

DIGITALE BILDANALYSE MIT EINEM ARRAYPROZESSOR AN EINER SIEMENS 330

P. Gais, K. Rodenacker, W. Abmayr, U. Jütting

Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München
- Institut für Strahlenschutz -
D-8042 Neuherberg bei München

Kurzfassung:

Der Anschluß des Arrayprozessors AP-120B an den Prozeßrechner Siemens 330 wird hard- und softwareseitig beschrieben und erläutert. Neben den Möglichkeiten zur Programmentwicklung wird auf den konkreten Anwendungsfall eingegangen. Die bei der Verarbeitung von digitalisierten Mikroskopbildern anfallenden Datenmengen machten die Implementierung des AP notwendig. Es wird detailliert auf die Leistungssteigerung unseres Bildverarbeitungssystems eingegangen. Zeitmessungen und -abschätzungen werden vorgelegt.

1. Zielsetzung

Im Rahmen eines Projektes *) zur Früherkennung des Gebärmutterhalskrebses müssen mehrere Tausend Zellen eines Abstrichpräparates vermessen und eine Klassifikation des Präparates durchgeführt werden. Zur Validierung des Verfahrens ist es notwendig, einige Hundert Präparate zu analysieren.

Die Zellen sind auf einem Glasträger deponiert, nach Papanicolaou angefärbt und somit in einem Durchlichtmikroskop sichtbar.

Mit der vorhandenen Fernsehbilderfassung und dem Programm DIBIVE /1/ zur digitalen Bildverarbeitung - ein Interpreterprogramm, das auf einer Siemens 330 implementiert ist - ist es aus zwei Gründen nicht möglich, der obengenannten Forderung nachzukommen. Zum einen werden die erfaßten Fernsehbilder auf einem Plattenspeicher zwischengespeichert - ein Speichersystem, das für die geforderte Aufgabe viel zu langsam ist -, zum anderen sind die Rechenzeiten für Shadingkorrektur, Bildvorverarbeitung und Merkmalsextraktion mit dem stark segmentierten Programm DIBIVE viel zu lang.

Eine schnelle Analyse von Zellbildern schien uns daher nur möglich, wenn das

*) TUDAB-Projekt, gefördert vom BMFT

in Echtzeit digitalisierte Fernsehbild direkt in dem Speicher abgelegt wird, in dem es später verarbeitet wird und dieser Speicher groß und schnell genug ist, um Bilder der Größe 256 x 256 (65 K Byte) verarbeiten zu können.

2. Lösung

Eine der möglichen Lösungen war der Anschluß eines Arrayprozessors an unser bestehendes Bildanalyse-System mit dem Ziel, die Fernsehbilderfassung direkt in den Speicher dieses Prozessors zu realisieren und Stück für Stück bestehende Bildverarbeitungssoftware auf den Arrayprozessor zu übertragen und so eine schnelle Verarbeitung zu erreichen.

Die Entscheidung fiel zugunsten des Arrayprozessors AP-120B ^{*)}, da zu diesem Gerät umfangreiche Software zur Verfügung steht und der Anschluß der Fernsehbilderfassung in Echtzeit realisiert werden konnte (Datenrate 10 M Byte/sec). Der AP konnte weiter mit einer Übertragungsrate von 380 kW/sec an die Siemens 330 gekoppelt werden. Weitere Merkmale, die zu der hohen Verarbeitungsrate von 12 MIPS führen, sind unabhängiger Gleitpunkt-Multiplizierer und -Addierer nach dem Pipeline Prinzip sowie das 64 Bit lange Befehlsformat, das paralleles Arbeiten für den Addierer, Multiplizierer, Laden von Registern oder Laden und Lesen des Speichers in einem Zyklus von 167 nsec erlaubt. Der AP besitzt weiter unabhängige Speicher für Programme, Daten und Konstanten sowie eine unabhängige Integer Adressarithmetik. Die Verarbeitung erfolgt synchron und ist daher überschaubar.

3. Hardwarekopplung

Der Arrayprozessor AP-120B wurde in unser bestehendes System an der Siemens 330 (Abb. 1) integriert. Für den Hardwareanschluß wählten wir die Standard-E/A-Anpassung 6008, die eine der sieben möglichen E/A-Anschlußstellen der Siemens 330 belegt und hardwarekompatibel zu der R30 ist. Über diese Schnittstelle ist Einzelworttransfer sowie Blocktransfer möglich.

Der programmierte Einzelworttransfer erfolgt mit zentraler Initiative unter direkter Programmkontrolle. Dabei wird jeweils ein 16 Bit Wort übertragen. Die Übertragung wird mit zwei Befehlen ausgeführt. Mit DTA (Datum aus) wird das 16 Bit Wort in das Ausgangsregister des AP-Interfaces (Abb. 2) geladen und mit BFA (Befehl aus) das Instruktionsregister im AP-Interface geladen, der Zielort im AP bestimmt und das Wort übertragen. Das Lesen eines 16 Bit Wortes vom AP in die Siemens 330 geht ähnlich.

^{*)} Floating Point Systems

Mit einem BFA-Befehl wird die Quelle (AP-Register) und die Information für das Laden des Wortes in das Eingangsregister des AP-Interfaces mitgeteilt, mit einem anschließenden DTE-Befehl der Inhalt des Eingangsregisters in die Siemens 330 übernommen.

Der Blocktransfer wird benützt, um größere Datenmengen zwischen Host-Rechner (Siemens 330) und dem Arrayprozessor schnell zu transferieren. Das AP-Interface behandelt alle Daten als unabhängige 16-Bit-Worte. Abhängig von vier möglichen Formaten (32-Bit formatfrei, 16-Bit Integer, 32-Bit Gleitpunkt-Siemens, 32-Bit Gleitpunkt-IBM) behandeln Hostrechner und Arrayprozessor die Daten.

Der Blocktransfer läuft folgendermaßen ab:

1. Versorgung des Arrayprozessors mit programmierten E/A-Befehlen.
2. Laden des E/A-Prozessors 330 mit WBE (Wortblock ein) oder WBA (Wortblock aus).
3. Laden des Instruktionsregisters im AP-Interface mit dem Befehl "START DMA" und damit Start des Blockverkehrs.
4. Reaktion des Interrupthandlingprogrammes (APINT) auf das Ende des Blockverkehrs (E/A Prozessorsignal).

Der Blockverkehr wird also mit 'Peripherer Initiative' angestoßen. Die Datenrate liegt bei etwa 380 K Worten/sec.

4. Softwarerealisierung

4.1 Softwarekopplung Siemens 330-Arrayprozessor

Für die Softwarekopplung wurde von der Firma Floating Point Systems ein Unterprogrammpaket APEX (AP-Executive) mitgeliefert, das aus einem host-unabhängigen Teil (Independent APEX) und einem hostspezifischen Teil (Dependent APEX) besteht. Das Paket ist in Fortran IV geschrieben und mußte im hostabhängigen Teil angepaßt werden (Assemblereinschübe in Fortranrahmen). Auch im unabhängigen Teil waren kleinere Änderungen nötig, die bedingt waren durch Data Statements in Oktalardarstellung sowie die Verwendung von Logical*1.

Neu geschrieben wurde das Interrupthandlingprogramm APINT, das über 4 Koordinierungszähler und einen 2-Wort Commonbereich die Koordinierung des Arrayprozessorablaufes über APEX mit dem Anwenderprogramm und dem Betriebssystem der Siemens 330 (ORG K) herstellt. Neu geschrieben wurde weiter noch das Unterprogramm LIBCOP für den Transfer Datei-Bibliothekselement und umgekehrt. LIBCOP wurde nötig, um für das ebenfalls gelieferte AP-Software-Entwicklungspaket den Anschluß an das BIBEAS-System zu schaffen.

4.2 Anwenderprogrammierung

Für den Anwender steht eine Mathematische-Bibliothek /2/ zur Verfügung, die in Fortran und APAL /3/ (AP-Assembler) aufrufbar ist.

Entwickelt wurde für die Bildverarbeitung eine Binärbildverarbeitungsbibliothek BIPLIB, die Subroutinen zur logischen Verknüpfung von Binärbildern sowie zur Auswertung von Binärbildern enthält. Eine weitere Bibliothek IPRLIB für die Graubildverarbeitung enthält im wesentlichen Filteroperationen, wie Gradienten-, Median- und Laplace-Filter. Die Binär- und Graubildsoftware wird ständig erweitert durch Umsetzen bereits bestehender Software (Tab. 1). Dabei wird die Funktion des VFC's (Vector Function Chainer) /4/ benützt, die es erlaubt, mehrere Aufrufe von Arrayprozessorsubroutinen zu ketten und mit einem Aufruf zum Ablauf zu bringen. Man spart sich damit die Aufsetzzeiten für die einzelnen Subroutinen und kann bei unserem Einsatz die Programme etwa um den Faktor 6 verschnellern. Neue Subroutinen im AP-Assembler (APAL) wurden aus Aufwandsgründen nur in geringem Umfang geschrieben.

Ein weiterer Weg, AP-Software über das AP-Fortran (Abb. 3) zu erstellen, wurde untersucht, führte aber nur bedingt zum Erfolg. Der AP-Fortrancompiler ist nicht auf 16-Bit-Maschinen ablauffähig. Versuche, AP-Fortran an einer Siemens 7.760 zu verwenden mit anschließender Übertragung des erzeugten Codes auf die Siemens 330, wurden durchgeführt, erforderten aber nicht unerheblichen Adaptionaufwand. Gründe dafür sind der Übergang von der 32-Bit- auf die 16-Bit-Wortstruktur sowie Formatstrukturen (APPUT und APGET sind fixiert auf Integer-Felder).

Insgesamt stehen für die AP-Programmentwicklung an der Siemens 330 folgende Programme zur Verfügung

- Cross Assembler APAL
- Cross Linker APLINK
- Cross Vector-Funktionen-Ketter VFC

Zum Testen existieren eine Reihe weiterer Programme (APDEBUG, APTEST, APSIM, etc.) /3/. Die gesamte Software liegt in Quelle, also in Fortran oder AP-Assembler vor.

5. Ergebnisse

In Abb. 4 ist der Ablauf des Arrayprozessorprogrammes für eine schnelle Zellbildanalyse dargestellt. Die Zeit allein für die Shadingkorrektur (Abb. 5) konnte von 10 sec (Siemens 330) auf 85 msec im Arrayprozessor gesenkt werden. Zur Vorbereitung der Segmentation wird die Medianfilterung auf Bilder angewendet.

Bei einer Filtergröße 11×11 pixel wird am Arrayprozessor eine Zeit von 1 sec benötigt. An der Siemens 330 waren bei einer Filtergröße 5×5 pixel knapp 180 sec nötig. Hier ist der Gewinn deshalb so groß, da am AP eine Assembler-, an der Siemens 330 eine Fortranroutine vorliegt. Bei der Merkmalsextraktion (Abb. 6) liegt der Hauptzeitgewinn bei der Berechnung von Texturmerkmalen, die aus gefilterten (Laplace, Gradient) Bildern stammen.

In Tab. 2 ist eine Zeitabschätzung für die Verarbeitung eines Präparates zu sehen. Sie geht davon aus, daß das Problem der automatischen Fokussierung über den ganzen interessierenden Bereich gelöst ist und eine schnelle Extraktion von Einzelobjekten auf dem Arrayprozessor implementiert ist. Der mittlere zeitliche Gewinn durch den Einsatz des Arrayprozessors schwankt bei unserer Anwendung zwischen einem Faktor 30 bis 100, wobei die Geschwindigkeit des AP-Rechenwerkes und die Vermeidung von Plattenzugriffen den wesentlichen Einfluß haben. Diese Erfahrungen gelten besonders für große Datenbereiche, d.h. wenn die Schleifenzahl im Programm sehr viel kleiner ist als die Schleifenlänge.

LITERATURLISTE

- /1/ Gais, P., K. Rodenacker, W. Abmayr
Mikroskopbildverarbeitung mit dem Prozeßrechner S330 und dem
Programmsystem DIBIVE.
Tagungsbericht der 9. Jahrestagung SAK 1, 5. - 7. April 1978,
Kernforschungszentrum Karlsruhe
- /2/ AP Math Library.
Floating Point Systems, Inc. Beaverton, Oregon, FPS 860-7288-004
1979
- /3/ Program Development Software Manual.
Floating Point Systems, Inc., Beaverton, Oregon, FPS 860-7292-002,
1979
- /4/ Vector Function Chainer.
Floating Point Systems, Inc., Beaverton, Oregon, FPS 860-7351-003,
1979

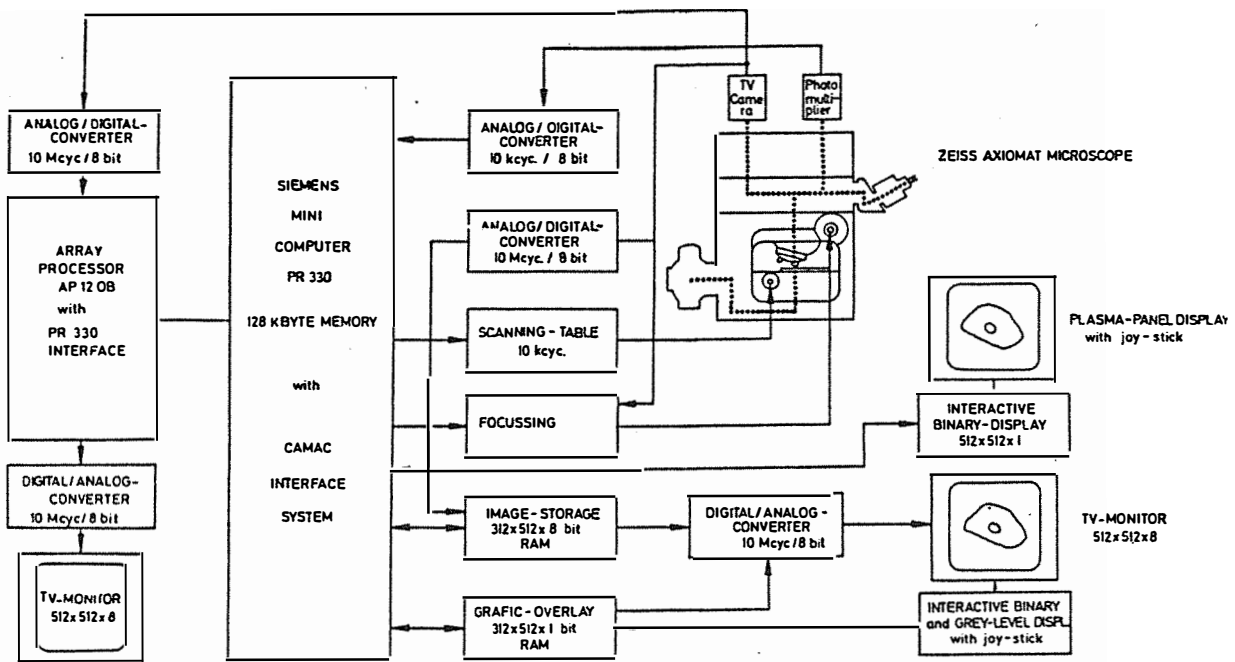


Abb. 1: SYSTEM ZUR AUTOMATISCHEN ZELLBILDANALYSE

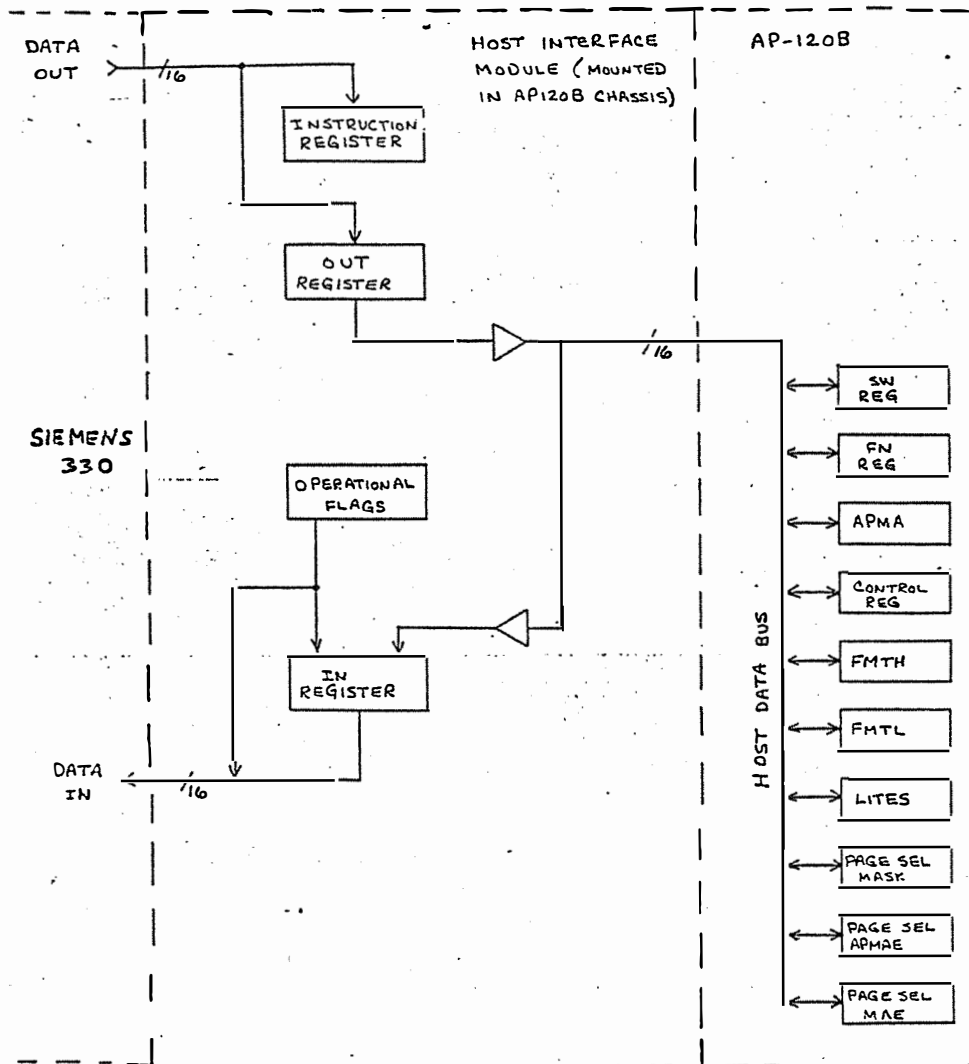


Abb. 2: INTERFACE SIEMENS 330 - ARRAYPROCESSOR AP 120 B

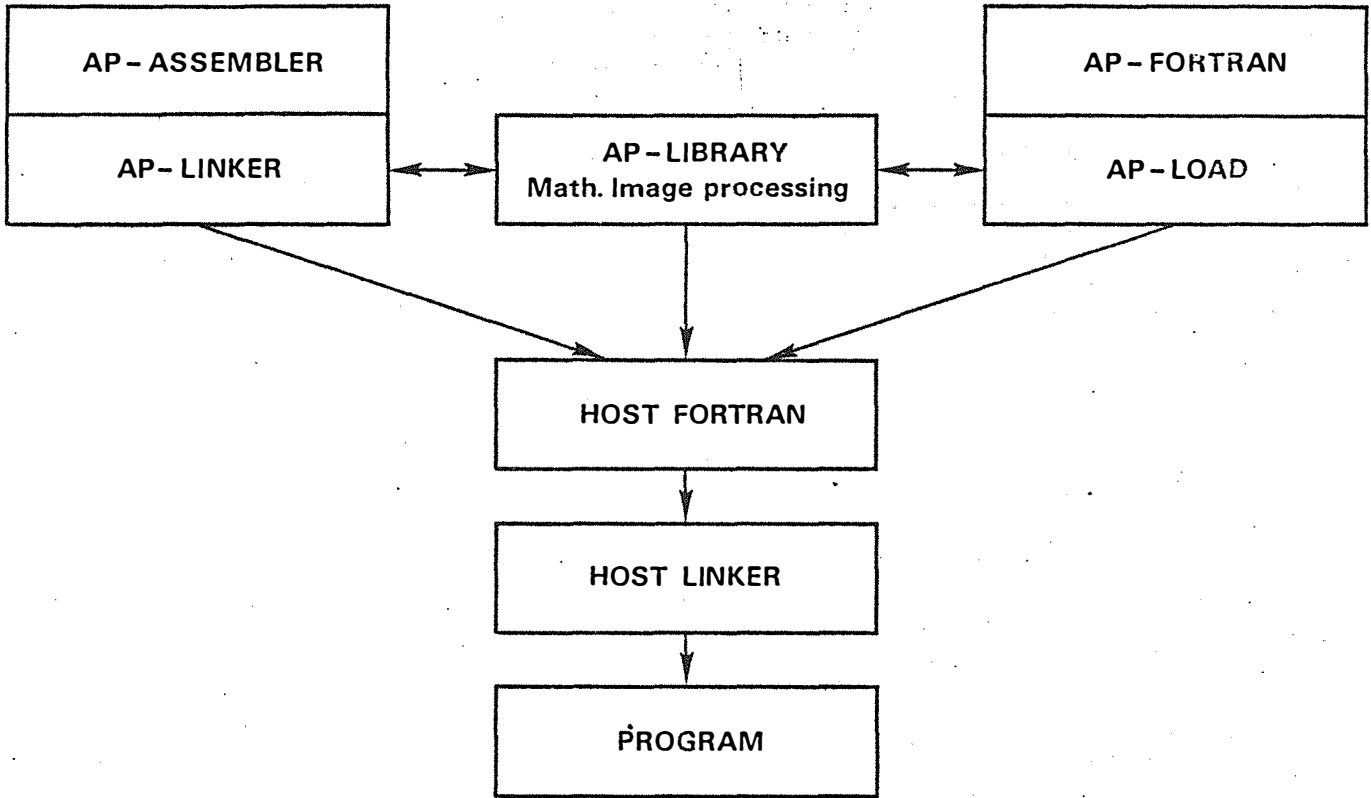


Abb. 3: ARRAYPROCESSOR PROGRAMMIERUNG

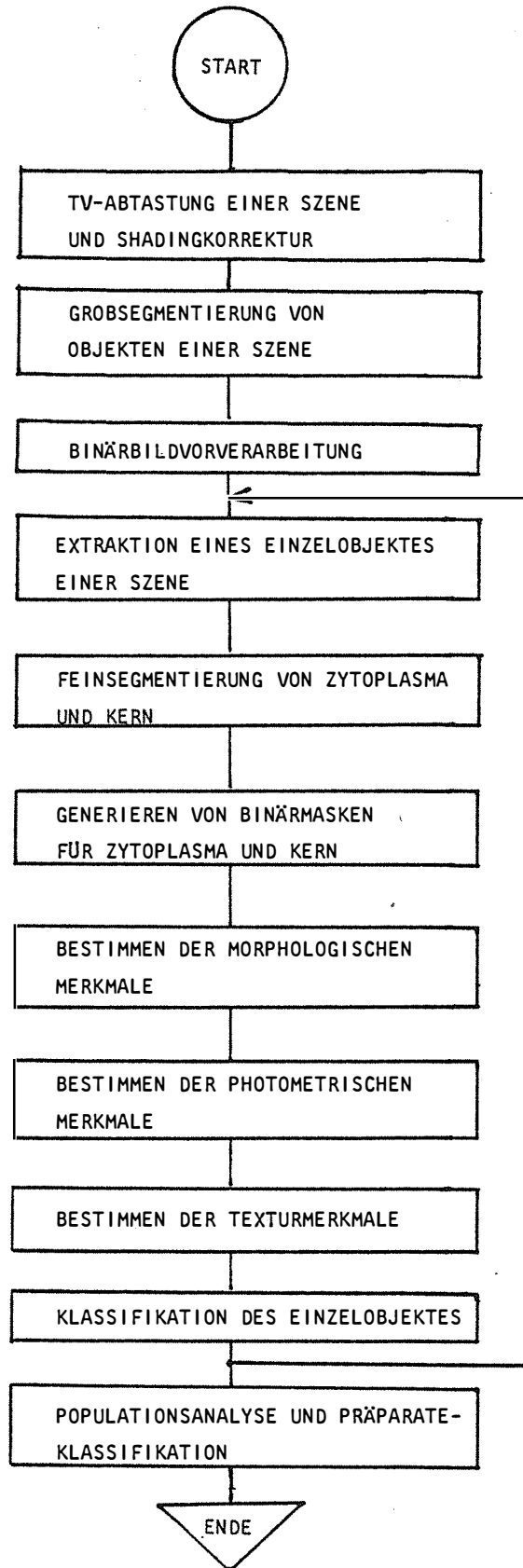
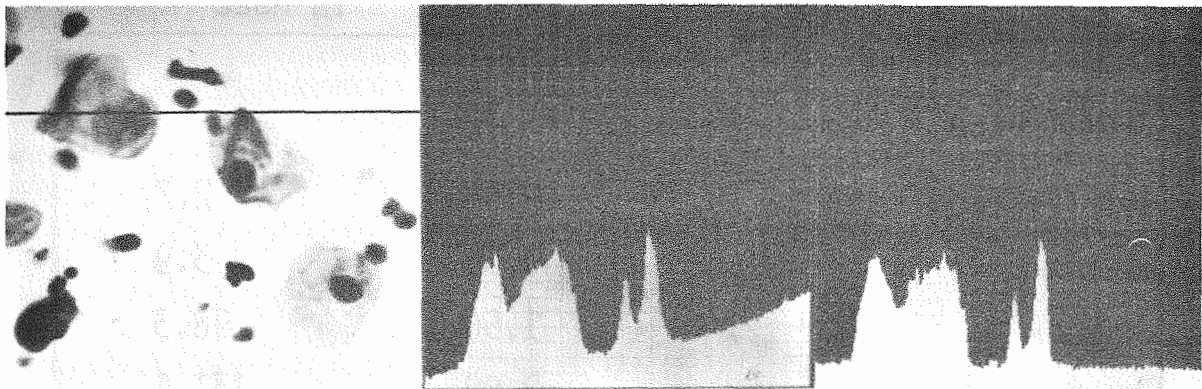


Abb. 4: AP-Programm zur schnellen Zellbildverarbeitung



Original:

Grauwertverteilung entlang der Zeile

ohne Shadingkorrektur

mit Shadingkorrektur

Abb. 5: Shadingkorrektur, dargestellt an einer Abtastzeile

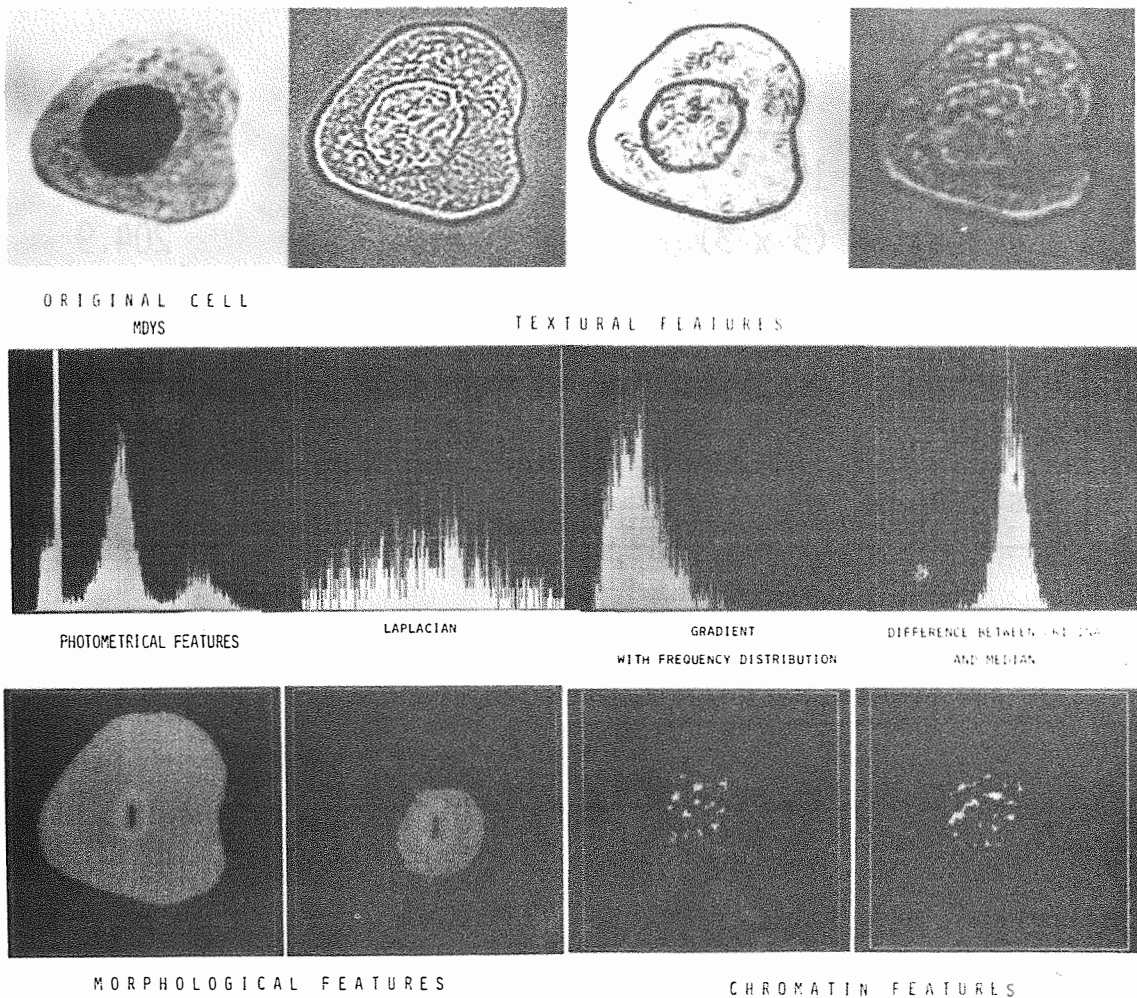


Abb. 6: Merkmalsextraktion, dargestellt an einer MDYS-Zelle

TABELLE 1

TYP DER OPERATION	PIXEL IN μ SEC	FELD 256 x 256 IN MSEC
<u>BINÄR-BILD</u>		
AND/OR/EXOR	0.04	2.7
SHIFT	0.06	3.9
THRESH	1.50	98.3
MAGR	2.00	131.1
SHRINK/BLOW (3 x 3)	0.16	10.0
SHRINK (8 x 8)	1.20	80.0
BITE	0.08	5.3
<u>GRAU-BILD</u>		
ADD/SUBMULT	0.8	52.4
SHADING 1 : 1	1.3	85.2
CONVOLUTION (3 x 3)	4.5	204.9
GRADIENT	1.4	111.4
LAPLACE	2.1	137.6
MEDIAN	18.7	1223.0
HISTOGRAMM	1.3	85.2

VERARBEITUNGSZEITEN FÜR BINÄR- UND GRAUBILDOPERATIONEN
AM ARRAYPROCESSOR AP-120-B

TABELLE 2

BILDPUNKTABSTAND 1 μ m	
BILDFELDER 256 x 256	
40.000 OBJEKTE AUF DEM PRÄPARAT	ZEIT IN MSEC
TV-ERFASSUNG UND SHADINGKORREKTUR	138
GROBSEGMENTIERUNG	98
BINÄRE BILDVORVERARBEITUNG	153
BESTIMMEN VON EINZELOBJEKTEN	30 x 10
FEINSEGMENTIERUNG VON ZYTOPLASMA UND KERN	169 x 10
BESTIMMEN DER MORPHOLOGISCHEN MERKMALE	2 x 10
BESTIMMEN DER PHOTOMETRISCHEN MERKMALE	74 x 10
BESTIMMEN DER TEXTURMERKMALE	89 x 10
KLASSIFIKATION	10 x 10

UM 40.000 OBJEKTE AUF EINEM PRÄPARAT ZU ANALYSIEREN, MÜSSEN 4.000 BILDFELDER VERARBEITET WERDEN, DIE DAZU BENÖTIGTE ZEIT BETRÄGT 4,5 STUNDEN.

ZEITABSCHÄTZUNG FÜR DIE VERARBEITUNG EINES PAP-GEFÄRBTEN
AUSSTRICHPRÄPARATES