

Kommission Nr. II
Arbeitsgruppe 4
Presented Paper

FRIEDRICH QUIEL & JOACHIM WIESEL

Institut für Photogrammetrie und Topographie
Universität Karlsruhe
Karlsruhe (Bundesrepublik Deutschland)

Großrechner oder Minicomputer zur Auswertung von
Fernerkundungsdaten ?

Zusammenfassung:

An typischen Beispielen für Großrechner, Minirechner und eine Vektor/Minirechnerkombination werden Kosten, Durchsatz und Rechenzeiten für eine geometrische Entzerrung und eine Klassifizierung mit der Methode der größten Wahrscheinlichkeit verglichen. Die bei den verschiedenen Lösungsmöglichkeiten auftretenden Vor- und Nachteile - wie Zugriffsmöglichkeit, Softwareentwicklung, Interaktion - und Probleme werden dargestellt. Bei kritischer Abwägung aller Gesichtspunkte erweist sich ein leistungsfähiger Minirechner moderner Architektur als günstigste Lösung, die auch relativ hohe Durchsatzforderungen (ein bis zwei LANDSAT - Szenen pro Arbeitstag) bewältigen kann.

Abstract:

Cost, throughput and computation times for geometric rectification and a maximum likelihood classification running on mainframes, minicomputers and minicomputers with an attached vector processor are compared. Advantages, disadvantages and problems of the various configurations - e.g. ease of access, software development interaction - are described. Considering all aspects a high performance minicomputer of modern architecture seems to be the best solution. Such a system can even handle relatively high throughput requirements - about one to two LANDSAT - scenes per working day.

Einleitung:

Digitale Bildverarbeitungsverfahren treten bei der Auswertung von Fernerkundungsdaten immer mehr in den Vordergrund. In den letzten Jahren wurden daher an den verschiedensten Stellen Auswertesysteme für diese Daten entwickelt, die sich insbesondere in der benutzten Hardware sehr stark unterscheiden. Für einen potentiellen Anwender, der in größerem Umfang Fernerkundungsdaten auswerten will, ist es aber relativ schwierig, daraus die für seine Aufgabenstellung günstigen Geräte auszuwählen oder sich für eine Vergabe zu entscheiden. In folgendem soll daher versucht werden, die Leistungsfähigkeit verschiedener Möglichkeiten an zwei typischen Teilaufgaben vergleichend gegenüberzustellen und weitere unserer Meinung nach wichtigen Auswahlkriterien darzustellen, um so eine Entscheidungshilfe geben zu können. Dabei hatten wir etwa folgendes Anwenderprofil vor Augen: Eine Firma (oder Hochschulinstitut), die bei der Bearbeitung einzelner Fragen LANDSAT-Daten in größerem Umfang auswerten muß. Neben einer routinemäßigen Auswertung ist die Weiterentwicklung von Verfahren, die sich aus den speziellen Anforderungen ergeben, erforderlich. Eine Massenproduktion nach festliegenden Verarbeitungsregeln (z.B. Aufbereitung von LANDSAT-Daten) ist nicht vorgesehen.

Anforderungen an ein Auswertesystem:



Abbildung 1: Arbeitsschritte bei der Auswertung von Fernerkundungsdaten

Bei der digitalen Auswertung ergeben sich normalerweise die in Abb.1 schematisch dargestellten Teilaufgaben. Für die folgende Diskussion wird im wesentlichen davon ausgegangen, daß die vier Teile Eingabe, Klassifizierung, geometrische Entzerrung und Ausgabe bzw. Weiterverarbeitung durchlaufen werden. Es sind aber durchaus Anwendungen möglich, die einzelne Schritte überspringen. Die geometrische Entzerrung kann z.B. entfallen, wenn schon geometrisch korrigierte LANDSAT-Daten, wie sie vom Eros-Data-Center geliefert werden können, benutzt werden. Andererseits kann eine Klassifizierung evtl. durch geeignete Bildmanipulationen oder Vorverarbeitungen ersetzt werden, z.B. bei bestimmten Aufgabenstellungen in der Geologie. Hervorzuheben ist, daß die digitale Bildverarbeitung oft nur ein Teilschritt innerhalb eines sehr viel umfangreicheren Vorhabens ist, bei dem auch andere Schritte mit Rechnern bearbeitet werden. Die Verwendungsmöglichkeit eines Rechners sowohl für die Bildauswertung als auch für die anschließende Weiterverarbeitung, (z.B. Kombination mit anderen Daten für Modellrechnungen) kann dann ein wesentliches Kriterium sein.

Die einzelnen Teilschritte unterscheiden sich erheblich in ihren Anforderungen an einen Rechner und an den Auswerter. Sowohl die Eingabe der LANDSAT-

Daten wie die Ausgabe des endgültigen Auswertergebnisses erfordern nur wenige Steuerinformationen und können daher ohne Probleme im Stapelbetrieb ausgeführt werden. Die hochwertige Hardcopy-Wiedergabe erfordert dabei spezielle Ausgabegeräte, auf die hier nicht eingegangen werden soll. Bei der Klassifizierung und geometrischen Entzerrung dagegen ist zum rationellen Arbeiten eine sehr gute Interaktionsmöglichkeit notwendig, die am besten mit einem flexibel verwendbaren Farbdisplayssystem gegeben ist. Um z.B. Paßpunkte im Bild zu identifizieren und zu markieren, werden etwa 0.25 bis 1 Stunde selbst in einfachen Fällen benötigt. Auch die Auswahl von Trainingsgebieten erfordert etwa die gleiche Arbeitszeit. Die Kontrolle von Ergebnissen ist z.B. durch Änderung der Farbzuordnung ebenfalls sehr effektiv möglich, kann aber besonders bei der Entwicklung von Verfahren durchaus 1 Stunde und mehr in Anspruch nehmen. Diese Schritte müssen evtl. mehrmals wiederholt werden. Die eigentliche Klassifizierung oder geometrische Entzerrung kann dagegen wieder im Stapelbetrieb abgewickelt werden.

Zur Bewältigung der oben genannten Aufgaben muß ein digitales Bildverarbeitungssystem aus vier Komponenten bestehen :

- Bilddatenein/ausgabe
- Bilddatenspeicherung
- Bilddatenverarbeitung
- interaktiver Baustein

Zur Bilddatenein- oder -ausgabe dient ein herkömmliches und damit kostengünstiges Magnetbandgerät, da Fernerkundungsdaten auf standardisierten Digitalmagnetbändern angeboten werden. Außerdem können Standardmagnetbänder als Langzeitspeicher zur Datensicherung und zum Datenaustausch mit anderen Institutionen benutzt werden. Bilddaten müssen für verschiedene Verarbeitungsschritte auf Direktzugriffsspeichern abgelegt werden. Zur Speicherung einer LANDSAT-Szene mit vier Spektralkanälen werden ca. 30 MB benötigt. Rechnet man den Platzbedarf für Verarbeitungsergebnisse und temporäre Arbeitsbereiche hinzu, ergibt sich ein Massenspeichervolumen von ca. 45 - 50 MB für die Bearbeitung einer Szene. Eine solche Datenmenge im Direktzugriff läßt sich zur Zeit wirtschaftlich nur auf Magnetplatten speichern.

Zur Verarbeitung der Bilddaten kann ein herkömmlicher serieller Digitalrechner eingesetzt werden. Seine Leistungsfähigkeit muß jedoch so bemessen sein, daß auch aufwendige Verarbeitungsschritte, wie eine multispektrale Klassifizierung in einer überschaubaren Spanne von wenigen Stunden abgearbeitet werden kann. Damit kommen leistungsfähige Minirechner oder Großrechner in Betracht. Mikrorechner - wie z.B. LSI -11, Micronova o.ä. sind für komplexe Verarbeitungsschritte zu leistungsschwach.

Zur interaktiven Manipulation von Bilddaten, zur Definition von Trainingsgebieten, zum Messen von Paßpunkten und zur schnellen Kontrolle von Ergebnissen wird ein Farbbrasterdisplay benötigt. Ein solches Gerät sollte für Anwendungen innerhalb der Fernerkundung über folgende Eigenschaften verfügen :

- eigener Bildwiederholpeicher
- Darstellung von ca. 500 x 500 Bildelementen
- 3 Farbkanäle mit je 8 bit Tiefe
- 1 Graphik-Bildspeicher (Graphic overlay)
- Tabellen zur Kontrast- und Farbänderung in Echtzeit
- Tabellen zur Pseudofarbenkodierung
- Bildvergrößerung (Zoom)
- wechselweise Bildumschaltung (Flicker, Toggle)
- Bildrollen (aufwärts, abwärts, rechts, links)
- Lichtmarke mit Rollkugelsteuerung

Damit ein Bildaufbau in wenigen Sekunden möglich ist, muß das Gerät über einen schnellen bidirektionalen Datenkanal mit dem zentralen Rechner verbunden sein. Bemerkenswert ist, daß viele "Peripheriegeräte" im Gesamtsystem enthalten sind, d.h. daß der größte Teil der Kosten eines Bildverarbeitungssystems auf diese entfällt und deshalb unabhängig von Ausbau und Größe des Zentralrechners ist.

Vergleich verschiedener Systeme:

Bei einem Vergleich /5/ von mittleren Großrechnern (CDC CYBER 172, DEC - 20 - 50, TR 440) und Minirechnern wurde festgestellt, daß 32 Bit-Minarechner (z.B. DEC-VAX 11/780, Perkin Elmer 8/32, PRIME 550) bei technisch-wissenschaftlichen Anwendungen die Leistung der genannten Großrechner erreichen, gleiche Aufgaben jedoch zu wesentlich niedrigeren Kosten (ca. 0.5 bis 0,2 fach) lösen. Es wurde weiterhin ein deutlicher Qualitäts- und Leistungsabstand zwischen den verglichenen 32-Bit und 16 Bit-Minarechnern beobachtet. Es gilt zu untersuchen, ob diese Feststellungen auch für Anwendungen im Bereich der digitalen Bilddatenverarbeitung zutreffen.

Um eine solide Basis für einen Vergleich zu bekommen, wurden neben Literaturangaben im wesentlichen die Ergebnisse einer Umfrage benutzt, die wir bei Instituten in Mitteleuropa durchgeführt haben, die sich seit einigen Jahren intensiv mit digitaler Bildverarbeitung beschäftigen. An dieser Stelle möchten wir allen, die uns bereitwillig Auskunft gegeben haben, herzlich danken, nämlich Dr. Bähr (Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessung, TU Hannover), Dr. Burger (Institut für Angewandte Geologie, FU Berlin), Dr. Göpfert (Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/Main), Dr. Haberäcker (DFVLR, Oberpfaffenhofen), Dr. Itten (Geographisches Institut, Universität Zürich).

Selbstverständlich waren wir uns der Problematik dieses Vorgehens bewußt, da z.B. die Rechenzeit nicht nur von der Leistungsfähigkeit der Anlage, sondern auch sehr wesentlich davon abhängt, wie weit die Programme optimiert sind oder evtl. die Algorithmen etwas modifiziert wurden, um den speziellen Anforderungen eines Nutzers besser zu entsprechen. Daneben gibt es zum Teil erhebliche Unterschiede in der Erfassung der CPU- und IO-Zeiten. Die Ergebnisse sind aber recht einheitlich für die verschiedenen Rechnergruppen. Da es uns außerdem im wesentlichen auf die Größenordnungen ankam, war dieses

Vorgehen ausreichend genau und praktikabel.

Aus den vielen möglichen Schritten bei der digitalen Auswertung von Fernerkundungsdaten wählten wir eine Klassifizierung mit dem Verfahren der größten Wahrscheinlichkeit und eine geometrische Entzerrung mittels Polynomen und mit einer Zuordnung des nächsten Nachbarn aus. Außerdem beschränkten wir uns auf LANDSAT-Daten und gingen einmal von einem Bildausschnitt von 512 x 512 Bildelementen, zum anderen von der Bearbeitung einer ganzen Szene mit 3240 x 2340 Bildpunkten aus. Diese beiden Verfahren werden recht häufig verwendet und sind verhältnismäßig stark festgelegt, sodaß hier am ehesten mit vergleichbaren Werten gerechnet werden konnte. Sie stellen daneben recht unterschiedliche Anforderungen an einen Rechner. Während die Klassifizierung nach dem Verfahren der größten Wahrscheinlichkeit relativ rechenaufwendig ist, erfordert eine geometrische Entzerrung mit dem genannten Verfahren im wesentlichen eine Optimierung des Datenzugriffs. Die genannten Zeiten enthalten nicht die vorbereitenden Arbeiten, z.B. Statistik berechnen oder Bestimmung der Transformationsparameter.

Tab. 1 : Rechenzeiten (CPU) in Minuten für eine Klassifizierung mit dem Verfahren der größten Wahrscheinlichkeit, 4 Kanäle, 8 Klassen

		Ausschnitt 512x512	LANDSAT-Szene 3240x2340 Bildelemente
Minirechner	PRIME 500		
	PDP11/70	22 - 30	640 - 850
	Interdata M85		
mittlere Großrechner	Decsystem 10 KI	15 - 40	450 - 1160
	Univac 1108		
	Telefunken TR440		
Größtrechner	Amdahl 470/V6	2 - 3	55 - 84
	CDC Cyber 76		

In der Tabelle sind die CPU-Zeiten für einen Ausschnitt von 512 x 512 Bildpunkten und für eine gesamte LANDSAT-Szene für verschiedene Rechnergruppen für die Klassifizierung von 8 Klassen mit 4 Kanälen zusammengestellt. Soweit eine Umrechnung von einer anderen Klassenzahl oder Gebietsgröße erforderlich war, wurde vereinfachend davon ausgegangen, daß die Rechenzeit linear mit der Klassenzahl und der Zahl der Bildelemente zunimmt. Die Tabelle zeigt sehr deutlich, daß leistungsfähige Minirechner in der reinen Rechenzeit mittleren Großrechnern etwa gleichwertig sind. Modernere Größtrechner dagegen sind etwa um eine Größenordnung leistungsfähiger. Während für die Bearbeitung kleinerer Bilder noch vertretbare Rechenzeiten anfallen, liegen sie bei ganzen LANDSAT-Szenen nur bei modernen Größtrechnern unter 2 Stunden, während die aufgeführten Minirechner etwa 10 - 14 Stunden

benötigen würden. Mikrorechner (LSI) konnten im Vergleich nicht berücksichtigt werden, da wir keine Benutzer fanden, die mit einem solchen System diese Klassifizierungen durchführen. Die genannten Zeiten für andere Aufgaben lassen im Vergleich zu den aufgeführten Minirechnern etwa um den Faktor 5 schlechtere Zeiten erwarten.

Eine Verkürzung dieser Rechenzeiten ist auf zwei Wegen möglich:

1. Softwaremäßig durch geeignete Programme, die die wiederholte Berechnung der Wahrscheinlichkeiten umgehen und sie z.B. für jeden auftretenden Merkmalsvektor nur einmal berechnen und die Klassenzuordnung dann in Tabellen abspeichern.
2. Hardwaremäßig durch Verwendung von Array-Prozessoren oder sonstigen Spezialrechnern (z.B. Pipelineprozessoren).

Tab. 2: Rechenzeiten (CPU) in Minuten für eine Klassifizierung mit dem Verfahren der größten Wahrscheinlichkeit, 4 Kanäle, 8 Klassen

System	Modifikation	Ausschnitt 512x512	Szene 3240x2340	Bemerkungen
PDP11/70 + AP 120 B	Array-Prozessor /1/	1	27	einschließlich Datentransfer
Decsystem 10 KI	Tabelle /6/	1	27	ohne Tabel- lenberechnung
Univac 1108	Tabelle /2,4/	-	36-76	3-24 Klassen ohne Tab.Ber.
PRIME 500	Tabelle (Hash)	1.5-4	31-160	einschl. Tab. berechnung

Tab.2 zeigt die damit möglichen Rechenzeiten an verschiedenen Beispielen. Beide Wege erreichen eine drastische Verkürzung der Rechenzeit in den Bereich von etwa 1/2 bis 1 1/2 Std. für eine gesamte LANDSAT-Szene. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die verschiedenen Tabellen-Verfahren sich in ihrem Aufbau z.T. wesentlich unterscheiden und die erforderlichen Zeiten sich je nach Gegebenheit stark ändern können. Sie sind außerdem meist nicht praktikabel, wenn mehr als 4 Kanäle gleichzeitig zuverarbeiten sind oder sehr viele Merkmalsvektoren auftreten. Außerdem erfordern einige dieser Verfahren relativ große Tabellen und sind daher nur auf Rechnern mit einem großen Adressraum ohne Probleme zu implementieren.

Als zweite Vergleichsaufgabe wird die geometrische Entzerrung von LANDSAT-Szenen auf ein geodätische Koordinatensystem gewählt. Die Entzerrung einer LANDSAT-Szene ist weniger rechenintensiv als eine multispektrale Klassifizierung, vielmehr kommt es hier mehr auf eine optimale Datenorganisation und schnelle Zugriffsverfahren an. Weiterhin sind die Rechenzeiten stark vom Rotationswinkel der Koordinatensysteme und von der Bildrekonstruktionsmethode (Resampling) abhängig.

Tab. 3 : Rechenzeiten (CPU) in Minuten für eine geometrische Entzerrung mittels Polynomen; Bildrekonstruktion: nächste Nachbarschaft. Hochgerechnet aus Entzerrungen mit 0.8 Mio - 4.3 Mio Bildelementen.

		LANDSAT-Szene 3240x2340 Bildelemente	Bemerkungen
Mikrorechner	CA - LSI	675	Verweilzeit
Minirechner	PRIME 500	9.5 - 12	-
mittlerer Großrechner	UNIVAC 1106	18 - 20	-
Größtrechner	CDC CYBER 76	1,2 - 4.3	-

Auch bei der geometrischen Entzerrung zeigt sich, daß Größtrechner um den Faktor 3-9 schneller sind als Minirechner, daß jedoch mittlere Großrechner von leistungsfähigen Minis erreicht oder sogar übertroffen werden können. Es fällt auf, daß das Geschwindigkeitsverhältnis bei der geometrischen Entzerrung für Minirechner wesentlich günstiger ist, als es nach Ergebnissen von Benchmarktests /5/ zu erwarten wäre.

Die beiden betrachteten Teilaufgaben zeigen, daß Größtrechner diese etwa 3-15 mal schneller bearbeiten können als Minirechner der höheren Leistungsklasse. Diese Relation gilt jedoch nicht für den zu erzielenden Gesamtdurchsatz, da eine vollständige Bearbeitung einer LANDSAT-Szene nach Abb. 1 - vom Einlesen der Daten bis zur Ausgabe eines Endergebnisses - aus zahlreichen Zwischenschritten besteht. Einige davon erfordern interaktive Arbeiten von mehreren Stunden Dauer am Farbdisplay und verbrauchen deshalb nur sehr wenig Rechenzeit; andere wieder (z.B. Klassifizierung) erfordern keine Interaktion, sind jedoch sehr rechenintensiv. Bei einer geeigneten Organisation, d.h. überlappendes Bearbeiten von zwei bis drei Szenen, kann eine gleichmäßige Auslastung aller Komponenten einer Bildverarbeitungsanlage erreicht und damit die Bearbeitung dieser Daten innerhalb eines Arbeitstages auch mit einem Minirechner vollzogen werden. Voraussetzung für diese Arbeitsweise ist ein Mehrbenutzerbetriebssystem des Zentralrechners, das außerdem die Bearbeitung von Stapelaufträgen neben dem Dialogbetrieb zuläßt.

Zu bemerken ist noch, daß zusätzlich zu den verbrauchten CPU-Zeiten eine erhebliche Anzahl von Ein-/Ausgabevorgängen anfällt. Diese werden als IO-Zeiten in unterschiedlicher, und damit nicht vergleichbarer Form, von den Abrechnungssystemen der verschiedenen Rechner festgehalten. Der Betrag der IO-Zeiten kann jedoch bei bestimmten Aufgaben (z.B. Entzerrung) den der CPU-Zeit erheblich übersteigen, während er bei rechenintensiven Probleme (z.B. Klassifizierung) nur wenige Prozent der CPU-Zeit ausmacht. Die Verweilzeit eines Programms in einer Rechenanlage hängt sowohl von der CPU - und der IO-Zeit als auch von der Auslastung des Rechners ab.

Ein echter Kostenvergleich ist sehr schwierig, da die aus Accountingdaten abgeleiteten Rechenkosten sehr verschieden kalkuliert sind. Geht man davon aus, daß die Rechenkosten proportional zu Investitions- und Betriebskosten sind, so ergibt sich für Mini- und Großrechner ein Verhältnis der Rechenkosten / Zeit von 1 : 10-20. Unter dieser Annahme ergeben sich daher keine Kostenvorteile für einen Großrechner wie auch in /5/ festgestellt wurde.

Die praktischen Erfahrungen bei verschiedenen Anwendungen zeigen aber deutlich, daß aufgrund der - auch bei Großrechnern - relativ langen Rechenzeiten und des großen Massenspeicherbedarfs, die Bearbeitung ganzer LANDSAT-Szenen meist nur nachts oder am Wochenende möglich ist. Bei interaktiven Arbeiten mit einem Farbbildschirm - soweit ein Anschluß an einen Großrechner möglich ist - ergeben sich keine Vorteile für diesen. Hier kommt es ja im wesentlichen auf kurze Reaktionszeiten und schnelle Bildübertragung an, während die Rechenzeiten selbst zu vernachlässigen sind. Diese Anforderungen können aber von Rechenzentren wegen Überlastung häufig nicht befriedigt werden. Oft ist deshalb auch eine intensive Softwareentwicklung dort sehr zeitaufwendig. Außerdem ist bei einigen Minirechnern der Bedienungskomfort spürbar besser als bei einem Teil der Großrechner, d.h. interaktive Testhilfen, Dateiverwaltung, Datenbanksysteme und Graphikpakete gehören bei einigen Minirechnern zur Standardsoftware.

Schlußfolgerung:

Die Darstellung zeigt, daß leistungsfähige Minirechner die Anforderungen der digitalen Bildverarbeitung von Fernerkundungsdaten voll erfüllen. Die Verarbeitung ist bei entsprechender Auslastung zumindest nicht teurer als auf einem Großrechner, und die Leistungsfähigkeit mit 1-2 LANDSAT-Szenen pro Tag dürfte für fast alle Anwender ausreichend sein. Die Investitionskosten für ein solches System, bestehend auf 32 bit Minirechner, 512 KB-Speicher, 100 MB Magnetplattenspeicher, Magnetbandgerät, Drucker und Farbdisplay einschließlich Bildverarbeitungssoftware betragen etwa 400.000.-- DM. Da die Leistung der Rechner eines Herstellers sich oft um den Faktor 3 und mehr unterscheidet, ist es mit relativ geringen zusätzlichen Kosten möglich, ein den speziellen Durchsatzanforderungen entsprechendes System zu beschaffen, bzw. an die steigenden Anforderungen anzupassen. Bei einzelnen Problemen kann die zusätzliche Verwendung eines Array-Prozessors erhebliche Rechenzeitvorteile bringen.

Auswertesysteme mit festverdrahteten Funktionen erscheinen uns weniger sinnvoll, da der Vorteil der extrem kurzen Rechenzeiten für wenige Aufgaben durch die fehlende Flexibilität und Nutzbarkeit für andere Zwecke bei dem beschriebenen Anwenderprofil wieder aufgehoben wird.

Die Verwendung eines Großrechners dagegen erspart kurzfristig die Investitionskosten für einen Minirechner. Sie dürfte aber für die Beschaffung und den

Anschluß eines Farbdisplaysystems etwa 100.000.-- DM erfordern. Langfristig werden die Gesamtkosten wegen der laufend anfallenden höheren Rechenkosten des Großrechners aber die des Minirechners überschreiten.

Literaturverzeichnis:

- /1/ Bradford, L.: Applications Processing Systems for Imagery Data. 12 Seiten
- /2/ Eppler, W.G.: An Improved version of the table lookup algorithm for Pattern Recognition. - Proc. 9th Int. Symp. Remote Sensing of Environment, 1974, S.793 - 812
- /3/ Haberäcker, P.: Untersuchungen zur Eignung verschiedener Klassifikatoren für die Verarbeitung von Bilddaten aus der Fernerkundung. - Proc. Int. Symposium on Remote Sensing for Observation and Inventory of Earth Resources and the Endangered Environment, Freiburg, 2.-8.July 1976, International Archives of Photogrammetry, Vol. XXII - 7, S.287-320
- /4/ Jones, C.: Implementation of an advanced table look-up classifier for large area land-use classification. - Proc. 9th Int. Symp. Remote Sensing of Environment. 1974, S.813-824
- /5/ Mertens, P., Ein Leistungs- und Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen Schrammel, D. Klein- und Großcomputern. - Arbeitsbericht des Inst. u.a.: für mathematische Maschinen u. Datenverarbeitung (Informatik) Universität Erlangen - Nürnberg, Band 13, Nr. 1, 15 1/2 S - Erlangen 1980
- /6/ Shlien, S, & Smith, A.: A Rapid Method to Generate Spectral Theme Classification of LANDSAT-Imagery. - Remote Sensing of Environment, 4, S.67-77, 1975