



Intelligent, networked camera systems for greater safety in the mobile use of loading cranes

In the EdgeCam project, a solution was developed to create safety zones around mobile cranes with networked cameras. Photograph: ArtisticOperations/Pixabay.

Motivation: Accident prevention in mobile danger zones with anonymous persons

Safety zones ensure that no persons are present in the danger zone of machines when these are in operation. This applies to many applications, from production cells to warehouses with autonomous forklifts as well as loading cranes on trucks. In any case, the aim is to guarantee safe operation by warning the operator of the machine if there is a potential hazard or by moving the system into a safe state.

While there are already very good and restrictive solutions for production cells, where the robot can only be started if the cell is free of obstacles and/or people, this is more difficult for applications with mobile machines. Here too, there are various solutions that can be used inside warehouses or on enclosed company premises. Technically, this is typically done using light barriers or special tags that people who are working in the area carry with them enabling the system to recognise them.

www.imms.de/edgecam

www.imms.de/i40

Annual Report

© IMMS 2023

If the machine operates outside of a company site, such solutions are limited. Random people passing by the operation site will not carry any specific hardware and might be oblivious regarding light barriers if they even notice them. In this case, the system should be able to monitor the safety zone autonomously, detect, and recognise obstacles outside of the field of view from the operator. When it detects such hazards, the system warns the operator with the goal to avoid any accidents.

Virtual security zone solution at a glance

To build such a system, IMMS has been working on the realisation of a virtual safety zone that can be spanned around any vehicle in the EdgeCAM project. The system should enable safe truck operations with a loading crane, for example, at any location. To achieve this, together with our partner emsys GmbH, we have developed special multi-camera nodes that autonomously connect themselves wirelessly and use the images from all attached cameras to create a seamless virtual safety zone around the truck. The system monitors the safety zone around the crane autonomously and continuously and can thus warn the crane operator of any potential hazards at an early stage, even if they are outside his field of vision. The captured image data remains within the system and is not transmitted to a third party to meet data privacy requirements. To develop this system, emsys and IMMS first designed a modular hardware platform that is built using different cameras and communications modules.

The goal is a system that intelligently selects the communications option that is most suitable for the respective location and the current task from the various communications options available. The system can also be extended with additional cameras on the crane itself or at the storage location to further increase safety.

The developed system is not only flexibly adaptable to the use case of trucks with cranes, other applications such as counting people waiting at bus stops can also be implemented with the hardware.

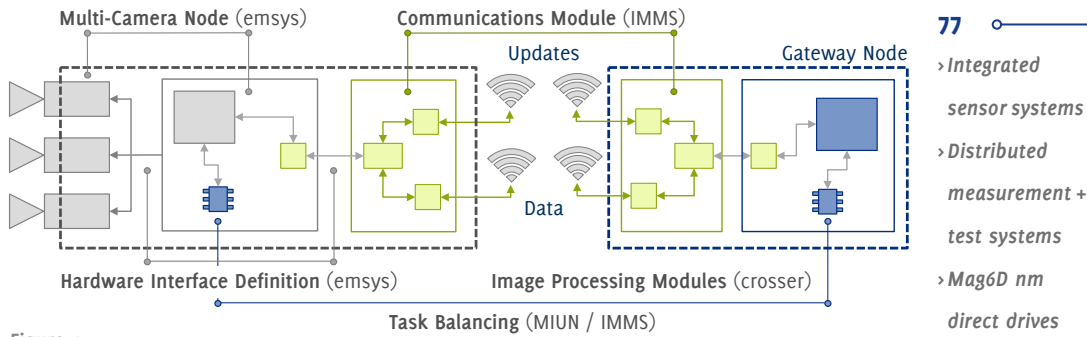


Figure 1:
Schematic system structure. Diagram: IMMS.

- > Integrated sensor systems
- > Distributed measurement + test systems
- > Mag6D nm direct drives
- > Contents
- * Funding

Overall system architecture

The EdgeCam system represents an overall system architecture for mobile monitoring tasks in the field and consists of multi-camera nodes, which can be equipped with several camera modules, a gateway node, a human-machine interface (HMI) as feedback to the crane operator and flexible communications support between the nodes involved and, if necessary, the Internet. The system also enables the distribution of processing tasks between the nodes involved to achieve load distribution. OPC UA is used to exchange the required information. Figure 1 shows the schematic system structure.

The gateway is a special node and differs from the other nodes by performing additional tasks. These include the configuration and quality monitoring of the local wireless communications network with the existing multi-camera nodes and communications with the HMI. The gateway is also responsible for managing the results of the EdgeCAM system. The result data from the multi-camera nodes must be collected, processed and post-processed. The final result must be periodically forwarded to the HMI. If hazardous situations occur (e.g. “people in the work area”), this must be signaled within the required time. The gateway can be implemented as a dedicated gateway without a camera or as a node with an integrated camera.

Hardware for EdgeCam multi-camera nodes

The “Variscite DART MX8M PLUS” platform serves as the basic hardware for all node types. The module offers interfaces for up to two cameras and enables the flexible connection of wireless modules via PCIe, for example. This makes it ideal for setting

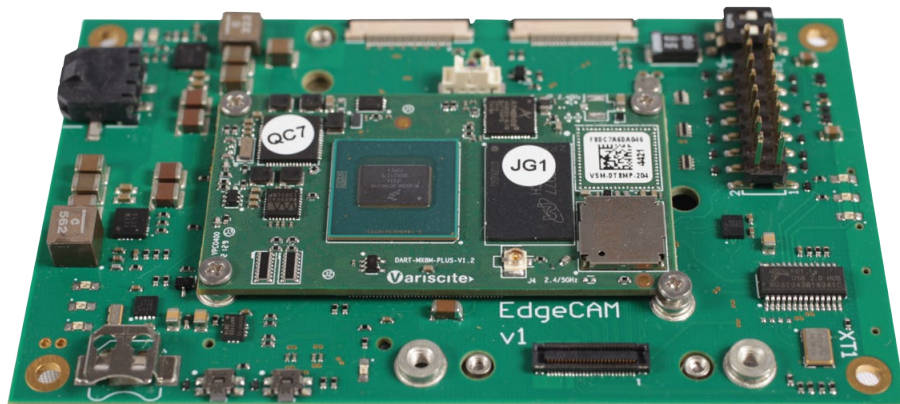


Figure 2: Multi-camera node hardware. Photograph: IMMS.

up multi-camera nodes with several wireless modules that can be used in parallel. The aim was to create a compact design that integrates all the wireless interfaces provided as well as various other interfaces to ensure that the hardware can be used as flexibly as possible. The layout of the board was put into practice in close consultation with the project partner emsys. Figure 2 shows the finished board.

Adaptive WLAN-based EdgeCam network

The EdgeCam system operates autonomously, i.e. it first establishes a stable and reliable WLAN network between the system components at the installation site. The gateway coordinates this and ensures that all nodes of the EdgeCAM system are seamlessly integrated into the network and can communicate with each other. To this end, it acts as an access point for a WLAN infrastructure network into which the other nodes and the HMI are directly integrated. To set up such a network at any location, the system should flexibly select the used channel. This is achieved via a scan procedure performed by the gateway on all available WLAN channels after the system is started and then selects a free WLAN channel based on the results.

As **WLAN channels overlap** due to their bandwidth, i.e. a WLAN signal on channel n can still interfere with channel $n+1$, the system searches for a non-overlapping channel that is undisturbed by other WLAN signals. This is done with the help of a sliding window, which ensures that the necessary channel spacing is maintained in the respective frequency band. The first free undisturbed WLAN channel is then selected for setting up the EdgeCAM WLAN network.

As it cannot be guaranteed that a channel that was initially recognised and selected as free will remain so throughout the entire period of use, **monitoring and channel change functions** have been added that enable the system to change channels later. To evaluate the quality of the current channel or the connection parameters, the gateway periodically prompts the other nodes to perform a scan for existing external WLAN activity. The nodes then inform the gateway about other WLAN networks found on the current EdgeCAM WLAN channel. If problems are detected, the gateway initiates a switch to an available free channel. Ideally, this switch can take place using the WLAN feature Channel Switch Announcement (CSA), which was first specified in the IEEE 802.11h standard. However, this feature requires support from the WLAN hardware used as well as full support from the associated Linux drivers on the nodes used.

Dynamic load balancing

To minimise the **latency** in the processing of the video streams, various platforms were examined in the project with regard to their performance and a load balancing concept was implemented that allows multi-camera nodes to outsource part or all of the processing of the recorded image data. This is implemented via a framework for the distributed processing of image processing algorithms, based on openCV. The framework consists of a client unit on a multi-camera node and a processing server running on another node in the EdgeCAM network.

www.imms.de/
realtime

The **monitoring** of a virtual security zone was implemented as a multi-stage image processing task in openCV as an example. After each stage, processing can be stopped on the client side and the remaining steps can be processed on the server. The processing of the script on the current node can be stopped at various points via a command interface if, for example, the computing power of the node is insufficient. In this case, the image data or already calculated intermediate results and the remaining part of the processing script are forwarded to the processing server. The point at which the processing of the script is split can be changed dynamically during operation.

www.imms.de/
monitoring

This enables simple load distribution between the nodes of the system. This essentially follows the concepts for intelligence partitioning developed by the Swedish partner Mid Sweden University and thus demonstrates a practical realisation of these concepts.

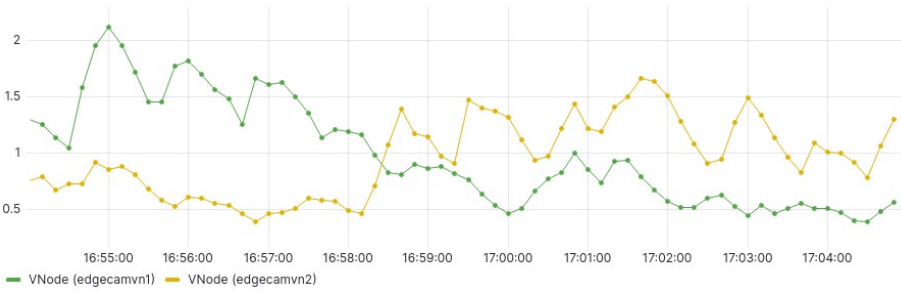


Figure 3: Load change after switching the image processing to the server. Source: IMMS.

OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) was used in the project to control and transfer the results of the distributed image processing. This allows the connection between the image processing client and server to be established and terminated dynamically via OPC UA (e.g. if new nodes are registered in the network) and the processing of image data to be moved dynamically between the client and server. This created the basis for dynamically distributing the image processing tasks among the nodes based on the current load situation of the overall system.

OPC-UA-based information exchange

OPC UA was used to exchange the necessary information for communications and the data to be processed as well as the monitoring results. OPC UA is a very universal, service-oriented communications protocol and offers a good starting point for networking in Industry 4.0 installations. With the Companion Specification for Machine Vision (OPC 40100-1), a specification for components for image recognition already exists, which covers various aspects of the EdgeCAM application area and thus provides an already standardised interface.

Each node in the EdgeCAM network implements an **OPC UA server**, which provides all relevant status information of the node in its information model. The function of the node can be controlled via methods in the information model. Events and alarms are used to forward events. OPC UA PubSub communications can also be used to transfer image data streams from the multi-camera nodes to other nodes in the network for further processing.

The OPC UA server of the gateway connects to all **multi-camera nodes** via server-to-server communications and thus has access to the overall status of the system, including all alarms and events. In its function as a server, it in turn provides the interface to the respective EdgeCAM installation.

A **local discovery server** (LDS) also runs on the gateway and serves as a registration point for the camera nodes. The last part of the OPC UA communications components is the **gateway client**. This acts both as a client in relation to the camera nodes and as a server in its role as an interface to a possible administration in the cloud.

The gateway client establishes a connection to all camera nodes in the system, collects their parameter information and provides an interface with which the camera nodes can be controlled. It also establishes a connection to a time series database that can be used to record all information from the EdgeCAM network.

The **implementation** was based on the OPC UA open-source stack open62541. This defines various data types as a basis, which serve as an API for accessing the camera node with their objects, attributes and methods. Local components can connect to this interface, e.g. to provide or receive parameter updates to the other nodes in the EdgeCAM network, as well as the gateway client, which handles communications and control with all camera nodes. The procedure for initialising communications via OPC UA in an EdgeCAM network is as follows: First, the discovery server starts on the gateway. The gateway client, which also runs on the gateway, connects to it. An

Figure 4: Demo setup in the IMMS foyer with multi-camera node and additionally marked safety zone. Photograph: IMMS.



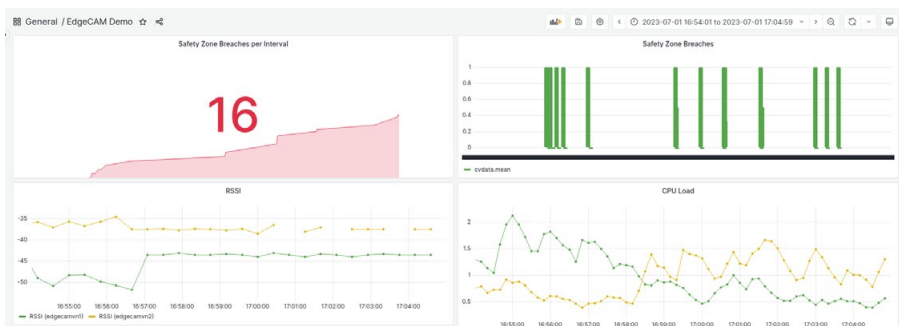


Figure 5: Screenshot of the Grafana-based visualisation of the demo for the Long Night of Science in Ilmenau with the number of violations of the security zone (top), reception strength of the multi-camera nodes (bottom left), and change in computing load (bottom right). Source: IMMS.

- > Integrated sensor systems
- > Distributed measurement + test systems
- > Mag6D nm direct drives
- > Contents
- * Funding

OPC UA server is now started on the camera nodes in the system, which registers with the gateway's local discovery server. This registration automatically notifies the gateway client, which now establishes a connection to the respective server of the camera node. The camera nodes are managed dynamically. This means that the connection to the nodes is monitored via various mechanisms. If it is lost, the camera node is automatically removed from the network.

Demo setup

A demonstrator was set up to show how the EdgeCAM system works. This consists of a multi-camera node, a gateway and a laptop as a human-machine interface (HMI) with visualisation of the camera image, the results of the detection and an interface for controlling the system for tests.

A simple **image processing algorithm** was selected as the image processing task, which can detect and display changes in a selected image area of a live video stream. This comes very close to the scenario of a virtual security zone. For this purpose, the camera image is captured, and the difference to the frame of the previous recording is calculated in several steps, such as blurring. Using edge detection and appropriate filtering of the results, movements can be detected in the desired image section. Figure 4 shows an installed multi-camera node and the safety zone in the image area. This was also marked on the ground for test purposes. However, this marking is not necessary for the function.

The **visualisation** of the recorded data of the EdgeCAM demo setup is implemented with the help of Grafana (see figures 3 and 5). This provides an extremely powerful method of gaining comprehensive insights into the operation of the system. Grafana also offers the possibility to set up alarms and notifications to be alerted to critical events or deviations from defined thresholds. This can be done via different channels, for which the system forwards the corresponding alarm to an external service. However, this only affects the detection of hazards, not the actual video image.

Conclusions and future work

The demo showed that the system developed in the project is able to create a virtual safety zone without additional hardware, even with simple classical image processing algorithms. However, the system is designed in such a way that it adapted to different situations flexibly and could also be used for other applications such as passenger counting at bus stops or similar. The advantage here is that the image information from the cameras does not leave the system, thus ensuring privacy. In this project, IMMS has used its expertise in dealing with communications networks and protocols to develop a system that can adapt to given radio situations. In addition, concepts for the distribution of processing tasks and dynamic load balancing for small embedded systems were developed and successfully tested.

Contact person: Dr.-Ing. Silvia Krug, silvia.krug@imms.de

Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag

The EdgeCam project was funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) / Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) on the basis of a resolution of the German Bundestag under the reference KK5048101GRo.

- 83

- > *Integrated sensor systems*
- > *Distributed measurement + test systems*
- > *Mag6D nm direct drives*
- > *Contents*
- * *Funding*

www.imms.de/
monitoring

www.imms.de/
iot

www.imms.de/
edgecam

Annual Report



Intelligente, vernetzte Kamerasysteme für mehr Sicherheit im mobilen Einsatz von Ladekränen

Im Projekt EdgeCam wurde eine Lösung erarbeitet, um Sicherheitszonen um mobile Kräne mit vernetzten Kameras aufzubauen. Foto: ArtisticOperations/Pixabay.

Motivation: Unfallprävention in mobilen Gefahrenbereichen mit anonymen Personen

Sicherheitszonen sollen dafür sorgen, dass sich keine Personen im Gefahrenbereich von Maschinen aufhalten, wenn diese in Betrieb sind. Das betrifft sehr viele Anwendungsbereiche von Fertigungszellen über Lagerhallen mit autonom fahrenden Gabelstaplern bis hin zu Ladekränen an LKWs. Ziel ist es, jeweils einen sicheren Betrieb zu garantieren und beim Bedienen der Maschine zu warnen, wenn eine potenzielle Gefährdung besteht, bzw. das System in einen sicheren Zustand zu bringen.

[www.imms.de/
edgcam](http://www.imms.de/edgcam)

Während es bereits sehr gute und restriktive Lösungen für Fertigungszellen gibt, bei denen der Roboter nur dann gestartet werden kann, wenn die Zelle frei von Hindernissen und Personen ist, ist das bei Anwendungen mit mobilen Maschinen schwieriger. Auch hier gibt es verschiedene Lösungen, die in Lagerhallen oder auf abgeschlossenen Firmengeländen genutzt werden können. Technisch erfolgt das mit Lichtschranken oder speziellen Tags, die Personen, die ebenfalls im Bereich arbeiten, bei sich tragen und so vom System erkannt werden können.

[www.imms.de/
i40](http://www.imms.de/i40)

Jahresbericht

© IMMS 2023

Eine solche Lösung ist allerdings nicht für Einsatzorte außerhalb eines Firmengeländes einsetzbar, da Passanten in der Regel nicht vorab mit Tags ausgestattet werden können und die Bedeutung von Lichtschranken ggf. nicht bekannt ist oder diese gar nicht wahrgenommen werden. Hier wird eine Alternative benötigt, die den Gefahrenbereich selbstständig überwachen kann und auch ggf. nicht einsehbare Hindernisse erkennt und entsprechend warnt. Der Fokus liegt auf der Vermeidung von Unfällen, die mit Personen im Gefahrenbereich und durch Kontakt mit Hindernissen entstehen können.

Lösung zur virtuellen Sicherheitszone im Überblick

Im Projekt EdgeCam hat sich das IMMS daher mit der Realisierung einer virtuellen Sicherheitszone befasst, die um beliebige Fahrzeuge aufgespannt werden kann. Damit soll es möglich sein, diese an jedem beliebigen Einsatzort sicher zu betreiben, wie z.B. einem LKW mit Ladekran. Um das zu erreichen, hat das IMMS zusammen mit dem Partner emsys GmbH spezielle Multikamera-Knoten entwickelt, die sich selbstständig drahtlos miteinander vernetzen und mithilfe der Bilder aller Kameras eine lückenlose virtuelle Sicherheitszone um den LKW bilden. Das System überwacht selbstständig kontinuierlich die Sicherheitszone um den Kran und kann so den Kranführer frühzeitig vor möglichen Gefahren warnen, auch wenn diese sich außerhalb seines Sichtbereichs befinden sollten. Die erfassten Bilddaten bleiben dabei im System und werden nicht an eine dritte Instanz übertragen, um Datenschutzanforderungen zu genügen. Um dieses System zu entwickeln, haben emsys und IMMS zunächst eine modulare Hardwareplattform entworfen, die mit unterschiedlichen Kameras und Kommunikationsmodulen aufgebaut wird.

Ziel ist es, aus den verfügbaren unterschiedlichen Kommunikationsoptionen intelligent diejenige auszuwählen, die am jeweiligen Einsatzort und für die aktuelle Aufgabe am geeignetsten ist. Außerdem kann das System so um weitere Kameras am Kran selbst oder am Ablageort ergänzt werden, um die Sicherheit weiter zu erhöhen.

Das entwickelte System ist dabei nicht nur flexibel an den Anwendungsfall LKW mit Kran anpassbar. Auch andere Anwendungen wie z.B. das Zählen von wartenden Menschen an Haltestellen sind mit der Hardware umsetzbar.

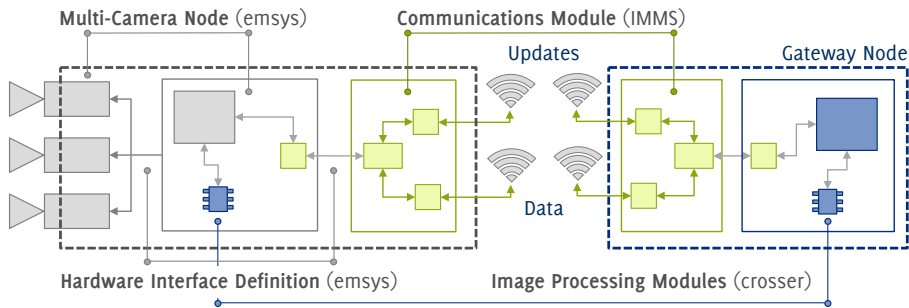


Abbildung 1: Schematischer Systemaufbau. Grafik: IMMS.

Gesamtsystemarchitektur

Das EdgeCam-System repräsentiert eine Gesamtsystemarchitektur für mobile Überwachungsaufgaben im Feld und besteht aus Multikameraknoten, welche mit mehreren Kameramodulen ausgestattet werden können, einem Gateway-Knoten, einem Mensch-Maschine-Interface (HMI) als Feedback an den Kranführer sowie einer flexiblen Kommunikationsunterstützung zwischen den beteiligten Knoten und ggf. dem Internet. Außerdem ermöglicht das System die Verteilung der Berechnungsaufgaben zwischen den beteiligten Knoten, um eine Lastverteilung zu erzielen. Für den Austausch der benötigten Informationen wird der Industriestandard OPC UA eingesetzt. Abbildung 1 zeigt den schematischen Systemaufbau.

Das Gateway unterscheidet sich von den anderen Knoten durch eine Reihe von zusätzlichen Funktionen. Dazu gehört die Konfiguration und Qualitätsüberwachung des lokalen drahtlosen Kommunikationsnetzwerkes mit den vorhandenen Multikamera-Knoten sowie die Kommunikation mit dem HMI. Außerdem ist das Gateway für das Management der Ergebnisse des EdgeCAM-Systems verantwortlich. Die Ergebnisdaten der Multikamera-Knoten müssen eingesammelt, aufbereitet und nachbearbeitet werden. Die finalen Ergebnisdaten müssen periodisch zum HMI weitergeleitet werden. Auftretende Gefahrensituationen (z.B. „Menschen im Arbeitsbereich“) müssen innerhalb der geforderten Zeit signalisiert werden. Das Gateway kann als dediziertes Gateway ohne Kamera oder als Knoten mit integrierter Kamera realisiert werden.

Hardware für EdgeCam-Multikameraknoten

Als Basishardware für alle Knotentypen dient die Plattform „Variscite DART MX8M PLUS“. Das Modul bietet Schnittstellen für bis zu zwei Kameras und ermöglicht es, z.B. über PCIe flexibel Funkmodule anzuschließen. Damit ist es für den Aufbau von

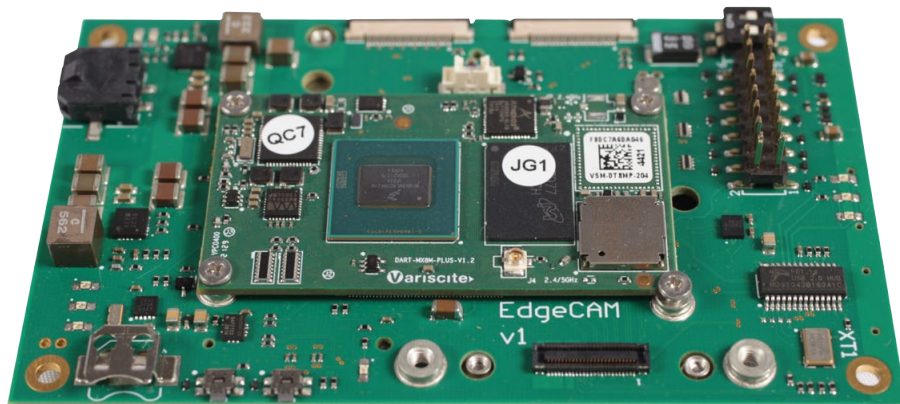


Abbildung 2: Hardware für Multikamera-Knoten. Foto: IMMS.

Multikamera-Knoten mit mehreren Funkmodulen, die parallel genutzt werden können, ideal. Ziel war es, eine kompakte Bauform zu realisieren, die alle vorgesehenen drahtlosen sowie auch verschiedene andere Schnittstellen integriert, um einen möglichst flexiblen Einsatz der Hardware zu gewährleisten. Das Layout der Platine wurde in enger Absprache mit dem Projektpartner emsys realisiert. Abbildung 2 zeigt das fertige Board.

Adaptives WLAN-basiertes EdgeCam-Netzwerk

Das EdgeCam-System operiert autark, d.h. es baut am Einsatzort zunächst ein stabiles und zuverlässiges WLAN-Netzwerk zwischen den Systemkomponenten auf. Das Gateway koordiniert dies und stellt sicher, dass alle Knoten des EdgeCAM-Systems nahtlos in das Netzwerk eingebunden werden und miteinander kommunizieren können. Dazu fungiert es als Access Point eines WLAN-Infrastrukturnetzwerkes, in das die anderen Knoten und das HMI direkt eingebunden werden. Um an beliebigen Orten ein solches Netz aufzubauen, muss der verwendete Kanal flexibel ausgewählt werden können. Dazu führt das Gateway nach dem Start des Systems eine Scan-Prozedur auf allen verfügbaren WLAN-Kanälen durch und wählt auf Basis der Ergebnisse anschließend einen freien WLAN-Kanal aus.

Da die **WLAN-Kanäle** aufgrund ihrer Bandbreite **überlappend** sind, d.h. ein WLAN-Signal auf Kanal n kann Kanal n+1 noch stören, wird ein freier, von anderen WLAN-Signalen ungestörter, nicht-überlappender Kanal gesucht. Das geschieht mit Hilfe eines gleitenden Fensters (Sliding Window), welches sicherstellt, dass der im jeweiligen Frequenzband notwendige Kanalabstand eingehalten wird. Der erste freie ungestörte WLAN-Kanal wird dann für den Aufbau des EdgeCAM-WLAN-Netzwerkes ausgewählt.

Da nicht sichergestellt werden kann, dass ein Kanal, der zu Beginn als frei erkannt und ausgewählt wurde, das über den gesamten Einsatzzeitraum auch bleibt, wurden **Monitoring- und Kanalwechselfunktionen** ergänzt, die es dem System ermöglichen, auch nachträglich den Kanal zu wechseln. Zur Evaluierung der Qualität des aktuellen Kanals bzw. der Verbindungsparameter fordert das Gateway die anderen Knoten periodisch auf, einen Scan nach vorhandenen fremden WLAN-Aktivitäten durchzuführen. Anschließend informieren die Knoten das Gateway über gefundene weitere WLAN-Netzwerke auf dem aktuellen EdgeCAM-WLAN-Kanal. Werden dabei Probleme erkannt, initiiert das Gateway einen Wechsel zu einem verfügbaren freien Kanal. Dieser Wechsel kann im Idealfall per WLAN-Feature Channel Switch Announcement (CSA) geschehen, das erstmalig im IEEE-802.11h-Standard spezifiziert worden ist. Dieses Feature erfordert allerdings Unterstützung durch die eingesetzte WLAN-Hardware sowie vollständige Unterstützung durch die dazugehörigen Linux Treiber auf den eingesetzten Knoten.

Dynamische Lastverteilung

Damit die **Latenz** bei der Berechnung der Videostrome minimiert werden kann, wurden im Projekt verschiedene Plattformen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit untersucht und ein Konzept zur dynamischen Lastverteilung umgesetzt. Es erlaubt Multikameraknoten, einen Teil oder die gesamte Verarbeitung der aufgezeichneten Bilddaten auszulagern. Realisiert wird das über ein Framework zur verteilten Abarbeitung von Bildverarbeitungsalgorithmen basierend auf openCV. Das Framework besteht aus einer Client-Einheit auf einem Multikamera-Knoten und einem Verarbeitungs-Server, welcher auf einem anderen Knoten im EdgeCAM-Verbund läuft.

www.imms.de/
realtime

Die **Überwachung** einer Sicherheitszone wurde als mehrstufige Bildverarbeitungsaufgabe in openCV exemplarisch implementiert. Nach jeder Stufe kann die Verarbeitung auf Clientseite gestoppt und die restlichen Schritte auf dem Server abgearbeitet werden. Über eine Kommandoschnittstelle kann die Abarbeitung des Skriptes auf dem aktuellen Knoten an verschiedenen Stellen angehalten werden, wenn z.B. die Rechenleistung des Knotens nicht ausreicht. In diesem Fall werden die Bilddaten bzw. bereits errechnete Zwischenergebnisse und der noch verbleibende Teil des Verarbeitungsskriptes an den Verarbeitungs-Server weitergeleitet. Der Punkt, an dem die Bearbeitung des Skriptes aufgeteilt wird, kann dynamisch im laufenden Betrieb verändert werden.

www.imms.de/
monitoring

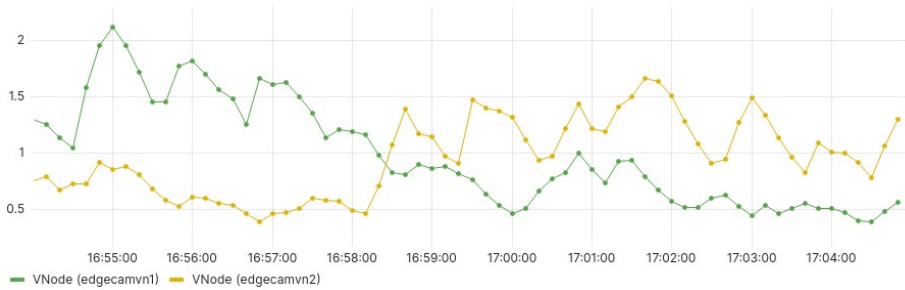


Abbildung 3: Änderung der Rechenlast nach Verlagerung der Bildverarbeitung an einem Multikamera-Knoten. Quelle: IMMS.

Somit ist eine einfache Lastverteilung zwischen den Knoten des Systems gegeben. Das folgt im Wesentlichen den vom schwedischen Partner Mid Sweden University entwickelten Konzepten zum Intelligence Partitioning und zeigt somit eine praktische Realisierung dieser Konzepte.

Für die Steuerung und die Ergebnisübertragung der verteilten Bildverarbeitung wurde im Projekt OPC UA (Open Plattform Communications Unified Architecture) eingesetzt. Damit lässt sich die Verbindung von Bildverarbeitungsclient und -server über OPC UA dynamisch auf- und abbauen (falls z.B. neue Knoten im Netz registriert werden) und die Verarbeitung der Bilddaten zwischen Client und Server dynamisch verschieben. Damit wurde die Grundlage geschaffen, abhängig von der aktuellen Lastsituation des Gesamtsystems die Bildverarbeitungsaufgaben dynamisch unter den Knoten zu verteilen.

OPC-UA-basierter Informationsaustausch

Um die notwendigen Informationen zur Kommunikation und der zu verarbeiteten Daten sowie die Ergebnisse der Überwachung untereinander auszutauschen, wurde OPC UA verwendet. OPC UA ist ein sehr universelles, Service-orientiertes Kommunikationsprotokoll und bietet eine gute Ausgangsbasis für die Vernetzung in Industrie-4.0-Installationen. Mit der Companion Specification for Machine Vision (OPC 40100-1) existierte zudem bereits eine Spezifikation für Komponenten zur Bilderkennung, welche verschiedene Aspekte des EdgeCAM-Anwendungsbereiches abdecken und so eine bereits standardisierte Schnittstelle bereitstellen.

Jeder Knoten im EdgeCam-Netzwerk implementiert einen **OPC-UA-Server**, welcher in seinem Informationsmodell alle relevanten Statusinformationen des Knotens bereitstellt. Über Methoden im Informationsmodell kann die Funktion des Knotens

gesteuert werden. Events und Alarmer dienen der Weiterleitung von Ereignissen. Mittels OPC-UA-PubSub-Kommunikation können zudem Bilddatenströme der Multikameraknoten an andere Knoten im Verbund zur Weiterverarbeitung übertragen werden.

Der OPC-UA-Server des Gateways verbindet sich mittels Server-zu-Server-Kommunikation zu allen **Multikameraknoten** und verfügt somit über den Gesamtstatus des Systems inklusive aller Alarmer und Events. In seiner Funktion als Server stellt er wiederum die Schnittstelle zur jeweiligen EdgeCAM-Installation bereit.

Auf dem Gateway läuft zudem ein **Local Discovery Server (LDS)**, der als Registrierungsstelle der Kameraknoten dient. Den letzten Teil der OPC-UA-Kommunikationskomponenten bildet der **Gateway-Client**. Dieser agiert sowohl als Client in Bezug zu den Kameraknoten als auch als Server in seiner Rolle als Schnittstelle zu einer möglichen Verwaltung in der Cloud.

Der Gateway-Client baut eine Verbindung zu allen Kameraknoten des Systems auf, sammelt deren Parameterinformationen und stellt eine Schnittstelle bereit, womit die Kameraknoten gesteuert werden können. Außerdem baut er eine Verbindung zu einer Zeitreihendatenbank auf, über die alle Informationen aus dem EdgeCAM-Verbund aufgezeichnet werden können.

Die **Implementierung** erfolgte auf Basis des OPC-UA-OpenSource-Stacks open62541. Dieser definiert als Basis verschiedene Datentypen, welche mit ihren Objekten, Attributen und Methoden als API für den Zugriff auf den Kameraknoten dienen. Zu

Abbildung 4: Demo-Setup im Foyer des IMMS mit Multikameraknoten und zusätzlich markierter Sicherheitszone. Foto: IMMS.



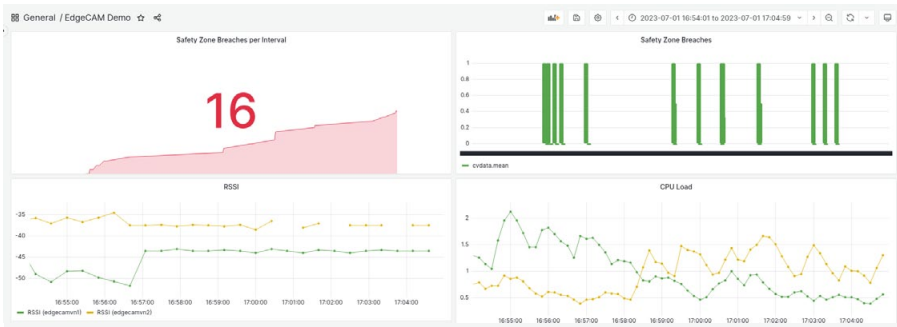


Abbildung 5: Screenshot der Grafana-basierten Visualisierung der Demo zur Langen Nacht der Wissenschaften in Ilmenau mit der Anzahl der Verletzungen der Sicherheitszone (oben), Empfangsstärke der Multikamera-Knoten (unten links), der Änderung der Rechenlast (unten rechts). Quelle: IMMS.

dieser Schnittstelle können sich sowohl lokale Komponenten verbinden, um z.B. den anderen Knoten im EdgeCAM-Verbund Parameter-Updates zur Verfügung zu stellen oder zu erhalten, als auch der Gateway-Client, welcher die Kommunikation und Steuerung mit allen Kameraknoten übernimmt. Der Ablauf für die Initialisierung der Kommunikation über OPC UA in einem EdgeCAM-Verbund ist wie folgt: Zuerst startet der Discovery-Server auf dem Gateway. Zu diesem verbindet sich der Gateway-Client, welcher ebenfalls auf dem Gateway läuft. Auf Kameraknoten im System wird nun ein OPC-UA-Server gestartet, welcher sich beim Local-Discovery-Server des Gateways registriert. Diese Registrierung benachrichtigt automatisch den Gateway-Client, welcher nun eine Verbindung zum jeweiligen Server des Kameraknotens aufbaut. Die Verwaltung der Kameraknoten erfolgt hierbei dynamisch. Das heißt, über verschiedene Mechanismen wird die Verbindung zu den Knoten überwacht. Sollte sie verloren gehen, wird der Kameraknoten automatisch aus dem Verbund entfernt.

Demoaufbau

Um die Funktionsweise des EdgeCAM-Systems zeigen zu können, wurde ein Demonstrator aufgebaut. Dieser besteht aus einem Multikameraknoten, einem Gateway und einem Laptop als HMI mit Visualisierung des Kamerabildes, der Ergebnisse der Detektion sowie einer Schnittstelle zum Steuern des Systems für Tests.

Als Bildverarbeitungsaufgabe wurde ein einfacher **Bildverarbeitungsalgorithmus** ausgewählt, der in einem ausgewählten Bildbereich eines Live-Videostroms Veränderungen erkennen und anzeigen kann. Dies kommt dem Szenario einer virtuellen Sicherheitszone sehr nahe. Hierzu wird das Kamerabild erfasst und über mehrere Schritte, wie z.B. Blurring, wird mit dem Frame der vorhergehenden Aufnahme ein

> Integrierte
Sensorsysteme
> Intelligente ver-
netzte Mess- u.
Testsysteme
> Mag6D-nm-
Direktantriebe

> Inhalt
* Förderung

Differenzbild errechnet. Über eine Kantenerkennung und eine entsprechende Filte-
rung der Ergebnisse können so Bewegungen im gewünschten Bildausschnitt detek-
tiert werden. Abbildung 4 zeigt einen installierten Multikamera-Knoten und die im
Bildbereich befindliche Sicherheitszone. Für Testzwecke wurde diese zusätzlich am
Boden markiert. Diese Markierung ist aber für die Funktion nicht notwendig.

Die **Visualisierung** der aufgezeichneten Daten des EdgeCAM-Demoaufbaus erfolgt
mithilfe von Grafana (vgl. Abbildungen 3 und 5). Das eröffnet eine äußerst leistungs-
fähige Methode, um umfassende Einblicke in den Betrieb des Systems zu gewinnen.
Grafana bietet auch die Möglichkeit, Alarime und Benachrichtigungen einzurichten,
um auf kritische Ereignisse oder Abweichungen von festgelegten Schwellwerten
aufmerksam gemacht zu werden. Das kann über unterschiedliche Kanäle erfolgen,
wozu das System den entsprechenden Alarm an einen externen Dienst weitergibt.
Betroffen ist jedoch nur die Erkennung von Gefahren, nicht das eigentliche Videobild.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit Hilfe der Demo konnte gezeigt werden, dass das im Projekt entwickelte System in
der Lage ist, auch mit einfachen Algorithmen der klassischen Bildverarbeitung eine
leistungsfähige Sicherheitszone ohne Zusatzhardware zu realisieren. Das System ist
zudem so gestaltet, dass es flexibel an verschiedene Situationen angepasst werden
kann und auch für andere Anwendungen wie z.B. Fahrgastzählung an Haltestellen
genutzt werden könnte. Von Vorteil ist dabei jeweils, dass die Bildinformationen der
Kameras das System nicht verlassen und somit die Privatsphäre sichergestellt ist. Das
IMMS hat in diesem Projekt seine Kompetenzen im Umgang mit Kommunikations-
netzwerken und -protokollen eingesetzt, um ein System zu entwickeln, dass sich
adaptiv an gegebene Funksituationen anpassen kann. Darüber hinaus wurden Kon-
zepte zur Verteilung von Bearbeitungsaufgaben und der dynamischen Lastverteilung
für kleine eingebettete Systeme entwickelt und erfolgreich getestet.

[www.imms.de/
monitoring](http://www.imms.de/monitoring)

[www.imms.de/
iot](http://www.imms.de/iot)

Kontakt: Dr.-Ing. Silvia Krug, silvia.krug@imms.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Projekt EdgeCam wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und
Energie (BMWi) / Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
(BMWK) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages unter
dem Kennzeichen KK5048101GRo gefördert.

[www.imms.de/
edgecam](http://www.imms.de/edgecam)

Jahresbericht