahren, wo die Distanz auf Grund der Zeitdifferenz Δt zwischen ausgesendetem und reflektiertem Licht-Impuls ermittelt wird:

Abstand D = $300'000\text{ km/s} \times \Delta t / 2$

- Bei Messungen in Medien mit einem Licht-Brechungsindex $n_L > 1$ muss der berechnete Abstand um den Faktor $1/n_L$ korrigiert werden.

Im Rahmen der Bachelor-Arbeit wurde ein Funktionsmuster für den Sensor gebaut, indem ein ToF-System in ein Standard-Gehäuse des Auftraggebers eingebaut wurde.

Anschliessend wurde das Funktionsmuster bei verschiedenen Temperaturen und mit unterschiedlichen Reflexionsgraden der Zielloberfläche ausgetestet.

Autor:
Peter Kirchhofer
Tel. 061 281 19 45 (privat)
peter.kirchhofer@alumni.ethz.ch



Abb. 1: Sensormodul in Standard-Gehäuse eingebaut

- Die relativen Messfehler lagen bei einem Sensor/Target - Abstand von 40 mm und einem blanken Alu-Target für Temperaturen zwischen -10 °C und +65 °C im Bereich von +0,5 % und -0,1 %.
- Bei einem Abstand von 80 mm waren die relativen Messfehler etwa halb so gross.
- Die relativen Messfehler mit einem Target aus weissem Papier waren bei beiden Abständen etwa um 0,15 % nach unten verschoben.
- Bei Abständen von 120 mm und 160 mm waren die Messfehler nochmals geringer, ausser bei tiefschwarzem Papier, wo sie, stark abhängig von der Umgebungstemperatur, wieder zunahmen.
- Die Fehler konnten durch Auswertung von Kalibrations-Messungen auf etwa die Hälfte reduziert werden.

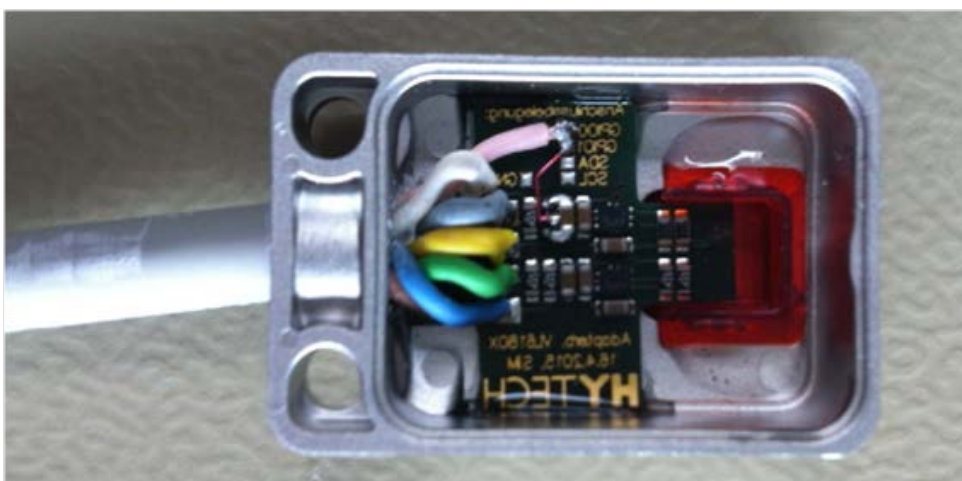


Abb. 2: Sensormodul in Standard-Gehäuse offen

Vierter internationaler Wettbewerb zu Applikationen der Nano-micro – Technologie / iCAN'16

Der «international Contest of Application in Nano-micro – Technology» (iCAN) ist ein ursprünglich von China ausgerichteter internationaler Wettbewerb mit dem Ziel, das Interesse von Jugendlichen für die Nano-micro – Technologie zu fördern und eine gemeinsame Plattform für Hochschulen und die Industrie zu schaffen. Der dritte internationale Wettbewerb wurde im Juni 2015 in Anchorage/Alaska abgehalten, das Finale des vierten, internationalen Wettbewerbs wurde vom 6. bis 8. Juli 2016 in Paris ausgetragen.

Die Teilnehmer müssen sich jeweils vorgängig an einem nationalen Wettbewerb qualifizieren.

Dieser wurde von Nano-Tera, einer von der Eidgenossenschaft unterstützten Initiative zur Förderung der Zusammenarbeit von Firmen und Institutionen aus dem Gebiet der Gesundheits-, Sicherheits- und Umwelt-Technologien organisiert. Die Teilnahme am Wettbewerb steht allen Schweizer Studierenden offen. Sie müssen sich in einem Projekt-Team organisieren, basierend auf bestehenden Mikro/Nano-Bausteinen eine neuartige Applikation entwickeln und anlässlich der Jurierung vorführen.

Die Präsentation und Jurierung der eingereichten Schweizer Wettbewerbsbeiträge fand am 11. Mai 2016 wiederum im Hauptquartier des Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) in Neuchâtel statt. Die Jury umfasste Personen aus Hochschulen und der Industrie.

Team 1: ETHZ/EPFL

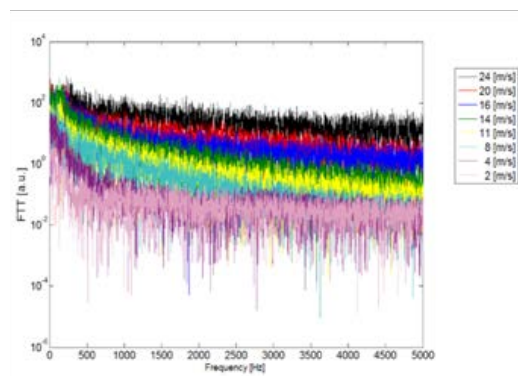
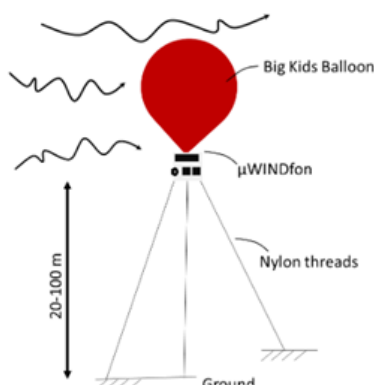
- Pius Theiler (ETH Zürich)
- Ricarda Nebling (ETH Zürich)
- Adrian Sahrbach (EPF Lausanne)

Betreuer: Moritz Thielen (ETH Zürich, Micro and Nanosystems group)

Projekt: «**μWINDfon**»

Das **μWINDfon** ist ein kostengünstiges, leichtgewichtiges und einfach zu bedienendes Gerät zur Messung der Windgeschwindigkeit. Es hilft in abgelegenen Gebieten den Menschen bei der Evaluation günstiger Standorte für kleinere Windräder und Windturbinen. Das 20 g schwere **μWINDfon** ist in ein kugelförmiges Gehäuse von der Grösse eines Tischtennisballs eingebaut und kann an einem mit Helium gefüllten Ballon von 43 cm Durchmesser oder an einem einfachen Mast verstellbar befestigt werden, um in verschiedenen Höhen über dem Boden die Windgeschwindigkeit zu ermitteln.

Ein MEMS (Mikro-Elektro-Mechanisches System) - Mikrofon ist das eigentliche Sensorelement, welches die vom Wind an der Kugeloberfläche verursachten Luftwirbel-Geräusche aufnimmt. Das Geräusch-Spektrum ist nach Andrey Kolmogorov mit der Windgeschwindigkeit korreliert. Das Spektrum wird on-line durch einen im Kugel-Gehäuse eingebauten μ Controller ermittelt und an die Bodenstation übermittelt. Jedem Geräusch-Spektrum kann eindeutig eine Windgeschwindigkeit zugeordnet werden.



Autor:

Peter Kirchhofer
Tel. 061 281 19 45 (privat)
peter.kirchhofer@alumni.ethz.ch



© Ted Byrne/FSRM

Bild 1: Skizze zu einer Messanordnung für die Evaluation von Windgeschwindigkeiten m Bereich von 20 bis 100 m über Boden

© Team **μWINDfon**

Bild 2 : Fourier transformierte Geräusch-Signale bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten

© Team **μWINDfon**

Team 2: ETHZ/EPFL

- Thibaut Pascal, Microengineering (EPF Lausanne)
- Timothée Peter, Microengineering (EPF Lausanne)
- Arthur Gay, Microengineering (EPF Lausanne)

Betreuer: Prof. Giovanni Boero (EPF Lausanne)

Projekt: «MotionPilot»

Obwohl der zivile Markt für unbemannte Luftfahrzeuge, sogenannten Drohnen, in den letzten paar Jahren sich jährlich verdoppelte, erfuhr die Fernsteuer-Konsole bisher kaum eine Weiterentwicklung. Jetzt aber bietet der MotionPilot, ein in einer Hand gehaltenes Gerät in der Form ähnlich einer Pistole, ein völlig neuartiges Erlebnis: Der MotionPilot dient einerseits zur Fernsteuerung von Drohnen, liefert aber andererseits auch im Handgriff einen intuitiv erfassbaren Feedback über den aktuellen Zustand des Flugobjekts im dreidimensionalen Raum.

Das Projekt umfasste die Hardware- und Software-Entwicklung des in der Hand gehaltenen Geräts mit dem Interpreter der Handbewegungen und deren Übersetzung in die üblichen Fernsteuersignale für den standardisierten Flightcontroller in der Drohne, sowie die Informationsverarbeitung der Feedbacksignale von der Drohne und deren Umsetzung in vom Piloten wahrnehmbare Signale.

Von der Drohne wird mittels eines 6-achsigen Sensors deren Zustand (3 Raum-Koordinaten sowie Pitch = Neigung, Roll = Drehung um Längsachse, Yaw = Gieren bzw. Drehung um senkrechte Achse, und zudem Throttle = Drosselung bzw. Motorleistung) an das handgehaltene Steuergerät zurückgesendet.

Im Anschluss an die Präsentation ihrer Arbeiten durch die beiden Teams zog sich die Jury zur Beratung über die beste Arbeit zurück. Die Bewertung umfasste, wie schon bei den bisherigen Wettbewerben, folgende fünf unterschiedlich gewichtete Kategorien: Funktion, d.h. erfolgreiche Vorführung der Applikation (40%) , Originalität (20%) , SW und HW – Integration (20%) , Ausführung und Aesthetik (10%) sowie schriftliche Unterlagen und Dokumentation (10%).

Als Gewinner wurden die beiden Teams gemeinsam erkoren. Sie durften anfangs Juli 2016 nach Paris reisen und dort am Finale des vierten internationalen iCAN Wettbewerbs für die Schweiz antreten. Unter den 23 dort teilnehmenden Teams erreichte das Team 1 «µWINDfon» einen der zwei Preise im Rang «Goldmedaille», und das Team 2 «MotionPilot» erlangte einen der vier Preise im Rang «Silbermedaille». Beim abschliessenden Apéro konnten die Juroren die Studierenden beider Teams befragen und auch neue Ideen erörtern.



© Ted Byrne/FSRM



Weitere Bilder von der Präsentation der Wettbewerbsarbeiten können auf der Schweizerischen [iCAN-Web-Site](http://ican-web-site.ch) abgerufen werden.

Schweizerische iCAN-Web-Site:
<http://ican-contest.ch>

Internationale [iCAN-Web-Site](http://ican-web-site.ch)

2016 iCAN – [Download Flyer](#)

Bild 4 : In der Hand gehaltenes Gerät in der Form ähnlich einer Pistole
© Team MotionPilot

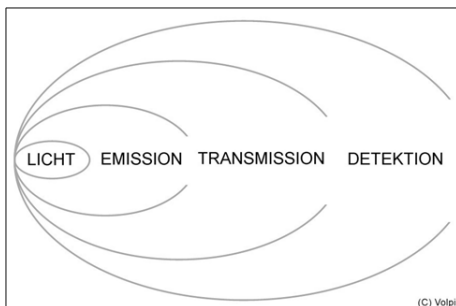
Sensors.ch-Besuch 28. April 2016
VOLPI AG, Schlieren, ZH

Autor:
Robert Brunner
[Robert.Brunner](#)

Der Grundstein zur heutigen Volpi AG wurde 1953 durch S. Volpi mit der Gründung als Einzelfirma in Urdorf, ZH, gelegt. 13 Jahre später erfolgte die Umwandlung in eine AG. 1978 war die Geburtsstunde von Volpi USA in Auburn, NY. Der heutige Schweizer Hauptsitz wurde 1986 nach Schlieren in neue Räumlichkeiten verlegt. Ein wichtiger Meilenstein wurde 1991 mit der firmeneigenen Glasfaserproduktion durch die Akquisition der Fiber-Optic Sparte von Welch Allyn durch Volpi USA erreicht. Bei der Jahrtausendwende erfolgte die Zertifizierung nach DIN ISO 9001 und ISO 13485. 2007 erwarb Max Kunz die Volpi-Gruppe und brachte sich in die Geschäftsführung ein. Durch Übernahme der Spektrometrie-Sparte von SPECTROsolution – ein Spin-off der Hamamatsu – erfolgte 2011 eine zukunftssträchtige Kompetenzausweitung.

Die ursprüngliche Kernkompetenz bei Beleuchtungslösungen für Maschine Vision und Mikroskopie wird mit Produkten wie Lichtquellen (LED, Halogen), Faseroptikbeleuchtungen (Querschnittswandler, Ringlichter, Beleuchtungslichtleiter), LED-Beleuchtungen (verschiedene Bauformen) und passendem Zubehör (u.a. Polfilter, Steuergeräte) auch heute noch gepflegt.

Im Verlauf der Jahre hat Volpi eine umfassende Kompetenz in der Messtechnik mit Licht - im nahen UV, im sichtbaren Spektrum und im nahen IR - entwickelt. Als Spezialist in diesem Gebiet und dank Cross-Engineering werden vor allem im Kundenauftrag optische Messsysteme für vielfältigste Anwendungen entwickelt. Dabei wird interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Leuten aus den Sparten Chemie, Optik, Elektrotechnik und Verfahrenstechnik gepflegt. Das Schwergewicht liegt auf der Entwicklung mit dem Kunden, die Produktion beim Kunden wird begleitet.



Volpi arbeitet mit Licht im UV-VIS-IR Wellenlängenbereich, wobei der Bereich UV:IR eine Spanne von ca. 1:3 umfasst. Der beobachtete Prozess befindet sich zwischen Quelle und Detektor.

Die Messung der Lichtabsorption/Fluoreszenz mit optischen Messmodulen wird in vielen Gebieten der In-vitro-Diagnostik, der Life-Science-Forschung und der Medizintechnik eingesetzt, wie z. B. auch bei der PCR.

Die englische Abkürzung PCR bedeutet Polymerase Chain Reaktion oder übersetzt Polymerase-Kettenreaktion. Die PCR nimmt eine Schlüsselstellung in der Molekularbiologie (DNS-Forschung, DNA-Analyse) ein.

Der Betriebsrundgang führte vom Optiklabor über die Produktion von Faseroptik bis zum Clean Room. Im Optiklabor stehen optische Tische, optische Bänke und passende Komponenten zur Verfügung. Mit der vorhandenen Ausrüstung lassen sich Funktionsmuster aufbauen. Unterstützt mit einer leistungsfähigen CAD-Abteilung entstehen so erste Labormuster, die sich in Vorserien umsetzen lassen. Im Normalfall wird der zu beobachtende Prozess mit Dummies nachgebildet. Auf Kundenwunsch wird aber auch mit realen Prozessen gearbeitet, dabei wird im Sinne der integralen Messtechnik die gesamte Messkette zusammen mit dem Anwender/Auftraggeber disziplinübergreifend analysiert und ausgelegt.

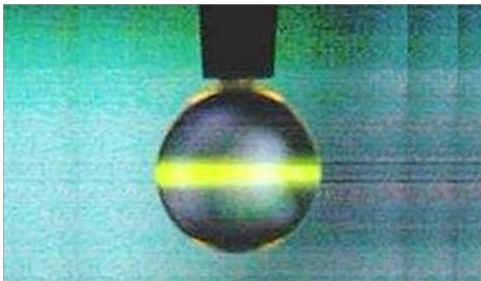
Faseroptiken werden in den unterschiedlichsten Konfigurationen nach Kundenvorgabe erstellt. Viel Know-how steckt im Klebstoff für Lichtleiter. Aus Kontinuitätsgründen - unter Einhaltung der ISO 13485 - werden bewährte Verfahren während der Lebensdauer des Produkts unverändert beibehalten. Der Kundennutzen besteht darin, dass der Aufwand für die (teure) Zertifizierung in Grenzen gehalten wird. Selbstverständlich ist Volpi auch ISO-9001 zertifiziert, die Produktionsprozesse sind somit voll rückverfolgbar. Im Clean-Room werden optisch heikle Komponenten/ Geräte gefertigt. Beim Rundgang wurde die Montage von Analysatoren - Bau in Kleinserien - zum Einsatz in Point-of-Care-Anwendungen, die in-situ-Diagnosen für die Medikamentenabgabe erlauben, gezeigt. Den Abschluss der Betriebsbesichtigung bildete ein Vergleich der verschiedenen Lichtquellen. Dabei wurde allen Teilnehmern anhand der gezeigten Lichtquellen klar, dass weisses Licht nicht immer gleich weiss ist.

Volpi wurde und wird aufgrund der Firmenphilosophie und des breiten Spektrums beim Betreten von technischem Neuland oder bei Innovationen als technischer Partner beigezogen.

So konnte die Firma in der Vergangenheit ein weltraumtaugliches Gehäuse für die Hasselblad Kamera entwickeln, die derart wirkungsvoll geschützt bei den Apollo-Missionen eingesetzt wurde. Hasselblad ist bekannt als Produzent der berühmten schwedischen einäugigen 6x6-Spiegelreflexkamera, die in der Fotografie eine einzigartige Spitzenstellung einnahm.



Sondergehäuse für die Hasselblad Kamera für verschiedene Apollo-Missionen. (1967) © Volpi



Aktuellen technisch hohen Herausforderungen stellt sich Volpi heute unter anderem bei der Meisterung der Probleme bei optischen Konzentrationsmessungen in Tropfen. Durch den Wegfall von Küvetten erfolgen die Messungen zuverlässiger, schneller und ohne Probenverschleppung.

Tropfenregelung und spektrale Transmissionsmessung für die Konzentrationsbestimmung von DNA Basisflüssigkeiten. (2013)

© Volpi

Presse-Mitteilung des AMA Verbandes für Sensorik und Messtechnik e.V.

Der AMA Verband für Sensorik und Messtechnik kürte am 10. Mai 2016 die Gewinner des AMA Innovationspreises 2016 auf der Fachmesse SENSOR+TEST in Nürnberg. Der mit 10'000 Euro dotierte Preis geht zu gleichen Teilen an zwei Einreichungen: an das Projekt «Magnetische Durchflussszytometrie» vom Entwicklerteam der Siemens Healthcare GmbH, Sensitec GmbH, Scenico B.V. und M2 Automation und das Projekt «Nerven aus Glas» vom Entwicklerteam des Photonik Inkubator Niedersachsen und des Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institutes.

Die magnetische Durchflussszytometrie ermöglicht durch spezifische magnetische Markierung mit einem rein magnetischen Workflow in einer Kartusche den Nachweis von Zielzellfunktionen ohne Probenaufbereitung direkt im Patientenblut. Dies geschieht durch eine magnetische Laufzeitmessung des Signals in einem Tischgerät neben dem Patienten innerhalb weniger Minuten.

Websites:

< www.healthcare.siemens.com >
< [https://www.hessen-nanotech.de/mm/PotenzialeNanoMedizin Diagnostik Lehndorff.pdf](https://www.hessen-nanotech.de/mm/PotenzialeNanoMedizin_Diagnostik_Lehndorff.pdf) >
< <http://medi-wing.de/foerdermassnahmen/biodisposables/laufende-vorhaben/mrcyte/> >

Bei den Nerven aus Glas wird dank faseroptischer 3D-Positionierung von Herzkathetern mit einer Genauigkeit von < 1 mm die Operationszeit reduziert und der Operationserfolg verbessert.

Websites:

< <http://www.photonik-inkubator.de/projekte/projektetails/fiberlab/> >
< [http://www.photonik-inkubator.de/fileadmin/user_upload/downloads/LSI Paper Schade_web.pdf](http://www.photonik-inkubator.de/fileadmin/user_upload/downloads/LSI_Paper_Schade_web.pdf) >

Weiterbildung beim AMA-Verband: <http://www.ama-weiterbildung.de/>

Verbands-Website: <http://www.ama-sensorik.de/>

Sensors.ch-Besuch am 14. Juni 2016
Endress+Hauser Flowtec AG in Reinach, BL

E+H ist seit der Gründung 1953 in der industriellen Messtechnik tätig. Heute liegt die Leitung der Firma in den Händen der 3. Generation, d.h. Nachkommen von Georg H. Endress und Personen, welche im Unternehmen gross geworden sind und der Unternehmens-Charta («Spirit of Endress+Hauser») verpflichtet sind. In dieser Zeit entwickelte sich das Unternehmen zur weltweit tätigen Endress Holding.

Seit über 35 Jahren hat sich Endress+Hauser Flowtec eine Spitzenposition unter den Herstellern industrieller Durchflussmessgeräte für Flüssigkeiten, Gase und Dampf erarbeitet. Ab 1977 entwickelte und produzierte E+H Flowtec Durchflussmessgeräte nach dem Coriolis-, Vortex-, Ultraschall-, Magnetisch-Induktiven und dem Thermischen Prinzip. Alle diese Messverfahren arbeiten ohne bewegte Teile im durchfliessenden Material.

E+H Flowtec beschäftigt an den 6 Produktionsstandorten in Reinach (Schweiz), Cernay (Frankreich), Greenwood (USA), Aurangabad (Indien), Suzhou (China) und Itatiba (Brasilien) insgesamt über 1'500 Mitarbeiter aus 34 Nationen. Allein in Reinach arbeiten 1'000 Leute, entwickeln und produzieren täglich 350 Durchflussmesser. In Cernay werden pro Tag 400 Durchflussmesser produziert.

E+H Flowtec verfügt in Reinach über verschiedene akkreditierte Kalibrier-Einrichtungen für Durchfluss von Gasen und Flüssigkeiten und für Durchflüsse bis maximal 1'660 Liter/Sek



Genaueste (0,015%),
akkreditierte
Kalibrieranlage der Welt
© E+H

Die ca. 30 Lehrlinge bei E+H Flowtec absolvieren eine trinationale, dreisprachige Ausbildung (CH/DE/FR) an E+H-Standorten in der Schweiz, Deutschland und Frankreich. Nach Abschluss der Lehre können sie weiter einen trinationalen Bachelor-Studiengang in Technischem Projektmanagement in Mechatronik oder in International Business Management an den drei beteiligten Universitäten und Fachhochschulen absolvieren.

Im Anschluss an die Vorstellung der E+H Flowtec wurde erläutert, wie es der Endress+Hauser gelingt, dank Technologiefrüherkennung die Chancen neuer Technologien für die Innovation zu nutzen. Der Einsatz der richtigen Technologien ist häufig ein entscheidender Wettbewerbsvorteil: «Früher wissen, was andere erst später erfahren werden».

Im Unterschied zu Erfindungen, welche Dank glücklichem Zusammentreffen günstiger Umstände zustande kommen und neue Dinge ermöglichen (making things possible), geschieht Innovation dort, wo Entwickler neue Dinge realisieren (making things happen). Systematisches Erfassen und Bewerten neuer Technologien erfolgt im Rahmen weltweiter Zusammenarbeit mit Hochschul- und Forschungsinstituten. Rund 10 Prozent der Aufwendungen für Innovation und 1 Prozent der F&E-Kapazitäten (7 Personen-Jahre) werden in die Technologieentwicklung investiert. Dabei werden neue Technologien soweit voran getrieben, dass sie in die Produktentwicklung einbezogen werden können. Dazu werden relevante wissenschaftliche und technische Entwicklungen im Frühstadium beobachtet und zwischen dem Marketing und der F&E-Abteilung erörtert. Als Kommunikationsmittel dienen Fachaufsätze in der internen Schrift «Radarschirm» und eine eigene online Wiki Plattform.

Anhand des Coriolis-Durchflussmessers wurde gezeigt, wie die Chancen der Chip-Technologie von E+H Flowtec genutzt wurden, um einen MEMS Lowcost Micro-Coriolis Dichte-Sensor für Gase und Flüssigkeiten auf einem Chip zu entwickeln.

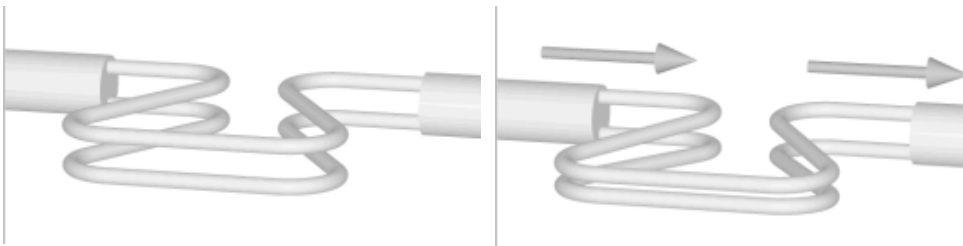
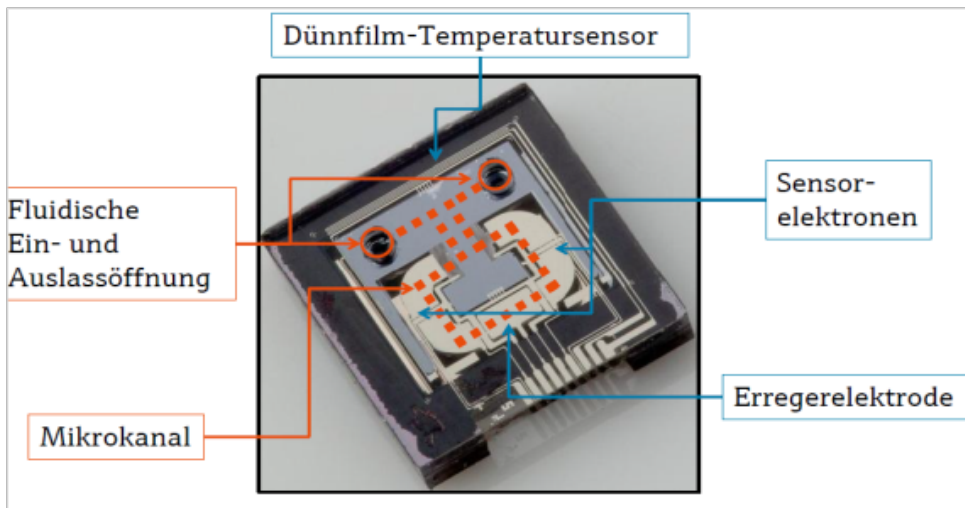


Bild links: Schwingende Rohre im Coriolis-Sensor *ohne* Durchfluss
© E+H

Bild rechts: Schwingende Rohre im Coriolis-Sensor *mit* Durchfluss
© E+H



Coriolis-Dichtesensor in MEMS-Technologie © E+H

Beim abschliessenden Fabrikrundgang besuchten wir zuerst die Elektronik-Produktion. Hier werden auf fünf Bestückungs-Automaten gedruckte Schaltungen gefertigt, mit SMD-Bauteilen und noch 5% bedrahteten Bauteilen. Anschliessend werden die Prints auf Test-Automaten mit Hilfe von Test-Adaptoren oder mit Flying-Probe Testern auf ihre korrekte Funktion hin geprüft. Die Abteilung fertigt alle die verschiedenen Prints für die Schweiz und die fünf andern Länder-Divisionen.

In der Wareneingangskontrolle werden die Komponenten und Materialien der ca. 600 Lieferanten geprüft. Das zentrale Lager wird gemäss dem Kanban-System just-in-time beliefert. Die verschiedenen Montage-Schrauben sind in Bauteil-Containern auf je eigener Waage gelagert, so dass die Nachlieferung dieses Materials automatisch beim Lieferanten veranlasst wird (Bosshart Smart Bin).

Beim Zusammenbau der Coriolis-Durchflussmesser werden die beiden Messrohre vorgängig mechanisch ausgemessen und zur Vermeidung von unerwünschten Vibrationen gepaart. Neben den 2-Rohr-Systemen werden auch 1-Rohr Systeme gefertigt. Diese haben den Vorteil, dass sie wegen dem gestreckten Rohr leichter zu reinigen sind, als 2-Rohr-Systeme mit ihren gekrümmten Rohren. Ihr Nachteil ist eine stärkere Übertragung der Vibration auf das Gehäuse. Nach dem Anbau der Anreger-Spulen und dem Einbau der Elektronik wird an den Geräten die Dichtigkeit der Schweissnähte anlässlich eines Helium-Lecktests überprüft und die Gehäuse abschliessend mit Stickstoff gefüllt und im Produkt-Lager zwischengelagert.



Die Endfertigung bzw. der endgültige Zusammenbau für europäische Abnehmer erfolgt kundenspezifisch. Abschliessend wird jeder einzelne Durchflussmesser kalibriert.

Die Mitarbeitenden arbeiten mit gleitender Arbeitszeit und können ihre Arbeitszeit im Rahmen von +/- 80 Stunden leisten.

Coriolis-Sensor © E+H

Firmen-Web-Site:
www.endress.com

Kommende Veranstaltungen



14. Sept. 2016 TRUMPF Maschinen AG, Baar/ZG

30. Okt. 2016 Journée GESO – sensors.ch – FSRM
Thema: Wearables
Veranstaltungsort: CSEM, Neuchâtel

Autor:
Peter Kirchhofer
Tel. 061 281 19 45 (privat)
peter.kirchhofer@alumni.ethz.ch