

## MUSE



### Kontakt

Samuel Pletner  
Forschungsgruppenleiter  
Systemarchitekturen  
System Quality Center – SQC  
Tel. +49 30 3463-7490  
samuel.pletner@fokus.fraunhofer.de

Fraunhofer FOKUS  
Kaiserin-Augusta-Allee 31  
10589 Berlin

[www.fokus.fraunhofer.de/de/sqc](http://www.fokus.fraunhofer.de/de/sqc)

Bei Andock- oder Landemanövern im All müssen Raumfahrzeuge präzise und ausfallsicher operieren. Für eine einwandfreie Positionierung müssen sie eine Flut von Sensordaten in Echtzeit verarbeiten und das mit hoher Zuverlässigkeit unter extremen Umgebungsbedingungen. Der Leistungsbedarf dieser Anwendungen ist für die zurzeit verfügbaren weltraumtauglichen Rechner so immens, dass Kompromisse, z. B. hinsichtlich der Qualität der Bildverarbeitung, unumgänglich sind. Außerdem ist die mögliche Stromaufnahme bei Bordrechnern limitiert. Will man die Qualität verbessern, ist dies nur durch eine weitere Leistungssteigerung der Satellitenrechner möglich. Im Rahmen des Projekts MUSE (Multicore Architektur zur sensorbasierten Positionsverfolgung im Weltraum) untersucht Fraunhofer FOKUS daher, inwieweit Multicore-Prozessoren für die Auswertung von Sensordaten und die Positionierung von Raumfahrzeugen geeignet sind und wie eine entsprechende Rechnerarchitektur aussehen müsste.

---

### Multicore-Architektur

---

Als Grundlage für die Entwicklung eines entsprechenden weltraumtauglichen Bordrechners wurde die PowerPCMulticore-Familie »QorIQ« von Freescale gewählt. Der neue 8-Kern-Prozessor P4080 kann mit einer Taktfrequenz von bis zu 1,5 GHz betrieben werden und damit theoretisch eine Spitzenleistung von etwa 60 GIPS (GIGA-Instruktionen pro Sekunde) liefern. Bisherige Weltraumrechner wie der SCS750@ liefern 1,8 GIPS bei 800 MHz. Der P4080 wird in der besonders verlustleistungsarmen SOI (Silizium On Insulator) Technologie gefertigt, die darüber hinaus weniger strahlungsempfindlich ist als die herkömmliche CMOS-Technologie. Neben hoher Rechenleistung und Energieeffizienz bietet er zusätzlich die Vorteile eines hoch integrierten Embedded-Prozessors. Alle wichtigen Funktionen sind bereits on-chip integriert.

*Der 8-Kern-Prozessor P4080 wurde sowohl zur Maximierung der Rechenleistung als auch zur Realisierung leistungsfähiger Fehlertoleranzmechanismen genutzt*



## Fehlertoleranz

Besonderes Augenmerk liegt auf der Entwicklung effizienter Fehlertoleranzmechanismen. Sie müssen sicherstellen, dass sporadische Datenverfälschungen, die durch Weltraumstrahlung entstehen, zuverlässig erkannt und behandelt werden. Deshalb ist die Hardware des Systems durchgehend zweifach ausgelegt. Die redundanten Verarbeitungsknoten arbeiten nach dem Worker-Monitor-Prinzip. Dabei werden die Berechnungen nur durch einen Knoten, den Worker, ausgeführt. Der redundante Knoten (Monitor) überwacht die korrekte Arbeitsweise des Workers. Wird im Worker-Knoten ein Fehler erkannt, so wird automatisch auf den Monitor-Knoten umgeschaltet, der die Berechnung als neuer Worker-Knoten fortführt. Durch das robuste Worker-Monitor-Prinzip wird eine hohe Verfügbarkeit des Systems selbst im Fehlerfall gewährleistet. Zusätzlich muss ausgeschlossen werden, dass unerkannte Fehler zu falschen Steuerbefehlen führen und so eine unkontrollierte Bewegung des Raumfahrzeugs hervorrufen. Aus diesem Grund werden die acht Prozessorkerne des P4080 nicht nur zur Maximierung der Rechenleistung, sondern auch zur Realisierung leistungsfähiger Fehlertoleranzmechanismen genutzt. Besonders kritische Berechnungen werden parallel auf verschiedenen Prozessorkernen ausgeführt, um so die Ergebnisse durch einen sicheren Vergleich überprüfen zu können. Hierfür realisieren die Hardwarepezialisten eine Synchronisierungs- und Voting-Einheit in einem strahlungstoleranten FPGA-Baustein, die redundante Berechnungsergebnisse on-the-fly vergleichen kann. Durch die Mehrheitsentscheidung über die redundant ausgeführten Berechnungen wird die Ausgabe fehlerhafter Steuerungsbefehle zuverlässig verhindert.

## Effiziente Algorithmen für die Verarbeitung von Sensordaten

Neben der Steuerungshardware wird in MUSE ein optischer Positionssensor entwickelt, der in einem realen Raumfahrzeug mit anderen Sensoren (z. B. Radar oder laserbasierter Entfernungsmessung, LIDAR) kombiniert werden würde. Mithilfe des Positionssensors wird das aktuelle Bild von bis zu drei Kameras mit vorab gespeicherten Bildinformationen der geplanten Landestelle verglichen. In einer Trainingsphase wird mittels vorhandener Bilddaten (2D und digitales Höhenmodell) sowie FERN Classifiern ein Modell der Landestelle erstellt. Während des Landeanflugs werden die aktuellen Kameradaten mithilfe des FAST-Feature-Erkennungsverfahrens mit dem Modell der Landestelle verglichen und die Flugbahn entsprechend korrigiert. Das Verfahren wird durch einen Vergleich des gespeicherten mit dem aktuellen Kamerabild zusätzlich abgesichert. Darüber hinaus kann mittels zweier Kameras ein Stereobild erstellt werden, mit dem sowohl der Abstand zur als auch die Beschaffenheit der Landoberfläche ermittelt werden kann. Alle Algorithmen laufen bei Bedarf redundant und werden so parallelisiert, dass alle acht Cores der Hardware optimal ausgenutzt werden.

## Technologie

- 8-Kern-Prozessor P4080
- PowerPC-Multicore-Familie »QorIQ« (Freescale)
- Taktfrequenz: bis zu 1,5 GHz
- Spitzenleistung: etwa 60 GIPS (GIGA-Instruktionen/ Sek.)
- SOI (Silizium On Insulator)-Technologie
- Multi-GigaBit Kommunikationskanäle (6 x GBit Ethernet, 2 x PCI express, 2 x Rapid I/O)
- 2 x Space Wire
- Flexible Schnittstellen-Konfiguration durch getrennte I/O-Platine
- Strahlungstoleranter FPGA-Baustein mit dreifach redundanter Logik (TMR)
- Synchronisierungs- und Voting-Einheit (TMR)
- schnelle parallele Bildverarbeitungsalgorithmen

## Förderung

Das Projekt wird von der Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie gefördert.

