

Flexibles mobiles CT-System as a Service

Markus EBERHORN¹ Tobias SCHÖN¹ Adrian LAMBART¹ Stefan NOTTROT¹
Daniel RAUCH¹ Maik LUXA¹ Lutz HAGNER²

¹ Fraunhofer Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT, ein Bereich des Fraunhofer-Institute für integrierte Schaltungen IIS, Flugplatzstr. 75, 90768 Fürth, Germany, e-mail: Markus.Eberhorn@iis.fraunhofer.de

² Microvista GmbH, Am Mönchenfelde 12, 38889 Blankenburg (Harz), Germany, e-mail: Info@Microvista.de

Kurzfassung. Die industrielle Computertomographie (CT) ist ein etabliertes und in der Fertigungsprüfung sowie Qualitätssicherung ein immer häufiger gefordertes Standardwerkzeug für die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP). Belegt wird dies durch den kontinuierlich wachsenden Markt, nicht nur die Anzahl der weltweit verkauften CT-Systeme steigt, auch die Zahl der Messdienstleister nimmt stetig zu. Nicht verwunderlich, denn die Röntgentechnologie verbessert nicht nur das Sicherheitsniveau pro Teil, sondern kann auch bei der Kostenreduktion von der Entwicklung bis zur Produktion wichtigen Beitrag leisten.

System as a Service (SaaS)-Anwendungen und Cloud-Dienste verändern die heutige Informationstechnologie und unseren Alltag. Wie wird diese Art von Service die Zukunft der zerstörungsfreien Prüfung verändern? Die Firma Microvista, ein Servicespezialist im Bereich industrieller CT-Anwendungen, nimmt sich dieser Herausforderung an und hat das Fraunhofer EZRT beauftragt ein System zu entwickeln welches diese Herausforderung adressiert: Projektziel "Flexibles mobiles CT-System as a Service".

Motivation

Die industrielle Computertomographie (CT) ist ein etabliertes und in der Fertigungsmesstechnik sowie Qualitätssicherung ein immer häufiger gefordertes Standardwerkzeug für die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP). Belegt wird dies durch den stetig wachsenden Markt. Ein besonderes Augenmerk muss hierbei auf die Marktverteilung gelegt werden. Nicht nur die Anzahl der weltweit verkauften CT-Systeme steigt, insbesondere der Marktanteil an Dienstleistung mittels CT nimmt stetig zu und wird zunehmend das größere Wachstum über die nächsten Jahre aufzeigen. Nicht verwunderlich, denn dank der Röntgenprüfung kann nicht nur die Sicherheit der Bauteile sichergestellt werden, sondern kann maßgeblich bei der Kostenreduktion von der Entwicklung bis zur Produktion einen wichtigen Beitrag leisten.

System-as-a-Service (SaaS)-Anwendungen und Cloud-Dienste verändern die heutige Informationstechnologie und unseren Alltag. Wie wird diese Art von Servicedienstleistungen die Zukunft der zerstörungsfreien Prüfung beeinflussen oder diese nachhaltig verändern? [1] Die Firma Microvista, ein Servicespezialist im Bereich der industriellen CT stellt sich dieser Herausforderung und hat das Fraunhofer EZRT beauftragt, ein solches System zu entwickeln: Ein flexibles mobiles CT-System (siehe Abbildung 1), welches ein neues Level der Inspektion mittels CT erlaubt und die veränderten Produktionsprozesse unterstützt. Schnell auf Abruf verfügbar, eine einfache und schnelle Integration in die Produktionslinie erlaubt und nur so lange wie notwendig und erforderlich die Produktion vor Ort unterstützt.





Abbildung 1 Der Microvista "ScanExpress".

Stand der Technik

Die Entwicklung der industriellen CT hatte in den letzten Jahren verschiedene Schwerpunkte: Ein wesentlicher Fokus lag hierbei in der Beschleunigung des Prüftaktes und Automatisierung für die 100% Prüfung mittels CT in der Produktion. Weiterhin haben neue Anforderungen, wie die Inspektion von großen und aufgrund ihrer Materialzusammensetzung schwer untersuchbare Bauteile und Produkte, zu Neuentwicklungen im Bereich der Hochleistungs- und Hochenergieprüfsysteme für die Prüfung von z.B. ganze Fahrzeugen, insbesondere E-Fahrzeugen und deren Komponenten geführt. Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft kleinste Strukturen, die nur mittels hochauflösender Systeme untersucht werden können und eine Auflösung bis zu einigen Nanometern erlauben in Kombination mit photonenzählenden direktkonvertierenden Detektoren.

Methodik und Ergebnisse

Unsere Arbeit zeigt den Entwurf und die Realisierung eines flexiblen mobilen CT-Systems, welches die Konzepte für SaaS berücksichtigt, ein Hardware-Design welches flexibel und leicht anpassbar ist sowie eine neue Software-Pipeline von der Datenerfassung bis zum Reporting der Prüfergebnisse umfasst. Dies ermöglicht die folgenden Vorteile:

- Überschaubare Kosten und keine Notwendigkeit von ZfP-Expertenwissen dank automatischer Auswertung
- Geringer logistischer Aufwand – Machen Sie ZfP zum Bestandteil Ihrer Produktionslinie
- Einfache Handhabung – Mit nur einem Stecker und einer einfachen Systemkalibrierung können Sie loslegen.
- Schnelles Eingreifen und hohe Verfügbarkeit
- Direkter Remotesupport für das Einlernen neuer Teile
- Ermöglicht neue Abrechnungsmodelle (Pay per Use oder mtl. Fixpreis)

Die Systemhardware, ein System mit zwei Röntgenquellen, ermöglicht das Scannen von Teilen mit einer Auflösung von bis zu 50 μm sowie von großen Teilen wie Elektromotorgehäusen mit einer Auflösung von etwa 350 μm Voxel. Und dies in weniger als 30 Sekunden. Der mechanische Aufbau (Cage) ermöglicht die 2D-Prüfung von Teilen bis zu einer Länge von 1,8 m und einer Höhe von 1,5 m. Mittels 3D Computertomographie können Bauteile von 340 bis 700 mm Durchmesser und einer Höhe von 1600 bis 1800 mm untersucht werden. Neben der klassischen Axialen CT können auch Helix oder Laminographische Trajektorien umgesetzt werden. Das Gesamtsystem (siehe Abbildung 2) ist

wartungsfreundlich konzipiert. Bei der Umsetzung wurde insbesondere darauf geachtet, dass nur Standardkomponenten zum Einsatz kommen und das komplette Röntgensystem in einen 40'-Seefrachtcontainer verbaut werden kann und somit die schnelle Prüfung von Bauteilen direkt am Produktionsstandort selbst erlaubt.

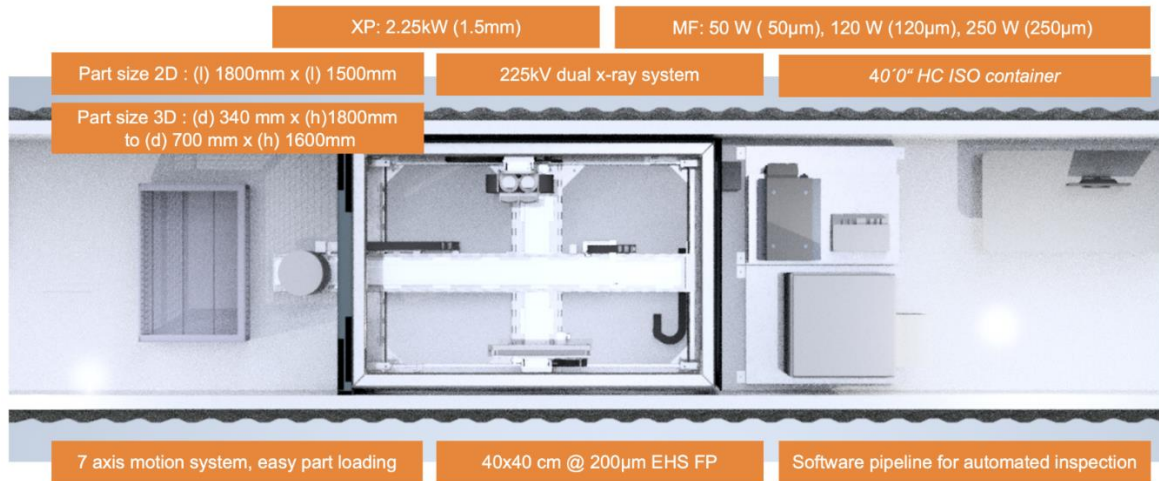


Abbildung 2 Systemhardware

Die Softwarearchitektur, die Softwarepipeline von der Datenerfassung bis zum Reporting der Prüfergebnisse, wurde ebenso mit dem Fokus auf SaaS realisiert. Nur die Datenerfassungssoftware und der hierzu benötigte Computer müssen Teil des Systems selbst sein. Die Rekonstruktions- und Analysesoftware sowie die IT- und die gesamte Verwaltungssoftware können entweder in einem von Microvista bereitgestellten firmeneigenen Rechenzentrum oder ebenso auf Cloud-Dienste ausgelagert werden. Zu diesem Zweck wurde die komplette Messdatenerfassungssoftware modernisiert und mit den aktuellsten Softwarekonzepten auf den neuesten Stand gebracht. Sie ist nun eine vollständig skriptbasierte Anwendung und verwendet eine RPC-Architektur (Remote Process Communication). Dies ermöglicht eine schnelle und einfache Anpassung aller Abläufe wie z.B. der Messabläufe ohne Software-Update.

Entwurf und Realisierung

Die wichtigste Randbedingung für die Systemhardware war der Aspekt der Transportierbarkeit und Mobilität bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Messfähigkeit der erwähnten Bauteilgrößen, Auflösung und Prüfdurchsatz. Das System muss so ausgelegt sein, dass es auf der Straße oder womöglich dem Seeweg transportiert werden kann, ohne jedes Mal teilweise demontiert werden zu müssen. Eine einfache Logistik und die schnelle Verfügbarkeit war oberstes Ziel. Auch das Gesamtgewicht und die Gewichtsverteilung des Gesamtsystems inklusive Strahlenschutz war zu berücksichtigen, um ein unkompliziertes Handling des Frachtcontainers zu ermöglichen.

Entsprechend musste das Grundgerüst für das Manipulator-System unter Berücksichtigung des verfügbaren Platzes und bei gleichzeitig notwendiger Steifigkeit mittels eines "leichten" Material im Gegensatz zu aktuell üblich auf Basis von Hartgestein oder Granit, realisiert werden. Um den mechanischen Spielraum zu erhalten und die mechanischen Gegebenheiten zu berücksichtigen, haben wir uns für eine käfigähnliche Konstruktion aus Stahl entschieden. Das System ist somit bereit für zukünftige Anwendungen, die möglicherweise mechanische Änderungen für eine andere Teilebelastung oder zusätzliche Bewegungskomponenten für eine erweiterte Scangeometrie erfordern - wie z.B. eine horizontale Scangeometrie.

Um eine zuverlässige und schnelle Online-Verbindung zu gewährleisten, wurden 5G und eine Satelliten-Internetverbindung für den Container realisiert. Eine externe Stromversorgung ist ebenfalls verfügbar, um die Möglichkeit zu bieten, das System in Umgebungen zu betreiben, die vollständig vom Stromnetz getrennt sind. Weiterhin wurde eine Klimazentrale installiert, die einen breiten Temperaturbereich berücksichtigt, in dem das System betrieben werden kann. Der Container wird aktiv klimatisiert und die Temperatur überwacht. Das Thermomanagement beinhaltet auch eine Systemüberwachung speziell zur Sicherstellung einer korrekten Scangeometrie und ist Teil der neuen Software-Pipeline.

Die neue Softwarearchitektur wurde ebenfalls mit dem Fokus auf SaaS realisiert. Als Basisplattform verwenden wir das Open-Source Robot Operating System (ROS). ROS ist eigentlich kein Betriebssystem, sondern ein SDK (Software Development Kit), das die Bausteine bereitstellt, die zum Erstellen von Roboteranwendungen benötigen werden. [2] Autonome Robotersysteme wie Personal Service Robots sind sehr komplexe Systeme, die aus mehreren Sensoren, Aktoren, Kamerasystemen und leistungsstarken Servern aufgebaut sind. Es kann auf verschiedenen Hardware- und Softwareplattformen ausgeführt werden, die alle über ein Netzwerk verbunden sind und kommunizieren. Diese zugrundeliegende Designphilosophie und die aktuelle Version von ROS – Version 2 – passen perfekt zu den Anforderungen unseres SaaS-Konzepts. ROS 2 ist eine zuverlässige und weit verbreitete Open-Source-Software, die eine flexible Kommunikation von Komponenten ermöglicht und über ein großes Ökosystem kompatibler Codes und Tools verfügt. Die Neuentwicklung auf Basis von ROS ist das Fraunhofer EZRT - ROS CT. (siehe Abbildung 3)

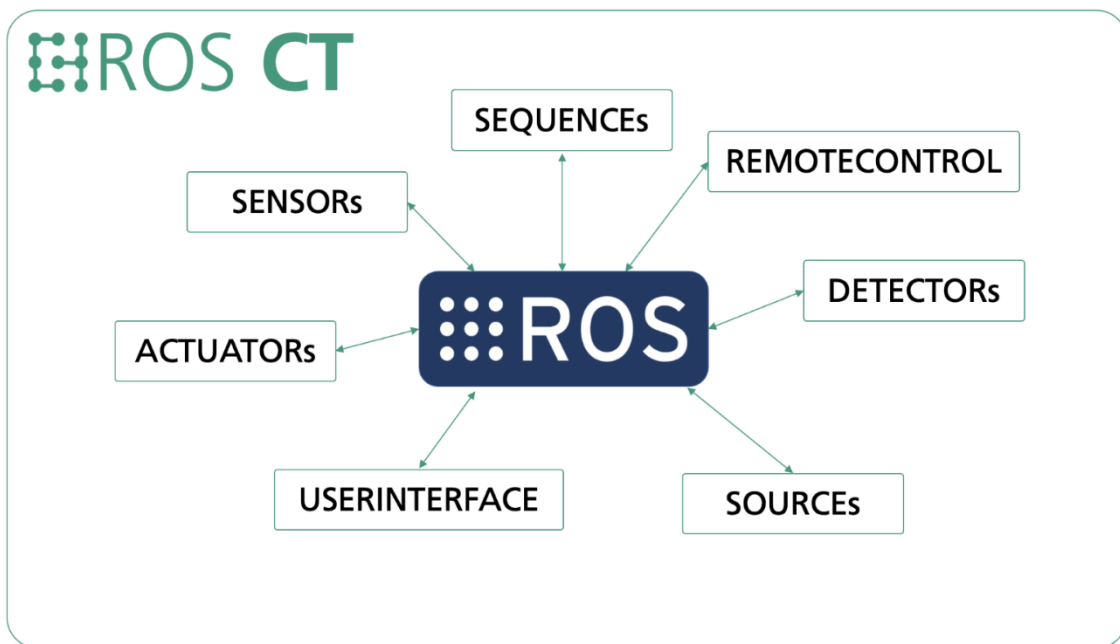


Abbildung 3 Fraunhofer ROS CT realization based on ROS

Die flexible Benutzeroberfläche (UI) (siehe Abbildung 4) ist in QT realisiert und umfasst eine einfache Plug-in-Schnittstelle für spezifische Erweiterungen, die spezifische Kundenanforderungen erfüllen und gleichzeitig die Benutzerfreundlichkeit des Systems erweitern können. Es bietet zuverlässige und bewährte Bausteine zur Steuerung von Quelle, Detektor und Bewegung. Die Kernfunktionalität wird durch eine Sequenzsteuerung ermöglicht und ist eine der wichtigsten Innovationen innerhalb des neuen Konzepts. Messabläufe sind sehr flexibel und können ohne Neukompilierung geändert werden. Für

das Scripting wird die Programmiersprache Python verwendet. Es bietet dem Benutzer daher viel Freiheit und reduziert Fehlfunktionen, wenn Sequenzen geändert oder hinzugefügt werden müssen, um kundenspezifische Herausforderungen anzugehen. Mit ROS CT verbundene Komponenten können einfach hinzugefügt werden, und der Erweiterung des Systems und dem Hinzufügen von Funktionen sind keine Grenzen gesetzt.

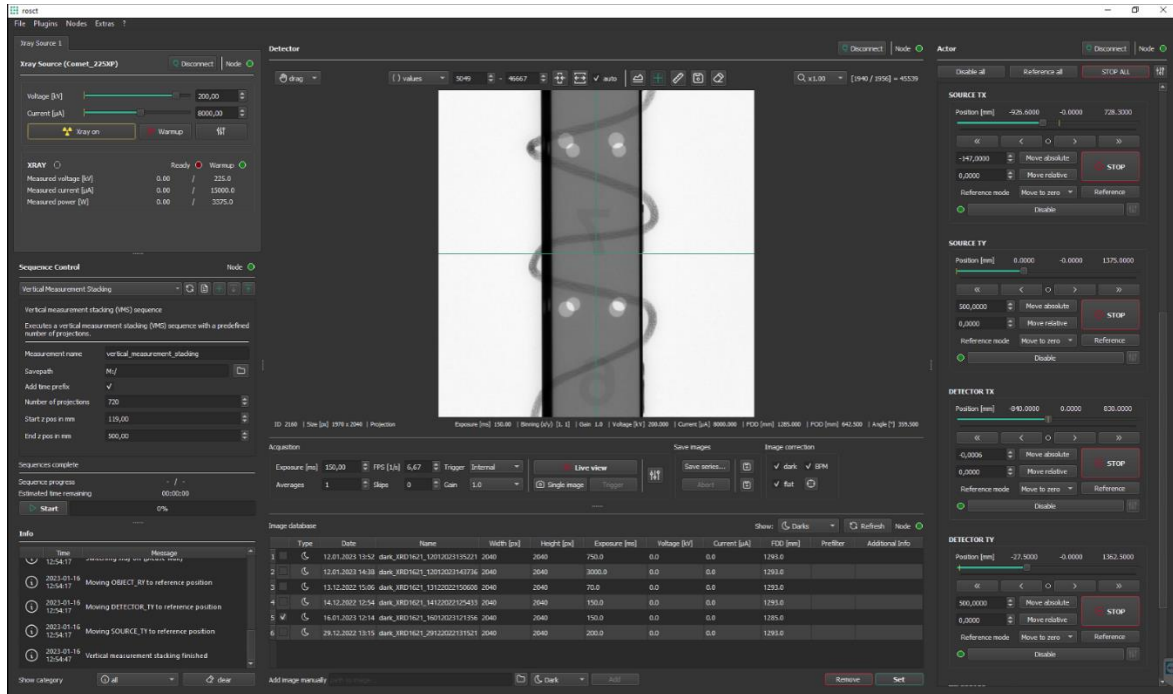


Abbildung 4 Fraunhofer ROS CT UI

Abbildung 5 zeigt ein mögliches Setup für die Cloud-ähnliche MV-Pipeline-Lösung. Innerhalb dieser Konfiguration werden die Rekonstruktion und die Analyse der Daten in der MV-Zentrale durchgeführt und nur der ROS-CT-Messdienst und eine einfache Endbenutzer-Benutzeroberfläche laufen auf einem lokalen System bei ScanExpress.

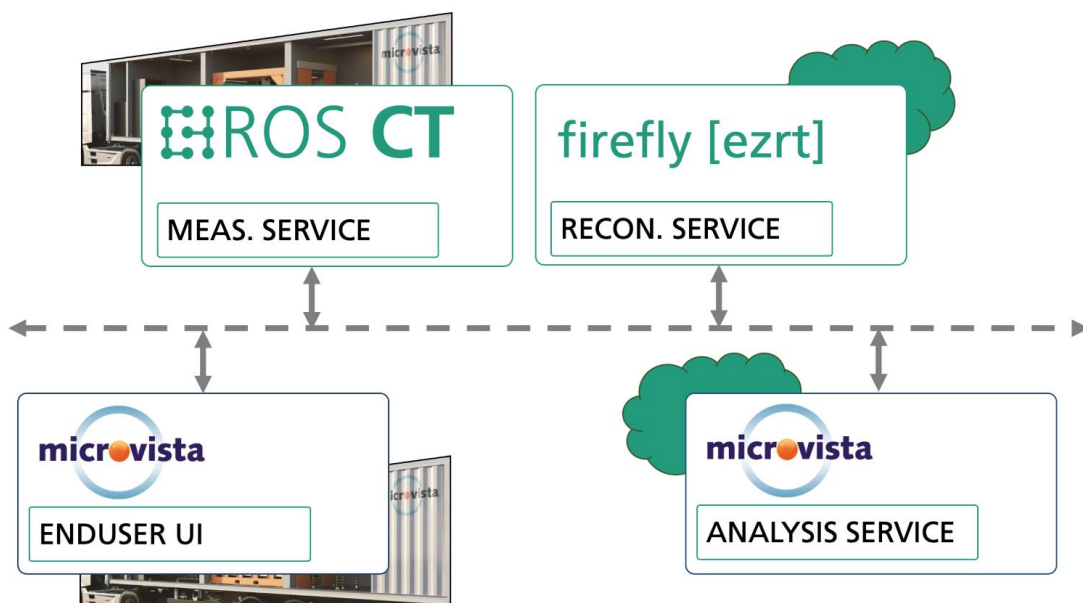


Abbildung 5 Fraunhofer ROS CT User interface

Dieses Konzept erlaubt die vollständige Konfiguration vom Tech-In über die Optimierung des Scanprozesses bis hin zur Parametrierung der automatisierten Analyse durch einen Experten von MV per Remote.

Summary

In dieser Arbeit wird ein flexibles mobiles CT-System für industrielle ZfP-Anwendungen entworfen und realisiert. Das vom Fraunhofer EZRT für das Unternehmen Microvista entwickelte System beinhaltet System-as-a-Service-Konzepte und bietet anpassbare und spezialisierte Hardware sowie eine neue Software-Pipeline für Datenerfassung und Reporting der Ergebnisse. Das System ist wartungsfreundlich konzipiert und passt in einen 40-Fuß-Frachtcontainer, was eine schnelle Inspektion von Bauteilen direkt am Produktionsstandort ermöglicht. Die Softwarearchitektur konzentriert sich auf SaaS, wobei Rekonstruktions- und Analysesoftware sowie IT- und Gesamtverwaltungssoftware von Microvista über ein verbundenes Netzwerk oder ein Cloud-ähnliches Netzwerk bereitgestellt werden. Zu den Vorteilen des Systems gehören erschwingliche Investition, geringer Logistikaufwand, einfache Einrichtung, schnelle Intervention, hohe Betriebszeit und Remote-Support für das Einlernen neuer Teile und ermöglicht neue Geschäftsmodelle.

References

[1] Byron W. Keating, Janet R. McColl-Kennedy, David Solnet, Theorizing beyond the horizon: service research in 2050 , Journal of Service Management, 29 (2018) 766 – 775.

[2] ROS, The ROS Ecosystem, <http://www.ros.org/blog/ecosystem> (10.01.2023)