

服部研究室

服部 進

はじめに

当研究室は服部が赴任した1988年に開設した。情報処理工学科の本拠である16号館に空きがなく19号館1階に落ちついた。当時は学年進行中で最高学年が3年生であった。翌1989年4年生が配属され、以来学生の指導と研究のため16号館と19号館を行き来している。研究室は最初当然のことながららんとしていたが、大学で購入していただいたワークステーションと文部省の科学研究費で購入したパソコン1台が入ったので、研究活動は支障なく続けられた。当時のワークステーションは現在と違い、高価な代物であったことを考えるとまことにありがたいことであった。この計算機はやがて学内のネットワークにつなげ、今も現役で動いているが、さすがにディスプレイやバッテリーがだんだん怪しくなっている。その後しだいに計算機を買いたし、設備の増強につとめている。

頭の痛いのは、計算機の技術的寿命が極端に短くなっていることである。学生には最新の計算機技術を習得させねばならないと思う一方で、技術革新が最も急速な分野であるため、新しいソフトウェアや通信技術を載せかえるのに、機材の補給と更新が追いつきにくくなっている。

1989年から4年生の卒業研究の指導に当たっている。これまで約70名が卒業し、さまざまな分野で活動していることはうれしい限りである。授業では画像、信号の処理、画像の認識に関係する分野、および基本的な数学、物理学を担当している。1991からは情報処理工学科に大学院修士課程が、さらに1995年から博士課程が新設され、同課程の学生にたいして専門の講義を行っている。

また1996年から、一般学生を対象とする地理情報科学の講義を受け持っている。地理情報科学は地理情報システムと呼ぶデータベース、人工衛星を使ったリモートセンシング、人工衛星から位置を割り出すGPSなど地球環境管理や広域のナビゲーションを目的とする新しい情報科学である。全国的にも早い次期にこの分野を教育の一環に取り得ることを認めていただいたのは、学生諸君にとっても、わたし個人にとっても意義の高いことと考えている。大学の期待に添えるよう努力を続けて生きたい。

研究の概要

当研究室では画像計測、地理情報システム、および測量システムの開発に関する研究テーマを掲げている。近年伝統的な測量機械は、センサと計算機で置き代えられた情報システムになっている。当研究室ではCADを

ベースにした測量システムや、デジタル画像をベースにした図化機の試作にも力を入れている。これらは一口で言うとデジタル地図データを効率よく作成し、それを利用する技術といえる。以下はそれぞれの研究概要、および成果である。

<画像計測に関する研究—画像からの3次元計測と対象の再構成>

カメラのレンズを通った光はフィルムないし工学センサ（おおむねCCDカメラ）に結像する。写真測量、ないし画像計測はこの画像からもとの対象の3次元位置を求めることである。このテーマにはつぎの課題を解決しなければならず、当研究室ではその研究が続いている。

(1) カメラのキャリブレーションと工業3次元精密計測

フィルムを使った計測カメラ（たとえば空中写真用カメラ）とことなり、CCDカメラは非計測カメラである。一般にその内部構造のパラメータは分かっていない。これらは画面距離、主点位置、非線形レンズ歪である。画像から3次元計測を行うには、これらのパラメータを精度よく決定しなければならない。そこでいろいろなキャリブレーション法を考察し、シミュレーションと実験で精度と信頼性を検証している。

最も実用的な方法は現在のところ次の方法である。反射ターゲットを対象空間に3次元的に設置したキャリブレーション場をつくり、これをさまざまな方向から撮影し、カメラの外部標定要素、カメラのパラメータ（内部標定要素）、ターゲットの3次元対象空間座標を最小2乗法で同時に決定する。解法はすべての変数を未知数とするバンドル調整法を使っている。この方法は他の分野では、逆解析と呼ばれている方法である。対象空間には座標系が存在しないので、観測方程式ないし正規方程式には7個のランク落ちがある。そのためこれを解くには一般化逆行列を用いる。また観測方程式は本来非線形であるので、繰り返し解法を使うにも、ターゲットの座標とカメラの外部標定要素の初期値が必要である。しかし対象空間に座標系がないので、これを計測時に与えるのは難しい。そこで閉じた相互標定と接続標定、さらに閉じた絶対標定法を開発し、全体として初期値のいらぬ調整法を開発した。

(2) ステレオマッチング

われわれの目はカメラの構造と類似していることは周知のことである。眼球（レンズ）を通った光線は網膜上に投影されて像を作る。われわれが両眼で対象を見たとき立体感が得られ、対象までの距離がおおむね分かるのは、画像信号を脳が処理し、立体視を実現しているからであって、この結果われわれは3次元空間を再現できる。

地形図を作成するための写真測量はこの事実を巧み

に利用している。左右立体画像が与えられたとき、画像上の対応する点を認識すれば、前方交会法で対象空間の3次元座標を確定できる。従来の写真測量ではこの立体視の部分オペレータの目に頼ってきた。地図を作成する機械「図化機」はオペレータが立体視して、対応する点が指し示す地上の位置を計算機のスクリーン上に描き出す。したがって、この左右画像点の対応を計算機で行うことができると自動で地形図を描画することができる。これをデジタル画像処理で実現しようとする技術がステレオマッチングである。

ステレオマッチングの方法として、過去実用の観点から面積相関法を研究してきており、これまでいくつかの成果をあげてきた。この方法は左右画像の対応する位置を画像の類似性を基準に同定する方法であるが、隠蔽（オクルージョン）を本質的に解決できないため、現在はエネルギー最小化法（正則化法）を重点的に研究している。

エネルギー最小化法はT. Poggioが最初提案したもので、左右画像は何らかの汎関数（エネルギー関数）を最小化するように決定する。各画素の視差をすべて未知数にとるとこれは巨大な組み合わせ最適化問題になる。これを解決するのに確率的降下法であるシミュレーテッド・アニーリング（SA）を適用することを試み、うまく働くアルゴリズムを実験的に明らかにした。

視差の組み合わせの数を減らすため、画素ごとの視差の代わりに、エッジでの視差を未知数にする方法を模索している。現在のところグリーン関数を使ったエネルギー式をSAで解く方法を試みている。エネルギー式の「ながめが悪くなる」現象が現れるのが問題である。

<地理情報システムに関する研究>

地理情報システム(GIS)はデジタル地形図をインデックスにして、時間と位置に関して地物、事象を管理する4次元データベースである。研究室では地理情報システムでデジタル地図データを取り扱うときのデータ構造、誤りの検出法に議題をしぼって研究している。

現在のところでは大縮尺の都市計画図について、道路と建築物の衝突、不完全な多角形、隣の図面との接続の不具合などを検出することができている。手法はおおむね計算幾何学の成果を応用することで実現しているが、アド・ホックな方法を取らざるを得ないものもいくつかあって今後の課題になっている。

<測量システムの開発に関する研究>

(1) CADをベースにした地上測量システム

最初に手がけた測量システムはトータルステーションシステムの根本的改良であった。トータルステーションは、測角、測距を同時に行い、対象点の3次元座標を計測する精密機械である。トータルステーション

で計測したデータはデータコレクタ（ICメモリ）に格納され、事務所に持って帰ってから、CADで図面に仕上げた。

開発したシステムはPCとトータルステーションを接続し、CADで計測から表示までのすべてを制御するシステムである。従来のシステムとことなり、オペレータは図化する対象を目の前にして、その座標を計測し、地形図まで編集できる。そのため計測の誤りが起こらない。研究室では接続のプロトコルを設計した後、システムに必要な機能を順次開発した。これらの一部は汎用の測量方式として、教科書化されているものもあったが、多くの場合、新たに考案し、開発しなければならなかった。前者としては基準点測量の調整計算や、測定データの取扱いであり、後者としては、フリーステーショニングのための後方交会、図化のための前方交会法があった。研究室ではこれらの数学的方法と精度を明らかにし、基本的なプログラムを開発した。

(2) デジタル写真測量システム

現在進行中の開発システムはデジタル写真測量システムである。従来の写真測量システムはフィルムをベースとした精密な光学系でできているものである。これをデジタル画像をベースとした画像処理機で実現することで、多くの利点が生じる。

最大の利点は自動計測であるがこれは上記のステレオマッチングと同じものである。他の利点は画像処理を援用して表示、拡大などの機能を簡単に持たせられ、CADとの通信も容易であることである。

開発上の問題の1つは大量の画像の圧縮、復元、転送をどう行うかであって、研究室ではJPEG方式の画像圧縮で、圧縮率と計測精度の劣化との定量的関係を調査した。その結果1/10程度までの圧縮であれば、有意のレベルまでの劣化は起こらないことが明らかになった。

もう1つの問題点は標定の自動化である。現在のところ完全自動化には至っていないが、相互標定の半自動化までできるようになった。これはオペレータが画面で相互標定点の概略の対応をつければ、計算機が最小2乗相関法でサブピクセルまでの対応を自動で付けるものである。これまでに最小2乗相関法でのマッチング精度、収束の精度、安定性、能率を明らかにした。また同方法の収束半径が狭いため、画像処理を援用することで、これを十分な広さまで拡大する手続きを開発した。

むすび

これまでの研究は、内外の学術雑誌および学会で発表してきたが、まだ目的地までの先は遠い。今後とも学生諸君と一体に研究、教育活動を進めていきたいと思う。