

REIHE INFORMATIK

22/95

**VLSI Implementierung eines parallelen
Hough-Transformations-Prozessors
mit dynamisch nachladbaren Mustern**

F. Klefenz, M. Oberle, R. Männer
Universität Mannheim
Seminargebäude A5
D-68131 Mannheim

VLSI Implementierung eines parallelen Hough-Transformations-Prozessors mit dynamisch nachladbaren Mustern

F. Klefenz, M. Oberle, R. Männer
Lehrstuhl Informatik V, Universität Mannheim, Mannheim

Zusammenfassung

In 1.0 μm CMOS Technik wurde ein Prozessor zur parallelen Verarbeitung einer speziellen Hough-Transformation entwickelt. Bei der auf 50 MHz ausgelegten Taktfrequenz können 6.4×10^{10} Objektmuster pro Sekunde detektiert werden. Bis zu 5×10^7 zu detektierende Suchmuster können pro Sekunde in den Prozessor geladen werden. Damit können erstmals Echtzeitapplikationen in der Bildverarbeitung im Mikrosekundenbereich erschlossen werden.

Einleitung

Die Hough-Transformation ist ein Standardbildverarbeitungsverfahren, das in vielen Anwendungsgebieten eingesetzt wird [Yui]. Die Hough-Transformation wird zur Erkennung von Pixelmustern eingesetzt, wobei die Mustererkennung nicht nur auf einfache geometrische Muster wie Linien und Kurven beschränkt ist, sondern in ihrer verallgemeinerten Form auch komplexere verteilte Objekte detektiert [Bal].

Bisher konnte die Hough-Transformation nicht für Echtzeitapplikationen genutzt werden, da der Algorithmus sehr rechenintensiv ist. Deshalb wurden spezielle Hough-Prozessoren wie beispielsweise der L64250 von LSI Logic entwickelt, deren Bearbeitungszeit im Millisekundenbereich liegt [LSI]. Weitere Ansätze, den Algorithmus z.B. durch Chipsätze zu beschleunigen und zugleich das Einsatzgebiet zu erweitern, werden in [Alb] diskutiert.

Bei dem hier vorgestellten Chip wurde der Hough-Transformationsalgorithmus massiv parallelisiert, so daß die Ausführungszeiten erstmals im Mikrosekundenbereich liegen. Mit dem Hough-Transformations-Chip können online Hough-Transformationen von Bildern einer Breite von 32 Pixel im Mikrosekundenbereich ausgeführt werden. Die Anwendung ist auf Kurven bzw. Geraden beschränkt. Die Verarbeitung der Bilddaten erfolgt kontinuierlich. Suchmuster können in wenigen Taktzyklen nachgeladen werden.

Die Hough-Transformation

Viele Bildverarbeitungsprobleme können gelöst werden, indem die zu verarbeitenden Bilddaten in einen n-dimensionalen Merkmalsraum überführt werden, in dem Häufungen das Vorhandensein gesuchter Merkmale angeben. Jedes Merkmal ist durch den zugehörigen Merkmalsvektor gegeben. Eine Klasse dieser Transformationsverfahren ist die Hough-Transformation.

Die Hough-Transformation ist ein Standardmustererkennungsverfahren zur Detektion von Merkmalen in Grauwertbildern. Sie ist in der hier angewendeten diskretisierten Verarbeitungsform ein Multi-Template-Verfahren, bei dem das Eingangsbild nach einem Satz von Suchmustern abgesucht wird.

Die Transformation wird als eine Raum-Zeit-Gleichung beschrieben und als ein festes Datenflußschema angegeben. In einem solchen Schema kommen die Daten genau zur rechten Zeit am rechten Ort an, an dem die entsprechende Aktion ausgeführt wird.

In Abbildung 1 wird gezeigt, wie die spezielle Hough-Transformation in einem systolischen Array einfacher Prozessorelemente ausgeführt wird. Parallel werden 32 kontinuierliche Eingangsdatenströme verarbeitet, die über einen gemeinsamen Ordnungsparameter synchronisiert sind. Zu jedem Zeitschritt wird eine Bildzeile eingespeist und eine Histogrammzeile ausgegeben.

Das systolische Array, das die Transformation ausführt, besteht aus einem Verzögerungs Network, das aus einfachen hintereinandergeschalteten Schalter- und Verzögerungselementen aufgebaut ist. Jedem Eingangskanal ist eine Kette dieser Verzögerungs- und Schalterelemente zugewiesen. Die zweite Funktionseinheit sind die Musterkanäle, bestehend aus einem Addiererelement und nachgeschaltetem Komparator. Jeder Addierer summiert in jedem Zeitschritt die Eingänge der verbundenen Signalknotenpunkte.

Die räumliche 2D-Houghtransformationsvorschrift wird in eine zeitliche Abfolge von Zuständen an den Signalknoten übersetzt, die durch die Stellung der Schaltelemente programmiert wird. Für jedes Pixel werden die Signalknotenpunkte zeitsequentiell aktiviert. Die Token durchlaufen die Verzögerungsketten mit unterschiedlicher Abfolge und Geschwindigkeit. Jeder Addierer addiert die gerade anliegenden Aktivitätszustände. Durch die Verzögerungszeiten generieren die Addierer gerade dann die maximale Summe, wenn das gesuchte Muster vorgelegen hat. Die Verschaltung des Arrays hat sozusagen den Zweck, daß jedes Suchmuster an der entsprechenden Stelle "geradegebogen" wird.

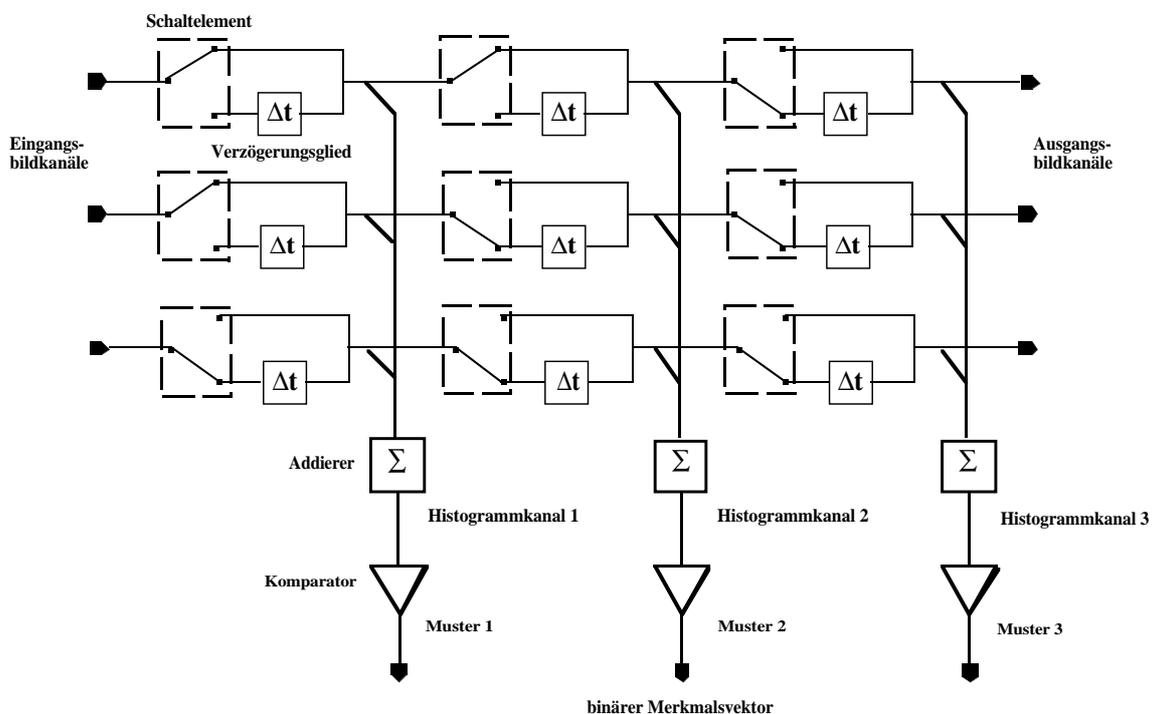


Abbildung 1: Aufbau des Prozessorkerns

Implementierung

Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, ist die Verbindungstopologie regulär. Das System wird von den horizontalen Switch/Verzögerungs-Elementen und den vertikalen Mustereinheiten gebildet. Der Prozessor kann aus identischen Replika der gleichen Slice-Einheit aufgebaut werden. Nur drei Grundeinheiten müssen entworfen werden. Die Switch/Verzögerungs-Zelle, der Addierbaum und die Komparatoreinheit.

Der Addierbaum der Breite 32 wurde auf 50 MHz Taktfrequenz optimiert. Die Verzögerungsketten können ebenfalls mit 50 MHz durchlaufen werden. Der Prozessor wurde auf 32 Dateneingänge ausgelegt. Die Dateneingangskanäle werden auf 32 Ausgangskanäle weitergegeben, damit Multiprozessorsysteme skalierbar aufgebaut werden können. Die Zahl der Musterkanäle beträgt 32. Pro Zeitschritt wird ein binärer Merkmalsvektor von 32 Bit ausgegeben.

Technische Daten:

Technologie:	ES2 CMOS 1,0 μm
Chipfläche:	1,4 x 1,7 cm^2
Taktfrequenz:	50 MHz
Performance:	6.4 x 10 ¹⁰ Objektmuster/s
Zahl der Muster:	5 x 10 ⁷ /s
Zahl der Transistoren:	315890
Zahl der Standardzellen:	43172
Gehäuseform:	PGA144

Der Prozessor ist fertig gelayoutet und simuliert und soll in Kürze gefertigt werden.

Zusammenfassung

Der Hough-Transformationsprozessor ist ein Spezialprozessor zur Ausführung von Hough-Transformationen im Echtzeitbetrieb. Die Hough-Transformationseinheit ist skalierbar, rekonfigurierbar und reprogrammierbar. Das System kann an unterschiedliche Mustererkennungsaufgaben angepaßt und zu größeren Multiprozessorsystemen verschaltet werden. Die Einsatzgebiete dieses Prozessors sind die Mustererkennung in der Hochenergiephysik und die kontinuierliche Fahrbahnrand- bzw. Hinderniserkennung in der Robotik.

Referenzen

- [Alb] M. Albanesi, A. Antola, M. Ferreiti, R. Negrini: " A chip-set for the generalized Hough transform", Reports on "Algorithms and Architectures for flexible, fault- tolerant VLSI high-speed Processing of Images and Signals", Milano, 1992
- [Bal] D. H. Ballard: "Generalizing the Hough Transform to detect Arbitrary Shapes", Pattern Recognition, 1981, 13, pp. 111 -122
- [LSI] L64250, Histogramm/Hough Transform Processor, LSI Logic Corp., 1989
- [Yui] A.L. Yuille, K. Honda: "Deformable Templates for Particle Tracking", Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Seattle/Wa, July 1991