



Informatik aktuell

W. A. Halang
H. Unger (Hrsg.)

Logistik und Echtzeit
Echtzeit 2017

 Springer Vieweg

The logo for Springer Vieweg features a stylized chess knight (horse) facing left, positioned above a horizontal line. To the right of this icon, the words 'Springer Vieweg' are written in a clean, sans-serif font.

Informatik aktuell

Herausgegeben
im Auftrag der Gesellschaft für Informatik (GI)

Wolfgang A. Halang
Herwig Unger (Hrsg.)

Logistik und Echtzeit

Echtzeit 2017

Fachtagung des gemeinsamen Fachausschusses
Echtzeitsysteme von
Gesellschaft für Informatik e.V. (GI),
VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) und
Informationstechnischer Gesellschaft im VDE (ITG)
Boppard, 16. und 17. November 2017

GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK E.V.



VDE

VDI/VDE-Gesellschaft
Mess- und Automatisierungstechnik

ITG

INFORMATIONSTECHNISCHE
GESELLSCHAFT IM VDE



Springer Vieweg

Herausgeber

Wolfgang A. Halang
Lehrstuhl für Informationstechnik
FernUniversität in Hagen
Hagen, Deutschland

Herwig Unger
Lehrstuhl für Kommunikationsnetze
FernUniversität in Hagen
Hagen, Deutschland

Programmkomitee

R. Baran	Hamburg
J. Bartels	Krefeld
M. Baunach	Graz
B. Beenen	Lüneburg
J. Benra	Wilhelmshaven
V. Cseke	Wedemark
R. Gumzej	Maribor
W. A. Halang	Hagen
H. H. Heitmann	Hamburg
M.M. Kubek	Hagen
R. Müller	Furtwangen
M. Schaible	München
G. Schiedermeier	Landshut
U. Schneider	Mittweida
H. Unger	Hagen
D. Zöbel	Koblenz

Netzstandort des Fachausschusses Echtzeitsysteme: www.real-time.de

CR Subject Classification (2001): C3, D.4.7

ISSN 1431-472X

ISBN 978-3-662-55784-6 ISBN 978-3-662-55785-3 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-55785-3>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH, DE

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Die fachliche Herkunft der Mitglieder der „Echtzeitszene“ ist in erster Linie in der industriellen Automatisierungstechnik und in anderen technisch-wissenschaftlichen Anwendungsgebieten zu suchen. Andererseits gibt es aber auch in anderen Lebens- und Wirtschaftsbereichen zeitkritische informationstechnische Anwendungen, weshalb es nicht schaden kann, auch einmal genauer zu betrachten, was dort im Hinblick auf Echtzeitsysteme geschieht. Dabei kommt einem sicher sofort die Logistik in den Sinn, weil viele Fertigungsbetriebe heute auf „Just-in-time“-Belieferung setzen, um die Lagerung von Vormaterial zu vermeiden und auf diese Weise Kosten zu senken.

Deshalb wählte das Programmkomitee „Logistik und Echtzeit“ als Leitmotiv für die diesjährige Tagung und rief zur Einreichung entsprechender Beiträge auf. Die Tatsache, dass der Rückfluss sich auf diese Thematik beziehender Vortragsanmeldungen eher gering war, lässt darauf schließen, dass die Gräben zwischen den Disziplinen und Fachkulturen wohl immer noch recht breit sind. Trotzdem kamen immerhin drei Einreichungen zusammen, die in einer Sitzung zum Thema Logistik vorgestellt werden. Zwei davon beschäftigen sich mit Verfahren zur Modellierung von Lieferketten, insbesondere der Automobilindustrie, die u.a. zum simulativen Nachweis dafür dienen, ob untersuchte Lieferketten als soziotechnische Systeme die in sie gesetzten zeitlichen Erwartungen, d.h. die Anforderung an ihr rechtzeitiges Funktionieren, einhalten können.

Der dritte Beitrag zum Thema Logistik betrachtet ein Gebiet, das sich auf der Grundlage der klassischen kommerziellen Datenverarbeitung entwickelt hat und dessen Vertreter offensichtlich keinen Kontakt zur eher technisch-industriellen Echtzeitszene haben. Es dreht sich dabei um die automatisierte Abwicklung einer großen Anzahl von Aufträgen an den Kapitalmärkten mit hoher Geschwindigkeit. Da dieser so genannte Hochfrequenzhandel eine Anwendung der Informations- und Kommunikationstechnik darstellt, für die durchaus harte Echtzeitanforderungen gelten, werden die an den Börsen eingesetzte Rechentechnik betrachtet mit dem Ergebnis, dass die Handelssysteme auf Schnelligkeit, jedoch nicht auf Echtzeitfähigkeit hin ausgelegt sind.

Die erste Sitzung der Tagung wendet sich aber zunächst einmal den für den Echtzeitbereich typischen, in industrielle Anwendungen eingebetteten Systemen zu. Für sie wurden aufbauend auf einem aktuellen Mehrkernprozessor ein Einplatinenrechner neu entwickelt und darauf das bewährte Echtzeitbetriebssystem RTOS-UH sowie eine Laufzeitumgebung für die Sprache PEARL portiert. Ihre Einbettung in physikalische Umgebungen und ihre Ressourcenbeschränktheit gestalten Aktualisierung und Testen eingebetteter Systeme inhärent schwierig. Diesen Problemen nehmen sich zwei Beiträge an, die Mechanismen zu ihrer partiellen Änderung im laufenden Betrieb bei Wahrung der Echtzeitfähigkeit und eine, in einen agilen Entwicklungsprozess integrierte Testumgebung vorstellen, die automatisiert Testdaten bereitstellt und die Testergebnisse auswertet.

Auch die dem Thema Echtzeitkommunikation gewidmete Sitzung blickt über den Tellerrand automatisierungstechnischer Anwendungen hinaus. Um von mobilen Geräten aus effizientes Video-Livestreaming über Peer-to-Peer-Netze zu ermöglichen, musste für die Umsetzung der Netzadressen ein neues Signalisierungsverfahren konzipiert und validiert werden. Mit Videostreams werden im Rahmen des E-Learnings auch Lehrveranstaltungen übertragen. Eine benutzerfreundliche Alternative zu herkömmlichen Evaluationsmethoden erlaubt es den Lernenden, durch Bildschirmgesten in Echtzeit Rückmeldungen zum Geschehen zu geben.

Um die durch Einsatz von Mehrkernprozessoren in elektronischen Steuergeräten erhöhte Verarbeitungskapazität auch wirklich nutzbar zu machen, wird in der Sitzung über Leistungssteuerung und -bewertung ein Prozess zur Task-Migration als Reaktion auf Umgebungsanpassungen vorgestellt. Die Veränderung des Laufzeitverhaltens von Software durch Testinstrumentierung stört den Entwicklungsprozess von Echtzeitsystemen. Abhilfe schafft hier eine neuartige Baugruppe, die ohne Systemeingriffe die Laufzeiten nebenläufiger Tasks überwacht und erfasste Ereignisse den Entwicklern mitteilt. Weil die Einhaltung vorgegebener Fristen die vornehmste Eigenschaft von Echtzeitsystemen ist, gibt es Analysatoren zur Abschätzung der maximalen Ausführungsdauern von Anwendungsprogrammen nach oben. Ihre Qualität kann mit einem Werkzeug bewertet werden, das Benchmarks mit bekannten, längsten Ausführungspfaden erzeugt.

Benchmarks sind auch das Hilfsmittel, um das Zeitverhalten des Datenverkehrs mit der Peripherie von Mikrocontrollern zu analysieren und im Rahmen sicherheitskritischer Anwendungen obere Schranke für die Programmausführungszeit festzulegen. Da ihre Einsatzgebiete häufig Sicherheitsbezug haben, ist funktionale Sicherheit ein wichtiger Aspekt für eingebettete Systeme. Dementsprechend wird in der diesem Thema gewidmeten Sitzung für Vermeidung dynamischer Ressourcenverwaltung durch Betriebssysteme und ressourcenadäquate Systemauslegung geworben. Die fortwährende Verkleinerung integrierter Schaltkreise vermindert ihre elektromagnetische Verträglichkeit, was zu vermehrten Kontroll- und Datenflussfehlern führt. Es wird gezeigt, wie solche Fehler einfacher und zuverlässiger als mit bisherigen software-basierten Ansätzen von mit gerätetechnischen Architekturmerkmalen ausgestatteten Prozessoren erkannt werden können.

Frau Dipl.-Ing. Jutta Düring sei sehr herzlich dafür gedankt, in bewährter Weise die Einreichungen mit größter Sorgfalt redigiert sowie den vorliegenden Tagungsband konsistent zusammengestellt und ansprechend gestaltet zu haben.

Inhaltsverzeichnis

Eingebettete Systeme

Entwicklung eines Singleboardcomputers mit RTOS-UH/PEARL für industrielle Anwendungen	1
<i>Jan Bartels</i>	
Towards Dynamically Composed Real-time Embedded Systems	11
<i>Leandro Batista Ribeiro, Marcel Baunach</i>	
Testmanagement in einem agilen Umfeld zur Entwicklung eingebetteter Systeme	21
<i>Barbara Beenen</i>	

Echtzeitkommunikation

Video-Livestreaming von mobilen Geräten über Peer-to-peer-Netze	29
<i>Thomas Birkenseer</i>	
Echtzeit-Rückmeldung zu mittels MP4-Videostreams übertragenen Lehrveranstaltungen durch Bildschirmgesten	39
<i>Alexander Schwab</i>	

Leistungssteuerung und -bewertung

Task-Migration in eingebetteten Mehrkernsystemen	49
<i>Tobias Meier, Michael Ernst, Andreas Frey</i>	
Ein Benchmarkgenerator zur Bewertung von WCET-Analysatoren	59
<i>Christian Eichler</i>	
Einheit zur anwendungsbezogenen Leistungsmessung für die RISC-V-Architektur	69
<i>Tobias Scheipel, Fabian Mauroner, Marcel Baunach</i>	

Logistik und Echtzeit

Modellierung und Simulation von Lieferketten	79
<i>Roman Gumzej, Bojan Rosi</i>	
System Dynamics Modelling in Automotive Supply Chain Management . .	89
<i>Roman Gumzej, Klavdija Grm</i>	
Hochfrequenzhandel und Echtzeit	99
<i>René Schwantuschke</i>	

Funktionale Sicherheit

Zeitanalyse in EA-Netzen von Mikrocontrollern mittels Mikrobenchmarks 109
Georg Seifert, Peter Hartlmüller

Vermeidung dynamischer Betriebsmittelverwaltung in
sicherheitsgerichteten Echtzeitsystemen 119
Daniel Koß

Überwachung des Kontroll- und Datenflusses bei der Programmausführung 129
Stefan Widmann

Entwicklung eines Singleboardcomputers mit RTOS-UH/PEARL für industrielle Anwendungen

Jan Bartels

Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH
Siempelkampstraße 75, 47803 Krefeld
jan.bartels@siempelkamp.com

Zusammenfassung. Die Firma Siempelkamp setzt seit über 20 Jahren VMEbus-basierte Prozessrechner für die Regelungstechnik an kontinuierlich arbeitenden Pressen zur Span- und Faserplattenherstellung ein. Die Programmierung erfolgt in der Echtzeithochsprache PEARL unter dem Betriebssystem RTOS-UH, das zunächst auf Prozessoren der Motorola 68k-Familie sowie später dem PowerPC implementiert wurde. Nach der Abkündigung der bisher verwendeten PowerPC-CPU steigt Siempelkamp nun mit einem eigens entwickelten Singleboardcomputer auf moderne QorIQ-MultiCore-CPUs von NXP/QualComm unter Beibehaltung von RTOS-UH/PEARL um.

1 Einleitung

Der Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau fertigt Anlagen für die Span- und Faserplattenherstellung. Das Kernstück der Anlage ist die sogenannte ContiRoll-Pressen. In dieser kontinuierlich arbeitenden Presse werden die beleimten Holzspäne oder -fasern unter Temperatureinfluss zu einer endlosen Platte verpresst, die anschließend in die gewünschte Länge gesägt wird. Für die komplexe Regelung der Hydraulik setzt Siempelkamp seit über 20 Jahren VMEbus-basierte Prozessrechner unter dem Namen „Siempelkamp Press Controller“ (SPC) (vgl. Abb. 1) ein.

Um eine ausreichende Rechenleistung für die Regelung bereitstellen zu können, wurde seit Mitte der 1990er Jahre ein VMEbus-System mit 5 CPU-Karten mit jeweils einem 68040 als lose gekoppeltes Mehrprozessorsystem eingesetzt. Die E/A-Signale wurden mit 5 VMEbus-Interbus-S-Controllern der Generation 3 eingelesen. Dazu kamen noch weitere VMEbus-Karten mit direkter Peripherieanbindung für schnelle Signale. Ende der 1990er Jahre erfolgte der Umstieg auf leistungsfähigere CPUs vom Typ 68060, nachdem die zu regelnde Pressenhydraulik erheblich umfangreicher geworden war. Mit dem Wechsel von 68k-CPUs auf PowerPCs im Jahr 2004 war eine Abkehr vom Mehrprozessorsystem verbunden. Der PowerPC bot so viel Rechenleistung, dass alle Rechenaufgaben auf eine CPU-Karte verlagert werden konnten. Die Peripherieanbindung erfolgte weiterhin über den INTERBUS-S mit VMEbus-Controllern der Generation 4. Die Abkündigung der Interbus-S-Controllerkarten machte vor ca. 4 Jahren den schon



Abb. 1. VMEbus-System (hinten) und neuer Singleboardcomputer (vorne)

länger geplanten Wechsel vom Interbus-S auf PROFINET RT unumgänglich. Für dieses Ethernet-basierte Protokoll ist controllerseitig keine spezielle Hardware notwendig. Vielmehr konnte dafür die auf der CPU ohnehin vorhandene und bis dahin ungenutzte zweite Ethernet-Schnittstelle genutzt werden. Damit verlor der VMEbus seine Berechtigung, weil das Gesamtsystem nur noch aus einer CPU-Karte bestand. Als schließlich die Herstellung der verwendeten VMEbus-CPU-Karte eingestellt werden sollte, begann die Entwicklung des Nachfolgesystems als Singleboardcomputer.

2 Software- und Systemstruktur

Das bisherige Rechnersystem zeichnete sich durch eine Trennung der Software in 3 Schichten aus:

- Das Echtzeitbetriebssystem RTOS-UH verwaltet die Systemressourcen wie CPU, Hauptspeicher, Massenspeicher, Ethernetschnittstellen etc.
- Der Zugriff auf Prozessdaten erfolgt durch eine Treiberschicht, die die zugrundeliegende Hardware für die regelungstechnischen Anwendungen vollständig abstrahiert. In dieser Schicht sind ebenso Dienste für die Systemdiagnose zu finden sowie Netzwerktreiber für die Einbindung des Systems in die Leittechnik der Anlagen.

- Die regelungstechnischen Anwendungen nutzen die Dienste der Treiberschicht und sind auf diese Weise unabhängig von der konkreten Hardware.

Die Schnittstelle zwischen der Regelungstechnik und der Treiberschicht besteht aus zahlreichen APIs für unterschiedliche Zwecke:

- Zugriff auf vorverarbeitete E/A-Signale bzw. deren Bereitstellung,
- Kalibrierung von E/A-Signalen,
- Zugriff bzw. Bereitstellung von Signalen zum Austausch über Netzwerkprotokolle mit anderen Systemen sowie der Leittechnik,
- Zugriff auf persistente Konfigurations- und Parameterdaten,
- Protokollierung von Zustands- und Fehlermeldungen in einem Logfile und
- Bereitstellung von Daten für ein Webinterface.

Ein zentraler Bestandteil dieses Konzepts (vgl. Abb. 2) sind Initialisierungstabellen, aus denen sich die Software konfiguriert [1]. Eine dieser Tabellen beschreibt die E/A-Anbindung. Die Treiber für die Feldbussysteme Interbus-S und PROFINET RT lesen diese Datei mit Informationen über den Busaufbau beim Systemstart ein. Zu jedem der rund 1.000 E/A-Signale ist ein Eintrag enthalten, der neben der Adressierung auch die notwendigen Parameter für die Buskonfiguration sowie Skalierungsinformationen für eine Vorverarbeitung der Werte bereitstellt. Auf diese Weise können die Treiber die E/A-Daten der Regelungsapplikation in einer gleichartigen Weise zur Verfügung stellen, ohne dass die Regelungsapplikation die Eigenschaften des Bussystems oder der E/A-Module kennen muss. Gleichzeitig sorgen die Treiber für eine Skalierung der E/A-Signale in Prozessgrößen und stellen zusätzliche Statusinformationen bereit. Diese anlagenabhängige Hardwarebeschreibungstabelle wird automatisch aus Exportdaten des ECAD-Programms generiert, mit dem die Pläne für die Schaltschränke erstellt werden.

Eine weitere Tabelle beschreibt den Datenaustausch zwischen den Treibern und der Regelungssoftware. Die Prozessdaten werden über ein globales Shared Memory, das ca. 30.000 Datenpunkte umfasst, zwischen den verschiedenen Softwaremodulen ausgetauscht. Dazu können die Softwarepakete die Adresse eines Signals über den eindeutigen Signalnamen ermitteln, um einen Zeiger darauf zu initialisieren. Diese Zeigerinitialisierung findet beim Systemstart einmalig statt, so dass zur Laufzeit keine Zeitverzögerungen auftreten.

Weiterhin enthält die Tabelle Adressinformationen für die Emulation verschiedener SPS-Typen. Mittels entsprechender Netzwerktreiber stellt sich das System so dar, als wäre es wahlweise eine SIMATIC S7-400 von Siemens oder eine ControlLogix-Steuerung von AllenBradley. Aus Sicht der Leittechnik integriert sich das System somit nahtlos in die Steuerungslandschaft der Gesamtanlage.

Auch für die Konfiguration der Regelungssoftware kommen weitere Tabellen zum Einsatz, die z. T. automatisch aus anderen Datenquellen generiert werden können. Darunter fallen z. B. die Abmessungen und Anordnung von Hydraulikzylindern. Die Reglerstruktur passt sich auf diese Weise an die Struktur der Pressenhydraulik und -mechanik an, ohne dass eine Programmänderung für einen konkreten Pressenaufbau erforderlich ist.

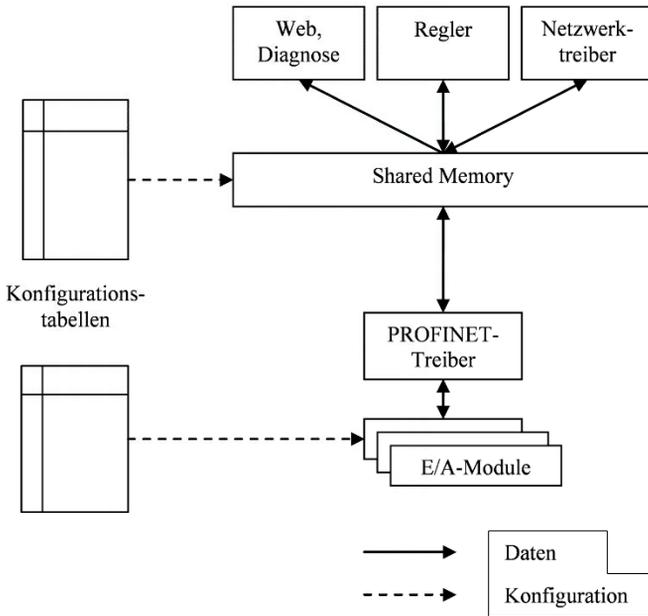


Abb. 2. Softwarestruktur mit Konfigurationstabellen

Durch den einheitlichen Einsatz von API-Funktionen und Konfigurationstabellen können sich auch die Diagnosefunktionen selbständig an die anlagenspezifischen Gegebenheiten adaptieren, ohne dass es einer manuellen Konfiguration bedarf. Die Diagnosefunktionen werden über einen integrierten Webserver zur Verfügung gestellt.

Die Implementierung der Regelungstechnik erfolgt in der Echtzeithochsprache PEARL, die sich für Echtzeitaufgaben sehr gut eignet. In der mittleren Ebene mit den Treiber- und Diagnoseprogrammen findet sich neben PEARL und einigen Teilen Assembler ein hoher Anteil an Programmen, die in C codiert sind.

Dieses Konzept hat sich in über 20 Jahren Einsatzzeit über mehrere Änderungen wie z.B. den Wechsel von Prozessorkarten, Feldbussystemen, Netzwerkprotokollen etc. bewährt. Die APIs sind stets abwärtskompatibel erweitert worden, damit bei Modernisierungen oder Softwareupdates ältere Regelungssoftware auch noch auf neueren Systemen läuft.

3 Anforderungen

Bevor man mit der Entwicklung eines neuen Systems beginnen kann, sind zahlreiche Entscheidungen zu treffen, denn mit einer neuen Systemplattform bindet man sich auf viele Jahre. Dies betrifft neben der Hardware selbst auch die

Softwareumgebung sowie etablierte Workflows. Weiterhin ist zu bedenken, dass Produktionsanlagen über viele Jahre genutzt werden. Die Anlagenbetreiber modernisieren in der Regel nach ca. 15 Jahren Nutzungsdauer die Elektrotechnik zumindest teilweise. Deshalb ist es unverzichtbar, bei der Komponentenauswahl auf eine langfristige Lieferbarkeit als Ersatzteil zu achten. Außerdem müssen für Modernisierungen einfache Upgradekonzepte existieren.

Das zu entwickelnde System sollte folgende Anforderungen erfüllen:

- höhere Rechenleistung für neue Pressenkonzepte,
- einfach einsetzbar als Ersatz für Altsysteme bei Modernisierungen,
- weitgehende Software-Kompatibilität,
- erweiterbar für Spezialanwendungen,
- Singleboardcomputer anstelle eines modularen VMEbus-Systems,
- passiv gekühlt,
- wartungsarm und
- langfristige Verfügbarkeit (mind. 10 Jahre).

Weil wir insbesondere große Teile der vorhandenen Software weiter nutzen wollten, kam ein Umstieg auf ein anderes Betriebssystem als RTOS-UH nicht in Frage. Damit lag im wesentlichen fest, dass das neue System auf PowerPC-CPU's basieren soll, denn das Betriebssystem ist nur für diese Prozessoren verfügbar. Aufgrund dieser Anforderungen fiel nach Voruntersuchungen die Wahl auf die Prozessoren der QorIQ-T-Reihe von NXP bzw. Qualcomm [2]. Es handelt sich dabei um sparsame und leistungsfähige Multicore-CPU's mit PowerPC-Kernen. Auf diese Weise können große Teile der Software mit wenig Aufwand angepasst und weiterhin genutzt werden. Da auf dem Markt keine entsprechenden Prozessorboards fertig verfügbar waren, haben wir die notwendige Hardware in Zusammenarbeit mit der Firma esd electronic systems GmbH speziell für unsere Zwecke entwickelt.

Eine mögliche Alternative zu dieser Entscheidung hätte z. B. darin bestanden, auf handelsübliche Boards mit Intel-CPU's unter einem Echtzeit-Linux aufzusetzen. Anstelle der so entfallenden Hardwareentwicklung hätten wir indes einen erheblichen Aufwand in die Neuentwicklung der umfangreichen Software stecken müssen. Brüche bei Modernisierungen wären dabei kaum vermeidbar gewesen.

4 Hardware

Auf der Basis der Anforderungen ist ein Singleboardcomputer mit einem Prozessor QorIQ T1022 mit den in Tabelle 3 zusammengefassten Daten entstanden.

Der ausgewählte Prozessor enthält 2 PowerPC-Kerne, die mit 1,2 GHz getaktet werden. Optional ist mit dem T1042 ein pinkompatibler 4-Kern-Prozessor erhältlich. Dadurch besteht grundsätzlich die Möglichkeit zu einer weiteren deutlichen Steigerung der Rechenleistung, ohne dass die restliche Hardware angepasst werden muss. Das in Abb. 3 dargestellte Blockschaltbild zeigt die Gesamtstruktur des Systems.

Tabelle 1. Technische Daten im Vergleich

	VMEbus-CPU MVME5500	Singleboard-Computer SPC/T10
CPU	PowerPC MPCP7457, 1 GHz	QorIQ T1022, 1,2 GHz
CPU-Kerne	1 × e600	2 × e5500 (optional 4 bei T1042)
L1-Cache	Je 32 kB L1-Cache für Daten und Instruktionen	Je 32 kB L1-Cache für Daten und Instruktionen pro Core
L2-Cache	512 kB	256 kB pro Core
L3-Cache	2 MB	256 kB (CoreNet-Cache) gemeinsam für alle Cores
DRAM	512 MB mit ECC, PC133	512 MB mit ECC, DDR3-800
SRAM	4 MB batteriegepuffertes SRAM (auf aufgestecktem PMC-Modul)	512 kB MRAM
Ethernet	1 × Fast-Ethernet, 1 × Gigabit-Ethernet	3 × Gigabit-Ethernet
Massenspeicher	2 × CompactFlash-Karten (auf aufgestecktem PMC-Modul)	2 × SATA SSDs

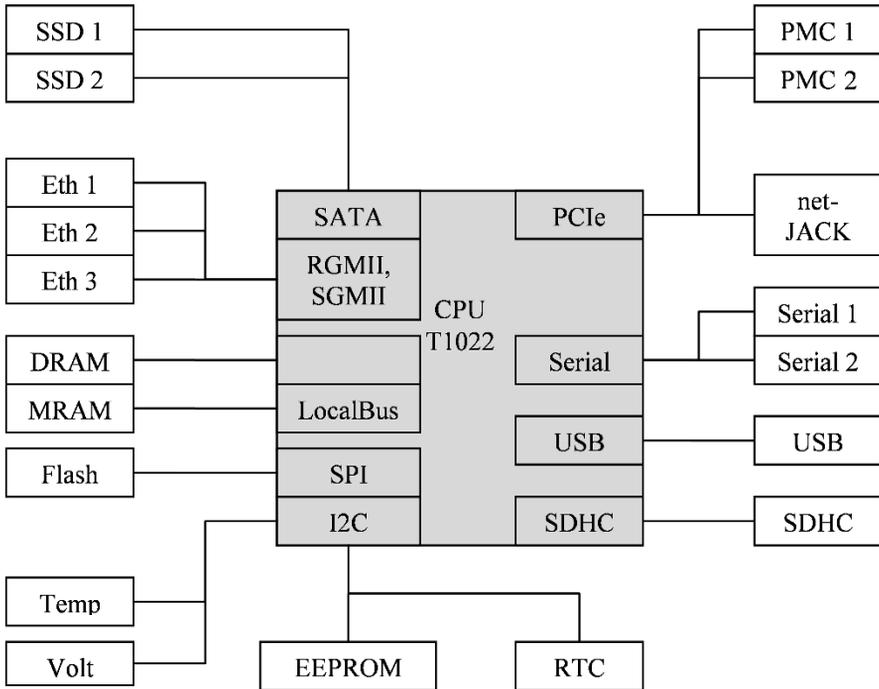


Abb. 3. Systemstruktur

Der Prozessor enthält bereits zahlreiche integrierte Schnittstellen für die Speicheranbindung (DRAM, MRAM, Flash, EEPROM), Massenspeicher (SATA-SSDs, USB, SD-Karten), Ethernetcontroller sowie weitere E/A-Komponenten. Dadurch sind auf der Platine selbst nur noch wenige Bauteile z. B. für Treiber und Schutzschaltungen notwendig. Der Prozessor befindet sich auf der Platinenunterseite, damit er direkten Kontakt zum Kühlkörper besitzt. Der Kühlkörper bildet die Geräterückseite und sorgt für die Wärmeabfuhr, damit das System lüfterlos betrieben werden kann.

Neben den bereits genannten Anforderungen bietet eine kundenspezifische Hardwareentwicklung die Möglichkeit, spezielle Detaillösungen zu integrieren. In der Vergangenheit trat an den bisherigen Systemen mehrfach das Problem auf, dass es zu Dateisystemfehlern gekommen ist, wenn das System genau während Schreibzugriffen auf die Festplatte oder die CF-Karten ausgeschaltet worden ist. Das neue System überwacht deshalb die Eingangsspannung von 24 V und löst einen Interrupt aus, wenn es einen Spannungseinbruch erkennt. Der Prozessor kann daraufhin alle Dateioperationen abschließen. Dazu verfügt das System über eine ausreichende Pufferung der Versorgungsspannung mittels mehrerer größerer Kondensatoren, damit die ausstehenden Schreiboperationen nach dem Abschalten sicher beendet werden können, denn im Gegensatz zu PCs werden Steuerungssysteme nicht explizit heruntergefahren.

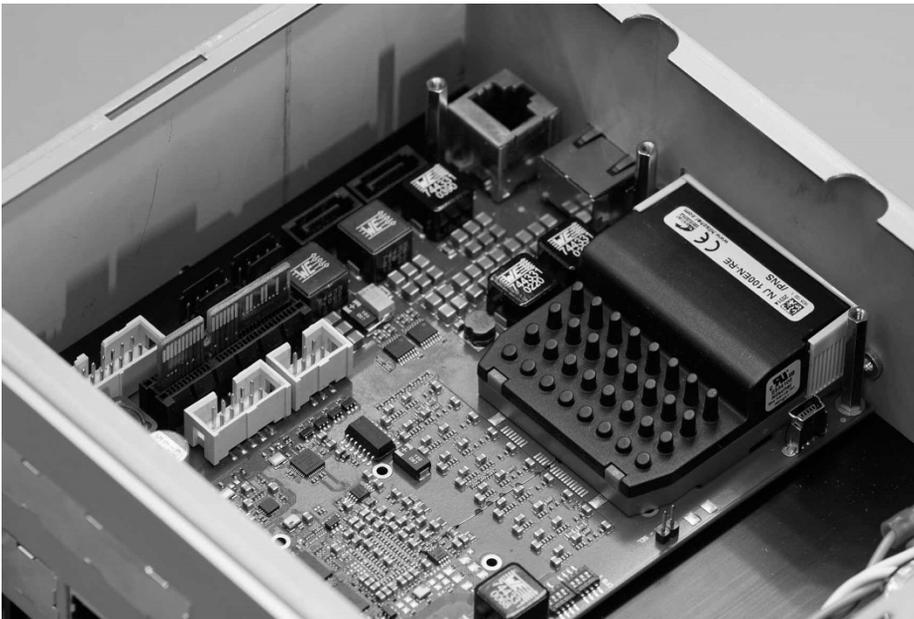


Abb. 4. Platinenansicht: Rechts befindet sich das aufgesteckte netJACK-Modul für die SPS-Kopplung