

## RECHNERGESTÜTZTE STEREOKARTIERUNG - AUFGABEN, RECHENPROGRAMM, ERFAHRUNGEN

Von E. Dorrer, München

Der Vorteil rechnergestützter Stereoauswertesysteme liegt darin, daß Modellkoordinaten sofort, d.h. in "Realzeit" dem Rechner zur beliebigen Weiterverarbeitung übergeben werden können. Diese Daten können dann z.B. mit vorherigen Werten verglichen, vom Rechner aufgrund irgendwelcher Bedingungen abgelehnt, ausgedruckt oder sonstwie angezeigt werden. Vorausgesetzt, daß eine gut durchdachte interaktive Software verfügbar ist, kann so diese Information vom menschlichen Operateur noch während des Messungsablaufs interpretiert werden. Mit anderen Worten: er ist in der Lage, an Ort und Stelle Entscheidungen zu treffen und in die eigentliche Messung unmittelbar einzugreifen.

In der Photogrammetrie lassen sich in Abhängigkeit der verfügbaren Hardware- und Software-Konfigurationen etwa die folgenden Aufgaben durch eine On-Line-Rechnerunterstützung vorteilhaft lösen:

- Datenerfassung
- Datentransformation in Realzeit
- Relative Orientierung
- Absolute Orientierung (!)
- Bestimmung der Modellkoordinaten der Projektionszentren
- Gittermessungen mit Auswertung
- Streifenbildung mit unabhängigen Modellen
- Streifenausgleich
- Realzeitbestimmung von Entfernungen, Winkeln, Flächen oder Volumina
- Datenregistrierung in statischem oder dynamischen Modus
- Datenanzeige (z.B. auf rechnergesteuertem Zeichentisch).

### 2. Allgemeine Überlegungen zur On-Line-Programmierung

Während ein an ein Stereoauswertegerät angeschlossener Digitalrechner notwendige Voraussetzung für eine rechnergestützte Photogrammetrie ist, so ist dies noch nicht hinreichend. Denn neben der "Hardware" spielt die "Software" eine gleich wichtige Rolle. Dies liegt u.a. daran, daß nur gut und bis in Einzelheiten durchdachte und hochgradig interaktive Rechenprogramme das Leben des menschlichen Operateurs vereinfachen. Die Erfahrung zeigt, daß eine derartige Software-Entwicklung mindestens ebenso schwierig, zeitaufwendig oder gelegentlich frustrierend wie und gewöhnlich teurer als die gesamte Hardware ist. Vor allem erfordert ein gutes interaktives Rechenprogramm sowohl intensive Kenntnis der Programmiersprache als auch große praktische Erfahrung auf dem Anwendungsgebiet, d.h. der Photogrammetrie. Darüber hinaus ist ein intuitives Verständnis der Nöte und Probleme des Mannes wünschenswert, der das System bedienen und sinnvoll ausnutzen soll.

Noch stärker als in der üblichen Off-Line-Programmierung können interaktive Programme auf verschiedenerelei Arten konzipiert und entwickelt werden, abhängig davon, auf welche Kriterien Hauptaugenmerk gelegt wird. So können etwa folgende Randbedingungen ausschlaggebend sein: beschränkte Speicherkapazität, geringe Rechengeschwindigkeit, streng einzuhaltende Programmierfristen, Besonderheiten der Programmiersprache, verfügbare Peripheriegeräte. Ein gut durchdachtes interaktives On-Line-Programm muß jedoch weitgehend auf den eigentlichen Meßprozeß innerhalb des Systems eingehen, z.B. auf die Reihenfolge der Beobachtungen; das Programm muß berücksichtigen, daß Beobachtungsfehler auftreten können, die korrigiert werden müssen; daß der menschliche Beobachter leichten Zugriff zu den und leichte Manipulierungsmöglichkeit der generierten Dateien besitzt. Ferner besteht die Möglichkeit strenger Benutzung von Befehlen in einer echten Sprache, oder in einer kodierten Version, die der Benutzer erst erlernen muß.

Da der Meßprozeß, die Verarbeitung der Daten und das Treffen von Entscheidungen weitgehend voneinander abhängen, ist unter gegebenen Randbedingungen dasjenige interaktive On-Line-Programm das beste oder optimale, welches die richtigen Daten und Informationen gerade zum richtigen Zeitpunkt verlangt, verarbeitet oder angibt. Ein leistungsfähiges System soll für den Benutzer so einfach, bequem und logisch aufgebaut sein wie möglich.

Während zur wirtschaftlichen Entwicklung interaktiver Programmsysteme Digitalrechner mit größeren Speicherkapazitäten und mit schnellen Ein- und Ausgabeneinheiten wesentlich sind, genügen für den Anwender in der Regel Minimalkonfigurationen. Der Grund ist darin zu suchen, daß nur bei Benutzung problemorientierter Programmiersprachen wie ALGOL, FORTRAN, BASIC oder APL, welche von sich aus schon enormen Speicherplatzbedarf besitzen, sowie Benutzung von Realzeitbetriebssystemen die Entwicklungszeiten minimisiert werden können. Probleme treten auch dadurch auf, daß der Entwickler interaktiver Software möglichst rechnerunabhängig sein möchte, der eigentliche Benutzer aber lediglich an der optimalen Lösung innerhalb seines speziellen Systems interessiert ist.

### 3. Software-Entwicklung für ein System Stereogerät - Tischrechner

Verglichen mit der Benutzung einer zentralen Großrechenanlage über Datenstation, oder verglichen mit einem Kompaktrechner (Minicomputer), kann der Tischrechner (Programmable Desk Calculator) für die rechnergestützte Stereoauswertung zumindest derzeit noch gewisse ausschlaggebende Vorteile aufweisen. Dazu gehören:

- Leicht erlernbare spezielle Tastatur-Programmiersprache oder BASIC-Interpreter;
- Daten Ein- und Ausgabe unmittelbar im Dezimalsystem;
- mehrere Anzeigeregister oder Bildschirm;
- geringer Preis;
- einfache Wartung;
- insgesamt hohe Benutzerfreundlichkeit, welche die Interaktivität zwischen Mensch und Maschine fördert.

Die offensichtlichen Nachteile, wie beschränkte Ausbaufähigkeit und beschränkte Auswahl von Peripheriegeräten, sowie geringe Kompatibilität mit anderen Rechnern, spielen dagegen für Einzelsysteme, d.h. pro Stereogerät ein Rechner, keine bedeutende Rolle. Nur zur Stützung mehrerer Stereogeräte würde ein Tischrechner nicht mehr genügen; dort wäre ein Minicomputer als Prozeßrechner entscheidende Voraussetzung.

Da die Rechen- und Datenübertragungsgeschwindigkeiten moderner Tischrechner für die meisten photogrammetrischen Anwendungen völlig ausreichen, fiel die Entscheidung auf diesen Rechnertyp, und zwar auf einen Hewlett-Packard Rechner Modell 9810. Dieses Modell besitzt eine höhere Rechengeschwindigkeit als die beiden anderen Modelle (9820 oder 9830) und ist preiswerter. Wegen seiner primitiveren, rechnerorientierten Programmiersprache mußte durch diese Entscheidung allerdings eine kompliziertere Programmentwicklung in Kauf genommen werden.

Die Vielfalt photogrammetrischer Aufgaben (Kapitel 1) wurde zunächst in zwei Kategorien eingeteilt, und zwar in grundlegende Programme und in Anwenderprogramme. Zur Grundsoftware gehören Datenerfassung, Datentransformation, Datenregistrierung und eine gewisse Datenaufbereitung für nachfolgende Anwenderprogramme. Der Datenregistrierung sowohl von Einzelpunkten (statische Registrierung) als auch von Linien oder Punktfolgen (dynamische Registrierung) wurde dabei von Anfang an eine Schlüsselstellung eingeräumt. Die Grundsoftware ist dazu da, um das rechnergestützte Auswertesystem überhaupt funktionsfähig zu machen, um gewisse Meßdaten für spätere Verarbeitungen vorzubereiten oder aufzubereiten und um gewisse, häufiger vorkommende Aufgaben auf echte rechnerunterstützte Art wirkungsvoll zu lösen.

Der ursprüngliche Entwurf sah die Entwicklung der gesamten Grundsoftware zu einem einzigen Programmpaket vor. Zur Steigerung des Interaktivitätsgrades und Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit des Systems sollte sich aber bald die Notwendigkeit ergeben, mehr und mehr Hilfsprogramme mit einzubauen (z.B. Definition und Eingabe der Parameter für die Realzeit-Transformationen; Generierung einer Punktliste und Manipulation dieser Liste wie Einfügen, Ausmerzen oder Nachmessen eines Punktes; Mittelung von Koordinaten durch Wiederholungsmessungen). Von der Speicherkapazität her, trotz Maximalausbaustufe mit 2000 Programmbefehlen und 100 Datenregistern, mußte dadurch die statische von der dynamischen Registrierung getrennt werden. Eine derartige Trennung ist aber auf Grund der völlig unterschiedlichen Aufgabenstellung und Anwendung auch von der Benutzerseite her durchaus akzeptabel. Während die statische

Registrierung charakteristisch ist für die punktweise Messung für Katasterphotogrammetrie, großmaßstäbige Bauaufnahmen, für Orientierungszwecke oder für die Aerotriangulation, spielt die dynamische Registrierung bei der linienweisen Auswertung zur Herstellung topographischer Pläne und Karten oder zur Aufstellung digitaler Höhen- und Geländemodelle eine ausschlaggebende Rolle.

Während die Grundsoftware einerseits unabdingbare Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit des rechnergestützten Stereoauswertesystems ist, andererseits dem menschlichen Benutzer eine Reihe von Entscheidungs- und Meßhilfen bietet, stellt die Anwendersoftware für die eigentlichen photogrammetrischen Aufgaben zum ersten Mal interaktive Lösungen vor, die über die reine Analogauswertung und Registrierung hinausgehen. Dabei vertritt der Author die Ansicht, daß vor allem eine rigorose Lösung der absoluten Orientierung, die interaktive indirekte Bestimmung der Modellkoordinaten der Projektionszentren, die Streifenbildung aus unabhängigen Modellen und der Streifenausgleich gerade für die Praxis erfolversprechende Aufgaben darstellen. Zur Zeit steht die absolute Orientierung kurz vor dem Abschluß, die anderen Probleme sind im Entwicklungsstadium.

#### 4. Grundsoftware

Die Grundsoftware besteht aus zwei Programmpaketen, nämlich aus dem statischen und dem dynamischen Registrier-"Menü" (STATRECMENU und DYNRECMENU). Jedes dieser Programmpakete beansprucht knapp 2000 Programmbefehle und über 100 Datenregister. Zur permanenten Aufbewahrung der Programme und Daten dienen 6-Zoll-Magnetkarten.

Das "statische Registrier-Menü" ( S T A T R E C M E N U ) wurde entwickelt, um den Bedürfnissen bei Einzelpunktmessungen gerecht zu werden. Die drei Anzeigeregister X,Y,Z des Rechnermodells HP9810 kommen dabei dem Benutzer dadurch sehr entgegen, daß sie eine laufende Anzeige der im Stereomodell angefahrenen Raumkoordinaten "in Realzeit" gestatten. Nachdem die von den elektronischen Koordinatenzählern stammenden "Zählerkoordinaten" auf Anfrage vom Rechner in den Rechner übertragen worden sind, können sie durch ein entsprechendes Programm beliebig verändert werden bevor sie zur Anzeige kommen. Das in Fig. 1 gezeigte Flußdiagramm eines derartigen Realzeitprogramms, genannt RTRO, gestattet die Umwandlung von Zählerkoordinaten sowohl in sog. Modellkoordinaten als auch in terrestrische Koordinaten, letztere mit oder ohne Berücksichtigung der Erdkrümmungskorrektur. Die dazu erforderlichen Transformationsparameter sind dabei in entsprechend vorgesehenen Registern abgespeichert, können aber über ein eigenes, von der Rechnertastatur aufrufbares Programm DEFPAR jederzeit neu definiert werden. Die eigentliche Ermittlung dieser Werte ist in diesem Stadium belanglos.

Die Modellkoordinaten sind in diesem Zusammenhang nichts anderes als verschobene und gestreckte Zählerkoordinaten, wobei die Achsen parallel zueinander bleiben. Die Umwandlung in Geländekoordinaten ist mathematisch durch eine allgemeine Affin-Transformation definiert. Nur wenn die Transformationsmatrix A (Fig. 1) Orthogonalmatrix ist, findet eine echte Drehstreckung statt. Obwohl naturgemäß eine Affin-Transformation mehr Rechenzeit erfordert als etwa überhaupt keine Transformation, kann diese Verzögerung während der Realzeitanzeige kaum festgestellt werden. Das in Fig. 1 dargestellte Standard-Realzeitprogramm RTRO ist die zentrale Einheit, um die herum alle anderen Programme gruppiert sind. Während der durch das Realzeitprogramm gesteuerten laufenden Koordinateneingabe kann der Beobachter die Koordinatenwerte auf der Anzeige verfolgen, er kann durch Verschiebung der Meßmarke bestimmte Werte einstellen, er kann von Zähler- auf Modell- oder Geländekoordinaten umschalten, und er kann Modellpunkte einmal oder mehrmals anfahren, also messen, und die entsprechenden Koordinaten ablesen, abspeichern, registrieren und/oder mitteln.

Die Registrierung kann auf rechnerkompatible Ausgabegeräte wie Drucker, Schreibmaschine, Fernschreiber, Lochstreifenstanze, Magnetkassette oder Magnetband erfolgen. Die zur Registrierung benötigten Programme POINT, AVERAGE, CANCEL und RECORD sind über die Tastatur aufrufbar; zur Vermeidung von unter Umständen fatalen Fehlbedienungen sind diese Programme stark miteinander verwoben und lassen das Ganze bereits zu einem beachtlichen Programmsystem erscheinen.

Das System erwartet vom Operateur, daß er sich folgerichtig verhält. Gleichzeitig ist das Programm so entwickelt worden, daß es sich so gut wie möglich dem Informationsfluß zwischen Operateur und Stereogerät anpaßt. Normalerweise wird der Operateur mit der Programmtaste POINT das Realzeitprogramm dann unterbrechen, wenn er gerade die Messung eines Punktes beendet hat. POINT zeigt dabei in den Anzeigeregistern (Fig. 2) einen konstanten und einen seriellen Punktnummernanteil an, so wie beide zu einem früheren Zeitpunkt definiert worden sind, außerdem das Inkrement des seriellen (laufenden) Anteils. Vom Operateur wird nun erwartet, daß er einen variablen, für den soeben gemessenen Punkt charakteristischen Punktnummernanteil eintippt und auf die RECORD-Taste drückt. Das Programm RECORD generiert die gesamte Punktnummer und speichert sie zusammen mit den gemessenen Koordinaten entsprechend dem gültigen Koordinatenmodus CM in eine Pufferzone, von wo aus kurz zuvor die Koordinaten und die Punktnummer des vorher gemessenen Punktes dem Ausgabegerät übergeben worden sind. Der Vorteil dieser Zwischenspeicherung liegt darin, daß die zu dem soeben gemessenen Punkt gehörende Information noch im Rechner verfügbar ist und folglich manipuliert werden kann. So erlaubt z.B. die Programmtaste CANCEL die Eliminierung der Information des soeben gemessenen Punktes. Sofern sich die Punktnummern lediglich in ihrem seriellen Anteil unterscheiden, d.h. kein variabler Anteil benötigt wird, genügt zur Registrierung der Aufruf von RECORD allein. Der serielle Punktnummernanteil wird dabei automatisch um das Inkrement erhöht.

Die Programmtaste AVERAGE ist gedacht zur sequentiellen Mittelung der Koordinaten eines wiederholt gemessenen Punktes. Um dem Operateur Gelegenheit zur Überprüfung oder Abschätzung der Genauigkeit der gemittelten Koordinaten zu geben, erscheinen nach jeder Messung die mittleren Koordinatenfehler der Mittelwerte. Obwohl in der Praxis in der Regel nur eine fest vorgegebene Wiederholungszahl Anwendung findet, hat die sequentielle Mittelung doch den Vorteil, daß der Operateur einen Punkt so oft messen kann, bis die Koordinatenfehler ein vorgegebenes Toleranzmaß unterschritten haben.

Von großer Bedeutung ist die Möglichkeit, das rechnergestützte Stereomeßsystem jederzeit unterbrechen und jederzeit wieder starten zu können, ohne daß wesentliche Information verlorenginge. Das Problem tritt dadurch auf, daß nach Abschalten des elektrischen Stroms alle Information sowohl im Rechner als auch in den Koordinatenzählern gelöscht wird. Zur Rettung der im Rechner gespeicherten Momentdaten dient dabei das von der Tastatur aufrufbare Programm SAVE, welches sämtliche Daten auf Magnetkarte registriert, die vom Operateur eingegeben werden muß. Das System kann wieder gestartet werden (oder überhaupt erst neu gestartet werden) mit der Programmtaste RESET. RESET verlangt die Eingabe der Magnetdatenkarte und die Nullung der Koordinatenzähler mit den am Interfacegerät D I R E C vorhandenen Schaltern. Sofern zu diesem Zeitpunkt die Meßmarke auf demselben Modellpunkt steht wie vor dem Aufruf von SAVE, ist jetzt derselbe Koordinatenzustand wiederhergestellt. Die Koordinatensysteme sind identisch, die mit SAVE unterbrochene Messung kann mit RESET wieder fortgesetzt werden.

Einer der großen Vorteile rechnergestützter Meßsysteme besteht im Aufbau und in der Manipulation von Listen gemessener Punkte. Praktische Grenzen treten allerdings in der Regel sehr bald durch ungenügende Speicherkapazität auf, insbesondere bei Tischrechnern. Die Notwendigkeit einer Listenmanipulation ergibt sich in einem rechnergestützten Stereoauswertesystem unter anderem bei Orientierungsaufgaben. Beispielsweise kann es erforderlich werden, bei der absoluten Orientierung einen Punkt wegzulassen, nachzumessen oder mit einem anderen auszutauschen. Da im allgemeinen die Anzahl der zu einem Stereomodell gehörenden Paßpunkte die Zahl 10 kaum übersteigt, eignet sich dazu auch der HP9810-Rechner, allerdings mit der größtmöglichen Anzahl von Speicherplätzen. Bei 10 Punkten sind mit Punktnummern bereits 40 Speicherplätze erforderlich.

In der derzeitigen Version hat die Speicherliste eine fest Anfangsadresse und eine maximale Größe. Hat also ein Beobachter vor, eine Reihe von Modellpaßpunkten nach einem gegebenen Schema zu messen und für die eigentliche absolute Orientierung zu speichern, wird er zunächst das Programm STORE über die entsprechende Taste aufrufen. STORE ist im Prinzip äquivalent zu RECORD, speichert aber die Punktnummern und Koordinaten in der Speicherliste ab. Ein Listenüberlauf wird durch das Statuslicht angezeigt, der diesen Überlauf verursachende Punkt wird dabei ignoriert. Die Speicherliste wird mir Hilfe des Programms THRULIST und mit dessen elementaren Satellitenprogrammen DELETE, INSERT und REMEAS manipuliert. THRULIST erlaubt es dem Operateur auf einfache Weise,

durch die Liste zu brausen, wobei der Reihe nach für jeden Punkt zuerst die Punktnummer, dann die drei Koordinaten angezeigt werden. Die angezeigte Punktinformation kann mittels DELETE, INSERT oder REMEAS verändert werden. Während DELETE die gesamte Information des gerade angezeigten Punktes aus der Liste streicht - dabei rücken alle folgenden Punktdaten der Liste entsprechend nach oben - wird durch INSERT die Liste vom gerade angezeigten Punkt an nach unten verschoben, so daß ein zusätzlicher Punkt an dieser Stelle eingebracht werden kann. Die Programmtaste REMEAS erlaubt darüber hinaus einen unbedingten Sprung in das Realzeitprogramm RTRO. Zum Unterschied von DELETE und INSERT springt REMEAS aber nicht automatisch nach THRULIST zurück, sondern verbleibt im Standard-Realzeitprogramm, dabei die Bereitschaft zur Aufnahme neuer Meßdaten andeutend. Fehlerhafte Aktivierung dieser Satellitenprogramme ohne THRULIST ist wirkungslos und wird durch das Statuslicht angezeigt. Diese Art der Listenmanipulation läßt sich fast beliebig erweitern, wie im einzelnen später bei der absoluten Orientierung gezeigt werden soll.

Das "dynamische Registrier-Menü" ( D Y N R E C M E N U ) wurde entwickelt, um die bei der linienweisen Messung und Auswertung vorkommenden Aufgaben und auftretenden Probleme möglichst flexibel anpacken und lösen zu können. Die Anordnung und Kombination der beiden grundlegenden Programme POINT und RECORD wurden dabei aus Kontinuitätsgründen im Prinzip belassen, allerdings erweitert um Programme zum Aufruf und zur Definition von zu messenden und zu registrierenden allgemeinen Objekten (features) mittels beliebig wählbarer Codes. Im Unterschied zur punktweisen Messung nimmt die zu verarbeitende Datenmenge bei der linienweisen Messung enorm zu. Erst hier erweist sich das rechnerunterstützte System besonders vorteilhaft. Allerdings stellt die interaktive dynamische Datenregistrierung an ein Tischrechnersystem bereits Forderungen, die an seine Grenzen stoßen. Dies hängt vor allem damit zusammen, daß die Speicherkapazität eines Tischrechners nicht ausreicht, größere Objektdateien (feature files) direkt zu speichern. Vielmehr müssen die anfallenden Koordinaten sofort auf ein externes Medium registriert werden. Damit entfällt die Möglichkeit der digitalen Manipulation gerade gemessener Objekte vor ihrer endgültigen Registrierung, es sei denn, daß sie über Speicherplatte oder über eine gepufferte Magnetbandeinheit erfolgt. Da die Weiterverarbeitung der Daten sowieso nur an größeren Rechnern sinnvoll erscheint, kommen als Registriermedien für die Praxis nur Lochstreifen oder Magnetband in Frage.

Zur Abgrenzung aufeinanderfolgender Objekte auf dem Registriermedium wurde verursacht, mit möglichst wenig Zusatzinformation auszukommen. Ein digitalisiertes Objekt besteht danach am Anfang aus einem Objektcode (feature code), gefolgt von einer beliebig großen Anzahl von Koordinatentripeln. Eingerahmt werden diese Daten von einem EOF- (end of feature) Code. Auch Einzelpunkte können auf diese Weise als Objekte aufgefaßt werden, wobei aber die Notwendigkeit besteht, zwischen Punktobjekten (wie etwa Bäumen, Leitungsmasten, etc.) und echten Punkten (z.B. Paßpunkten) eindeutig zu unterscheiden. Diesem Umstand ist durch die Belassung der Programmtaste POINT für echte Punkte mit Punktnummern Rechnung getragen worden. Eigentliche Objekte werden über die Programmtaste FEAT (feature) allgemein oder über zwei Tasten SET(I) (special feature) speziell definiert und registriert. Analog zu POINT werden nach Aktivierung von FEAT oder SFT(I) die das vorher registrierte Objekt charakterisierenden Parameter angezeigt (Fig. 3). Dazu gehören neben einer Begrenzungszahl für die serielle Objektcodenummer die aus Objektcode und laufender Nummer bestehende eigentliche Objektcodenummer, sowie der Objektcode selber. Der Operateur wird also die Registrierung eines neuen Objekts mit dem Aufruf des Programms FEAT einleiten, den dieses Objekt kennzeichnenden Objektcode über die Tastatur eingeben und die Programmtaste RECORD drücken. Damit beginnt die eigentliche Registrierung des Objekts. Die zwei zu FEAT äquivalenten Programmtasten SFT(I) dienen dazu, häufig abwechselnd vorkommende Objekte ohne Eingabe des Objektcodes registrierbereit zu machen.

Sofern neues (zu registrierendes) und vorheriges Objekt denselben Objektcode besitzen, brauchen die Programme FEAT oder SFT(I) nicht eigens aufgerufen zu werden. Die Hochzählung des seriellen Anteils der Objektcodenummer erfolgt automatisch. Bei jeder Eingabe eines neuen Objektcodes wird eine Objektcodenummernliste im Rechenspeicher um diesen neuen Code erweitert. Bis zu 45 verschiedene Objektcodes lassen sich auf diese Weise simultan behandeln. Diese Flexibilität läßt sich nur durch ein rechnergestütztes System sinnvoll erreichen.

Die Registrierung eines Objekts ist beendet, wenn eine gerade laufende Registrierung durch eine der Programmtasten RECORD, POINT, FEAT oder SFT(I) unterbrochen worden ist. Dadurch bleiben Fehlbedienungen weitgehend wirkungslos. Die Taste RECORD nimmt dabei eine Schlüsselstellung ein und kann als Schalter aufgefaßt werden.

Die eigentliche Registrierung wird durch mehrere Realzeitprogramme, charakterisiert durch einen sog. Registriermodus (recording mode RM), ermöglicht. Zur Wahl stehen vier verschiedene Modi, nämlich die Registrierung nach Zeitintervallen ( $RM = 1$ ), Wegintervallen ( $RM = 2$ ), Koordinatenintervallen ( $RM = 3$ ) und die manuelle Registrierung ( $RM = 0$ ). Der gewünschte Registriermodus sowie die dazugehörigen charakteristischen Parameter können durch Aufruf des Programms RECMODE definiert und festgelegt werden. Das für die Zeitregistrierung maßgebende Realzeitprogramm RTRT verlangt dabei die Eingabe eines Zeitinkrements, und zwar aus programmtechnischen Gründen nicht in Sekunden sondern in Zyklen einer programmierten Warteschleife. Das Realzeitprogramm RTRS für die Wegregistrierung benötigt eine Angabe über die Länge des abgefahrenen Kurvenstücks zwischen zwei aufeinanderfolgenden Registrierungen (Größe DS in Fig. 4), und zwar in Einheiten des gerade gültigen Koordinatenmodus. Dabei wird die Länge des Kurvenstücks durch Akkumulation der zwischen aufeinanderfolgenden digitalisierten Punkten berechneten (linearen) Entfernungen bestimmt und durch lineare Interpolation an den Parameter DS angepaßt. Hier macht sich die Rechnerunterstützung besonders vorteilhaft bemerkbar. Fig. 5 zeigt das Prinzip der Koordinatenregistrierung. Das maßgebende Realzeitprogramm RTRX verlangt dabei Angaben über die Koordinatenintervalle in Einheiten des gerade gültigen Koordinatenmodus. Durch diese Größen wird über den Stereomodellraum ein absolutes räumliches Gitter, d.h. drei Scharen orthogonaler Ebenen gelegt. Nur die Durchstoßpunkte einer abgefahrenen Linie mit einer dieser Ebenen kommen zur Registrierung.

Der Nachteil der Weg- und Koordinatenintervallregistrierung besteht darin, daß die registrierten Punkte durch lineare Interpolation entstehen. Diese Punkte können also von der abgefahrenen Linie abweichen (Fig. 5). Nichtlineare Interpolation wäre zwar möglich, würde aber den Rechenaufwand zum Teil erheblich ansteigen lassen, also den Realzeitzyklus vergrößern. In der photogrammetrischen Praxis dürfte wohl hauptsächlich die Zeitintervallregistrierung Anwendung finden; denn da keine Interpolation erforderlich ist, liegen die registrierten Punkte immer auf der abgefahrenen Linie. Die Koordinatenregistrierung hat Berechtigung bei der profilweisen Auswertung.

Es dürfte einleuchten, daß das Realzeitprogramm RTRT die automatische Registrierung unterbrechen muß, sobald zwei aufeinanderfolgende Punkte gleiche Koordinatenwerte besitzen. Die Datenerfassungs- und Datenverarbeitungsgeschwindigkeit des HP9810-Tischrechners in Verbindung mit dem DIREC-Interface wird durch die folgenden, empirisch ermittelten Werte charakterisiert: Vorausgesetzt, daß ein Registriergerät mit unendlich großer Aufnahmegeschwindigkeit verfügbar ist, ist es möglich, Zählerkoordinatentripel alle 0,082 s und Geländekoordinatentripel alle 0,160 s an der Ausgabeschnittstelle des Rechners anstehen zu lassen. Die Registriereschwindigkeit wird also in der Regel durch das Peripheriegerät bestimmt sein.

Der Registriermodus  $RM = 0$  gestattet die manuelle Registrierung von Punktfolgen durch Drücken der Programmtaste RECORD. Diese Möglichkeit der Registrierung ist insbesondere bei künstlichen Objekten wie Gebäudeecken erforderlich, ist aber auch dann wünschenswert, wenn es nicht auf Geschwindigkeit sondern auf höchste Genauigkeit ankommt.

## 5. Anwendersoftware

Aus der Anwendersoftware steht gegenwärtig lediglich die Realzeitflächenbestimmung in einem DYNRECMENU-2 zur Verfügung. Ein Programmpaket für die absolute Orientierung ist in Entwicklung. Das vorliegende Kapitel ist deshalb kürzer gefaßt.

Das in Fig. 6 gezeigte Flußdiagramm eines Realzeitflächenprogramms stellt nichts anderes als das Prinzip eines interaktiven Planimeters digitaler Art dar. Durch Umfahrung einer in sich geschlossenen Linie wird der Flächeninhalt durch Akkummulation differentieller Trapezflächen in Realzeit berechnet und angezeigt. Das digitale Planimeter kann überall dort mit Vorteil eingesetzt werden, wo es primär auf eine rasche quantitative Erfassung von Flächen und nicht von Koordinaten ankommt. Das Programm RTAREA unterscheidet zwischen der dynamischen und der statischen Flächenbestimmung. Ist der Registriermodus  $RM = 0$ , wird die Fläche eines Polygons ermittelt, wobei der Operateur durch Drücken der Programmtaste RECORD die Polygoneckpunkte definiert. Ist  $RM \neq 0$ , erfolgt die Flächenberechnung bei ständig bewegter Meßmarke mit der höchstmöglichen Rechenfrequenz, also so gut wie kontinuierlich (Realzeitprogramm RTAT). Sobald die Meßmarke den Ausgangspunkt erreicht hat, bewirkt Drücken der Taste RECORD den Abbruch des Realzeitprogramms RTAT und zeigt die Fläche in Einheiten des gerade gültigen Koordinatenmodus CM an. Die derzeitige Programmversion kann auf einfachste Weise auf die Berechnung vertikaler Flächen umgestellt werden, wie dies etwa für Profilmessungen von Bedeutung ist.

Ein in Entwicklung befindliches Programmpaket für die absolute Orientierung (ABSORMENU) kann hier nur im Konzept dargelegt werden. Im Gegensatz zur relativen Orientierung ist die absolute Orientierung von Stereomodellen gewöhnlich ein langwieriger Prozeß, wenn empirisch durchgeführt. Schlecht verteilte Paßpunkte können zu Schwierigkeiten bei der Einpassung des Stereomodells in das gegebene Geländesystem führen. Es ist zu erwarten, daß die photogrammetrische Praxis am meisten von einem gut durchdachten interaktiven On-Line-Programm für die absolute Orientierung profitieren wird. Das Problem ist bei weitem nicht trivial, da unter Umständen viele voneinander abhängige Daten verarbeitet werden müssen, da gelegentlich Fehler in den Daten auftreten können und da verschiedene Paßpunktarten, nämlich Höhen-, Lage- und Raumpaßpunkte, vorkommen. Wie in [3] gezeigt, treten selbst bei der Programmierung in einem Minicomputersystem Kapazitätsprobleme auf. Für einen Tischrechner wie das Modell HP9810 ist zu erwarten, daß nur durch sinnvolle Segmentierung der Gesamtaufgabe, durch Wahl eines günstigen mathematischen Verfahrens zur Bestimmung der Transformationsparameter, durch eine geglückte Numerierung und Speicherung der Paßpunkte und durch kompromißbereite Überlegungen hinsichtlich des Interaktivitätsgrades ein für die Praxis brauchbares Programm entstehen kann.

Konzeptionell wird sich die Anwendung des ABSORMENU dabei im wesentlichen in zwei Teilen abspielen. In einem ersten, rein rechnerischen, also nicht interaktiven Teil werden aus den im Rechner gespeichert vorliegenden Modell- und Geländekoordinaten der Paßpunkte die sieben Parameter einer räumlichen Helmert-Transformation (spatial similarity transformation) bestimmt. Dabei ist die Simultanauflösung gegenüber einer sequentiellen Auflösung programmtechnisch vorteilhafter. Auch die rein algebraischen "Rodrigues"-Parameter der vorkommenden Orthogonalmatrix erweisen sich bequemer als die üblichen Drehwinkel. Da eine Reihe völlig verschiedenartiger Daten gleichzeitig benötigt werden, gelingt es nur mittels gewisser Programmiertricks, Programm und Daten ohne weitere Unterteilung im vorhandenen Speicher unterzubringen. Das Ergebnis dieses ersten Teils wird dann in die zur Realzeitanzeige benötigten Komponenten der Transformationsmatrix A (Fig. 1) umgerechnet. Teil 1 allein genügt, sofern die Stereoauswertung nur aus der Messung von Einzelpunkten besteht. Eine physikalische absolute Orientierung im Stereogerät ist nicht erforderlich, da unter Aufsicht des STATRECMENU Geländekoordinaten unmittelbar angezeigt und verarbeitet werden.

Dem ersten Teil vorausgehend ist die Messung der Modellpaßpunktkoordinaten im STATRECMENU, sowie die Eingabe und Speicherung der Geländepaßpunktkoordinaten unter Aufsicht des Listenmanipulierprogramms THRULIST. Mittels eines Satellitenprogramms CNTRLIN wird dabei der Reihe nach für jeden in der Punktliste stehenden Modellpunkt die Eingabe der Geländekoordinaten gefordert. Die Reihenfolge ist wesentlich, da wegen vorliegender Kapazitätsbeschränkungen die Geländepaßpunktliste keine Punktnummern enthält. Zur Unterscheidung der Paßpunkt-

art muß die Punktnummer hinter dem Komma eine Kennziffer enthalten, nämlich 1 für Höhen-, 2 für Lage- und 3 für Raumpaßpunkte.

Die Anzeige der Koordinatenrestfehler an den Paßpunkten kann ebenfalls unter Aufsicht von THRULIST über das Satellitenprogramm RESIDUAL erfolgen. Sollte sich herausstellen, daß die Restfehler eines Paßpunktes nicht mehr toleriert werden können, besteht die Möglichkeit, diesen Punkt mittels eines weiteren Satellitenprogramms SKIP vorübergehend in der Punktliste als nicht verwendbar zu deklarieren und die absolute Orientierung ohne diesen Punkt zu wiederholen. Auch die Eingabe verbesserter Information ist in diesem Stadium möglich.

Im zweiten Teil des ABSORMENU werden die für eine echte physikalische Orientierung benötigten Geräteparameter bestimmt. Teil 2 ist also zum Unterschied von Teil 1 völlig gerätetyp-abhängig. Vom Operateur wird erwartet, daß er die berechneten und angezeigten Werte, die aus einer rechnerischen Skalierung und Horizontierung hervorgegangen sind, am Gerät einstellt. Die Parameter der Realzeittransformation werden vom Programm automatisch verbessert. Teil 2 ist dann erforderlich, wenn ein Stereomodell tatsächlich horizontalisiert werden muß, etwa zur Ausmessung von Höhenlinien.

## 6. Ausblick

Die Entwicklung interaktiver Rechenprogramme für die rechnergesteuerte Photogrammetrie ist auf dem Tischrechnerniveau zwar möglich, aber schwierig. Wegen der weitgehenden bis völligen Rechnerabhängigkeit der Programmierung besitzt die Aufstellung derartiger Programme keinen hohen Wirtschaftlichkeitsgrad und ist vom Aufwand her vergleichbar mit den Hardware-Herstellungskosten. Diese Tatsache gerät häufig in Vergessenheit. In diesem Zusammenhang ist zu bemerken, daß die derzeitige Hardware-Entwicklung in Richtung kleinerer Rechner, größerer Speicherkapazität, insgesamt geringerer Kosten geht. Die Entwicklung auf dem Software-Sektor tendiert zu einer Verallgemeinerung und Loslösung der Programmiersprachen vom Rechner. Die von IBM entwickelte interaktive Programmiersprache APL scheint dabei am vielversprechendsten und zukunftsweisendsten zu sein.

## Literatur

- [1] Dorrer, E., B. Kurz: "Plotter Interfaced With a Calculator",  
Photogrammetric Engineering 1973, 1065 - 1076.
- [2] Dorrer, E., E. Lander, K.V. Toraskar: "Analog to Hybrid Stereoplotter",  
Photogrammetric Engineering 1974, 271 - 282.
- [3] Tsivos, V.A., E. Dorrer: "Online Instrument Testing and Orientation  
Procedures",  
Proceedings 1975 Annual Meeting of ASP, March 9-14,  
Washington, D.C., 11 Seiten.

## Zusammenfassung

Ausgehend von allgemeinen Überlegungen über die On-line-Einsatzmöglichkeiten von Digitalrechnern in der Photogrammetrie, insbesondere im Hinblick auf möglichst rechnerunabhängige Programmierung, wird zunächst gezeigt, wie durch sukzessive Anpassung an die Problemstellung, an Typ und Kapazität des Rechners, an das Stereo- und Registriergerät, sowie an die Wünsche des Benutzers auf einfache Erlernbarkeit und Bedienung, ein Programmpaketsystem entsteht, welches ganz von selber eine gewisse Modularität enthalten muß. Dann werden einige für den Hewlett-Packard Tischrechner 9810 A entwickelte Programmpakete im Prinzip und hinsichtlich der statischen und dynamischen Registrierung, der Realzeit-Flächenbestimmung und der absoluten Orientierung im Detail diskutiert. Über erste Erfahrungen mit einem digitalen Stereokartiersystem PLANITOP - DIREC - HP 9810 wird berichtet. Ein kurzer Ausblick auf allgemeine Entwicklungstendenzen im Programmiersprachensektor beschließt den Artikel.



### Abstract

Based on general considerations regarding possible on-line uses of digital computers in photogrammetry, particularly in view of highly computer-independent programming, the paper describes the development of a system of inherently modular program packages by successive adaptation to the problem, the type and capacity of the computer, the stereoplotter and recording unit as well as the users' wishes concerning simplicity and easy use. This is followed by a general discussion of a few program packages developed for the model 9810 A program-controlled Hewlett-Packard desk calculator and a detailed description of their application to static and dynamic recording, real-time processing of areas and absolute orientation. An account is given of first experience gathered in work with the PLANITOP - DIREC - HP 9810 digital stereoplotting system. The paper closes with a brief outlook on general trends in the development of programming languages.

### Résumé

L'exposé présente des considérations d'ordre général sur les possibilités de mise en oeuvre "on-line" des calculateurs électroniques, grace auxquelles la programmation est largement indépendante du calculateur. Il décrit ensuite de quelle façon un système de package à modularité inhérente peut être développé par une adaptation successive au problème, au type et à la capacité du calculateur, de l'appareil restituteur et de l'unité d'enregistrement, ainsi qu'aux exigences de simplicité et d'aisance d'emploi formulées par l'utilisateur. Après avoir commenté quelques packages mis au point pour le calculateur de table Hewlett-Packard 9810 A, l'exposé étudie en détail l'enregistrement statique et dynamique, la détermination des surfaces en temps réel et l'orientation absolue. Il relate les premières expériences acquises avec un système de stéréorestitution digitale PLANITOP - DIREC - HP 9810. Il se termine par un bref aperçu des tendances d'évolution dans le secteur des langages de programmation.

### Resumen

Partiendo de consideraciones generales respecto a los usos on-line de las computadoras digitales en la fotogrametría, especialmente en vista de una programación lo más independiente posible de la computadora, se muestra primeramente como es posible por una adaptación sucesiva a los problemas, al tipo y a la capacidad de la computadora, al estereorrestituidor y la unidad de registro, así como a los deseos del usuario respecto a aprendizaje y manejo sencillos, obtener un sistema de paquete de programas que lleve inherente una cierta modularidad. A continuación se discuten algunos paquetes de programas desarrollados para la computadora de mesa Hewlett-Packard 8910 A, exponiendo tanto su principio como el registro estático y dinámico, la determinación de superficies por tiempo real y la orientación absoluta. Se informa sobre las primeras experiencias con un sistema digital de restitución estereoscópica, el PLANITOP - DIREC - HP 9810. La conferencia concluye con una breve exposición de las tendencias de desarrollo generales en el sector de los idiomas de programación.

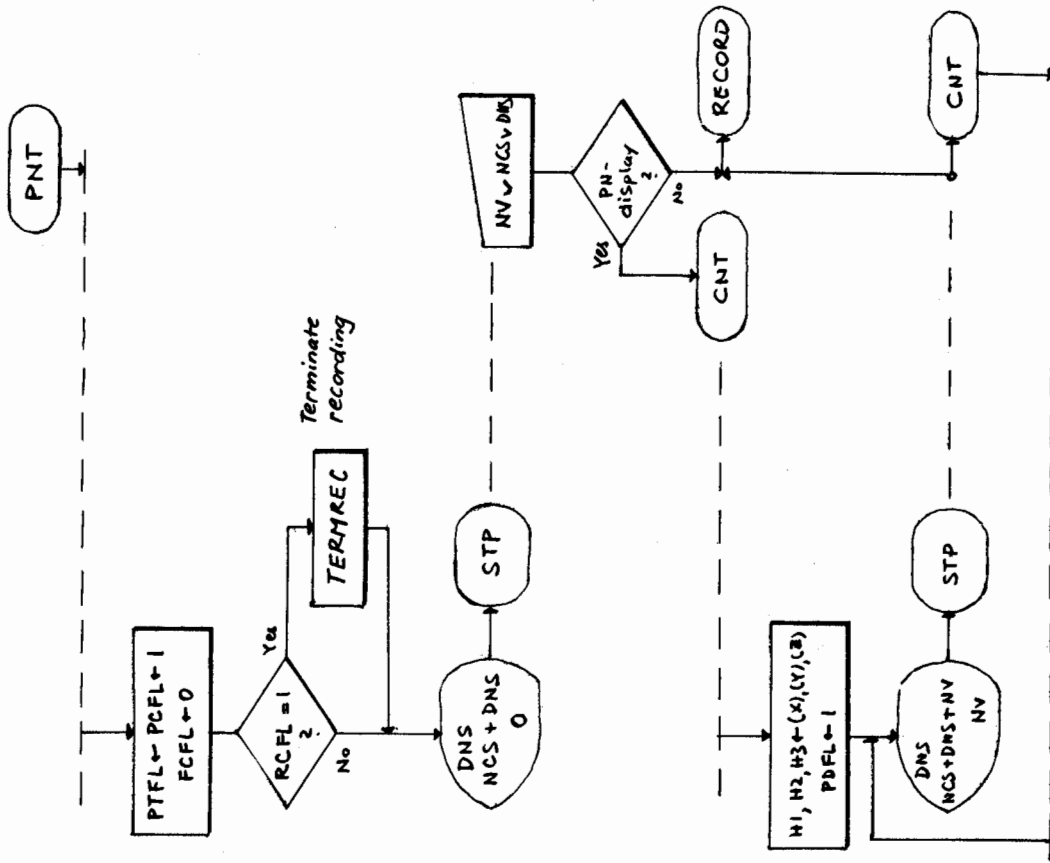


Figure 2. Flowchart of man-machine interface for definition and numbering of points

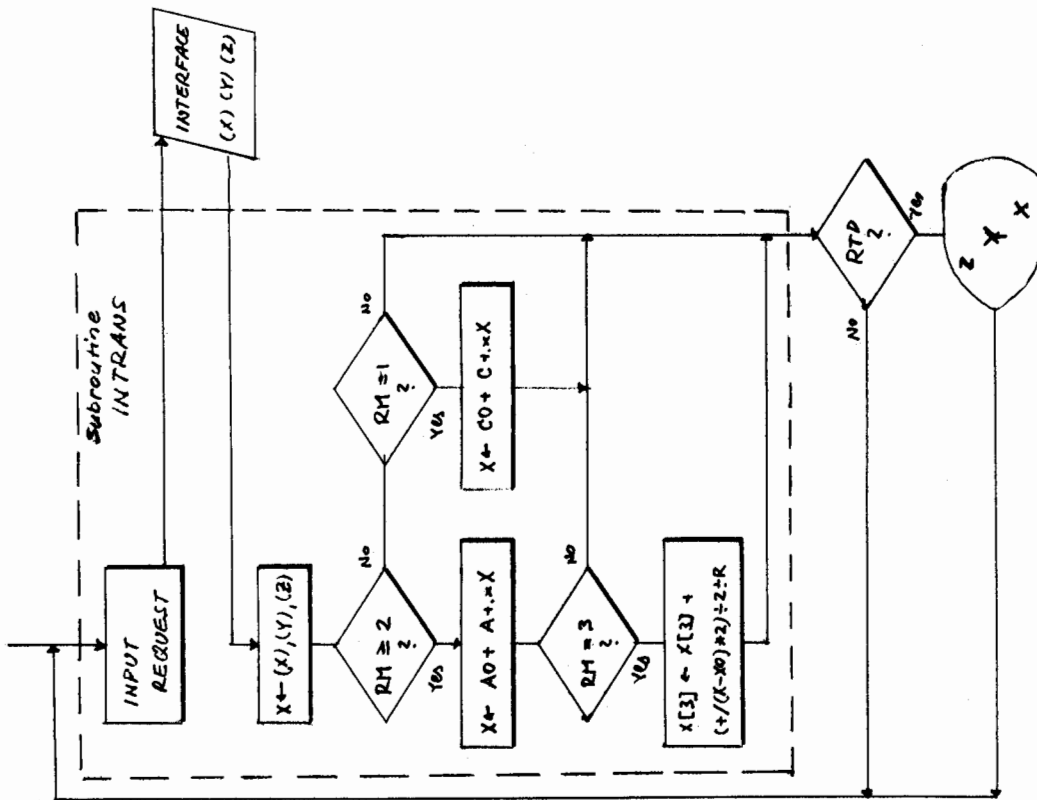


Figure 1. Flow-Chart of Standard Realtime Routine RTR0

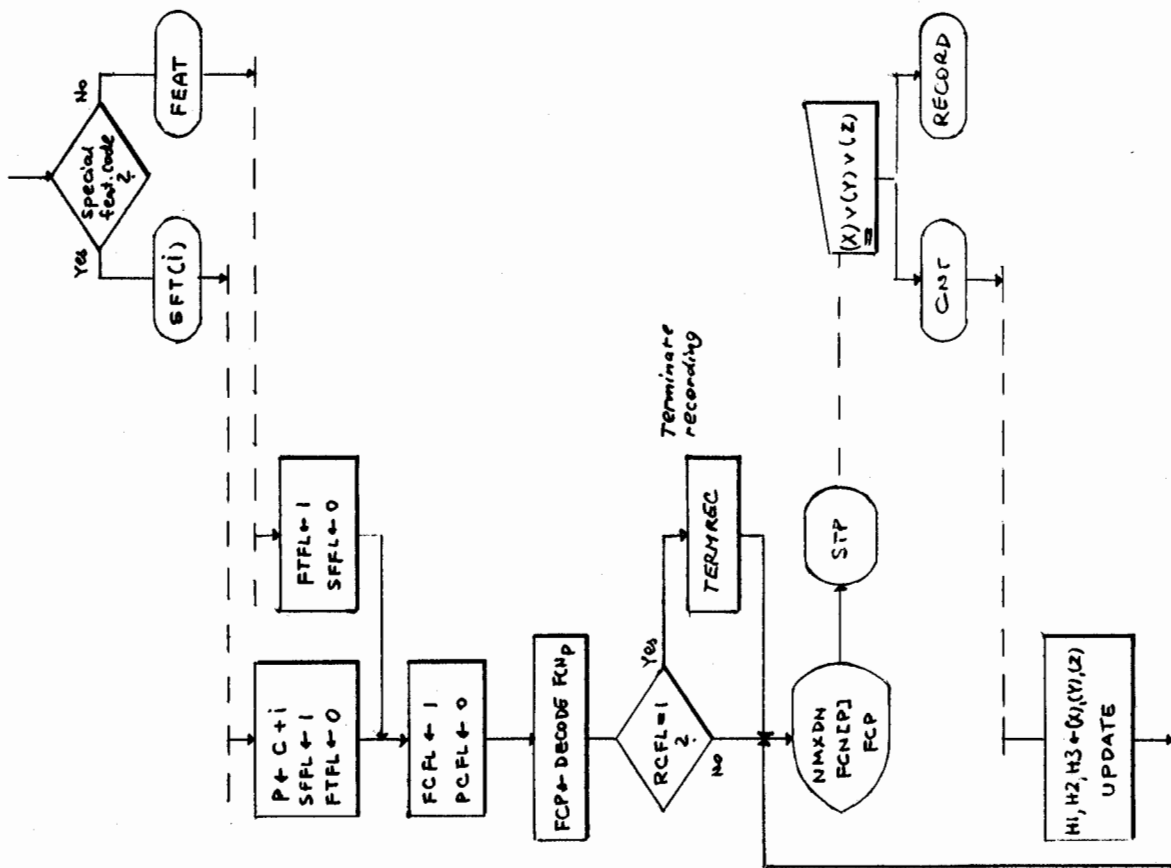


Figure 3. Flowchart of man-machine interface for definition and numbering of features

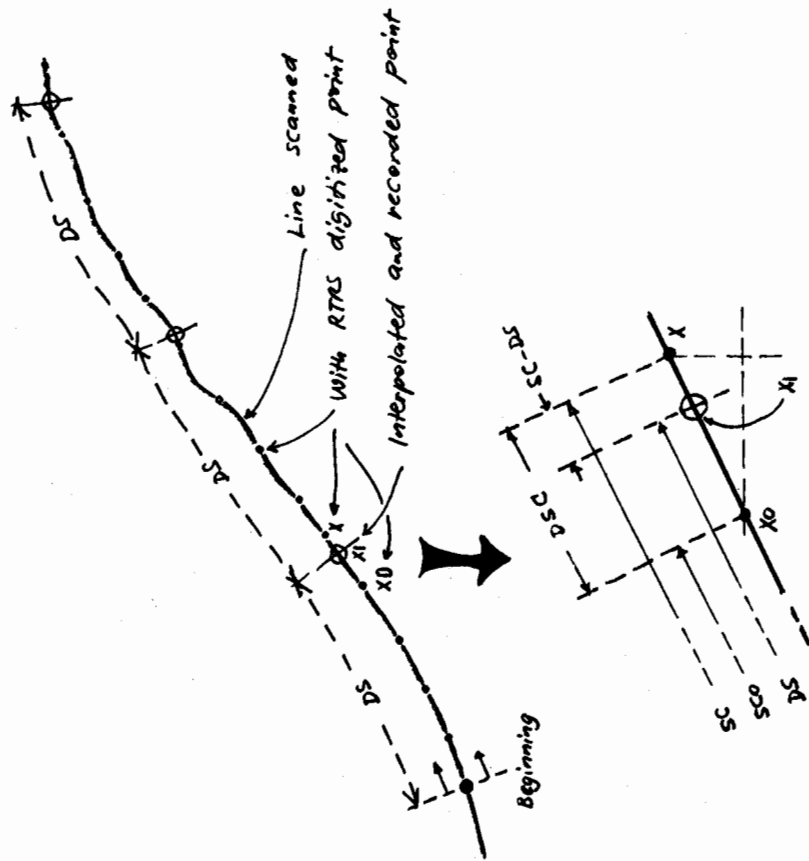


Figure 4. Principle of recording according to distance intervals