

**TU**

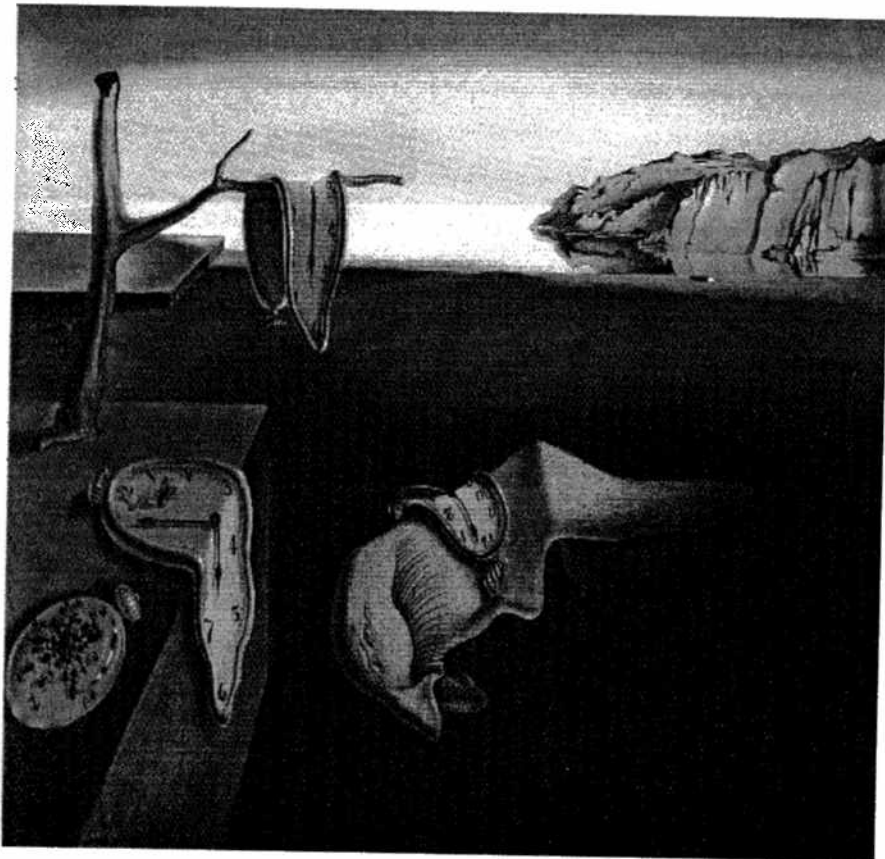
Institut für Automation  
Abt. für Automatisierungssysteme

Technische  
Universität  
Wien

Projektbericht Nr. 183/1-107  
Juni 2000

# Verteilte Embedded Systems unter OSE

*Ulrich Schmid*



Salvador Dali, "Die Beständigkeit der Erinnerung"

# Verteilte Embedded Systems unter OSE

(Antrag auf Innovatives Projekt an der TU-Wien)

ULRICH SCHMID

Technische Universität Wien  
Institut für Rechnergestützte Automation  
Treitlstraße 1, A-1040 Wien  
Email: s@auto.tuwien.ac.at

14. Dezember 1999

## Zusammenfassung

Der vorliegende Antrag für ein Innovatives Projekt an der TU-Wien beschreibt ein Projekt im Bereich *Embedded Systems*, das Innovationscharakter, wissenschaftliche + industrielle Relevanz und positive Auswirkungen auf die universitäre Lehre verbindet. Konkret soll, durch Weiterentwicklung/Adaptierung der in meinem START-Projekt Y41-MAT entwickelten GPS-Zeitsynchronisation, ein synchrones, verteiltes und fehlertolerantes System von PowerPC Mikrocontrollern unter dem neuen Betriebssystem Enea OSE aufgebaut werden. Für dieses Vorhaben ist eine leistungsfähige C/C++/Java Mehrplatz-Entwicklungsumgebung für OSE-Anwendungen erforderlich, die insbesondere modernste Debugging-Werkzeuge bereitstellt. Ein großer Teil der hierfür notwendigen Investitionen wurde/wird aus Mitteln der AO-Dotation 1999/2000 von TNF, Fachgruppe Informatik und Institut 183 getätigt, die für den Aufbau eines —Lehre und Forschung gleichermaßen gewidmeten— *Embedded Systems Labors* bereitgestellt wurden/werden. Der vorliegende Antrag dient primär der Finanzierung der projektspezifisch erforderlichen System-Debugging-Werkzeuge. Da das anzuschaffende Equipment sowohl für eine Reihe prospektiver Folgeprojekte als auch für die Lehre im Bereich Embedded Systems verwendet werden kann, ist eine optimale Ausnutzung der Investitionen sichergestellt.

**Fachgebiete:** Technische Informatik, Embedded Systems, Verteilte Systeme.

## 1 Projektumfeld und State-of-the-Art

Embedded Systems sind einer der wichtigsten Wachstumssektoren in der Technischen Informatik. Mikrocontroller und Mikroprozessoren finden sich mittlerweile in fast allen Gebrauchsgegenständen, von Handys über Getränkeautomaten bis hin zu Autos und Flugzeugen. Die steigende Komplexität und Verantwortung der Anwendungen führt jedoch dazu, daß Embedded Systems immer mehr als verteilte Systeme entworfen werden. Eine Vielzahl von Mikrocontrollern, die über verschiedenste Kommunikationsnetzwerke verbunden sind, stellen jedoch Wissenschaft und Praxis vor schwierige Herausforderungen.

Wie in anderen Bereichen der Informatik auch existiert im Bereich verteilter Embedded Systems eine relativ tiefe Kluft zwischen Wissenschaft und industrieller Software-Praxis.<sup>1</sup> So ist z.B. erst in jüngster Zeit mit dem Produkt OSE der schwedischen Firma Enea ein kommerzielles Betriebssystem für Embedded Systems auf den Markt gekommen, das den Aufbau derartiger Systeme auch außerhalb des Bereichs höchstzuverlässiger Anwendungen (also Flugzeugen, Kernkraftwerken usw.) möglich/erschwinglich macht: Im Gegensatz zu allen anderen am Markt verbreiteten Betriebssystemen vermeidet OSE einen *single-point-of-failure* (etwa in Gestalt eines Master-Knotens). Allerdings stellt OSE selbst zur Zeit nur einen kleinen Teil jener Funktionalität zur Verfügung, die für ein fehlertolerantes verteiltes System tatsächlich benötigt wird.

## 2 Projektbeschreibung

Das ultimative Ziel des Projekts ist der Aufbau eines heterogenen verteilten OSE-Systems, in dem beliebige Motorola high-end Mikrocontroller (z.B. M68332, MPC555 und MPC860) über redundante Kommunikationskanäle verbunden werden können. Hochgenau synchronisierte lokale Uhren sollen es ermöglichen,

<sup>1</sup>Im Gegensatz dazu ist die Hardware (CPUs, Netzwerk-Kommunikation usw.) für verteilte Embedded Systems relativ gut entwickelt, wie etwa die hochkomplexen MPC5xx/8xx PowerPC-Mikrocontroller des Marktführers Motorola belegen.

beliebige synchrone verteilte Algorithmen —etwa für *atomic broadcasting*— zu implementieren. Ein solches System stellt somit eine leistungsfähige Ausgangsbasis für die kundenspezifische Entwicklung fehler-toleranter verteilter Embedded Systems dar.

## 2.1 Projektdetails

Enea OSE unterstützt heterogene verteilte Systeme durch eine Kommunikationskomponente genannt *Link-Handler*. Sie vermittelt zwischen den “remote” Services von OSE und den tatsächlich zur Verfügung stehenden Kommunikationskanälen. Das gegenständliche Projekt ist der Entwicklung von dedizierten Link-Handlern für

- SPI (Motorola’s *Serial-Parallel-Interface*)
- CAN (*Control Area Network* Feldbus)
- Ethernet

gewidmet. Im Unterschied zu den z.T. schon existierenden Link-Handlern sollen diese jedoch, über ihre Kommunikationsfunktionalität hinaus, auch im  $\mu$ s-Bereich auf GPS-Zeit synchronisierte lokale Uhren bereitstellen. Hierfür werden theoretische ([Sch94], [SS97], [Sch97b], [Sch97a], [SW99] usw.) bzw. praktische Ergebnisse ([SSHL97], [HSS98], [WGSS99], [SKM<sup>+</sup>00] usw.) aus meinem START-Projekt Y41-MAT (Subprojekt SynUTC) adaptiert bzw. weiterentwickelt. Im Gegensatz zu der in START betriebenen Grundlagenforschung sind die geplanten Arbeiten jedoch eher technologieorientiert ([SHK99]):

- Anpassung der existierenden intervall-basierenden Zeitsynchronisationsalgorithmen an reale Gegebenheiten und daraus resultierende Weiterentwicklungen. Die Implementierung von (theoretisch sauberen) Algorithmen wie [Sch97a] ist erfahrungsgemäß eine Art “Nagelprobe”, die unzulässig vereinfachende Annahmen aufdeckt und oftmals gravierende Änderungen der Algorithmen erfordert.
- Verbesserung der Synchronisationsgenauigkeit (Ethernet) und Unterstützung anderer Netzwerke (CAN und SPI) durch alternative Zeitstempelverfahren. Das vorhandene *Network Time Interface* [SKM<sup>+</sup>00] für Ethernet kann hierfür nicht herangezogen werden, sehr wohl aber das zentrale UTCSU-ASIC [SSHL97].
- Experimentelle Evaluation von Synchronisationsgenauigkeit und Fehlertoleranzeigenschaften in realem System.

Insgesamt ist abzusehen, daß die Arbeit an dem gegenständlichen Projekt auch weitere theoretische Forschungen nach sich ziehen wird, etwa bezüglich neuer Algorithmen oder Zeitsynchronisation in WAN-of-LAN-Strukturen.

## 2.2 Innovationen

Das gegenständliche Projekt ist in mehrfacher Hinsicht (wissenschaftlich ... W, praxisrelevant ... P, die Lehre betreffend ... L) innovativ:

- (W1) Aufbau eines heterogenen, verteilten und fehler-toleranten Embedded Systems mittels *Commercial-of-the-Shelf* (COTS) Hardware und Software.
- (W2) Weiterentwicklung der Ergebnisse des wissenschaftlichen Forschungsprojektes SynUTC zum Thema hochgenaue fehler-tolerante GPS-Zeitsynchronisation über Datennetzwerke.
- (W3) Experimentelle Evaluation der theoretischen Projektergebnisse unter realistischen Bedingungen.
- (W4) Schaffung einer Plattform für die experimentelle Evaluation synchroner verteilter Algorithmen, wie sie z.Zt. in anderen laufenden Forschungsprojekten entwickelt werden.
- (P1) Integration wissenschaftlich fundierter Lösungsansätze in das kommerzielle Betriebssystem OSE zwecks Schaffung einer leistungsfähigen Ausgangsbasis für die Entwicklung kundenspezifischer verteilter Embedded Systems.<sup>2</sup> Über die Bereitstellung hochgenau synchronisierter Uhren durch das

---

<sup>2</sup>Dies ist ein wichtiger Beitrag zu der Beseitigung jener Probleme, die sich zur Zeit bei der Verwendung von COTS-Komponenten auftun. Die Firma Enea hat daher auch starkes Interesse an den Projektergebnissen bekundet, was wiederum letztlich auf das Interesse der OSE-Kunden —wie Ericsson-Wien— zurückzuführen ist.

gegenständliche Projekt hinaus sind vielfältige Folgeprojekte denkbar, die (synchrone) higher-level Services wie etwa *atomic broadcasting* implementieren.

- (L1) State-of-the-Art Ausbildung der Studierenden durch entsprechende Ausrichtung der einschlägigen LVAs.

Darüberhinaus generiert das zur Projektdurchführung notwendige Equipment einige weitere, über das konkrete Projekt hinausgehende Innovationsaspekte, die im Abschnitt 3.5 dargelegt werden.

### 3 Projektbedarf

Für die Projektdurchführung ist eine leistungsfähige Mehrplatz-Entwicklungsumgebung für Motorola MPC5xx/8xx und M683xx Mikrocontroller/Mikroprozessoren erforderlich, mit deren Hilfe sowohl System- als auch Anwendungssoftware für verteilte high-end Embedded Systems unter OSE entwickelt und getestet werden kann.

#### 3.1 Embedded Systems Labor

Günstigerweise wurde/wird ein Großteil des benötigten Equipments im Zuge des Aufbaus unseres neuen *Embedded Systems Labors* beschafft, das in Zukunft alle einschlägigen Laborübungen sowie Prototyp-Implementierungen von Forschungsergebnissen zum Thema high-end Embedded Systems abdecken soll. Es wird in den Räumen des Instituts 183 (Treitlstraße 1, 4. Stock) —gemeinsam mit dem ebenfalls neuen Automatisierungslabor— untergebracht und aus Mitteln der AO-Dotation 1999/2000 von TNF, Fachgruppe Informatik und Instituts 183 finanziert:

Pos.	Anz.	Bezeichnung	ca. ATS (incl.)	Finanzierung
1	5	Linux-Entwicklungs-PCs	130k	AO.Dot TNF
2	1	Sun Ultrasparc Server + Peripherie	260k	AO.Dot TNF
3	1	OSE Targetsoftware (MPC5xx/8xx, M68K)	395k	O.Dot 183, AO.Dot Inf+TNF
4	4	Diab C/C++/Java Compiler	100k	AO.Dot Inf
5	5	SDS BDM-Debugger mit HP-Probe	400k	AO.Dot 183, AO.Dot Inf
<b>Gesamt:</b>			<b>1.275k</b>	

Auf Grund des großen Interesses v.a. der Hersteller Enea und Diab/SDS an der Einrichtung dieses Embedded Systems Labors konnten dabei sowohl extreme Rabatte als auch eine de facto kostenfreie 5-jährige Wartung ausgehandelt werden.

#### 3.2 Projektspezifisches Equipment

Zusätzliche projektbezogene<sup>3</sup> Mittel —der Gegenstand dieses Antrags— werden für die System-Debugging-Werkzeuge und die Targetsysteme benötigt.

##### Wunschkonfiguration:

Pos.	Anz.	Bezeichnung	ATS (incl.)	Finanzierung
1	1	Lauterbach FIRE-ICE MPC5xx	223k	
2	1	Lauterbach FIRE-ICE MPC8xx	223k	
3	2	Lauterbach ICD + Trace-Modul	230k	
4	1	Lauterbach ICD	65k	
5	5	Axiom CME-555 Targetsystem	45k	
6	5	Motorola MBX860 Targetsystem	55k	
<b>Gesamt:</b>			<b>841k</b>	

<sup>3</sup>Selbstverständlich sind die anzuschaffenden System-Debugging-Werkzeuge aber auch außerhalb des Projekts von höchstem Interesse, nicht zuletzt für die einschlägige Lehre. In der Planung des ursprünglichen Embedded Systems Labors mußte allerdings aus Kostengründen darauf verzichtet werden.

### Minimalkonfiguration:

Pos.	Anz.	Bezeichnung	ATS (incl.)	Finanzierung
1	1	Lauterbach FIRE-ICE MPC5xx + MPC8xx	309k	
2	1	Lauterbach ICD + Trace-Modul	115k	
3	3	Lauterbach ICD	130k	
4	5	Axiom CME-555 Targetsystem	45k	
5	5	Morotola MBX860 Targetsystem	55k	
<b>Gesamt:</b>			<b>654k</b>	

Wie bei allen anderen Komponenten wird auch hier den Tools der unbestrittenen "Nummer 1" im Bereich System-Debugging, der Deutschen Firma Lauterbach, der Vorzug gegeben. Das Spektrum der verfügbaren Werkzeuge reicht vom high-end *In-Circuit Emulator* (ICE), der eine vollständige Kontrolle über die Programmausführung im Targetsystem erlaubt, bis zum *In-Circuit-Debugger* (ICD), der über eine on-chip Debugging-Schnittstelle Breakpoint-Setting usw. unerstützt. Die Mischvariante ICD + Trace-Modul erlaubt —unter bestimmten Voraussetzungen— die Aufzeichnung der Programmausführung. Wunsch- und Minimalkonfiguration unterscheiden sich lediglich darin, daß in letzterer nur ein ICE (allerdings mit CPU-Emulationsmodulen sowohl für MPC860 als auch MPC555) und ein ICD mit Trace-Modul vorgesehen wurde. Allerdings erlaubt die Minimalkonfiguration kein high-end Debugging von Multiprozessoren, was für das geplante Vorhaben natürlich sehr ungünstig ist.

Auch hier konnten mit dem Hersteller gute Rabatte ausgehandelt werden. Wegen der aufwendigen Hardware kann allerdings nicht davon ausgegangen werden, daß eine 5-Jahresgarantie im Kaufpreis inkludiert ist. Für eine Vollwartung der Lauterbach-Werkzeuge müßte jährlich etwa 10–20% des Kaufpreises veranschlagt werden, was in Anbetracht der verfügbaren O.Dot nicht möglich ist. Daher muß auf einen Wartungsvertrag verzichtet in ggF. das Reparaturbudget in Anspruch genommen werden.

### 3.3 Begründung der Dringlichkeit der Investitionen

Abgesehen von der Tatsache, daß die Arbeiten am Projekt SynUTC mit Ende 1999 im abgeschlossen wurden, die Projektergebnisse also fertig vorliegen, begründet die gerade stattfindenden Einrichtung des Embedded Systems Labor die Dringlichkeit der beabsichtigten Investitionen wohl am stärksten:

- Enea hat ein Kompensationsgeschäft für die anfallenden Wartungskosten für OSE vorgeschlagen, das erste Projektergebnisse 2001 erfordern würde. Eine Verzögerung der Anschaffung des zusätzlichen Equipments würde diesen Termin vermutlich schwer haltbar machen.
- Die Durchführung des Projekts würde, quasi als Nebeneffekt, auch gleich die Systemkonfiguration zur Abhaltung der einschlägigen LVAs liefern. Ein Aufsetzen derselben ohne System-Debugging-Tools würde hingegen ein Vielfaches der Entwicklungszeit in Anspruch nehmen.

### 3.4 Gerätenutzung nach Projektende

Die zusätzlich anzuschaffenden Geräte sollen natürlich in das Embedded Systems Labor integriert werden, sodaß sie —parallel bzw. nach Ende des gegenständlichen Projekts und eventuellen Folgeprojekten— für die einschlägige Lehre zur Verfügung stehen. Da letztere schon aus Kapazitätsgründen nicht allein vom Institut 183 abgedeckt werden kann, ist eine Mitbenutzung durch andere Institute, v.a. das Institut 182 (Prof. Kopetz), vorgesehen. Auf die Kompatibilität der Bedürfnisse wurde (etwa durch Auswahl der Motorola-Mikrocontroller) Rücksicht genommen.

### 3.5 Innovationen durch das Equipment

- (P2) Enea hat in der Ericsson-Niederlassung einen großen OSE-Kunden in Wien. Durch die Ausstattung unseres Embedded Systems Labors mit OSE soll ein lokales Kompetenzzentrum geschaffen werden, das —in Kombination mit dem Werbeeffect— auch zur weiteren Erschließung des österreichischen Marktes beitragen soll. Diese Konstellation bildet natürlich eine gute Ausgangsbasis für industrienaher Projekte sowie Consulting.
- (L2) Bei der Auswahl der Ausstattung des Embedded Systems Labors wurde darauf geachtet, daß nur modernstes und weitverbreitetstes Equipment angeschafft wird. Die im Zuge von Projektarbeiten bzw. in den einschlägigen LVAs erworbenen Kenntnisse in OSE und den Entwicklungswerkzeugen sollten daher für unsere Absolventen häufig unmittelbar anwendbar sein.

## 4 Kompatibilität mit Leitbildern

Das beabsichtigte Projekt ist mit den Leitbildern/Entwicklungsplänen des Instituts 183, der TNF und der TU-Wien in folgender Hinsicht kompatibel:

1. Das Projekt ist eine Ergänzung und Fortführung der bisherigen, im Rahmen des Forschungsschwerpunkts *Verteilte Automatisierungssysteme* durchgeführten einschlägigen Forschungsprojekte des Antragstellers am Institut 183.
2. Im Entwicklungsplan der TNF ist Embedded Systems als einer der wichtigsten Schwerpunkte im Bereich Technische Informatik angeführt.
3. Das Projekt führt zu TU-adäquatem Einsatz führender Technologie (PowerPC, OSE, modernste Entwicklungs- und Debugging-Werkzeuge) in Forschung und Lehre.
4. Ein Teil der Projektarbeit ist dem Transfer TU-eigener Forschungsleistung in industrielle Anwendungen gewidmet.
5. Enge Kooperation mit der (heimischen) Wirtschaft.
6. Enge Verbindung von Forschung und Lehre.

## Literatur

- [HSS98] Martin Horauer, Ulrich Schmid, and Klaus Schossmaier. NTI: A Network Time Interface M-Module for high-accuracy clock synchronization. In *Proceedings 6th International Workshop on Parallel and Distributed Real-Time Systems (WPDRTS'98)*, pages 1067–1076, Orlando, Florida, March-April 1998.
- [Sch94] Ulrich Schmid. Synchronized UTC for distributed real-time systems. In *Proceedings 19th IFAC/IFIP Workshop on Real-Time Programming (WRTP'94)*, pages 101–107, Lake Reichenau, Germany, 1994.
- [Sch97a] Ulrich Schmid. Interval-based clock synchronization with optimal precision. Technical Report 183/1-78, Department of Automation, Technische Universität Wien, July 1997. (submitted to Information and Computation).
- [Sch97b] Klaus Schossmaier. An interval-based framework for clock rate synchronization algorithms. In *Proceedings 16th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, pages 169–178, St. Barbara, USA, August 1997.
- [SHK99] Ulrich Schmid, Martin Horauer, and Nikolaus Kerö. How to distribute GPS-time over COTS-based LANs. In *Proceedings of the 31th IEEE Precise Time and Time Interval Systems and Application Meeting (PTTI'99)*, Dana Point, California, December 1999. (to appear).
- [SKM<sup>+</sup>00] Ulrich Schmid, Johann Klasek, Thomas Mandl, Herbert Nachtnebel, Gerhard R. Cadek, and Nikolaus Kerö. A Network Time Interface M-Module for distributing GPS-time over LANs. *J. Real-Time Systems*, 18(1), 2000. (to appear).
- [SS97] Ulrich Schmid and Klaus Schossmaier. Interval-based clock synchronization. *J. Real-Time Systems*, 12(2):173–228, March 1997.
- [SSHL97] Klaus Schossmaier, Ulrich Schmid, Martin Horauer, and Dietmar Loy. Specification and implementation of the Universal Time Coordinated Synchronization Unit (UTCSU). *J. Real-Time Systems*, 12(3):295–327, May 1997.
- [SW99] Klaus Schossmaier and Bettina Weiss. An algorithm for fault-tolerant clock state & rate synchronization. In *Proceedings 18th IEEE Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS'99)*, pages 36–47, Lausanne, Switzerland, 1999.
- [WGSS99] Bettina Weiss, Günther Gridling, Ulrich Schmid, and Klaus Schossmaier. The SimUTC fault-tolerant distributed systems simulation toolkit. In *Proceedings 7th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MAS-COTS'99)*, Univ. of Maryland, USA, October 1999. (to appear).