

Zur Entwicklung der Simulation in der DDR unter Einfluss des Prozessrechnereinsatzes

Gerhard Bergholz

Dorfhainer Straße 26

01189 Dresden

gerhard-bergholz@t-online.de

1 Einleitung

Während meiner aktiven beruflichen Tätigkeit habe ich viele Jahre auf dem Gebiet der Informatik gearbeitet. Dabei beschäftigte ich mich zunächst in der Industrie 15 Jahre mit der Einsatzvorbereitung von Prozessrechnern in enger Wechselwirkung mit der Modellierung und Simulation. Danach wirkte ich 17 Jahre als Hochschullehrer mit dem Forschungsschwerpunkt Modellierung und Simulation von Informations- und Kommunikationsprozessen. Auch als Rentner habe ich mich weiter mit der Modellierung und Simulation beschäftigt und untersuche heute Probleme der Computerkommunikation mit Hilfe der Simulation.

Als unmittelbarer Teilnehmer des Geschehens möchte ich hier über den industriellen Abschnitt meiner Arbeit auf dem Gebiet der Informatik berichten. Dabei erscheinen mir die Anfänge der Simulation von automatischen Optimierungsprozessen in den 60-er Jahren und der Simulation von ereignisdiskreten Prozessen in den 70-er Jahren im Zusammenhang mit dem Prozessrechnereinsatz besonders geeignet.

Die Simulation war in der DDR auf verschiedenen Anwendungsgebieten eine verbreitete Methode. Prof. Krug hat auf diesem Symposium eine Übersicht über die Entwicklung und Anwendung der Rechentechnik in der DDR zur Simulation technischer Prozesse und Systeme gegeben (s. [Kr06]). Mein Beitrag betont die Wechselwirkung zwischen Prozessrechnereinsatz und Simulation und ist damit gegenüber anderen Arbeiten auf dem Gebiet der Simulation abgegrenzt.

2 Grundlagenforschung auf dem Gebiet der automatischen Optimierung von Produktionsprozessen

2.1 Theoretische Vorarbeiten

Im Jahr 1961 wurde innerhalb des Zentralinstituts für Automatisierung (dem Vorläufer des Instituts für Datenverarbeitung) unter meiner Leitung eine kleine Abteilung Kybernetik/Regelungstechnik aufgebaut (s. [Me05]). In dieser Abteilung hatten wir die Frage der automatischen Optimierung von Produktionsprozessen mit Hilfe von Prozessrechnern entsprechend dem internationalen Trend in den Mittelpunkt der Forschung gestellt.

Weil zu diesem Zeitpunkt in der DDR kein Prozessrechner zur Verfügung stand, mussten wir uns zunächst auf theoretische Untersuchungen der selbsttätigen Regelung und selbsteinstellenden Optimierung beschränken. Das war einerseits ein Nachteil, weil wir dadurch die praktischen Probleme des Prozessrechnereinsatzes erst einmal nicht kennen lernen konnten. Andererseits wirkten sich die dabei erworbenen theoretischen Kenntnisse positiv auf unsere Arbeit bei der späteren Einsatzvorbereitung von Prozessrechnern aus.

Um den Abstand der Untersuchungen von den Problemen der praktischen Prozessrechneranwendung möglichst klein zu halten, war es wichtig dabei die Steuerung und Regelung von Produktionsprozessen unter Einbeziehung der automatischen Optimierung nicht nur mathematisch zu modellieren, sondern auch mit Hilfe von Simulationsmethoden zu untersuchen.

2.2 Anfänge der Analogrechnerentwicklung

Der Analogrechner war zu dieser Zeit das einzige allgemeine Mittel für die Simulation von Steuerungs- und Regelungssystemen kontinuierlicher Produktionsprozesse. Die Analogrechentechnik hatte in den der 60-er Jahre international und auch in der DDR eine große Bedeutung. Im Institut für Automatisierung (ZIA) war in der Abteilung für Analogrechnerentwicklung (G. Zeiger, H. Treetz) ein Analogrechner für die praktische Nutzung bereitgestellt worden, der von ihnen bereits im Forschungszentrum der Luftfahrtindustrie (dem Vorgängerinstitut des ZIA) entwickelt worden war.

Daneben hatte sich zu dieser Zeit an den Hochschulen der DDR die Steuerungs- und Regelungstechnik entwickelt. Der erste Lehrstuhl für Regelungstechnik in Deutschland wurde an der TU Dresden mit Prof. Kindler als Lehrstuhlinhaber eingerichtet. Kurze Zeit darauf wurde ein entsprechender Lehrstuhl an der TH Ilmenau unter Leitung von Prof. K. Reinisch aufgebaut. Mit diesen Einrichtungen hatten wir enge Kontakte.

2.3 Entwicklung und Anwendung eines Simulationssystems für die selbst-einstellende Optimierung

Für die Simulation der selbst-einstellenden Optimierung war der Analogrechner allein nicht ausreichend. Es musste ein System, bestehend aus einem Optimisator als Steuerungseinrichtung und einem Analogrechner als Steuerungsobjekt, geschaffen werden. Dazu war der Bau und die Nutzung eines Optimisators erforderlich.

Im Zentralinstitut für Automatisierung wurde deshalb Anfang der 60-er Jahre unter meiner Leitung in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Analogrechnerentwicklung ein FünfkanaLOPTIMISATOR, der mit einem Analogrechner als Optimierungsobjekt verbunden werden konnte, gebaut (s. [Be64]). In Bild 1 befindet sich die äußere Ansicht des Optimisators.

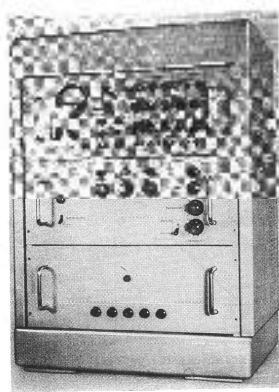


Abbildung 1: Äußere Ansicht des FünfkanaLOPTIMISATORS (s. [Be64])

Dieser Lösungsansatz war eine Vorstufe zur hybriden Simulation, wobei im Optimisator als Steuerungseinrichtung digitale Algorithmen implementiert wurden.

Für diesen Optimisator wurden Algorithmen für die selbst-einstellende Prozessoptimierung mit automatischer Suche (Gradienten-Methode, Gauß-Seidel-Methode usw.) entwickelt und hardwaremäßig umgesetzt. Die im Optimisator implementierten Optimierungsalgorithmen wurden in Wechselwirkung mit dem auf dem Analogrechner simulierten Optimierungsobjekt dynamisch untersucht (s. [Be64]). In Bild 2 wird als Beispiel der Simulation mit dem Optimisator angegeben, wie sich der Wert der Optimierungszielgröße schrittweise dem Minimum nähert.

Die Arbeiten zur Entwicklung des Optimisators standen unter Einfluss von A. A. Feldbaum in Moskau. Ergebnisse dieser Entwicklung wurden von mir in [Be64] dargestellt. In den USA wurde der Beitrag [Be64] übersetzt und in [Be65] veröffentlicht.

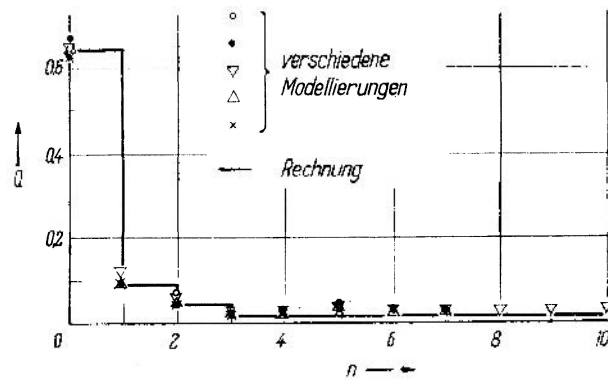


Abbildung 2: Simulationsergebnis mit dem FünfkanaLOPTIMISATOR (s. [Be64])

3 Erste Prozessrechnereinsätze in der DDR

3.1 Prozessrechnereinsätze in den 60-er Jahren

Das Institut für Datenverarbeitung war federführend bei den ersten Prozessrechnereinsätzen in der DDR. Ein umfassender historischer Überblick über das Institut für Datenverarbeitung wird vom damaligen Institutsdirektor G. Merkel in [Me05] gegeben.

Wir mussten, um den Anschluss an den internationalen Entwicklungsstand zu halten, zwei Dinge gleichzeitig lösen. Einerseits durften wir durch Pioniereinsätze verbunden mit dem Import von einigen Prozessrechnern keine Rückstände auf dem Anwendungsgebiet zulassen und andererseits mussten wir durch die eigene Entwicklung von Prozessrechnern die Hardwarelücke schließen. Eine Darstellung des anfänglichen Prozessrechnereinsatzes in der DDR findet sich bei R. Hofmann in [Ho05]. (Siehe auch [BBH04]).

Mit dem Übergang zum praktischen Prozessrechnereinsatz wurde ein wichtiger Schritt in Richtung der Digitalisierung und Programmierung automatisierter technologischer Prozesse getan. Dass dabei die ersten Einsätze in kontinuierlichen Produktionsprozessen der chemischen Industrie durchgeführt wurden, hing mit dem zu diesem Zeitpunkt bereits vorhandenen relativ hohen Automatisierungsgrad mit konventioneller Technik in diesem Industriezweig zusammen.

3.2 Prozessrechnereinsatz Buna

Der Prozessrechnereinsatz im Kombinat Chemische Werke Buna war einer der beiden ersten Pioniereinsätze in der DDR. Ich habe an dieser Entwicklung ab Mitte der 60-er Jahre als Leiter des Einsatzkollektivs Prozessrechnereinsatz Buna im Institut für Datenverarbeitung unmittelbar teilgenommen. Für diesen Einsatzfall wurde der Prozessrechner

Dnepr1M (ukrainisch: Dnipro) aus Kiew für die Chlorwasserstoff-Produktion in Buna importiert.

Innerhalb der Einsatzvorbereitung gab es folgende Arbeitsteilung: die BMSR-Abteilung von Buna (Leitung H. Panzner) war für die Hardwareinstallation und den Prozessrechneranschluß über die klassische Betriebs-Meß- und Regelungstechnik (BMSR-Technik) zuständig, während das Einsatzkollektiv des Instituts für Datenverarbeitung (IDV) für die Algorithmisierung und Programmierung der Echtzeitsoftware zuständig war. Die Arbeiten im IDV erfolgten in Vertragsforschung im Auftrag des Kombinats Buna.

Die Einsatzvorbereitung wurde in zwei Phasen vorgenommen. In der ersten Phase wurden noch ohne Prozessrechner die wichtigsten Steuerungsalgorithmen entwickelt und die Prozessanalyse durchgeführt. In der zweiten Phase erfolgte vor allem die Implementierung der Hard- und Software. In der zweiten Phase lag die unmittelbare Leitung des IDV-Anteils der Arbeiten bei R. Hofmann.

Eine zusammenfassende Übersicht über den Prozessrechnereinsatz Buna wurde nach erfolgreichem Abschluss der Einsatzvorbereitung angefertigt und findet sich im Beitrag von R. Hofmann [Ho70].

3.3 Entwicklung von Steuerungsalgorithmen für Buna

Der Prozessrechner hatte die Aufgabe die Fahrweise der Verbrennungsprozesse von 12 Chlorwasserstofföfen im Echtzeitbetrieb automatisch im closed-loop Betrieb zu regeln und zu optimieren.

Der Einsatzfall Buna schuf praktische Möglichkeiten für die modifizierte Anwendung der vorher theoretisch entwickelten Steuerungsalgorithmen. Die Aufgaben dieses Prozessrechnereinsatzes waren sehr anspruchsvoll. Einerseits war für die Regelung der Chlorwasserstofföfen eine Totzeitregelung notwendig, andererseits war wegen der Wanderung des optimalen stöchiometrischen Verhältnisses zwischen der Chlor- und Wasserstoffkomponente beim Verbrennungsprozess eine selbsteinstellende Optimierung erforderlich.

Während die Totzeitregelung in dieser Zeit gerade international spruchreif wurde, war die selbsteinstellende Optimierung mit stochastischem Suchsignal eine eigene theoretische Entwicklung.

Für die Einstellung des Optimums mit Hilfe der Gradientenmethode, muss die Kennlinienneigung bestimmt werden. Dazu ist ein Testsignal erforderlich. Das bei der Entwicklung des FünfkanaLOPTIMISATORS gewählte künstliche Testsignal schied in der Chlorwasserstofffabrik aus, weil die Einwirkung eines zusätzlichen Steuersignals auf die Chlorwasserstofföfen aus Sicherheitsgründen technologisch unzulässig war.

Bei der Totzeitregelung werden hochfrequente Störungen im Regelkreis nicht weggeregelt. Auf dieser Grundlage wurde ein Optimierungsalgorithmus entwickelt, bei dem das hochfrequente von der Regelung durchgelassene Rauschen als passives Testsignal genutzt wird. Mit der Regressionsmethode wird dann die Kennlinienneigung bestimmt. Die entsprechenden Algorithmen wurden zusammen mit dynamischen Untersuchungen in [Be66] dargestellt. Für dieses Vorgehen waren uns aus der Literatur keine Vorbilder bekannt.

3.4 Prozessanalyse

Bevor wir an die Implementierung der Steuerungseinrichtung auf dem Prozessrechner gehen konnten, musste eine umfangreiche Prozessanalyse durchgeführt werden. Für die Simulation war die Aufstellung eines mathematischen Modells des Produktionsprozesses notwendig. Dazu waren umfangreiche Auswertung von analogen Messwertaufzeichnungen erforderlich. Diese Auswertungen mussten in Buna noch manuell durchgeführt werden.

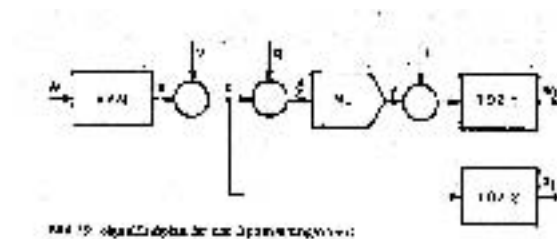


Abbildung 3: Zur Prozessanalyse (s. [Be72])

Beim späteren Einsatz des Prozessrechners selbst konnten die Messdaten als Bestandteil des Steuerungssystems automatisch erfasst und digital verarbeitet werden.

4 Digitale Simulation analoger Übertragungssysteme

4.1 Übergang von der analogen zur digitalen Simulation

Es war aus Sicherheitsgründen nicht möglich, die Steuerungsalgorithmen für Buna ohne vorherige Erprobung auf den technologischen Prozess anzuwenden. Deshalb musste vorher eine Simulation durchgeführt werden.

Obwohl uns die Simulationsuntersuchungen mit dem FünfkanaLOPTIMISATOR, insbesondere auf dem Gebiet der selbsteinstellenden Optimierung, umfangreiche Erkenntnisse gebracht hatten, konnte die Simulation für die Chlorwasserstoffproduktion nicht mit der vorhandenen Kopplung von Optimisator und Analogrechner durchgeführt werden. Es fehlten bestimmte Systemelemente, die für die Chlorwasserstofföfen unbedingt notwendig waren. Eine Nutzung der hybriden Simulation (s. [Sc04]) mit einem echten Digitalrechner für die Implementierung des Optimisators schied ebenfalls aus, da eine solche Lösung zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorhanden war.

So war es folgerichtig die zu diesem Zeitpunkt im Institut für Datenverarbeitung vorhandene digitale Rechanlage Elliot NE 503 zu nutzen und sowohl den Optimisator als auch das Optimierungsobjekt für die Simulation digital zu implementieren. Insgesamt war der Übergang zur digitalen Simulation mit einer wesentlichen Erweiterung der Anwendungsbreite verbunden. In der Arbeit [Be69] wurde die Modellierung eines Optimierungssystems auf einem Digitalrechner beschrieben

4.2 Signalflußplanorientierte Notierung

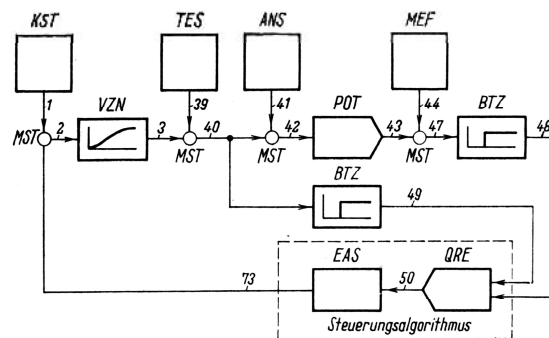


Abbildung 4: Signalflussplan für das Simulationsbeispiel Chlorwasserstofföfen (s. [Be69])

Wegen der breiten Anwendbarkeit dieses Programmiersystems wurde eine Broschüre [Be72] für die Nutzer herausgegeben, die einerseits eine Einführung in die digitale Simulation analoger und hybrider Systeme und andererseits eine Anleitung für das vorhandene Programmiersystem war.

5 Weiterentwicklung des Prozessrechnereinsatzes

5.1 Prozessrechner der Familie ROBOTRON 4000

1968 war das Institut für Datenverarbeitung in das Zentrum für Forschung und Technik des Kombinats ROBOTRON eingegliedert worden, wobei das Fachgebiet E5, in dem die Entwicklung der Prozessrechentechnik und ihr Einsatz vereinigt war, entstanden war. Ab Anfang der 70-er Jahre standen aus eigener Entwicklung in der DDR Prozessrechner der Familie ROBOTRON 4000 zur Verfügung. Damit war die Lücke bezüglich der verfügbaren Hardware für den Prozessrechnereinsatz geschlossen worden. Die Produktion war in der Lage mehr Rechner dieser Familie bereitzustellen, als die Prozessrechneranwendung benötigte. Das führte dazu die Einsatzbreite dieser Rechnerfamilie auf das Gebiet der wissenschaftlich-technische und ökonomische Berechnungen zu erweitern, um den Absatz zu erhöhen. Eine Übersicht über die Anwendung und Weiterentwicklung dieser Rechnersysteme wird in einem gesonderten Beiheft der Zeitschrift Rechentechnik/Datenverarbeitung (s. [Ro75]) gegeben.

5.2 Zur Entwicklung von Software für den Prozessrechner PRS 4000

Auf der Grundlage der Erfahrungen mit Importrechnern und dem eigenen Prozessrechnersystem PRS 1000 wurde eine umfangreiche Software für den Einsatz des Prozessrechners PRS 4000 entwickelt. Bereits bei der Programmierung der Algorithmen für die Prozesssteuerung in Buna traten grundsätzliche Probleme der automatischen Messwerterfassung im Echtzeitbetrieb auf, die heute als betriebssystemspezifisch angesehen werden und mit der Multitaskverarbeitung zusammen hingen. Die in dieser und anderen Prozessrechneranwendungen gefundenen speziellen Lösungen der Multitaskverarbeitung wurden für die Rechner PRS 4000 und KRS 4200 aus DDR-Produktion bei der Entwicklung der Echtzeitbetriebssysteme ESKO 4000 und ESPO 4000 verallgemeinert. Hier sind besonders die Beiträge von W. Born und P. Burkhardt zu erwähnen.

Für die Unterstützung der Prozessrechneranwendung wurde innerhalb des ZFT ROBOTRON unter meiner Leitung eine Abteilung für die Entwicklung von problemorientierten Software aufgebaut. Innerhalb dieser Abteilung wurde unter Verantwortung von K. Steidten und F. Ziegenbalg ein integriertes modulares System mit eigener Programmiersprache PEPS für Echtzeitaufgaben der Prozesssteuerung entwickelt (s. [SZ71] und [Zi75]). Dabei wurden Teilsysteme in Form von Bausteinen für die Gebiete Messwerterfassung und Primärverarbeitung (UNIMEP, PROTOS), direkte digitale Regelung

(DDC), Optimierung und Simulation geschaffen. Eine zusammenfassende Übersicht über die Entwicklung der problemorientierten Software im Zusammenhang mit dem Prozessrechnereinsatz findet sich bei R. Hofmann (s. [Ho05]).

Die industrielle Erprobung des Echtzeitbetriebssystems ESKO 4000 und der Komponenten für die Messwerterfassung und Primärverarbeitung UNIMEP und PROTOS fand Anfang der 70-er Jahre beim Prozessrechnereinsatz im Kalibetrieb Zielitz statt (s. [KGS75]). Diese Komponenten wurden in den meisten Prozessrechneranwendungen der Familie ROBTRON 4000 eingesetzt.

6 Übergang zur ereignisdiskreten Simulation

6.1 Ereignisdiskrete Simulation

Der Multitaskbetrieb brachte aber auch für die Simulation neue strukturelle Anforderungen, die mit der signalflussplanorientierten Simulation nicht erfasst wurden. Zusätzlich zu den steuerungstechnischen Betrachtungen wurden Untersuchungen des Reaktionsverhaltens und des Durchsatzverhaltens des Prozessrechners selbst wichtig (s. [Be73] und [Be75]).

Wir mussten von der signalflussplanorientierten Struktur zu einer Struktur übergehen, welche die Wechselwirkung von Forderungen (Tasks) und Ressourcen beschreibt. Die dabei entstehenden sequentiell-parallelen Strukturen werden grafisch durch ein Bedienungsnetz oder durch einen Forderungslaufplan beschrieben (s. [Be76], [Be80] und [BL83]).

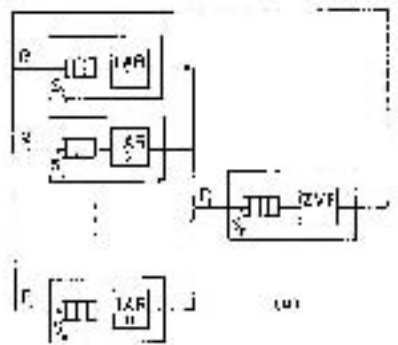


Abbildung 6: Zur Wechselwirkung zwischen Forderungen und Ressourcen(s. [BL83])

In Bild 6 wird die Bedienung mehrerer Tasks (Aufgaben) durch die Zentraleinheit ZVE und die peripheren Geräte IAR mit Hilfe eines Bedienungsnetzes (Warteschlangennetzes) dargestellt. Vor den Ressourcen ZVE und IAR entstehen Warteschlangen.

Für die Simulation wurde das Simulationssystem SIMDIS genutzt, das bei ROBOTRON von Preuß in Anlehnung an das international bekannte System GPSS entwickelt worden war.

6.2 Ergebnisse der ereignisdiskreten Simulation

Mit Hilfe der ereignisdiskreten Modellierung und Simulation wurden verschiedene Prozessrechneranwendungen untersucht. Die dabei erzielten Ergebnisse wurden verallgemeinert und im Buch „Verhaltensmodelle von Prozessrechnern“, das beim Akademieverlag verlegt wurde (s. [Be80]), dargestellt.

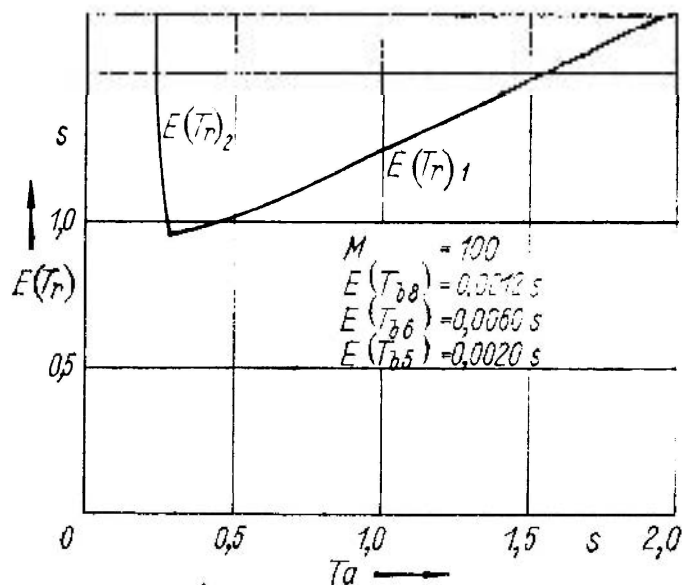


Abbildung 7: Einfluss der Abtastzeit auf die mittlere Reaktionszeit (s.[Be76])

Als Ergebnisse der ereignisdiskreten Simulation werden für ein Beispiel in Bild 7 das Reaktionsverhalten und in Bild 8 das Durchsatzverhalten beschrieben.

Tabelle 11.3: Auslastungsgrade und Grenzen des Auftragsdurchsatzes der einzelnen Ressourcen

Ressource	Auslastungsgrad (bei $\lambda = 1,0 \text{ a}^{-1}$) ρ	Grenze des Auftragsdurchsatzes bedingt durch die Ressource λ_{max}
VASK	0,0006	1670
ZMRP	0,0060	1670
ZANE	0,0070	149
ZYVE	0,0216	46,5
STL	0	∞
MRAU	0,0022	469
SPAC	0,0078	128
STAT	0,0043	208
STIR	0,1160	5,7
KRIM	0,0840	15,6
ERST	0	∞
STBE	0	∞
BURE	0,0351	28,5
TERE	0,4210	2,37
WAPB	0	∞
AIR	0,0415	24,1
AS 11	0,3380	3,71
AS 12	0,4260	2,37

Abbildung 8: Auslastungsgrade und Durchsatzgrenzen für die einzelnen Ressourcen(s. [Be80])

7 Schlussbemerkungen

Der Beitrag zeigt wie in der DDR der Prozessrechnereinsatz die Entwicklung der Simulation als wichtiges Instrument der Modellierung und Simulation von digitalen Automatisierungssystemen beeinflusst hat. Es wurde betrachtet wie es zum Übergang von der anlog zur digitalen signalflussplanorientierten Simulation Mitte der 60-er Jahre kam und wie Ende der 60-er Jahre zusätzlich die ereignisdiskrete Simulation für den breiten Prozessrechnereinsatz notwendig wurde.

Zum Schluss möchte ich darauf verweisen, dass der Prozessrechnereinsatz zusätzlich zur internationalen Literatur eine wichtige Quelle für Innovationen war. So war die Gradientenmethode mit natürlichem stochastischen Suchsignal international neu.

Literatur

- [Be64] Bergholz, G.: Zur Berechnung und Modellierung selbststellender Systeme mit Optimalwertsuche. msr (1964) H. 3 S. 139...141.
- [Be65] Bergholz, G.: The Design and Simulation of Self-adaptive Optimizing Systems. Foreign Technologies Div Wright-Patterson AFB Ohio May 1965
- [Be66] Bergholz G.: Zum Entwurf von Steuerungsalgorithmen für ein Extremalsystem mit hochfrequenten Objektstörungen. msr (1966) H. 8 S. 280...283.
- [Be67] Bergholz, G und Born, W.: Programmiersystem für die Modellierung dynamischer Systeme auf einem Digitalrechner. Rechentechnik/Datenverarbeitung (1967) H. 1 S. 21 .. 28.
- [Be69] Bergholz, G.: Zur Modellierung eines Extremalsystems auf einem Digitalrechner. msr (1969) H. 2 S. 67...71.
- [Ho70] Hofmann, R.: Einsatz des Prozessrechners Dnepr in der Chlor-Wasserstoff-Produktion. msr ap (1970) H 1, 2, 3.
- [SZ71] Steidten, K. und Ziegenbalg F.: Die problemorientierten Systemunterlagen des PRS 4000. Rechentechnik/Datenverarbeitung 8 (1971) H. 10 S. 40.
- [Be72] Bergholz, G.: Digitale Simulation analoger Übertragungssysteme. Schriftenreihe Datenverarbeitung. Verlag Die Wirtschaft (1972).
- [Be73] Bergholz, G.: Modell für die Untersuchung des Echtzeitverhaltens eines Prozessrechners. XVIII Intern. Wiss. Koll. TH Ilmenau 1973.
- [Be75] Bergholz, G.: Zur Analyse der Multiprogrammbearbeitung in einer Prozessrechenanlage. Rechentechnik/Datenverarbeitung . 3. Beiheft 1975.
- [Zi75] Ziegenbalg F.: Einsatz und Weiterentwicklung der problemorientierten Systemunterlagen für das Rechnersystem ROBOTRON 4000 und ROBOTRON 4200/4201. Rechentechnik/Datenverarbeitung 3. Beiheft 1975.
- [KGS75] Kotte, B, Griethe, W. und Sänger, B.: Prozessrechnereinsatz im Kalibetrieb Zielitz. Rechentechnik/Datenverarbeitung . 3. Beiheft 1975.
- [Ro75] Rechnersysteme ROBOTRON 4000 4200 4201. Rechentechnik/Datenverarbeitung 3. Beiheft 1975
- [Be76] Bergholz, G.: Zur Bestimmung der Reaktionszeit von Prozessrechenanlagen. msr 19 (1976) H.4 S. 130...133.
- [Be80] Bergholz, G.: Verhaltensmodelle von Prozessrechnern. Akademie-Verlag Berlin (1980).
- [BL83] Bergholz, G. und Lehmann, D.: Zur Nutzung von Verhaltensmodellen bei der Leistungsbewertung von Rechnersystemen. Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden 32 (1983) H. 3 S. 1...4.
- [BBH04] Born, W., Burkhardt P. und Hollnagel, G.: Die Anfänge des Prozessrechnereinsatzes in der DDR in den sechziger Jahren. Symposium Informatik in der DDR – eine Bilanz. Oktober 2004
- [Me05] Merkel, G.: Institut für Datenverarbeitung. Sitz Dresden. Zur Industriegeschichte der Stadt Dresden von 1945-1989. Fassung 30.11.2005
- [Ho05] Hofmann R.: Die Entwicklung des Arbeitsgebietes Automatisierte Prozesssteuerung bei Robotron und Ableitung der POS aus Mustereinsatzfällen. Historie Robotron Fassung 23. 10. 2005.
- [Sc04] Scheffel, H.: Die Entwicklung der Hybridrechentechnik in der DDR/CSSR in den 70er Jahren. Symposium Informatik in der DDR – Eine Bilanz, Teil 1. Oktober 2004.
- [Kr06] Krug, W.: Anwendungen und Entwicklungen der Analog- Hybrid- und Digital-Rechentechnik zur Modellierung, Simulation und Optimierung technischer Prozesse und Systeme . Informatik in der DDR – Eine Bilanz Teil 2, Mai 2006.