

SmartDroneWatch:

Autonome Prozessüberwachung der Produktion mit Drohnen

Drohnen werden bereits erfolgreich in der Landwirtschaft und Bauindustrie eingesetzt. Die Nutzung von Drohnen in der Produktion wird jedoch vor allem durch eine komplexe Indoor-Navigation erschwert. Im Projekt ‚SmartDroneWatch‘ wurde eine Drohne für die Indoor-Anwendung entwickelt und in einer Produktionsumgebung getestet. >

SmartDroneWatch:

Autonomous Process Monitoring of Production With Drones

Drones are already being used successfully in agriculture and the construction industry. However, the use of drones in production is primarily limited by the challenges of navigating indoors. The ‚SmartDroneWatch‘ developed and tested a drone designed for indoor use in a production environment >



Die Effizienz in Produktionsstätten hinsichtlich Personal- und Zeiteinsatz zu steigern, beschäftigt die Industrie seit jeher. Ein vielversprechender neuer Ansatz ist der Einsatz von Drohnen, da sie schnell und flexibel auf spontane Ereignisse in der Produktion reagieren können. Im Rahmen des Forschungsprojekts „SmartDrone-Watch“ wurde deshalb eine Drohne für den Indoor-Bereich entwickelt und in der realen Produktionsumgebung der *DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH* getestet.

Mithilfe einer Drohne können Störungen und Abweichungen in der Produktion effektiv behoben werden. Bei Fehlermeldungen durch automatisierte Systeme fehlen häufig präzise Informationen, die für die Problemlösung notwendig sind, und oft muss ein Operator die Situation vor Ort beurteilen. Zusätzlich fehlen Informationen über die Position von Wagen, Paletten und Geräten, da entsprechende Sensorik oder Tracker nicht vorhanden sind. Ein vollautonomes, flexibles drohnenbasiertes Überwachungssystem kann diese Informationslücken schließen, indem es schnell die Situation vor Ort erkennen und übermitteln kann.

Aktueller Einsatz von Drohnen

Der gewerbliche Einsatz von Drohnen ist längst zum Standard geworden. In Japan dienen sie bereits seit den 1970er Jahren der Landwirtschaft, indem sie beispielsweise bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln und Aussaat unterstützen.¹ Die Bau- und Immobilienwirtschaft hat den Vorteil von Drohnen ebenfalls erkannt. Dort liegt der mit Abstand häufigste Einsatz im Bereich Vermessung. Mittels Luftaufnahmen kann ein 3D-Modell der Baustelle oder der Immobilie angefertigt werden.² Im Katastrophenschutz können Drohnen schnell und präzise Informationen über schwer zugängliche Gebiete liefern, was Rettungseinsätze effizienter macht. Nach der Flut im Ahrtal 2021 wurden Drohnen eingesetzt, um die Lage aus der Luft zu beurteilen, Vermisste zu suchen und die Rettungskräfte bei der Koordination und Planung ihrer Maßnahmen zu unterstützen.³ Während eines Marathons in Montreal in Kanada wurde der Einsatz von Drohnen getestet, um die fast 7 000 Läuferinnen und Läufer zu beobachten und bei Bedarf medizinische Hilfe zu entsenden. Es stellte sich heraus, dass während des Laufs über 90 Prozent der acht Stunden, in denen gefilmt wurde, eine Liveübertragung funktionierte. Auf diese Weise konnte die notwendige medizinische Hilfe zu den Bedürftigen entsandt werden.⁴

¹ s. SCHERER ET AL. 2017, S. 7f.

² s. GORSKI 2022, S. 367–370

³ s. DLR 2022

⁴ s. LAFORTUNE ET AL. 2023, S. 618

Industry has always been concerned with increasing the efficiency of production facilities in terms of personnel and time. A promising new approach is the use of drones, as they can react quickly and flexibly to spontaneous events in production. As part of the “SmartDroneWatch” research project, a drone for indoor use was developed and tested in the real production environment of the *DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH*.

A drone can be used to effectively address faults and deviations in production. Error messages from automated systems often lack the precise information needed to solve the problem, and an operator often has to assess the situation on site. Additionally, there is a lack of information regarding the position of trolleys, pallets, and devices because the corresponding sensors or trackers are not available. A fully autonomous, flexible drone-based monitoring system can close these information gaps by quickly detecting and communicating the on-site situation.

Current Use of Drones

The commercial use of drones has long been standard practice. In Japan, they have been used in agriculture since the 1970s, for example to assist with the application of pesticides and sowing.¹ The construction and real estate industries have also recognized the benefits of drones. By far the most frequent use is surveying. Aerial images can be used to create a 3D model of a construction site or property.² In disaster control, drones can provide quick and precise information about hard-to-reach areas, making rescue operations more efficient. After the flood in the Ahr valley in 2021, drones were used to assess the situation from the air, search for missing people and help rescue workers coordinate and plan their response.³ During a marathon in Montreal, Canada, the use of drones was tested to monitor the almost 7,000 runners and send medical assistance if needed. It turned out that live transmission was possible for more than 90 percent of the eight hours of filming during the race. In this way, the necessary medical aid could be sent to those in need.⁴

The high transport speed combined with great flexibility characterizes the considerable potential of drones in indoor applications. In the production environment, for example, they are used in manual flight to inspect

¹ see SCHERER ET AL. 2017, p. 7 f.

² see GORSKI 2022, p. 367–370

³ see DLR 2022

⁴ see LAFORTUNE ET AL. 2023, p. 618

Die hohe Transportgeschwindigkeit kennzeichnet in Kombination mit einer großen Flexibilität das erhebliche Potenzial von Drohnen beim Einsatz in Innenräumen. Innerhalb des Produktionsumfeldes werden sie beispielsweise im manuellen Flug zur Inspektion von Maschinenzuständen eingesetzt.⁵ Ebenso wird an der Möglichkeit geforscht, Drohnen für den unregelmäßigen Transport von Kleinteilen zu nutzen.⁶ Sie eignen sich auch für sich wiederholende Aufgaben wie visuelle Inspektionen und Überwachung.⁷ Unter anderem setzt der Möbelkonzern *IKEA* mittlerweile auf Drohnen zur Inventur in Lagern. Auf diese Weise lässt sich der Lagerbestand tagesaktuell bestimmen.⁸

Herausforderungen der Indoor-Navigation

Die Navigation von Drohnen funktioniert mittels *Global Positioning System*, kurz GPS, um die eigene Position zu bestimmen. Die Orientierung wird durch einen Magnetkompass gewährleistet. Diese Informationen über Position und Orientierung sind für die reibungsfreie Navigation unerlässlich, stehen allerdings in Innenräumen kaum zur Verfügung. Um Kollisionen zu vermeiden, werden üblicherweise Kamerasysteme verwendet; die Entfernung zwischen Objekten im Bildfeld wird mithilfe von Stereoskopie berechnet.

Bei einer Produktionsumgebung handelt es sich typischerweise um einen geschlossenen Raum, in dem viel Beton und Metall vorzufinden ist. Dies stellt die Drohnenentwickler und -anwender vor einige Herausforderungen. Zum einen stören Wände und Dächer das für das GPS benötigte Satellitensignal, zum anderen stellen Gegenstände wie Lagerregale, Kräne oder Gabelstapler eine große Störquelle für Signale dar. Dies alles beeinflusst die Messdaten, die für die Bestimmung der Orientierung relevant sind. Aus diesem Grund bedarf es einer anderen Technologie zur Bestimmung der Position und der Orientierung.

Eine Lösung für das Problem der Positionsbestimmung liegt in der Nutzung von ultrabreiten Frequenzbändern. Diese drahtlose Ortungstechnologie, die als *Ultra Wide-band Real Time Location System (UWB RTLS)* bezeichnet wird, ermöglicht eine präzise Lokalisierung auch in geschlossenen Räumen. Diese Technologie nutzt kurze Impulse oder Puls-Sequenzen mit hohen Bandbreiten und bestimmt die Position mittels Laufzeitmessungen zwischen dem Sender und Empfänger.

machine conditions.⁵ Research is also being conducted into the possibility of using drones for the infrequent transport of small parts.⁶ They are also suitable for repetitive tasks such as visual inspections and monitoring.⁷ For example, the furniture company *IKEA*, uses drones for stocktaking in warehouses. This makes it possible to determine stock levels on a daily basis.⁸

The Challenges of Indoor Navigation

Drones navigate using the Global Positioning System (GPS) to determine their own position. Orientation is provided by a magnetic compass. This information about position and orientation is essential for smooth navigation but is rarely available indoors. To avoid collisions, camera systems are usually used; the distance between objects in the image field is calculated using stereoscopy.

A production environment is typically an enclosed space where there is a lot of concrete and metal. This presents a number of challenges for drone developers and users. On the one hand, walls and roofs interfere with the satellite signal required for GPS, and on the other hand, objects such as storage racks, cranes or forklifts are a major source of signal interference. All of this affects the measurement data that is relevant for determining orientation. For this reason, a different technology is required to determine the position and orientation.

One solution to the problem of position determination is the use of ultra-wide frequency bands. This wireless positioning technology, known as Ultra-Wideband Real-Time Location System (UWB RTLS), enables precise localization even in enclosed spaces. This technology uses short pulses or pulse sequences with high bandwidths and determines the position based on time-of-flight measurements between the transmitter and receiver.

Project Presentation

The “SmartDroneWatch” research project was launched to investigate solutions for indoor navigation in dynamic production environments. The aim is to develop a fully autonomous and highly flexible drone-based monitoring system. This involves designing a drone that integrates

⁵ S. MUTIJARSA ET AL. 2022, S. 318

⁶ S. SZALANCI-ORBAN U. VACZI 2022, S. 299–300

⁷ S. MAGHAZEI U. NETLAND 2020, S. 1244

⁸ S. IKEA SCHWEIZ 2023

⁵ see MUTIJARSA ET AL. 2022, p. 318

⁶ see SZALANCI-ORBAN U. VACZI 2022, pp. 299–300

⁷ see MAGHAZEI U. NETLAND 2020, p. 1244

⁸ see IKEA SCHWEIZ 2023

Projektvorstellung

Um Lösungen für die Indoor-Navigation in dynamischen Produktionsumgebungen zu erforschen, wurde das Forschungsprojekt SmartDroneWatch ins Leben gerufen. Es dient dazu, ein vollautonomes und hochflexibles drohnenbasiertes Überwachungssystem zu entwickeln. Dabei wird eine Drohne konzipiert, die mehrere Funktionen für die Indoor-Navigation integriert: Erstens werden Telemetrie- und Videostreaming-Fähigkeiten eingebaut, um Echtzeitdaten und visuelle Informationen zu erfassen und zu übertragen. Dies ist entscheidend für die kontinuierliche Überwachung und sofortige Reaktion auf Ereignisse. Zweitens wird die Drohne mit fortschrittlichen Lokalisierungstechnologien ausgestattet, um ihre genaue Position innerhalb der Überwachungsumgebung zu bestimmen. Dies ermöglicht eine präzise Navigation und Aufgabenplanung. Drittens werden Technologien zur Kollisionsvermeidung implementiert, um sicherzustellen, dass die Drohne Hindernisse in ihrer Umgebung erkennt und diesen sicher ausweicht. Dies ist besonders wichtig für den autonomen Betrieb in komplexen und dynamischen Umgebungen.

Das Projekt wurde durch den *FIR e. V. an der RWTH Aachen*, die *Emqopter GmbH* und die *DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH* bearbeitet. Das *FIR an der RWTH Aachen* ist spezialisiert auf die Transformation der produzierenden Industrie. Als gemeinnützige, branchenübergreifende Forschungs- und Ausbildungseinrichtung ist das Institut ausgerichtet auf Themen der Betriebsorganisation und Unternehmens-IT. Die *Emqopter GmbH* wurde 2016 in Würzburg gegründet und arbeitet in dem Gebiet autonomer Technologien für unbemannte Flugroboter (Drohnen) in industriellen Anwendungen. Die Kernkompetenz des Unternehmens liegt in der präzisen Umgebungswahrnehmung, effizienten Signalverarbeitung und zuverlässigen Flugsteuerung. Die *DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH*, 2012 gegründet, ist ein Auftragsfertiger für Stahlblechprodukte und dient unter anderem zu Demonstrations- und Forschungszwecken im Themenfeld von Industrie 4.0.

Projektergebnisse

Am Anfang des Projekts stand eine umfassende Anforderungs- und Technologieanalyse, deren Ergebnisse den Grundstein für die Bauphase der Drohne legten; im zweiten Arbeitspaket wurde die Drohne entwickelt. Anschließend evaluierte das Konsortium in Testflügen unterschiedliche Technologien zur Navigation und Lokalisierung sowie zur Prüfung der Zuverlässigkeit der Drohne in der realen Produktionsumgebung der *DFA*.

several functions for indoor navigation: First, telemetry and video streaming capabilities will be integrated to capture and transmit real-time data and visual information. This is crucial for continuous monitoring and immediate response to events. Second, the drone will be equipped with advanced localization technologies to determine its exact position within the surveillance environment. This enables precise navigation and task planning. Third, collision avoidance technologies are implemented to ensure that the drone recognizes and safely avoids obstacles. This is particularly important for autonomous operation in complex and dynamic environments.

The project was carried out by *FIR e. V. at RWTH Aachen University*, *Emqopter GmbH*, and *DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH*. *FIR at RWTH Aachen University* specializes in the transformation of the manufacturing industry. As a non-profit, cross-industry research and training facility, the institute focuses on topics related to business organization and corporate IT. *Emqopter GmbH* was founded in 2016 in Würzburg and works in the field of autonomous technologies for unmanned flying robots (drones) in industrial applications. The company's core expertises are precise environment perception, efficient signal processing, and reliable flight control. *DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH*, founded in 2012, is a contract manufacturer of sheet steel products and is used for demonstration and research purposes in the field of Industry 4.0, among others.

Project Results

The project began with a comprehensive analysis of requirements and technology, the results of which laid the foundation for the drone's construction phase. The consortium then carried out test flights to evaluate various navigation and localization technologies and to test the reliability of the drone in the *DFA*'s real-world production environment.

Structure of the Drone

The drone (see Figure 1) was developed by the company *Emqopter*. The drone has four electric motors, that drive the rotors and are controlled by a 4-in-1 electronic speed controller (ESC). This combination improves both flight stability and maneuverability. The drone is controlled by *Pixhawk* flight control. A stereo image sensing depth camera (Intel D455) is used for collision avoidance. The position is determined by a *Garmin* altitude lidar



Aufbau der Drohne

Die Entwicklung der Drohne (s. Figure 1) erfolgte durch das Unternehmen *Emqopter*. Die Drohne verfügt über vier Elektromotoren, die ihrerseits die Rotoren antreiben und per 4-in-1-Electronic-Speed-Controller (ESC) gesteuert werden. Diese Kombination verbessert sowohl die Flugstabilität als auch die Manövrierfähigkeit. Die Steuerung der Drohne erfolgt per Pixhawk-Flugsteuerung. Zur Kollisionsvermeidung kommt eine Stereo-Image-Sensing-Tiefenkamera (Intel D455) zum Einsatz. Die Positionsbestimmung erfolgt durch ein *Garmin*-Höhen-Lidar-Messgerät und ein UWB-RTLS-Positionierungssystem, ergänzt durch eine Kamera zur Geschwindigkeitsmessung. Das Kamerabild wird zusätzlich über einen RTSP-Stream veröffentlicht, um serverseitig Objekte zu erkennen. Ein leistungsstarker BRX-17-Bordcomputer übernimmt die Verarbeitung der komplexen Navigationsalgorithmen.

Integration in Digital Twin

Ein digitaler Zwilling (*Digital Twin*) ist ein virtuelles Abbild eines physischen Gegenstands oder Prozesses. Dabei liegt der Fokus auf der Bereitstellung von Echtzeitdaten wie Nutzungsinformationen.⁹ Das so gewonnene bessere Systemverständnis hilft bei der Optimierung bestehender und zu entwickelnder Prozesse. Der digitale Zwilling der *DFA* umfasst dabei nicht nur das Layout und die statischen Objekte (z. B. 3D-Modelle der Maschinen), sondern auch die aktuellen Daten zum Zustand der Objekte (z. B. Arbeitsstatus oder Energieverbrauch einzelner Objekte). Im Forschungsprojekt verwendete das Team die Entwicklungsumgebung „Unity“ zur Erstellung des digitalen Zwillings und der Integration der Drohne. Die Drohne wurde in den digitalen Zwilling erfolgreich integriert, sodass die genaue Positionierung, Orientierung und Betriebsinformationen der autonom fliegenden Drohne virtuell im digitalen Zwilling zu überwachen sind (s. Figure 2).

⁹ KRITZINGER ET AL. 2018, S. 1017

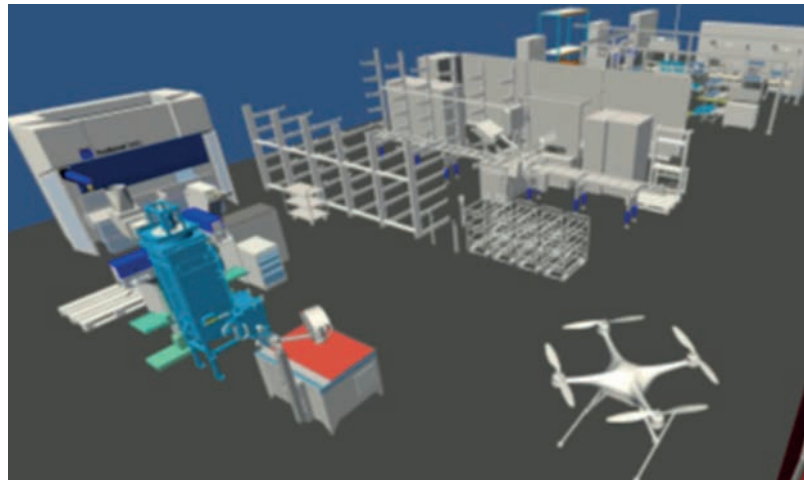


Figure 1 (left): The drone built by *Emqopter* for indoor use
Figure 2 (right): View in the “Unity” environment of the digital twin of the *DFA* with the integrated drone

measuring device and a UWB RTLS positioning system, supplemented by a camera for speed measurement. The camera image is also published via an RTSP stream in order to detect objects on the server side. A powerful BRX-17 on-board computer processes complex navigation algorithms.

Integration in Digital Twin

A digital twin is a virtual image of a physical object or process. The focus is on providing real-time data, such as usage information.⁹ This improved understanding of the system supports optimizing and existing processes and those to be developed. The digital twin of the *DFA* not only includes the layout and the static objects (e.g., 3D models of the machines), but also the current data on the status of the objects (e.g., work status or energy consumption of individual objects). In the research project, the team used the “Unity” development environment to create the digital twin and integrate the drone. The drone was successfully integrated into the digital twin, enabling virtual monitoring of its precise positioning, orientation, and operating data of the within the digital twin (see Figure 2).

Data Tests Carried Out

The test flights examined how different localization technologies perform in production environments.

¹ KRITZINGER ET AL. 2018, p. 1017

Figure 3:
Comparison of X, Y and Z coordinates during the test flight of sensors from SICK AG and Prozyx

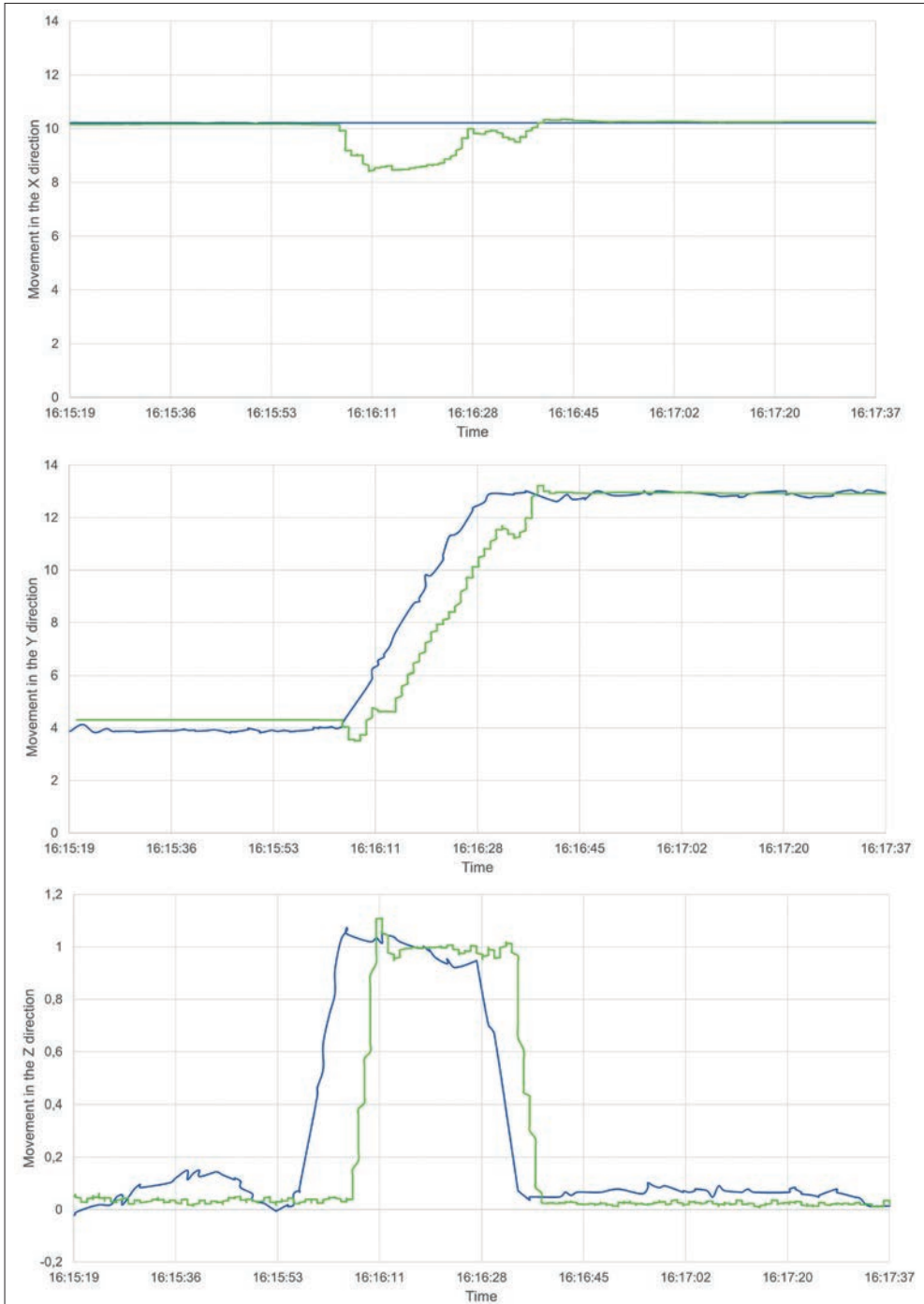
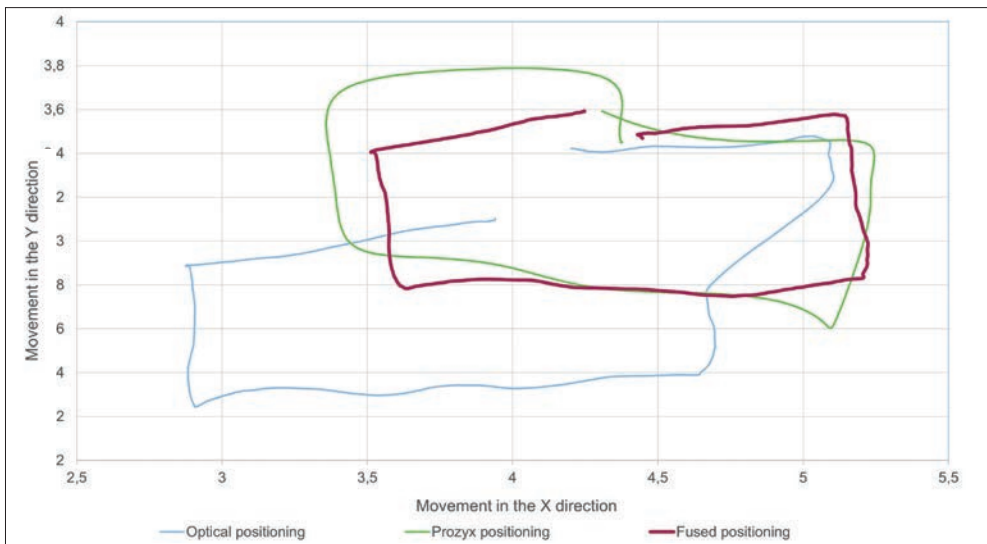


Figure 4:
Results of the sensor fusion



Durchgeführte Datentests

Im Rahmen der Testflüge wurde geprüft, wie sich verschiedene Lokalisierungstechnologien in Produktionsumgebungen verhalten.

Im Rahmen erster manueller Testflüge wurden zwei verschiedene UWB-Systeme zur Positionsbestimmung von den Anbietern *Prozyx* und *SICK AG* getestet. Beide Systeme bestehen aus den Sendern (platziert auf der Drohne) und Empfängern (in der *DFA* installiert). Im Vergleich zu der Lösung der *SICK AG* gab es bei der Echtzeitpositionserfassung durch die *Prozyx*-UWB-Sensoren erkennbare Abweichungen: Zum Teil registrierten die Sensoren Bewegungen in Richtungen, in die sich die Drohne nicht bewegt hatte. Die Lösung der *SICK AG* wies zwar ebenfalls kleinere Abweichungen auf, erwies sich aber insgesamt als die bessere Möglichkeit zur Positionsbestimmung (s. Figure 3).

Um die Positionsgenauigkeit noch weiter zu erhöhen, wählte das Forschungsteam eine Kombination aus Sensordaten und Bilddaten einer nach unten gerichteten Kamera. Grund dafür war, dass die Bewegungsmessung mittels Bilderkennung, im Gegensatz zu einem UWB-System, eine höhere Dynamik erfassen kann. Die fusionierten Messwerte erwiesen sich als zielführende Variante für eine autonome Flugregelung, wie in Bild 4 (Figure 4) dargestellt. Für die Sensorfusion wurde das *Prozyx*-System genutzt, da es ein offenes Entwicklungssystem ist. Ein Vorteil dieses Systems für die Sensorfusion liegt darin, dass die Positionsdaten direkt auf der Drohne berechnet werden können, statt wie beim *SICK*-System über einen externen Server, der die Position über das Netzwerk übermittelt.

Die in der Drohne integrierte Kollisionsvermeidung, realisiert durch Stereokameras, wurde während der autonomen Testflüge erfolgreich geprüft. Dazu wurden künstliche Hindernisse aufgestellt, die die Drohne selbstständig erkannte und umflog. Gleichzeitig zeigte die Drohne entsprechende Warnmeldungen im digitalen Zwilling an, die die Abstandsmessungen zur Umgebung und zu den Hindernissen enthielten. Dies belegt die Fähigkeit der Drohne zur dynamischen Hinderniserkennung und -vermeidung.

Zusammenfassung

Obwohl das Potenzial eines Drohneneinsatzes sehr hoch ist, müssen noch weitere Entwicklungen folgen, damit der Indoor-Einsatz vor allem in einer Produktionsumgebung Anwendung finden kann. Obwohl die Kollisionsvermeidung sehr gut funktioniert, gibt es bei der Indoor-Positionierung noch gewisse Ungenauigkeiten, die bei kleineren Bereichen (z. B. zwischen einzelnen Maschinen) nicht tolerierbar sind.

During the first manual flights, two different UWB positioning systems from *Prozyx* and *SICK AG* were tested. Both systems consist of transmitters (mounted on the drone) and receivers (installed in *DFA*). Compared to the *SICK AG* solution, the *Prozyx* UWB sensors showed deviations in real-time position detection: In some cases, they registered movements in directions in which the drone did not move. Although the *SICK AG* solution also showed minor deviations, it proved to be the better option for determining position overall (see Figure 3).

To increase positional accuracy even further, the research team chose a combination of sensor data and image data from a downward facing camera. The reason for this is that, in contrast to a UWB system, motion measurement using image recognition can capture a higher dynamic range. The fused measured values proved to be the most suitable variant for autonomous flight control, as shown in Figure 4 (see p. 84). The *Prozyx* system was used for the sensor fusion, as it is an open development system. An advantage of this system for sensor fusion is that the position data can be calculated directly on the drone, rather than via an external server that transmits the position via the network, as is the case with the *SICK* system.

The drone's integrated collision avoidance, realized by stereo cameras, was successfully tested during the autonomous test flights. For this purpose, artificial obstacles were set up, which the drone recognized and flew around on its own. At the same time, the drone displayed corresponding warning messages in the digital twin, which included distance measurements to the surroundings and to the obstacles. This demonstrates the drone's ability to dynamically detect and avoid obstacles.

Summary

Although the potential of using drones is very high, further developments are still needed to enable indoor use, especially in a production environment. Although collision avoidance works very well, there are still certain inaccuracies in indoor positioning that cannot be tolerated in smaller areas (e.g. between individual machines). The integration of sensor data and image data for autonomous navigation has shown potential as a promising direction for further development in this context. In the future, the use of such drones could be further expanded and refined to support even more complex industrial applications and raise productivity to a new level. In addition, the economic viability of

Die Kombination von Sensordaten und Bilddaten zur autonomen Navigation hat sich hier als eine mögliche Weiterentwicklung erwiesen. In Zukunft könnte der Einsatz solcher Drohnen weiter ausgebaut und verfeinert werden, um noch komplexere industrielle Anwendungen zu unterstützen und die Produktivität auf ein neues Niveau zu heben. Darüber hinaus wäre die Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Drohrentechnologie und den praktischen Nutzen der möglichen Anwendungsfälle sinnvoll.

Nikita Fjodorovs  · Philipp Scheffs · Marvin Bihl · Tobias Tiederle

drone technology and the practical benefits of potential use cases would be useful.

Nikita Fjodorovs  · Philipp Scheffs · Marvin Bihl · Tobias Tiederle

References:

DLR (Ed.): Drohnen sammeln Daten für schnelle Katastrophenhilfe. DLR online, 10/31/2022. <https://www.dlr.de/de/aktuelles/nachrichten/2022/04/drohnen-sammeln-daten-fuer-schnelle-katastrophenhilfe> (last checked: 09/10/2024)

GORSKI, T.: Der Einsatz von Drohnen in der Bauindustrie. In: Auf dem Weg zu einer nachhaltigen, effizienten und profitablen Wertschöpfung von Gebäuden. Eds.: C. Jacob; S. Kukovec. Springer Gabler, Wiesbaden [u. a.] 2022, pp. 361–376.

IKEA SCHWEIZ (Ed.): (Press release) IKEA führt die autonome Inventarprüfung durch Drohnen ein. Ikea Schweiz online, 03/22/2021. <https://www.ikea.com/ch/de/newsroom/corporate-news/ikea-fuehrt-die-autonome-inventarpruefung-durch-drohnen-ein-pubb0e2f160> (link last checked: 10.09.2024)

KRITZINGER, W.; KÄRNER, M.; TRAAAR, G.; HENJES, J.; SIHN, W.: Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. In: IFAC-PapersOnLine 51 (2018) 11, pp. 1016–1022. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.474

LAFORTUNE, R.; AFRAM, E.; GROSSMAN, A.; DROLET, A.-R.; CHAMPLAIN, F. DE; IANNUZZI, D.; HOMIER, V.: Feasibility of Live Video Feed Transmission from Unmanned Aerial Vehicles for Medical Surveillance During the 2022 Montreal Marathon.

In: Prehospital and disaster medicine 38 (2023) 5, pp. 617–621. DOI: 10.1017/S1049023X23006362

MAGHAZEI, O.; NETLAND, T.: Drones in manufacturing: exploring opportunities for research and practice. In: Journal of Manufacturing Technology Management 31 (2020) 6, pp. 1237–1259. DOI:10.1108/JMTM-03-2019-0099

MUTIJARSA, K.; NABIL, D. Z.; PUTRA, C. S.: Data Transmission And Off-board Object Detection Of A Visual Inspection Drone In The Factory Shop Floor Area. In: 2022 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI). IEEE, Piscataway (NJ) 2022, pp. 316–322. DOI: 10.1109/ICITSI56531.2022.9970989

SCHERER, M.; CHUNG, J.; LO, J.; Ruenigirachuporn, N.: Commercial drone adoption in agribusiness – Disruption & Opportunity. Ipsos online, 09/12/2017. <https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2017-09/Commercial-Drone-Adoption-in-Asia-Pacific-Agribusiness.pdf> (link last checked: 09/10/2024)

SZALANCZI-ORBAN, V.; VACZI, D.: Use of Drones in Logistics: Options in Inventory Control Systems. In: Interdisciplinary Description of Complex Systems 20 (2022) 3, pp. 295–303. DOI: 10.7906/indecs.20.3.9



Project Title: SmartDroneWatch – Automated condition monitoring in networked production environments using autonomous indoor drones

Funding/Promoters: Federal Ministry for Digital Transport; Bundesanstalt für Verwaltungsdienstleistungen (BAV)

Funding no.: 45ILM1017A

Project Partners: DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH, Emqopter GmbH

The 'SmartDroneWatch' project is funded by the Federal Ministry for Digital and Transport as part of the 'Innovative Air Mobility' funding guideline (IML).

Website: smartdronewatch.fir.de



Nikita Fjodorovs, M. Sc.
Project Manager
Research Unit Production Management
FIR e. V. an der RWTH Aachen
Phone: +49 241 47705-405
Email: Nikita.Fjodorovs@fir.rwth-aachen.de



Open Access: Dieser Artikel wird unter der Creative-Commons-Lizenz „Share Alike 4.0 International – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International“ (CC BY-SA 4.0) veröffentlicht.