

精密自動3次元計測システム（A U T O - 3 D）

アジア航測（株） ○内田 修、嶋本孝平、那須 充

1. はじめに

高速道路および送電線鉄塔などの線形構造物の建設工事における計画設計段階にとって、地域全体をマクロ的にかつミクロ的に調査・把握することは必ずといって必要であり、このために地理情報、特に数値標高モデル（以後、D E M（Digital Elevation Model））は不可欠なものである。しかしながら、D E Mデータを収集する方法は数種類あるが、最新のD E Mデータを効率的に精度よく収集することが費用・工期の2面から考えて困難であった。

さらに、宅地造成工事やゴルフ場造成工事などの土工事における出来形計測は施工管理上特に重要な項目であるが、従来の測定はスタジア測量や通常の航測写真測量によっていた。しかし費用や迅速性の点で問題があったため、測量結果を施工管理に十分生かすことが難しかった上に、測量に伴う現場への作業員の立ち入りは安全性の面でも問題があった。

以上の点を踏まえて、当社では航空写真および衛星画像からのD E Mデータを効率的かつ高密度・高精度に収集するシステム、すなわち精密自動3次元計測システム（A U T O - 3 D）を開発した。本論文では以下の5点に着目して述べる事とする。

- ①現況のD E M作成法との比較
- ②ハードウェア構成
- ③システム能力
- ④D E Mデータの利用
- ⑤システムの発展性

2. 現況のD E M作成法とその比較

現在、D E Mデータを作成する方法は、次の方法が挙げられる。

①地形図からの場合

既成の地形図（国土院発行1/50,000、1/25,000などの地形図）を用いてD E Mを作成する方法として、次の2つの方法が挙げられる。両方法ともにベースデータ（Base Data）は地図であるため、D E Mデータの精度は航空写真から直接作成する方法に比較して劣る。さらに、最新の地図であっても少なくとも1～2年前の地形状態を示すものであり、悪くすると10年前のものとさえある。

a) マニュアル入力

地形図にメッシュを描き、等高線からメッシュ点の標高値を目測で読み取る方法である。

b) スキャナー入力

オートディジタイザ（自動読み取り機）によって、地形図を読込み、細線化処理 → ラスタ・ベクトル変換 → 結線編集 → 標高値付与 → メッシュ化処理などを行い、D T Mデータを作成する方法である。

②航空写真からの場合

航空写真からD T Mを作成する方法は、a) 解析図化機を用いるアナログ計測法、b) 航空写真をA/D変換した画像データを用いたデジタル計測法があるが、現在a) のアナログ計測法が主流であり、b) のデジタル計測法は目下研究開発の段階である。

a) 解析図化機を用いる方法

1) メッシュモード入力

設定したメッシュ間隔でステップさせながらZ値を計測し、D E Mを作成する方法である。このモー

Dで収集したDTMから等高線を作成した場合、計測順序およびオペレータの熟練度によって等高線が波打つ現象が生じ、数回のスムージング処理を行わない限り、最終成果品とはならない。

2)等高線モード入力

通常の図化作業と同様に等高標高値を追跡していきながらランダムなデータを収集する方法である。このモードの場合メッシュモードに比較して標高値の精度が良く、計測時間も速いが、データ量が膨大となりかつランダムデータからメッシュデータ(DEM)への変換処理を必要とする。

b) A/D変換した画像データを用いる方法(デジタル計測法)

1)一括処理による方法

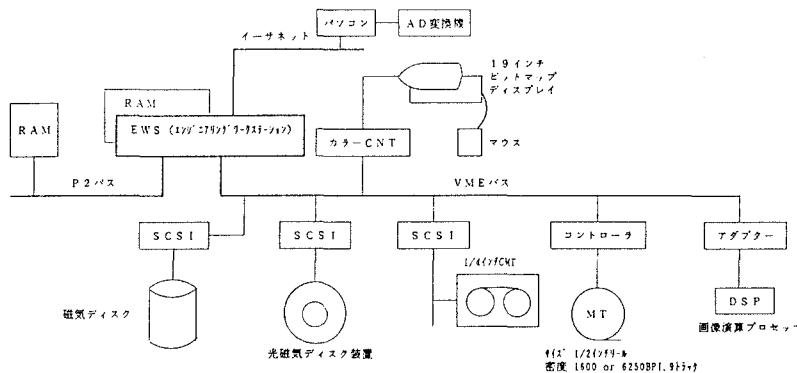
画像データを入力データとし、汎用計算機を用いて画像相関法によって左右画像の対応点を自動的に見つけ出し、DEMを作成する方法である。大量な画像データを用いた特殊な画像処理(2次元FFT、射影変換など)を行うため、汎用計算機では相当な計算時間が必要とされる。さらに、現在のマッチング技術では一括処理によって得られたDEMデータはミスマッチングにより部分的に誤差が生じている。このため、エラー部分の修正・編集がにより部分的に誤差が生じている。いため困難である。

2)会話型処理による方法

一括処理における問題点を解決するために考えられた方法であり、本システムの対象となっている計測方法である。開発するシステムは画像計測専用システムを目指しており、汎用計算機より安価なEWS(Engineering Work Station)をコントローラとして使い、超高速画像処理プロセッサを導入することにより計測処理の高速化を計る。したがって、自動計測の弱点である対応点のミスマッチングの修正を計測と同時に出来る。さらに建物・道路などの計測をモニタを見ながら会話型に計測可能となり、将来的に解析図化機にとって代わることが予想される。

3. ハードウェア構成

本システムのハードウェア構成は、図1に示すようにEWS, DSPを中心に構成されている。さらに、図2に示すように計測はメニュー画面をマウスで選択する対話形式で行うことができる。ここでDSPは、CPUに大きな負荷がかかる画像処理(2次元FFT、射影変換など)部分を行っている。



解析図化機を用いるアナログ計測の精度の基準は写真上での観測精度であり、現在の観測機器の仕様などを考慮すると標準誤差で約10～20ミクロンであると考えられている。それに反して、本システムのデジタル計測の精度は航空写真をスキャナーでA/D変換する時の分解能で決定されている。現在市販されているスキャナーでの最小分解能は25×25ミクロンであり、理論的にはデジタル計測でもアナログ計測に匹敵する精度を有している。表1に両者の計測精度をそれぞれの図化縮尺について示す。

表1 アナログ計測とデジタル計測の精度比較

図化縮尺	撮 影 縮 尺 ¹	アナログ計測		デ ィ ジ タ ル 計 測 ²	
		平面精度 ³	等高線間隔	平面精度 ⁵	標高精度 ⁶
1/500	1/3,000～1/4,000	7～15cm	50cm	10cm	17cm
1/1,000	1/6,000～1/8,000	20～30cm	1.0m	20cm	34cm
1/2,500	1/12,500～1/15,000	40cm	2.0m	35cm	60cm
1/3,000	1/15,000～1/18,000	50cm	2.0m	45cm	75cm
1/5,000	1/25,000	70cm	2～5m	65cm	110cm
1/10,000	1/30,000	120cm	5～10m	75cm	125cm

②計測効率

アナログ計測での計測能力はオペレータの熟練度によって変動し、かつ体力疲労による必然的な限界が生じる。一方本システムは、前述したように、CPU時間がかかる画像処理をDSPで処理し、EWS側で行う処理の負担を極力少なくすることにより計測能力をアナログ計測に比べて数倍向上させることができる。さらに、オペレータの能力に関係なく計測が行え、パッチ処理と会話処理の併用によって、システムの能力を最大限に発揮できる。表2に両者の計測能力を示す。

表2 アナログ計測とデジタル計測の能力比較

比 較 項 目	解析図化機による アナログ計測法	会話型処理による デジタル計測法
システム購入価格	約 ¥30,000,000～ ¥100,000,000	約 ¥10,000,000～ ¥20,000,000
計 測 能 力	約 5,000点/日～ 8,000点/日	約 30,000点/日～ 40,000点/日
オペレータの能力	熟練が必要である (最低2年程度)	熟練は不必要である (素人のアルバイト)

計測能力は1日7.5時間と考える。

表2で示されるように、会話型処理によるデジタル計測法は価格・能力・操作のすべてに優れていて、将来的にはアナログ計測にとって代わるものになる。

5. DEMデータの利用

DEMデータの代表的な利用例としては、等高線図、写真地図、鳥瞰画像などが挙げられる。写真地図は縮尺を統一し、航空写真に含まれている地形起伏および写真の傾きによる投影歪を微小部分ごとに補正し、中心投影から正射投影に変換して作成された写真である。その特徴は、写真と地図の両方の性質を兼ね備えていることであり、写真地図上で長さおよび角度を測定することができる。しかし写真地図は地形図にそのまま代用できないが、それら以上の高い情報内容によって価値ある補足図となる。さらに等高線図を重ねた写真地図は、送電線ルート調査などに高度な利用が可能である。図3および図4にそれぞれ写真地図および鳥瞰画像を示す。

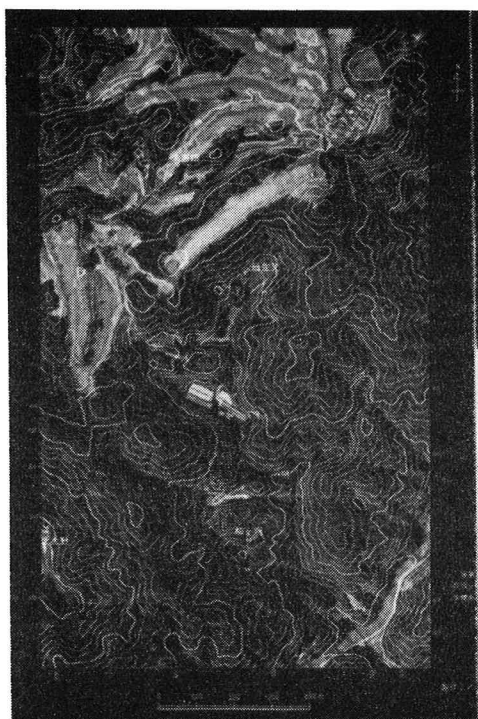


図3 写真地図

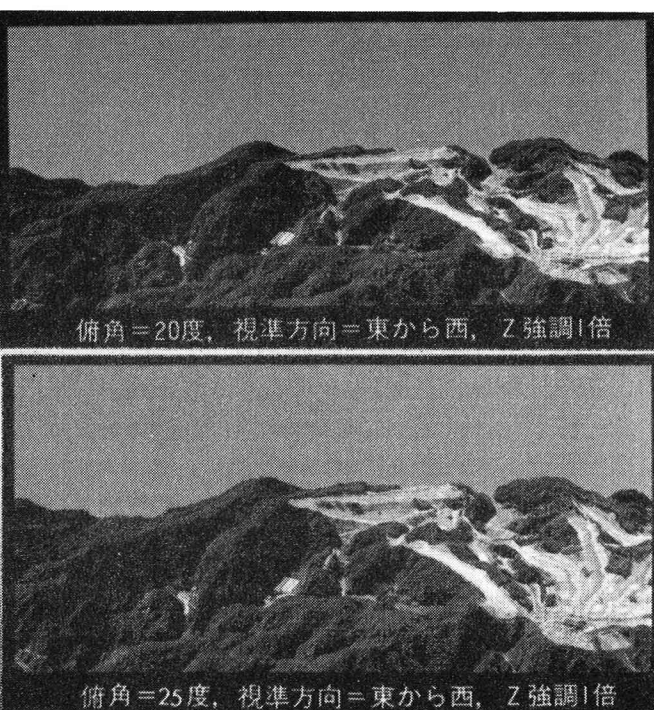


図4 鳥瞰画像

6. システムの発展性

ソフトウェアの増強と異種画像（VTR画像、CCDカメラ画像および人工衛星画像など）への対応を考慮して、今後本システムの発展を行う。

6.1 計測ソフトウェアの充実

現段階では開発した計測システムには一定メッシュモード、単点モードおよび断面計測モードの3通りが用意されているが、今後次の計測ソフトを追加・増強する必要がある。

①ストリングモード

この計測モードは、土地利用界・植生界などの曲線（ストリング）を計測するためのものであり、これにより等高線以外のすべての対象が計測可能になる。

②建物計測モード

一定の形状（長方形）をした対象に限定した計測であり、この方法では画像認識・画像理解の処理をする必要がある。これが可能になると、大縮尺の航空写真において自動計測が可能になる。

上記した計測ソフトのうち、②以外は容易に開発できるが、その場合会話型処理を考慮した開発を行う必要がある。

6.2 異種画像への対応

VTR画像およびCCDカメラ画像を用いた自動計測は、工業分野におけるCAD用の模型計測、パーツの精密計測や考古学分野における遺跡跡調査などに利用できる。特にLSI素子の急速な進歩から、今後高画質、高分解能のCCDカメラ画像が開発され、かつ直接デジタルデータを扱えることから、写真に代わり計測に利用されることが予測される。また、5万分の1より大縮尺の地形図が完備されていない国は、全世界で50%以上あると報告されている。このため、人工衛星（SPOT衛星）を用いた地形図作成が行われている。当社でもVTR画像・SPOT衛星画像を用いた計測を行った実績があるので、今後本システムのアプリケーションとしてシステムのバージョンアップは容易である。