

# 高精細度一次元 CCD による実画像三次元画像解析の研究

奈倉理一<sup>1</sup>・山下大介<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 電気電子工学科

<sup>2</sup> 大学院工学研究科電気電子工学専攻

The study of real image 3-dimensional analysis using high resolution linear CCD

Daisuke YAMASHITA, Riichi NAGURA

## Abstract

There are various types in the noise included in image, such as a random noise existing in photodetector and a thermal noise existing in an electronic circuit. It becomes an important indicator for evaluating an imaging system to get to know the affects of each noise. In this paper, we perform 3-dimensional analysis and consider affects of each noise. We analyze an image of ideal state where only Multiplicative Noise or Additive White Gaussian Noise exists. Further, we show that we can improve S/N with time delay integration.

Key Words: Multiplicative Noise, Additive White Gaussian Noise, 3-dimensional information, Time Delay Integration

## 1. まえがき

人工衛星の1次元 CCD を用いた撮像システムからは軌道が正確で広範囲の画像撮像が可能であり、異なる角度からの立体視観測から3次元情報を抽出できる。また、多方向撮像により高さ情報の抽出精度を高めることも検討されている<sup>[1]</sup>。さらに高さ情報の抽出精度を向上させるためには、観測システムの分解能を高める必要があるが、システムに到達する光量は、この高分解能化によって急激に減少するため光学系の口径を大きくしなければならない、しかしシステムが巨大化してしまうため現実的には大口径の光学系の搭載は困難であり、撮像画像の信号対雑音比が小さくなってしまいうことが問題になっている。したがって、本質的な高さ情報抽出精度改善には画像の S/N 向上が必要である。

人工衛星の撮像システム等における、複数の1次元 CCD 出力を合成する時間遅延積分方式は、光学系の口径を増加させずに高品質画像を得ることができる優れた方式である<sup>[2]</sup>。本稿では、光検出器出力での雑音(Multiplicative Noise)と電子回路系での雑音(Additive White Gaussian Noise)について、それぞれの雑音のみが存在する理想的な状態において3次元情報の抽出を行い、それぞ

れの雑音が画像解析に与える影響を検証し、さらに時間遅延積分による S/N 改善効果を示す。

## 2. 時間遅延積分の原理

時間遅延積分方式は図1に示すように撮像用光学系の結像面に、衛星の進行方向と直角の方向に複数の1次元 CCD を配列させて撮像を行い、この出力をそれぞれの時間遅れを補正して合成することにより信号量の増加及び SN 比改善を図る方式である。

図1に示すように  $n$  組の1次元 CCD は地表面の衛星進行方向に互いに距離  $p_y$  だけ離れた地点を撮像しながら地表との相対速度  $v$  で進行する。各 CCD が同一地点を撮像する時間差は、 $\tau_p = p_y / v$  となり、各 CCD の距離が等しい場合には図に示すように  $\tau_p$  の整数倍の遅延時間を各 CCD の出力信号に加えることにより、地表の同一地点を撮像した信号が加算され出力信号を  $n$  倍に増加させることができる。

一方、雑音は、独立変動量とみなせるため、 $n$  組の CCD 出力の加算により、出力雑音は  $\sqrt{n}$  倍となり、理論的には合成する CCD の配列数  $n$  の平方根  $\sqrt{n}$  倍に比例して SN 比を改善できる<sup>[3]</sup>。

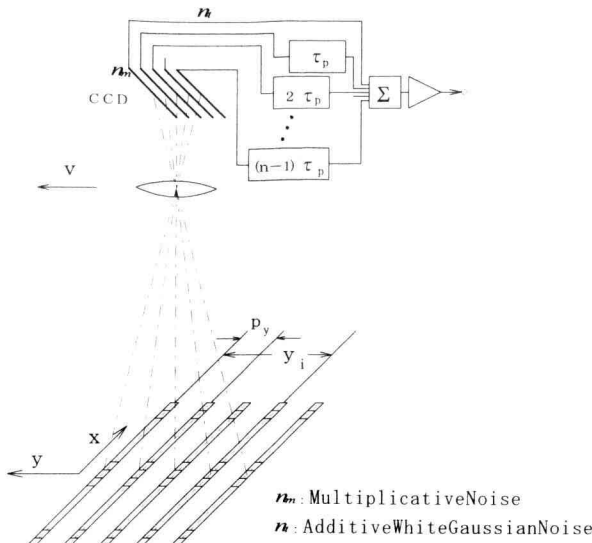


図1 時間遅延積分方式原理図

### 3. 画像に加わる雑音

光検出器の光から電気への変換作用の本質は、確率的な過程であり、入射光電力が一定であっても電子の発生はランダムである。τ秒間に発生する平均電子数を  $N$  とすると、τ秒間に  $n$  個の電子が発生する確率  $p\{n, \tau\}$  はポアソン分布に従い、次式で表される<sup>[4][5]</sup>。

$$p\{n, \tau\} = \frac{N^n \exp(-N)}{n!} \quad (3.1)$$

ポアソン分布の場合は分散と平均値が等しい。したがって発生する電子数  $n$  の分散は平均値  $N$  に等しくなる。式(3.1)に従えば、理想的な光検出器においては、光入力信号がない時には信号及び雑音電力は生じない。しかし実際の光検出器においては、入力光量に無関係な暗電流による雑音や電子回路系における熱雑音が、ランダム雑音として信号に加算される。本研究では、信号に乗算的に加わる光検出器出力雑音(Multiplicative Noise)と加算的に加わる電子回路系での出力雑音(Additive White Gaussian Noise:以下 AWGN)をシミュレーション画像に加え、それぞれの雑音が画像解析に与える影響を検証する。

### 4. 3次元情報解析

#### 4.1. ステレオ撮像

人間が両眼の視差によって立体を認識することと同様に、異なる角度の2点から撮像したステレオ画像から3次元情報を計測することができる。

異なる角度からの撮像による立体撮像原理を図2に示す。

図に示すように、高さ  $h$  の物体を垂直方向から角度  $\theta$  だけ傾いた方向から撮像する場合を考える。角度  $\theta$  の方向から撮像する場合には、高さ  $h$  の点  $P$  は高さ  $0$  の点  $O$  を観測する場合に比較して、横方向に  $PQ = x$  だけ

シフトして観測される。図から明らかなように、シフト量  $x$  は次式で表される。

$$x = h \tan \theta \quad (4.1)$$

よってシフト量  $x$  と角度差  $\theta$  から高さ  $h$  を求めることができる<sup>[5]</sup>。

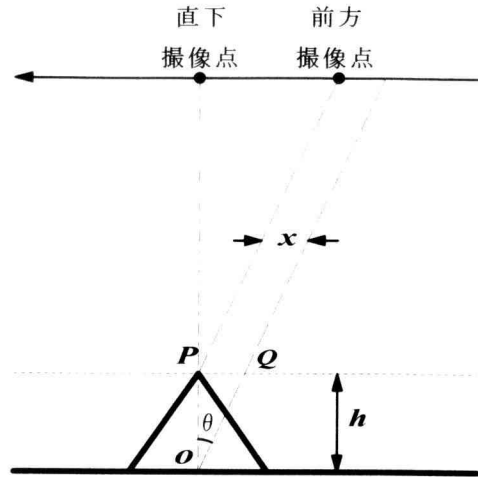


図2 ステレオ撮像

#### 4.2. 対応点検索

ステレオ撮像により得られた2枚の画像からシフト量を求める時の対応点を検索する代表的手法として相関解析がある。この方法は図3に示すように2枚の画像の中にある限定した範囲( $nx \times ny$ )を設定し、この範囲において2枚の画像の相互相関係数  $\rho$  を求める。次に片方の画像を1画素移動させて再度相互相関係数を求める。これを縦横方向に行い、得られた相関係数が最大になる点を求めれば、これが2枚の画像で同一場所を示す対応点となる。以下の式(4.2),(4.3)により各点の相互相関係数を求め、これを全画素  $m \times n$  について計算することにより、2枚の画像の各画素の対応点を求めることができる<sup>[5]</sup>。

$$\rho(i, j, kx, ky) = \frac{\sum_{v=j}^{j+ny} \sum_{u=i}^{i+nx} \{V_1(u, v) - \bar{V}_1\} \{V_2(u - kx, v - ky) - \bar{V}_2\}}{\sqrt{V_{1\sigma}} \sqrt{V_{2\sigma}}} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= \frac{1}{nx \cdot ny} \sum_{v=j}^{j+ny} \sum_{u=i}^{i+nx} V_1(u, v) \\ \bar{V}_2 &= \frac{1}{nx \cdot ny} \sum_{v=j}^{j+ny} \sum_{u=i}^{i+nx} V_2(u - kx, v - ky) \\ V_{1\sigma} &= \sum_{v=j}^{j+ny} \sum_{u=i}^{i+nx} \{V_1(u, v) - \bar{V}_1\}^2 \\ V_{2\sigma} &= \sum_{v=j}^{j+ny} \sum_{u=i}^{i+nx} \{V_2(u - kx, v - ky) - \bar{V}_2\}^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

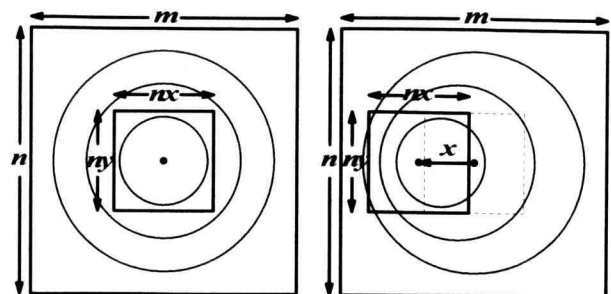


図3 相関解析による高さ検出原理

## 5. 解析結果とその考察

### 5.1. シミュレーション画像

相関解析に使用した 3 次元地形データのステレオ画像を図 4 に示す。(ここでは、相関解析に用いる 2 枚のステレオ画像のうち前方撮像画像のみを示す)。上側の波形は画像中央付近での光入力信号である。縦 512×横 512、最大高さ 128 の 3 次元地形データを高さに比例した明るさで表示し、撮像角は前方・後方各 12 度、入射光仰角 80 度、方位角 45 度とした。図の(a)は雑音を加えない画像、(b),(c)は Multiplicative Noise と AWGN を加えそれぞれ S/N30dB にした画像、図(d),(e)は(b)と(c)に 64 回の時間遅延積分を行った出力画像である。S/N 値は Noise 無しのステレオ画像と Noise を付加させたステレオ画像の差分から平均二乗誤差を取り算出した。

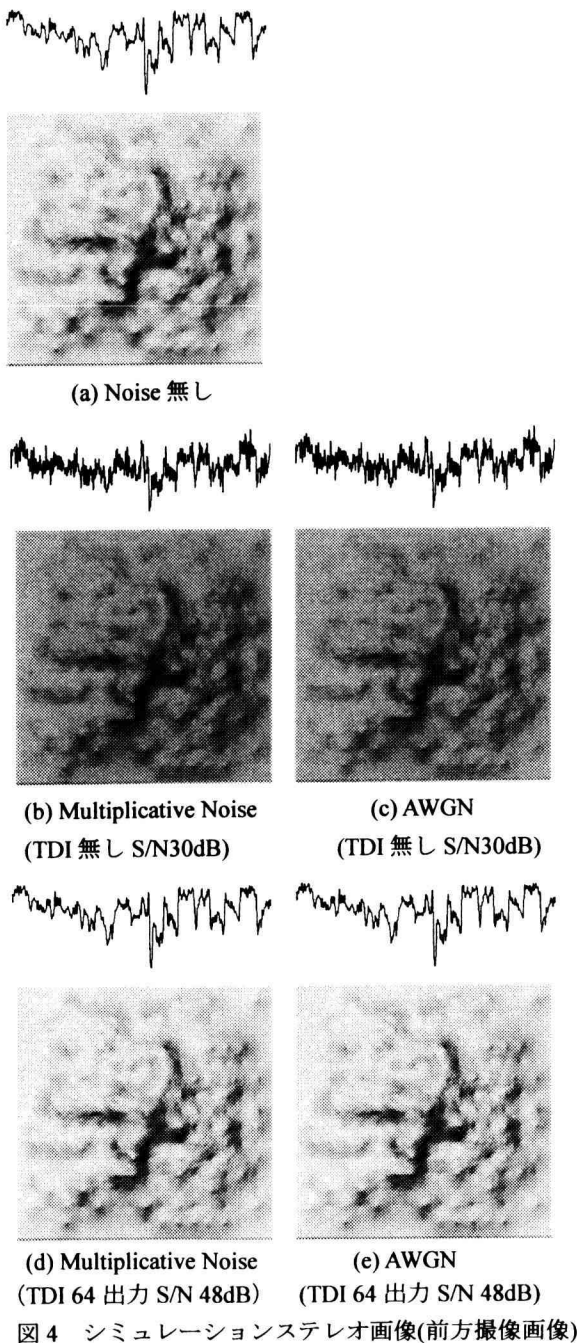


図 4 シミュレーションステレオ画像(前方撮像画像)

### 5.2. 3 次元情報抽出結果

相関解析結果を図 5 に示す。ここでは雑音の性質ごとに、TDI を行わない場合の解析結果と積分回数 64 回の解析結果において同程度のエラーピクセル数となった画像を示す。本研究では、相関解析結果画像と入力画像の差分を取り、この差分信号レベルが一定以上の値となる場合にその画素をエラーピクセルとしてカウントし、全画素数に対する百分率で表した値を抽出精度の指標とした。

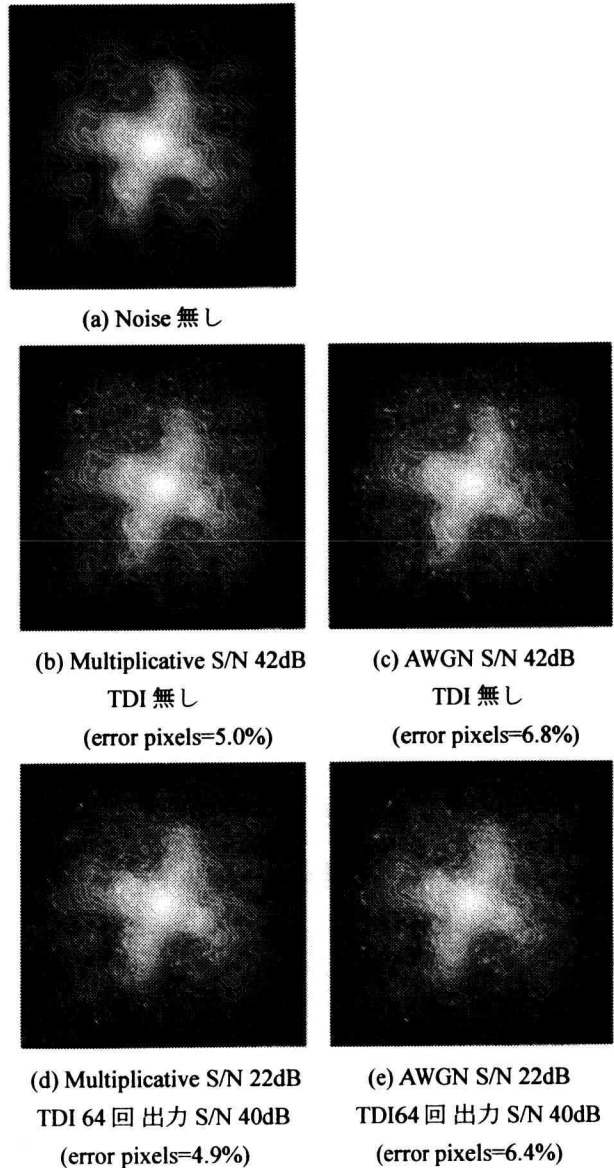


図 5 3 次元情報抽出結果

### 5.3. 考察

図 5 の解析結果画像より時間遅延積分を行った場合は、行わない場合に比べ、同程度のエラーピクセル数においても、エラーとなる画素が広範囲に分散している。これは信号の積分により、雑音成分が平均化されたためであると考えられる。また、図 5.(b)(c), (d)(e)それぞれにおいて同じ S/N においては、AWGN に比べ Multiplicative Noise のほうがわずかにエラーピクセル数が少ないことが確認できる。さらに TDI 出力 S/N が TDI を行わない場合の

S/N に比べ、低い値でも、同程度以上の精度で、3次元情報を抽出できることも確認できた。

相関解析におけるエラーピクセルと S/N の関係を図 6 に示す。また時間遅延積分による S/N 改善比を図 7 に示す。

図 6 より Multiplicative Noise を付加した画像は AWGN を加えた画像に比べ同じ SN 比において数%程度 3次元情報の抽出精度が高いことから画像解析においては光検出器出力段階でのノイズよりも電子回路系などにおけるランダム雑音の影響が大きいと考えられる。しかしこれについてはシミュレーション画像の信号レベルが全体的に低いことからノイズ成分が減少したと考えることもできるため、信号レベルが均一分布な画像を作成し、解析を行うことで、雑音の特性を検証していく必要がある。また時間遅延積分の効果については図 7 から解る通り、積分回数  $n$  に対して S/N 改善比は  $20 \log \sqrt{n} \text{ [dB]}$  となり、理論通りの SN 改善率を確認できた。

3次元情報の抽出結果については、どの積分回数においてもおよそ 46dB 程度でエラーピクセルが 0 となった。これより実用的な高さデータを抽出するため、エラーピクセルを抑えるには、43dB 程度の SN 比が必要であると考えられる。

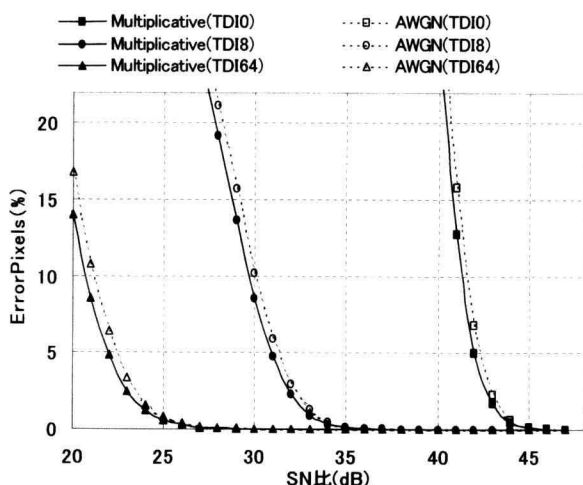


図 6 S/N と Error Pixel の関係

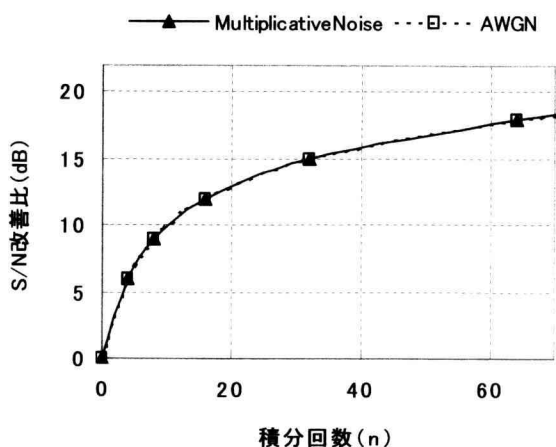


図 7 時間遅延積分による S/N 改善効果

## 6. 結論

本稿では、シミュレーション画像に Multiplicative Noise を付加した画像と Additive White Gaussian Noise を付加し

た画像を作成し、2種類の画像に、1次元 CCD での撮像における S/N 改善方法である時間遅延積分を行った場合と、行わない場合について相関解析を行い、エラーピクセル数の違いから、画像解析において、影響を及ぼす雑音の性質と、時間遅延積分の SN 比改善効果を示した。この結果

①：相関解析法において、時間遅延積分を行わない場合、実用的に 3次元情報を抽出するにはおよそ 43dB 以上の SN 比が必要であると考えられる。

②：時間遅延積分の効果については、8回の積分で 9dB、64回の積分で 18dB の S/N 改善比が得られ、理論通りの SN 改善率を確認することができ、光学系の小型化に大きく貢献することが確認できた。

③：光検出器出力雑音と電子回路系での雑音では、3次元情報を抽出する過程において電子回路系でのランダム雑音の方が大きい影響を与え、この値を小さくすることが重要であることが確認できた。

今後の課題として実際の TDI カメラを使用した解析を行い、シミュレーション結果との比較・検討を行うことが必要であるが、この TDI カメラでの撮像においては、カメラの回転や、撮像物体との距離により画像のひずみが生じることも考えられ、このひずみが 3次元情報の抽出に及ぼす影響を考察することが重要になってくる。また様々なパターンの画像により解析を行い、さらに雑音の影響についての検討を行う必要がある。

## 文献

- [1] 赤松秀樹, 奈倉理一, 佐藤邦弘, 森本雅和, “多方向ステレオ画像からの 3次元情報抽出と高効率データ圧縮方式に関する検討,” 電気学会論文誌, vol.120-c, no.11, pp1567-1573, Nov.2000.
- [2] 奈倉理一, “高分解能地球画像の時間遅延積分による画質向上,” 電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会資料, SANE92-103, pp13-18, 1995.
- [3] 奈倉理一, “高分解能地球観測における時間遅延積分による SN 比改善効果の検討,” 電子情報通信学会論文誌 B-II, vol.J77-B-II, no.6, pp325-333, Jun.1994.
- [4] Yousef Hawwar, and Ali Reza, “Spatially Adaptive Multiplicative Noise Image Denoising Technique,” IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, vol.11, no.12, December 2002.
- [5] 奈倉理一, 安居院猛, 3次元画像解析, pp30-39, pp116-119, 株式会社昭晃堂, 東京, 2001.