

Informatik aktuell

Herwig Unger · Marcel Schaible *Hrsg.*

Echtzeit 2021

Echtzeitkommunikation



 Springer Vieweg

The logo features a white chess knight icon on the left, followed by the text 'Springer Vieweg' in a white, sans-serif font.

Informatik aktuell

Reihe herausgegeben von

Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

Ziel der Reihe ist die möglichst schnelle und weite Verbreitung neuer Forschungs- und Entwicklungsergebnisse, zusammenfassender Übersichtsberichte über den Stand eines Gebietes und von Materialien und Texten zur Weiterbildung. In erster Linie werden Tagungsberichte von Fachtagungen der Gesellschaft für Informatik veröffentlicht, die regelmäßig, oft in Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen Gesellschaften, von den Fachausschüssen der Gesellschaft für Informatik veranstaltet werden. Die Auswahl der Vorträge erfolgt im allgemeinen durch international zusammengesetzte Programmkomitees.

Herausgegeben

im Auftrag der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/2872>

Herwig Unger · Marcel Schaible (Hrsg.)

Echtzeit 2021

Echtzeitkommunikation

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, 21. und 22. November 2020

GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK E.V.



VDE

VDI/VDE-Gesellschaft
Mess- und Automatisierungstechnik

ITG

INFORMATIONSTECHNISCHE
GESELLSCHAFT IM VDE



Springer Vieweg

Herausgeber

Herwig Unger
Lehrstuhl für Kommunikationsnetze
FernUniversität in Hagen
Hagen, Deutschland

Marcel Schaible
FernUniversität in Hagen
Aschheim, 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

ISSN 1431-472X

Informatik aktuell

ISBN 978-3-658-37750-2

ISBN 978-3-658-37751-9 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-37751-9>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2022

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 allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

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.

Planung: David Imgrund

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Die 42. Tagung aus der Echtzeit-Reihe des gleichnamigen Fachausschusses der GI fand im Jahr 2 der Covid-19-Pandemie zum Beginn der 4. Welle statt: mit viel Optimismus und Hoffnung haben sich die Organisatoren zunächst zu einer Präsenz- dann zu einer Hybridveranstaltung entschlossen, um die wichtigen persönlichen Kontakte nicht ganz abreißen zu lassen. An dieser Stelle sei dem auf Grund der Umstände neu gewählten Tagungshotel, dem Rheinhotel Bellevue in Boppard, gedankt, das neben einem angenehmen Flair auch eine vorbildliche Umsetzung der notwendigen Hygienevorschriften und damit ein sicheres Gefühl für alle Präsenzteilnehmer bot. Ein großes Danke geht an dieser Stelle auch an Erik Deussen, der mit viel Aufwand durch eine perfekte technische Unterstützung die Atmosphäre der Tagung und die Möglichkeit zur Mitdiskussion auch zu den Online-Teilnehmern auf den Bildschirm nach Hause oder ins Büro brachte. Alle Organisatoren hoffen, daß es uns so gelungen ist, das teilweise Fehlen persönlicher Kontakte, langer Diskussionen bei einem Glas Wein in unserem Stammweinhaus „Heilig Grab“ mit allen Kollegen bestmöglich zu kompensieren und so allen viele Inspirationen für die eigene Arbeit und neue gemeinsame Projekte zu geben.

„Tradition und Zukunft“ könnte ein weiteres Leitmotiv dieser Tagung unter dem Unterthema „Echtzeitkommunikation“ sein, bei der zwei Forschergenerationen aufeinandertrafen und die damit auch den notwendigen kontinuierlichen Generationswechsel im Fachausschuß unterstreicht.

Denn Eröffnungsvortrag hielt Günter Hommel, der auch das diesjährige, neu berufene Ehrenmitglied des Fachausschusses ist. Sein Vortrag „Real-Time Systems Through the Ages“ zeigte Entwicklungen über einen Zeitraum von fast 50 Jahren und damit dem Beginn der Entwicklung von PEARL bis heute auf und verband und illustrierte damit Vergangenheit und Gegenwart auf eindruckliche und anschauliche Art und Weise mit großen Projekten aus seiner Karriere.

Mit den Preisträgern des studentischen Wettbewerbes, Frau Gsänger, Frau Hemp und Herrn Beck, kamen als Kontrast im Anschluß die jüngsten Forscher auf dem Gebiet der Echtzeit mit der Vorstellung der Abschlußarbeiten ihrer Studien zu Wort: nicht zuletzt eine Demonstration, wie wichtig dem Fachausschuß die Gewinnung von Nachwuchs ist.

Das folgende reguläre Tagungsprogramm und damit die folgenden Abschnitte des vorliegenden Buches sind ganz dem aktuellen Thema der Kommunikation in Echtzeitsystemen gewidmet, ein Aufgabenbereich, der mit einer immer stärker werdenden Verteilung von Produktions- und Verarbeitungssystemen zunehmend an Bedeutung gewinnt. Dies trifft auf weltweite Finanzsysteme mit Themen rund um eCoins und Transaktionssysteme ebenso zu wie auf die (Bluetooth-) Kommunikation im Nah- und Innenbereich oder aber selbst die Ein- und Ausgabe von Daten an den entsprechenden Interfaces. Systemlösungen gewinnen vor allem im automobilen Bereich zunehmend an Bedeutung, sei es in der Car-to-Car Kom-

munikation als auch dem Datenaustausch innerhalb eines in sich geschlossenen Systems. Hardwarebeschleunigung, Fehlertoleranz und echtzeitfähige Kommunikationskanäle bilden hier die Kernthemen der Beiträge. An vielen Stellen ist es a priori heutzutage schwer, die richtigen Design- und Entscheidungskriterien aus einer Vielzahl von Optionen zu bestimmen. Dies trifft auf die (zeitabhängige) Bildung von Meinungsbildern und Stimmungen in Online-Diskussionsforen ebenso zu wie auf das Finden einer richtigen Reaktion in Abhängigkeit von komplexen, nicht explizit angebbaren Parameterverlaufskurven. Beobachten und maschinelles bzw. maschinenunterstütztes Lernen vor allem aber unter dem Aspekt der Zeitoptimierung sind hierbei gängige, weiter zu entwickelnde Lösungsansätze, die zu mannigfaltigen Diskussionen führen.

Der vorliegende Tagungsband markiert einen Wendepunkt in der Geschichte der Tagung und des Fachausschusses. Dem vielfachen Wunsch der Teilnehmer soll der nächste Band -trotz einer weiterhin deutschsprachigen Durchführung der Tagung- in englischer Sprache bei Springer erscheinen: wir versprechen uns damit eine bessere, gerade internationale Sichtbarkeit und eine weitere Verbreitung unserer immer wichtiger werdenden Ergebnisse im Bereich der Echtzeitsysteme sowie damit vielleicht auch einen breiteren Teilnehmerkreis für unsere nächste Tagung am 10. und 11. November 2022 wiederum im Rheinhotel in Boppard.

Iserlohn und München im Februar 2022

Herwig Unger
Marcel Schaible

Inhaltsverzeichnis

Eröffnungsvortrag und Preisträger

„Real-Time Systems Through the Ages“	1
<i>Günter Hommel</i>	
Dynamische Migrationsentscheidungen in Multicore-Systemen	3
<i>Helene Gsänger</i>	
Ausführungszeit und Stromverbrauch von Inferenzen künstlicher neuronaler Netze auf einem Tensorprozessor	13
<i>Judith Hemp</i>	
Dynamic Vision-Sensoren zur Texturklassifikation in der automatischen Sichtprüfung	25
<i>Moritz Beck und Georg Maier</i>	

Echtzeitkommunikation

Sind Bitcoin-Transaktionen sicher, echtzeitfähig und ressourcenadäquat? .	35
<i>Wolfgang A. Halang und Mario M. Kubek</i>	
Analysemethodiken zur Berechnung der WCET mit asynchroner Ein-/Ausgabeverarbeitung	45
<i>Georg Seifert</i>	
Ein auf Bluetooth 5.1 und Ultrabreitband basierendes Innenraum-Positionssystem	55
<i>Jan-Gerrit Jaeger und Dietmar Tutsch</i>	

Systemlösungen

Hardware-Beschleuniger für automobiler Multicore-Mikrocontroller mit einer harten Echtzeitanforderung	63
<i>Christian Böttcher, Philipp Jungklass und Mladen Berekovic</i>	
Fault Tolerance in Heterogeneous Automotive Real-time Systems	73
<i>Johannes Lex, Ulrich Margull, Dietmar Fey und Ralph Mader</i>	
Echtzeitfähige Ethernet-Kommunikation in automobilen Multicore-Systemen mit hierarchischem Speicherlayout	83
<i>Sercan Körür, Philipp Jungklass und Mladen Berekovic</i>	

Zeitgesteuerte Kommunikationsschnittstellen in unterschiedlichen Anwendungskontexten	93
<i>Raimund Kirner und Peter Puschner</i>	

Echtzeitkommunikation und Lernen

Ein Konferenzsystem mit biometrisch basierter Gesichtsvisionierung für sehr große Teilnehmerzahlen	103
<i>Thomas Wiedemann, Dirk Müller und Robert Dominik</i>	

Machine Learning für die Temperaturermittlung eines Permanentmagnet-Synchronmotors	113
<i>Niklas Pickert und Chunrong Yuan</i>	

Zeitoptimierungsuntersuchungen für Algorithmen des maschinellen Lernens	123
<i>Dena Farooghi, Bernard Beitz, Bayan Awad und Dietmar Tutsch</i>	



„Real-Time Systems Through the Ages“

Günter Hommel

Technische Universität Berlin
guenter.hommel@tu-berlin.de

Berichtet wird über Arbeiten im Bereich der Echtzeitsysteme, die der Autor in verschiedenen Unternehmen und Universitäten durchgeführt hat. Nach ersten Erfahrungen mit Programmiersprachen wie ALGOL 60, FORTRAN, PL/I, ALGOL 68 und CDL als Anwender, begann er mit Forschungsarbeiten im Compilerbau, die auch zu seiner Dissertation führten. Aufgrund dieser Arbeiten und an der TU Berlin durchgeführter Lehrveranstaltungen zur Informatik-Grundausbildung erhielt er das Angebot von Prof. Koster, sich an Entwurf und Implementierung einer neuen Familie von Programmiersprachen (SLAN) zu beteiligen. Er wurde der Leiter eines DFG-Projekts, das sich speziell mit der Programmiersprache ELAN beschäftigte, die auf die Informatik-Grundausbildung im Schul- und Universitätsbereich ausgerichtet war. ELAN wurde bis in die späten 1980er Jahre in den Informatik-Lehrveranstaltungen der TU Berlin eingesetzt.

Aufgrund seiner umfangreichen Erfahrungen bei der Beschaffung von Hardware und der Konstruktion von Software wurde der Autor vom Präsidenten der TU Berlin zum Vorsitzenden der zentralen Rechenanlagenkommission ernannt. Die Kommission war für die Genehmigung der Beschaffung und Erweiterung aller zentralen Rechenanlagen (CDC 6500, IBM 370/158, PDP 10) aber auch für die in den frühen siebziger Jahren auf den Markt kommenden Kleinrechner für Echtzeitanwendungen zuständig. Aufgrund der hohen Kosten für Hintergrundspeicher übernahm er federführend die Planung und Realisierung eines Prozessrechnerverbundsystems. Dieses wurde als sternförmig gekoppeltes, verteiltes System realisiert, das mit großer Plattenkapazität auf dem Zentralrechner und plattenlosen Prozessrechnern mit spezieller Prozessperipherie ausgestattet war. Die Programmentwicklung und Datenhaltung der Echtzeitprogramme erfolgte zentral. Die dort kompilierten Programme wurden über das Netz auf die Prozessrechner geladen. Das System war ab Mitte der 1970er Jahre einsatzfähig.

Mit diesen Erfahrungen wurde für den Autor eine Stelle am Kernforschungszentrum Karlsruhe interessant, wo er ab 1978 verantwortlich wurde für Softwaretechnologie im Projekt Prozesslenkung mit DV-Anlagen (PDV). Hier übernahm er u.a. die Leitung mehrerer Arbeitskreise. Der PEARL-Arbeitskreis (AK 4.2.1 „PEARL“ im VDI/VDE-GMR) war zuständig für die Erarbeitung der Sprachdefinition von PEARL. Hierbei beeinflusste er maßgeblich die formale Beschreibung der Sprache Full PEARL bis zur ersten Normung im DIN 1982. Die Beschreibung der Vornorm der Sprache Basic PEARL, eine Untermenge von Full PEARL wurde auf Konsistenz untersucht. Der Arbeitskreis beschäftigte sich dann mit der Weiterentwicklung der Norm zu Mehrrechner-PEARL. Er leitete den Arbeitskreis bis zur Fertigstellung dieser Sprachbeschreibung 1985, die dann beim DIN zur Normung (erfolgte 1989) eingereicht wurde. Einen zweiten von ihm geleite-

ter Arbeitskreis „Systematische Entwicklung von PDV-Systemen“, brachte er als AK 4.2.2 in die VDI/VDE-GMR und als Fachgruppe 4.4.1 in die GI ein. Der Arbeitskreis diente dem Austausch von Erfahrungen in laufenden Entwicklungsvorhaben auf dem Gebiet der Verfahren und Hilfsmittel zur Spezifikation und zum Entwurf von PDV-Systemen. Publiziert wurde ein Vergleich verschiedener Methoden am Beispiel einer Paketverteilanlage. Diese Fachgruppe wurde 1983 in die GI-Fachgruppe Requirements Engineering übergeleitet.

Einen großen Umfang nahmen Arbeiten im Bereich der Modellierung und Analyse fehlertoleranter, verteilter Echtzeitsysteme ein. Insbesondere wurden Deterministische und Stochastische Petri Netze untersucht, wobei der zugrundeliegende Prozess nicht notwendigerweise ein Markow-Prozess sein muss. Es wurde u.a. ein umfangreiches Softwarepaket entwickelt, das die Analyse solcher Netze erlaubt (TimeNET). Der Autor war der Sprecher zweier Graduiertenkollegs, die über 18 Jahre von der DFG u.a. zu diesem Thema gefördert wurden. Diese Arbeiten führten zu zahlreichen Dissertationen und Habilitationen. Der andere große Forschungsbereich war die Robotik. Hierbei wurden wesentliche Fortschritte in den Bereichen Roboterkinematik, Roboterprogrammiersprachen, wissensbasierte Echtzeitplanung, autonome Servicerobotik, Gestenerkennung, Roboterchirurgie und Exoskelette für Bein und Hand erzielt. Bei der Teilnahme am Wettbewerb für autonom fliegende Roboter in den USA gewann die TU Berlin 1995 auf Anhieb den zweiten Preis und dann 2000 den ersten Preis. Aufgrund des großen internationalen Erfolgs konnten erhebliche Fördermittel von der DFG und für zwei besonders erfolgreiche EU-Projekte (COMETS 2002-2005, AWARE 2006-2009) eingeworben werden. Im zweiten Projekt konnte der weltweit erste Flug mit drei gekoppelten Hubschraubern zum Transport einer schweren Last 2007 gezeigt werden, was ebenfalls zu vielen Dissertationen und Habilitationen führte.

Aufgrund der eigenen Forschungstätigkeiten im Grenzbereich zwischen Informatik und Elektrotechnik führte der Autor einen Studiengang Technische Informatik ein, der seit WS 1991/92 an der TUB mit großem Erfolg läuft.

Der Autor war auch maßgeblich am Aufbau und der Durchführung einer intensiven Kooperation mit der Shanghai Jiaotong Universität (SJTU) beteiligt. Die SJTU gehört zu den besten drei chinesischen Universitäten im Bereich der Informatik. Die TU Berlin war die erste deutsche Universität, die ein formales Kooperationsabkommen mit einer chinesischen Universität unterzeichnete. Der Autor war der erste Professor der TU Berlin, der dort 1987 im Rahmen einer Kurzzeitdozentur zum Thema Robotik Vorlesungen mit Förderung des DAAD gehalten hat. Seit 1990 wird regelmäßig eine Serie internationaler Workshops mit der SJTU durchgeführt, auf denen aktuelle Forschungsergebnisse ausgetauscht werden. Seit 2003 gibt es ein Doppeldiplomabkommen im Studiengang Informatik zwischen beiden Universitäten, das von beiden Seiten sehr gut angenommen wurde. Daher wurde es auf Technische Informatik, Elektrotechnik, Elektronik und Automatisierungstechnik erweitert. Im Jahr 2004 wurde der Autor zum „Advisory Professor“ an der SJTU ernannt. Das gemeinsame „Research Lab for Information and Communication Technology“ in Shanghai wurde 2005 eingerichtet und der Autor bis zu seiner Emeritierung zu dessen Direktor berufen.



Dynamische Migrationsentscheidungen in Multicore-Systemen

Helene Gsänger

Lehrstuhl für Betriebssysteme
Universität Erlangen-Nürnberg
gsaenger@cs.fau.de

Zusammenfassung. Viele Echtzeit-Schedulingalgorithmen für Multicore-Systeme lassen Taskmigration zwischen verschiedenen Kernen zu. Das kann zwar die Planbarkeit verbessern, führt aber auch zu Migrationsoverhead, der statisch schwer vorhersehbar ist und potentiell hoch sein kann.

Um diesen Overhead zu reduzieren gibt es verschiedene Ansätze, unter anderem die statische Identifikation von Migrationspunkten mit vergleichsweise geringem Migrationsoverhead. Diese Punkte können von einem semipartitionierten Schedulingalgorithmus bei der Aufteilung migrierender Tasks verwendet werden, sodass diese zur Laufzeit immer am statisch gewählten Migrationspunkt migrieren.

Diese Einschränkung reduziert zwar den Migrationsoverhead, verhindert aber eine Vermeidung von Migration bei günstigen Laufzeiten. Um dieses Problem zu umgehen, werden im Folgenden Algorithmen für die dynamische Auswahl von Migrationspunkten präsentiert, die, abhängig von Laufzeitinformationen, den spätestmöglichen Migrationspunkt auswählen, sodass Taskmigration bei günstigen Laufzeiten vermieden wird.

Diese Algorithmen sind auf alle semipartitionierten Algorithmen anwendbar, die statische Migrationspunkte verwenden, ohne dabei die Planbarkeit von Tasksets zu beeinträchtigen. Auch bei Berücksichtigung des Overheads, der durch dynamische Migrationsentscheidungen verursacht wird, wird durch theoretische Analyse und Zeitmessungen gezeigt, dass für jeden Teil eines migrierenden Tasks nur ein konstanter, geringer Overhead mit eingerechnet werden muss.

1 Motivation

Mit der Durchsetzung von Multicore-Architekturen gewinnen Schedulingalgorithmen für mehrere Kerne auch im Echtzeitbereich an Relevanz [2]. Um die vorhandenen Kerne effektiver ausnutzen zu können, lassen viele Algorithmen zu, dass Tasks zwischen Kernen migrieren [4]. Allerdings führt Taskmigration zu Cache-Misses, was je nach Cache-Architektur einen potentiell hohen Overhead verursachen kann [3]. Zur Verringerung dieses Effekts gibt es verschiedene Strategien, unter anderem den Ansatz von Klaus et al. [7], in dem statisch Migrationspunkte mit geringem Migrationsoverhead definiert werden. Da in diesem Ansatz bereits vor Laufzeit ein Migrationspunkt festgelegt wird, ist es später

auch bei günstigen Laufzeiten nicht möglich, Taskmigration zu verschieben oder zu vermeiden.

Um Taskmigration bei günstigen Laufzeiten trotzdem zu vermeiden, werden im Folgenden Algorithmen für dynamische Migrationsentscheidungen präsentiert, die Informationen über tatsächliche Laufzeiten ausnutzen, um Migration, falls möglich, zu vermeiden. Diese Algorithmen werden im Folgenden präsentiert, und ihre Auswirkungen auf die Planbarkeit analysiert.

2 Hintergrund

Die später vorgestellten Algorithmen basieren auf dem Ansatz von Klaus et al. [7], in dem Migrationspunkte definiert werden, die im semipartitionierten Scheduling verwendet werden können. Semipartitioniertes Scheduling beschreibt eine Gruppe von Schedulingalgorithmen, die eingeschränkte Taskmigration zulassen [1]. Dabei wird zunächst in einer statischen Partitionierungsphase jedem Task ein Kern zugewiesen, wobei einzelne Tasks, falls nötig, auch auf mehrere Kerne aufgeteilt werden können. Diese aufgeteilten Tasks migrieren zur Laufzeit zwischen ihren zugeordneten Kernen.

Erlaubt ein Algorithmus Taskmigration an beliebigen Punkten während der Ausführung eines Jobs, verbessert das zwar die Planbarkeit, führt aber auch zu Overhead, der schwer vorhersagbar ist und potentiell hoch sein kann [3] [6]. Um diesen Migrationsoverhead zu begrenzen, wird im Ansatz von Klaus et al. Migration eingeschränkt auf eine Menge von statisch identifizierten Migrationspunkten. Diese Punkte werden so gewählt, dass der Migrationsoverhead an dieser Stelle gering ist, und die zwischen den Punkten entstehenden Abschnitte eine ähnliche *worst-case execution time (WCET)* haben [7]. Aus diesen Migrationspunkten kann ein Partitionierungsalgorithmus anschließend einen Punkt wählen, an dem ein migrierender Task statisch aufgeteilt wird und zur Laufzeit migriert.

3 Architektur

Ziel dynamischer Migrationsentscheidungen ist es, zur Laufzeit den spätestmöglichen Migrationspunkt auszuwählen, sodass Taskmigration falls möglich verhindert wird. Dafür werden mehrere Algorithmen vorgestellt, die auf alle semipartitionierten Schedulingalgorithmen anwendbar sind, die auch für statisch festgelegte Migrationspunkte funktionieren. Wie später gezeigt wird, wird die Planbarkeit von Tasksets dabei nicht beeinträchtigt.

Migrationsentscheidungen für Task τ_i greifen dabei auf Informationen über die bisherigen Laufzeiten des aktuellen Jobs zurück, sind aber unabhängig von Laufzeitinformationen anderer Tasks. Die Notation, mit die verwendeten Informationen dargestellt werden, wird im Folgenden vorgestellt.

3.1 Notation

Dynamische Migrationsentscheidungen können auf verschiedene Informationen zurückgreifen, die in Abbildung 1 dargestellt sind.