

Digitaler Signalprozessor für systolische Interferenz-Faltung in Echtzeit

Kurzbezeichnung: FAST

Projektlaufzeit: 01.05.1996 - 31.03.1997

Projektleitung: Dr. G. Heinz

Mit Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft
Projektträger: GEWIPLAN, Förderkennzeichen 569/96

Einführung

Im Projekt entstand ein systolisch arbeitender Hardwarebeschleuniger für die an der GFal entwickelte Interferenztransformation (HIT) als PC-AT-Einschub. Mit dem Prozessor wird eine Beschleunigung der Interferenztransformation um etwa einen Faktor 2000 gegenüber einem Intel-Pentium angestrebt. Damit wird es möglich, interferenzielle Erregungskarten innerhalb von Sekunden statt von Stunden zu berechnen.

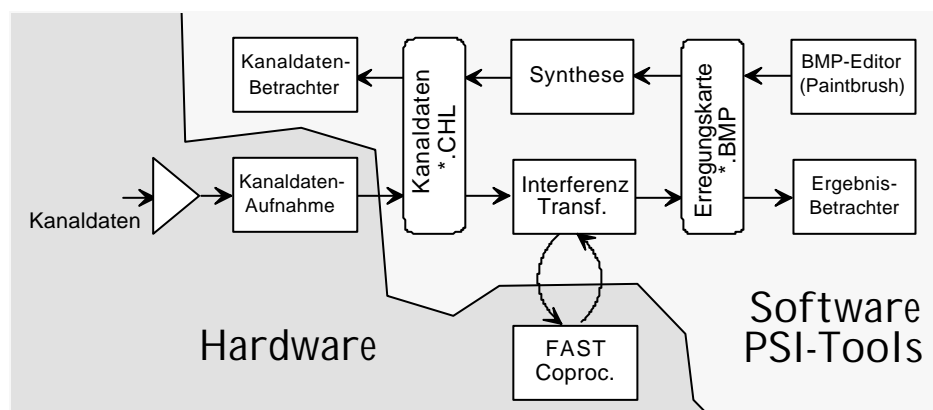


Bild 1: Einordnung des FAST-Coprozessors für schnelle Interferenztransformation

Herkömmliche Verfahren zur Erregungskartierung z.B. im Bereich der Akustik nutzen z.B. die Möglichkeit einer Signalzerlegung in spektrale Darstellungen (Spatial Transformation of Sound Fields [13], Time Domain Holography) oder in Wavelets zur Berechnung von Faltungen oder für Operationen mit Zeitfunktionen. Dieser Weg ist dort problematisch, wo nichtstationäre Systeme zu analysieren sind. Auch verwischt der Zeitbezug für den Fall, daß diskretisierte, orthogonale Transformationen (z.B. FFT, DWT) zu wählen sind. Oft führen Zeitkonstantenprobleme zu eingeschränkten Ergebnissen. Zeitvorgänge können i.a. schlecht oder überhaupt nicht aufgelöst werden. Diskretisierungsfehler im Ansatz führen zu erheblichen Problemen in der Möglichkeit, Interferenzsysteme zu berechnen.

Gewachsene Prozessorleistungen rechtfertigen, die Fehlermöglichkeiten und Probleme orthogonaler Transformationen dadurch zu umgehen, daß der Umweg über spektrale Signaldarstellungen gemieden wird und Rechnungen sofort im Zeitbereich vorgenommen werden. Sie erscheinen zunächst rechenzeitintensiver. Unter Maßgabe unpräziser, numerischer Transformationen in den Bildraum und zurück relativiert sich der Vorteil schneller Rechenbarkeit der FFT aber sehr schnell.

Mit der in der Arbeitsgruppe entwickelten Interferenztransformation (HIT) [12] steht erstmals ein Hilfsmittel zur Verfügung, Erregungskartierungen aus Kanaldaten extrem nichtstationärer Quellen (Nervennetz; pulsierende, akustische Systeme) im Zeitbereich selbst zu analysieren (siehe auch Jahresbericht 1996, Abschnitt 4.6.2, Projekt PSI). Bei Anwendung einer im Zeitbereich arbeitenden HIT erhalten wir bei stark nichtstationären Vorgängen einen zusätzlichen Bonus hoher Bildqualitäten bei schon geringsten Kanalzahlen.

Dieser Vorteil wird durch relativ hohe Rechenzeiten erkauft. So dauert die Berechnung eines einzigen Interferenzintegrals mit 130 x 50 Pixeln und 16 Kanälen, 60 kSamples pro Kanal mit PSI-Tools derzeit etwa 10 Stunden.

Gegenstand des Projekts FAST ist es, die Ausführung der Interferenztransformation dadurch zu beschleunigen, daß ein spezifischer Coprozessor als PC-Slot entwickelt wird. Entsprechende Verhaltenssimulationen [2] mit Speedchart und VHDL sowie Experimente mit Parallelrechnern [6], [8] zeigen Möglichkeiten dafür auf. Insbesondere wenn es gelingt, die Abarbeitungspipeline so zu gestalten, daß mit jedem Maschinentakt ein vollständiger Elementarfaltungsschritt vollzogen wird, lassen sich enorme Geschwindigkeitssteigerungen erzielen. Eigene Schätzungen gehen von - je nach in die Zusatzhardware investierten Kosten - bis zu 6000-fach höherer Rechenleistung gegenüber Intel's Pentium aus.

Darstellung der erzielten Ergebnisse

Im Kern besteht die HIT aus einer Transformation *Generatorraum_zu_Kanaldaten* und einer inversen Rücktransformation *Kanaldaten_zu_Detektorraum*. Der im Projekt FAST entwickelte Coprozessor dient nur der Rücktransformation. Ziel ist die Berechnung von Erregungskartierungen aus Kanaldaten der realen Welt.

Für die Rücktransformation der Zeitfunktion y eines Pixel aus Kanaldaten ist im Prinzip folgender Term zu berechnen, wobei z ein Kanalsample darstellt. Index k kennzeichnet die Pixelzuordnung, Index j stellt die Kanalnummer dar und m ist die Kanalzahl.

$$(1) \quad y_k(t) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m z_j(t - \tau_j - \tau_{jk})$$

$y_k(t)$ stellt die (approximierte) Zeitfunktion des betrachteten Ortes dar. Die zu einem Punkt k gehörende Verzögerungsmaske ist mit allen m Werten gespeichert. Für die Ergebnisdarstellung als Helligkeits- oder Farbwert interessiert der Effektivwert h_k der Zeitfunktion $y_k(t)$:

$$(2) \quad h_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta(|y_k(t)|)$$

Die Funktion θ ist als 16 bit zu 16 bit look up table (LUT, 64k Worte SRAM) ausgeführt, um variable Schwellwertfunktionen implementieren zu können. Beide Operationen, Glg. (1) und (2), werden vom FAST-Coprozessor berechnet. Er besitzt folgende Parameter:

Typ	Format	Bemerkung
LUT	64k x 16 bit	Fuzzy-Zuordner INT{2} -> INT{2}
Channel Data	8M x 16 bit	8 Chls a 1M bis 256 Chls a 32k Samples
Mask RAM	256 x 16 bit, gespiegelt	Maximalmaske enthält 256 Kanaldelays
Pixel Register	22 bit	Ergebnis einer Kanalintegration

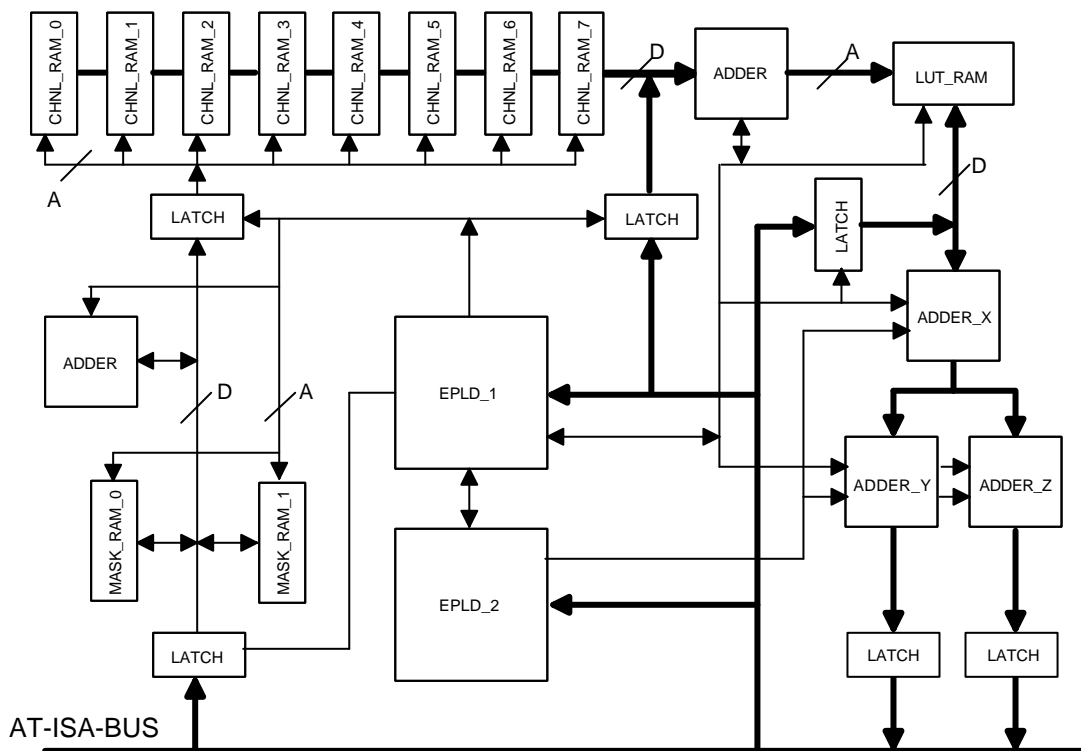


Bild 2: Blockschaltung des im Projekt realisierten Coprozessors

Eine Übersichtsschaltung ist in Bild 2 dargestellt. Schwerpunkt der Entwicklung stellen lange Kanalintegrationen dar. Entsprechend wurde das Design so optimiert, daß jeweils ein Maskensatz (max. 256 Masken) über einen großen Kanalspeicher verfügt. Der Kanalspeicher ist variabel teilbar in die Portionen von 1M Samples x 8 Kanäle bis 32 k x 256 Kanäle. In dieser prototypischen Version wird nur ein Adder für die Masken

benutzt, eine Adder-Pipeline kann nachgerüstet werden. Mit jedem Takt ist deshalb nur eine Kanaladdition ausführbar. Der Integrator arbeitet separat im Pipelining, kostet also keine zusätzlich Zeit. Bei einer bislang erreichten Taktfrequenz f_c von 25 MHz arbeitet der Prozessor im Moment etwa mit einer Maskenrate von $f_c/4m$, mit m als Kanalzahl. Gewisse Zeitverzögerungen entstehen durch das gelegentliche Nachladen eines neuen Maskensatzes und der Entsorgung des Ergebnisses für den berechneten Pixel.

Entsprechend benötigt oben benanntes Interferenzintegral auf dem Coprozessor etwa 16 Minuten statt 10 Stunden auf einem Pentium. Das Design läßt eine weitere Geschwindigkeitssteigerung um etwa einen Faktor 64 zu durch eine geringfügige Modifikation der Pipeline sowie durch Bestückung mit 15 Maskenaddierern, so daß bei Entwicklungsabschluß wenig mehr als 15 Sekunden Rechenzeit erreichbar sein werden.

Nutzen für klein- und mittelständische Unternehmen, wirtschaftliche Bedeutung

Im internationalen Wettbewerb entscheidet heute auch die Lautstärke eines Geräts über die Realisierbarkeit von Großaufträgen. So ist auf verschiedenen Gebieten bekannt, daß Ausschreibungen drastisch reduzierte Geräuschpegel fordern. Es sind also Methoden gefordert, Schallemissionen zu reduzieren. Es muß heute als Exportvorteil gewertet werden, wenn entsprechende Limits unterschritten werden können, bzw. wenn Techniken zur Verfügung stehen, mit einigem Zeitvorteil Emissionen zu reduzieren. Aus Umweltsicht werden lärmvermeidende Verfahren in Zukunft Schlüsselentwicklungen sein.

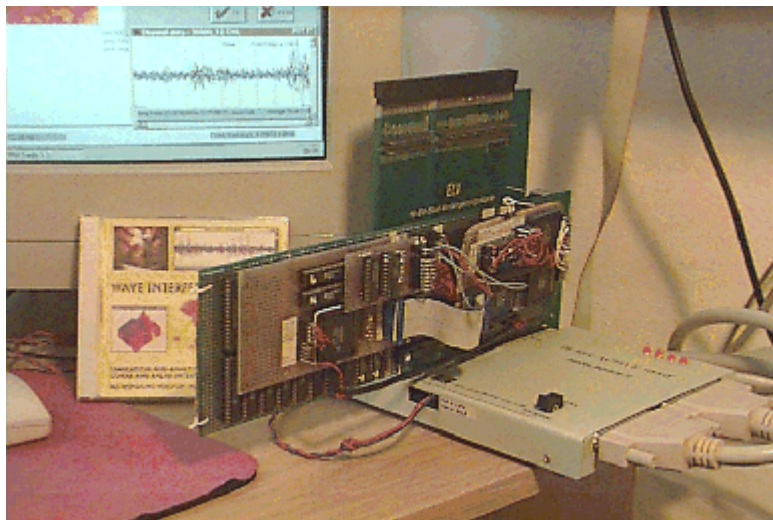


Bild 3: Blick auf den Versuchsaufbau als AT-Bus-Einschub. Der Prototyp erreicht mit einer 25 MHz Taktrate bislang eine Beschleunigung von etwa 150 gegenüber Softwarelösungen mit PC-Pentium

International bestehen eine Reihe von Bemühungen, Schallemissionen von Geräten, Anlagen und Fahrzeugen zu reduzieren. Derzeit vorhandene Verfahren sind störepfindlich und teuer. Schalltote Räume werden vorausgesetzt. Ein Vergleich zwischen einer vorangegangenen Entwicklungslösung und einer neuen Lösung ist i.a. nicht möglich, wenn schalltote Räume nicht genutzt werden können, und wenn das

betreffende, umkonstruierte Teil nicht separat untersucht werden kann. Mit der angestrebten Lösung wird die Vergleichbarkeit von akustischen Analysen auch unter schwierigen Bedingungen gefördert. Da es für die Vermessung einer Baugruppe nicht mehr nötig ist, diese aus dem Gesamtsystem zu entfernen, ergeben sich völlig neue Einsatzmöglichkeiten. Erstmals steht ein Verfahren zur Verfügung, mit dem ortsselektiv gemessen werden kann, ohne daß Raumreflexionen oder Störquellen erheblichen Einfluß haben. Dementsprechend ergeben sich eine Reihe neuer Anwendungsmöglichkeiten.

Das Verfahren soll weiterentwickelt werden, sodaß es insbesondere im handwerklichen und klein- und mittelständischen Bereich einsetzbar wird. Derzeit existiert ein Versuchsmuster an der GFal, mit dessen Hilfe es möglich ist erste, akustische Bilder anzufertigen. Einsatzmöglichkeiten sind durch den hohen Preis noch begrenzt.

Im handwerklichen Bereich wird die Technik (einfach bedienbar) interessant, um z.B. TÜV-Untersuchungen an KFZ-Auspuffanlagen vornehmen zu können, oder um aus Motorchecks Defekte lokalisieren zu können. Derzeit sind nur visuelle Inspektionen möglich. In Deutschland existieren über 60.000 Meisterbetriebe des KFZ-Handwerks. Hier spielen Preis und einfachste Bedienbarkeit eine entscheidende Rolle.

Im Bereich von kmU sind insbesondere im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus Anwendungen gefragt. Neben Inspektionen an Großmaschinen sind in der Geräteentwicklung einfache Bewertungs- und Schallortungsverfahren gefordert. Eine wichtige Rolle spielt hierbei auch der Preis.

Bei Großunternehmen treffen wir auf das Problem, daß die Gesamtemission komplexer, großer Maschinen zu minimieren ist. Bei Briefverteilmaschinen z.B. sind in Anbetracht mehrerer hundert Rollen und mehrerer Bänder, sowie mehrerer Antriebsmotore, dutzender Schaltanker und pneumatischer Ventile zunächst Quellorte zu suchen. Man hatte jahrelang an den Emissionen schaltender Teile gearbeitet. Erste Versuchsmessungen (siehe auch Homepage) zeigen aber ein anderes Bild. Danach ist die (vom menschlichen Bewußtsein wahrgenommene) Emission nichtstationärer Art verschwindend gering im Vergleich zur Emission von stationären Antrieben und Lüftern. Unser neuronales System unterdrückt offenbar aktiv stationäre Geräusche in beträchtlichem Umfang, wir nehmen dies erst wahr, wenn die Geräusche verschwinden. Mit dem Verfahren gelingt es, Emissionen (stationäre und pulsförmige; starke und schwache) in Relation zueinander zu betrachten. Für viele Bereiche der Industrie ist es nicht maßgeblich, eine absolute Geräuschmenge zu kennen. Vielmehr erscheint es wesentlich, schnell zu wissen, woher maximale Emissionen kommen.

Im Bereich von F.u.E. spielen vergleichende Messungen eine entscheidende Rolle. Nehmen wir den Fall, eine neue, lärmoptimierte Maschine wurde gebaut. Nur mußte sie aus betriebswirtschaftlichen Gründen in einer anderen, kleineren Halle aufgestellt werden. Eine einfache Pegelmessung zeigt, daß das Gesamtgeräusch lauter geworden ist. Nur ein Akustiker kann in langwierigen Berechnungen feststellen, ob die Pegelerhöhung den Veränderungen an der Maschine oder der veränderten Raumakustik zuzuschreiben ist.

Im Service-Bereich können anhand eines Interferenzintegrals akustische Bilder von Maschinen einer Baureihe miteinander verglichen werden. Wenn diese Methode schon vor Auslieferung eines Geräts angewandt wird, können u.U. teure Garantieforderungen vermieden werden, Ausfälle werden anhand von veränderten Geräuschemissionen der Module zueinander vorzeitig erkennbar.

Im Umweltbereich sind Schall-Kartierungen von Fahrzeugen, von Fluggerät, auf Baustellen oder an genehmigungsbedürftigen Anlagen gefordert. Insbesondere in

Großstädten ist der Verkehrslärm mit derzeitigen Mitteln kaum überwachbar. Bislang spielen akustische Überprüfungen von Fahrzeugen keine Rolle, da Umweltemissionen bei bekannten Verfahren nicht vernachlässigbar sind, und in das Messergebnis eingehen. Mit der GFal-Methode könnten zukünftig auch in Verkehrskontrollen Schallbilder Auskunft über die Emission eines Fahrzeuges geben.

Flughafenanwohner sind besonders lärmbelastet. Zwar existieren genormte Meßmethoden. Diese sind aber offenbar zu kompliziert, um zu juristischen Handhabungen nutzbar zu sein. Mit dem zu entwickelnden Verfahren wird es möglich, die Lärmemission eines Flugzeugs zweifelsfrei photographisch festzuhalten. Das versetzt Flughäfen (vielleicht) in die Lage, mit den Start- und Landegebühren drastisch auf die Lärmemission der Maschinen einzuwirken.

Im Bereich des Arbeitsschutzes sind Fragestellungen bei der Untersuchung der Lärmkartierung an Maschinen und in Maschinenhallen interessant. Es wird mit einfachen Mitteln gezielt möglich, Maschinenlärm einzudämmen, wenn bekannt ist, woher er kommt.

Es erschließen sich neue Anwendungsgebiete, deren Nutznießer vorrangig klein- und mittelständische Unternehmen sind. Der Mittelstand hat heute kaum eine Chance, akustische Analysen bezahlen zu können. Konventionelle Methoden von Akustik-Ingenieurbüros sind nicht unumstritten, es sind Hersteller bekannt, die seit Jahren versuchen, mit Unterstützung durch Akustik-Büros Geräte leiser zu machen - mit bescheidenem Erfolg. Die dafür anfallenden Kosten sind enorm, wenn man bedenkt, daß Umkonstruktion, Entwicklung und Werkzeugbau eines einzigen Spritzwerkzeuges oft in Summe mehrere hunderttausend DM kostet.

Marktfähigkeit

Die Verwertung der Innovation beginnt gerade. Derzeit sind aufgrund von Aufsätzen in der Berliner Zeitung und in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung Meßaufträge verschiedener Firmen zu bearbeiten. Die Firmen wollen zumeist anhand ihrer eigenen Produkte prüfen, ob die Schallbildkamera zur Ortung von schallemitierenden Bauteilen besser geeignet ist, als herkömmliche Verfahren. Es ist anzunehmen, daß sich die Investition für mehrere hundert Maschinen-, Anlagen-, Fahrzeugbauunternehmen etc. allein in Deutschland lohnt. Damit wird ein erhebliches, innovatives Folgepotential geschaffen.

Sollte die Innovation in technische Prüfverfahren einfließen, z.B. in KFZ-Prüfungen, so wäre ein Massenmarkt zu bedienen. Allein in Deutschland existieren 60.000 KFZ-Werkstätten. Wird der Umweltsektor und der Arbeitsschutzsektor hinzugerechnet, könnten einige Tausend zusätzlicher Geräte schon in Deutschland benötigt werden. Verlangt der Gesetzgeber eines Tages zwingend die Einführung dieses Meßverfahrens in standardisierten Verfahren, sind weitere Einsatzgebiete zu erschließen.

Die Bedeutung des Verfahrens liegt aber nicht allein in akustischen Anwendungen. Vielmehr ist vom Forscherteam ein theoretischer und praktischer Zugang ('interferenzielle Techniken') eröffnet worden, um vielerlei neue Technologien und Verfahren zu generieren. So haben wir für die Zukunft vor, mit interferenziellen Methoden neue, wesentlich leistungsstärkere Ultraschalltechniken zu entwickeln, oder gekoppelt mit hochkanaligen Ableitungen das Nervensystem zu beobachten und zu analysieren. Auch hier ist die Frage nach dem Herkunftsort von Erregungen relevant, auch hier ist gefordert, die Berechnung des Wellenraumes in kürzesten Zeiten zu vollziehen.

Im Projekt wurde praktisch das erste, robuste Verfahren entwickelt, das es gestattet, relative Lärmkartierungen industrieller Objekte (Motoren, Triebwerke, Maschinen, Geräte etc.) ohne schalltoten Raum und ohne Demontagen anzufertigen.

Derzeit sind Kontakte zu verschiedenen Maschinen- und Anlagenbauunternehmen und Motoren- und Turbinenherstellern entstanden. Relevanz hat das entwickelte Verfahren überall dort, wo schalltote Räume nicht genutzt werden können oder wo anhand der Ingenieurserfahrung nicht entscheidbar ist, durch welche Baugruppen, Gehäuseteile etc. große Lärmanteile verursacht werden.

Bewertung der Ergebnisse anhand der Zielsetzungen des Antrages

Die Projektergebnisse wurden im wesentlichen erreicht, insbesondere wurde erstmals ein Prozessor entwickelt, mit dem die Interferenztransformation so stark beschleunigt werden kann, daß Movies bedingt echtzeitfähig gerechnet werden können. Mit Projektabschluss liegt ein funktionsfähiger Prototyp vor, der die Interferenztransformation derzeit um den Faktor 150 beschleunigt. Die im Antrag formulierte Zielsetzung einer Taktrate von 20ns (50MHz) konnte aufgrund nicht harmonisch passender Bauteile noch nicht erreicht werden, derzeit läuft der Prozessor erst mit halber Geschwindigkeit (25MHz). Auch konnte die prognostizierte Geschwindigkeitssteigerung noch nicht erreicht werden. Auf dem Markt zur Verfügung stehende Bauelemente sind im Detail meist nicht ganz paßfähig. Insbesondere behinderte eine bei wesentlichen Bauelementen (Adder) nicht erwartete Spezifik in der Busausbildung das Pipelining der Daten.

Ein im Antrag nicht erkanntes Problem stellte die Einpassung des Prozessors unter der Softwareoberfläche für die Interferenztransformation (PSI-Tools) dar. Wir mussten erkennen, daß eine universelle Einbindung des Faltungsprozessor einen neuen, universelleren Kernalgorithmus erfordert, dessen Aufwand bei etwa zwei Mannjahren liegt und damit den Projektrahmen wesentlich überfordert.

Da eine Markteinführung des Faltungsprozessor in frühestens in etwa zwei Jahren erfolgen soll, bleibt allerdings noch hinreichend viel Zeit, die geschilderten Probleme auszumerzen. Insbesondere wird gegenwärtig bereits an einer neuen Version der Interferenztransformation gearbeitet, bei der automatisch die zur Bedienung von Beschleunigern nötigen Parametrisierungen eingearbeitet werden.

Schutzrechtsauskunft

Schutzrechtsanalysen ergaben, daß das im Projektrahmen entwickelte Verfahrensprinzip uneingeschränkt patentfähig ist. Da Patentgebühren progressiv steigen, werden Anmeldungen erst mit Produktionseinführung vorgenommen. Ein hinreichender know-how-Vorlauf rechtfertigt dieses Vorgehen.

Zusammenstellung aller Veröffentlichungen

- [1] Zöllner, M., Busch, C., Heinz, G.: AT-Bus Coprozessor für Schnelle Interferenztransformation. Technische Dokumentation. GFaI Berlin, 1997, 60 S.
- [2] Rädisch, Jörg: Studie zu einem systolischen Faltungsprozessor für schnelle Interferenzfaltung. TFH Berlin/GFaI Berlin, 6.3.1995, 70 S.
- [3] Döbler, Dirk: Entwicklung einer Applikation und eines VxD-Treibers zur Ansteuerung einer Meßwerterfassungskarte unter Windows'95. FHS Stralsund/GFaI Berlin, 10/96-3/97, 90 S.
- [4] Dehm, Christoph: Entwicklung einer PC-Erweiterungskarte zur Ansteuerung von 256 AD-Wandlern. FHTW/GFaI Berlin, 3-7/96, 70 S.

- [5] Nguyen, Tan Than: Entwicklung eines Formatkonverters für PC-Meßverstärker mit CVI. 20.8.-30.9.1996. BEFAK/IHK/GFaI, 30 S.
- [6] Catalin, Radoj: Implementierung von Library-Funktionen zur parallelen Programmierung in Workstation-Clustern. Praktikum 6.3.95-14.7.95, FHTW/GFaI Berlin, Betreuung: V. Jossifov
- [7] Schulze, Peter: Entwicklung eines Programms zur Visualisierung und Manipulation elektrisch oder akustisch aufgenommener Kanaldaten. Praktikumsarbeit für die Prüfung zum mathematisch-technischen Informatiker, IHK/GFaI Berlin, 30.10.1995, 30 S.
- [8] Kieselberger, Sven: Entwicklung eines Faltungsmoduls für parallele Interferenzfaltung auf Parsytec PowerXplorer. Praktikumsbericht, HUB/GFaI Berlin, 30.9.1995, 65 S.
- [9] Werner, Olaf: Untersuchung der Echtzeitfähigkeiten des Signalprozessors TMS320C26 für Filter-, Interpolations-, Differentiations- und Integrationsanwendungen. Praktikumsarbeit TFH Berlin/GFaI, Mai 1995, 26 S.
- [10] Fischmann, Vadim: Programm für die dreidimensionale Darstellung zweidimensional vorliegender Amplitudenverteilungen. Praktikumsarbeit BEFAK/GFaI, Mai 1995, 37 S.
- [11] Fritsch, Michael: Untersuchung und Entwicklung eines rauscharmen und programmierbaren Meßverstärkers für neurographische Aufnahmen. Diplomarbeit, FHTW Berlin FB3/GFaI, 27.9.1994., 62 S.
- [12] Heinz, G., Höfs, S., Busch, C., Zöllner, M.: Time Pattern, Data Addressing, Coding, Projections and Topographic Maps between Multiple Connected Neural Fields - a Physical Approach to Neural Superimposition and Interference. Proceedings BioNet'96, GFaI-Berlin, 1997, pp. 45-57, ISBN 3-00-001107-2
- [13] Ochel, M.: Bilder aus der Welt des Schalls. Berliner Zeitung Nummer 127, Mittwoch, 4.6.1997, Seite VI
- [14] Bäsecke, J.: Akustische Kamera entwickelt. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 27.6.1997
- [15] Bäsecke, J.: Eine Kamera sieht Krach. GEO-Journal, Heft 9/1997, S. 47-48

Zusammenfassung

Insbesondere für akustische Anwendungen mit der 'Akustischen Kamera' [13], [14], [15] wurde im Projekt ein Hardwarebeschleuniger für die H-Interferenztransformation entwickelt. Damit wird eine Reduktion der hohen Rechenzeiten für Interferenzbilder möglich. Das Verfahren stellt eine Schlüsselentwicklung zum Einstieg in eine neue Technologie der Interferenztransformation von Laufzeiträumen in Echtzeit dar. Um eine einfache Einführung in vielfältige Anwendungen zu stimulieren, wurde auf die Entwicklung des Faltungsprozessors als Einschubkarte für IBM-PC's orientiert. Sämtliche Details zur im Projekt erarbeiteten Lösung sind in [1] festgehalten.

Es gelang, eine prototypische Lösung zu schaffen, mit der die Berechnung von Interferenzbildern aus Kanaldaten gegenwärtig bereits um den Faktor 150 verglichen zum Pentium gesteigert werden kann. Layoutoptimierungen und zusätzliche Bestückung der Adderpipeline für die Maskensummutation kann um bis zu 6000-fachen Rechenzeitgewinn erbringen. Im Projektrahmen unterschätzt wurden die enorm komplexen Software-Anforderungen zur Bedienung des Prozessors. Für eine effiziente Nutzung ist über den Projektrahmen hinausgehend ein neuer Kern der Interferenztransformation zu schreiben. Eine Markteinführung ist in etwa zwei Jahren vorgesehen, bis dahin sind verbliebene Probleme gelöst. Eine Recherche ergab Patentfähigkeit der Lösung in jeder Richtung. Anmeldungen erfolgen erst, wenn die entwickelte Lösung in einen neuen Kern der Interferenztransformation eingebunden werden kann.

G. Heinz
Projektleiter