

航空機レーザスキャナ取得データの圧縮・伝送方法の研究



寺岡 延尉* 笹川 正* 浅沼 俊一* 夏目 佳史*

1. はじめに

災害時の建物倒壊判読の手法として、航空機レーザ計測により取得した3次元データから、災害前後を差分比較する方法が考えられる。その際、緊急性に対応するため、航空機上で取得した膨大なデータを如何にリアルタイムで地上基地局に伝送するかが大きな課題となる。そこで本研究では、まず取得したデータを現状の伝送速度で地上に伝送する為に必要な圧縮率を定義し、汎用的な圧縮手法で圧縮を試みた。しかし、必要な圧縮率を満たせないことからリアルタイム伝送が実現可能な可逆圧縮手法および非可逆圧縮手法の研究を行った。特に非可逆圧縮手法においては、短時間の処理により標準ビューアで閲覧可能な画像の作成にも応用可能であり、その有用性が確認できたので合わせて報告する。

2. レーザスキャナ取得データの圧縮伝送

2.1 航空機からのデータ伝送速度

航空機伝送の実績として、現独立行政法人情報通信機構（旧総務省通信総合研究所）がN-STAR衛星を利用し、航空機から地上に向けて機上撮影したデータのリアルタイム伝送実験に成功したとの報告がある。また、超高速インターネット衛星WINDSの利用を想定したパイロット実験も行われている。

これら伝送実験および、パイロット実験で報告されている伝送速度は最大6.0Mbpsである。

同実験の報告によれば、伝送効率の最も悪い状態が50%であったことから、本研究では伝送効率を50%と仮定し、実質的な伝送速度を3.0Mbpsと規定した。

2.2 目標圧縮率の算出

本研究におけるリアルタイムでのレーザスキャナ取得データの伝送とは、航空機の撮影終了直後数分以内に、地上へのデータ伝送が完了することを指す。この伝送を実現するためには、撮影したデータの容量が一定量に達する度に出力し、n番目に出来されたデータを、n+1番目のデータが出力されるまでに圧縮し、n+2番目のデータが出力されるまでに伝送するというような時間制限を解決しなければならない。

このことから、1つのデータが出力されるまでの時間内に圧縮が完了可能であり、かつ実質伝送速度での通信が可能な圧縮率を満たすような圧縮方式が必要となる。

航空機撮影で取得されるパルスデータと、航空機の位置および傾きを表すGPS/IMUのデータ量を単位時間当たりのデータ量に換算し、さらに前項で規定した実質伝送速度での通信時に必要な圧縮率の算出を行った。なお、ここで言うパルスデータとはレーザ測量によるデータを表し、レーザスキャナ取得データとはパルスデータとGPS/IMUデータを含めたデータを表す。

パラメータ、および算出式を以下に示す。

* 株式会社パスコ

$$BS = BP \times PR \quad (2-1)$$

BS : 1秒間のレーザデータ量 (Byte · point/sec)
 BP : 1パルスデータを構成するバイト数 (Byte)
 PR : パルスレート (Hz)
 1秒間のレーザ発射回数 (point/sec)

ここで、BPは利用データの規定値32Byte、PRは現行の最大レートである83KHzを想定したので、式2-1よりBSが求まる。これにGPS/IMUの1秒あたりのデータ量を加えた容量が、前項の伝送速度3.0Mbps以下になるような係数を算出する。この係数が目標圧縮率となる。

この結果、元データ容量の約14%、つまり最低でも1/7以下の容量にまで圧縮する必要があることから、最終的な圧縮目標を10%以下とした。

2.3 目標圧縮時間の算出

目標圧縮時間に関しては、前述の通りn番目のデータ取得後、n+1番目のデータが出力されるまでの間に処理が完了すればよい。以下の式により目標圧縮時間を算出することができる。

$$T = \frac{OS}{BP \times PR} \quad (2-2)$$

T : 1データが出力されるまでの時間 (sec)
 BP : 1パルスデータを構成するバイト数 (Byte)
 PR : パルスレート (Hz)
 OS : 出力サイズ (Byte)

本研究で利用したパルスデータは、撮影時のデータ量が最大16MByteになると出力されるため、OSは16MByteとなる。BPおよびPRは式2-1と同様であるため、式2-2よりTが求まる。

ただし、出力されるデータ量は1ラインの撮影終了時に16MByteより小さい値になる場

合があるため、処理時間を1MByte単位で算出する。

よって、16MByteのデータが出力される時間は6.3秒となることから、1MByteあたり0.4秒以内の処理速度であることを目標とした。

2.4 航空機データ量および撮影条件

表2.1に、実際に利用した航空機取得データ量、表2.2に撮影条件を記述する。この撮影条件は、災害発生直後の撮影を想定したものであり、撮影面積は100km²とした。なお、2004年10月23日に発生した中越震災直後の撮影範囲は約80km²であったので、撮影範囲の想定は妥当な広さであると考える。

表2.1 航空機取得データ量

データ内容	データ量 (MByte)
パルスデータ	12,570
GPS/IMUデータ	478

表2.2 撮影条件

項目	数値
全スキャンライン数	41ライン
1パルスデータを構成するバイト数	32Byte
総飛行時間	4時間20分
撮影時間	2時間8分
撮影面積	100km ²
対地高度	5,900フィート
飛行速度	110ノット
パルスレート	50,000Hz、 52,000Hz
視野角 (FOV)	20.0 °
スキャンレート	40Hz
サイドラップ	30%

3. 可逆圧縮手法の開発

3.1 航空機取得データの解析

レーザスキャナにて取得したパルスデータは、図3.1に示すように「レーザ発射時間」、「ミラー回転角度」、「レーザ往復時間」の3種のバイナリデータを主として構成される。

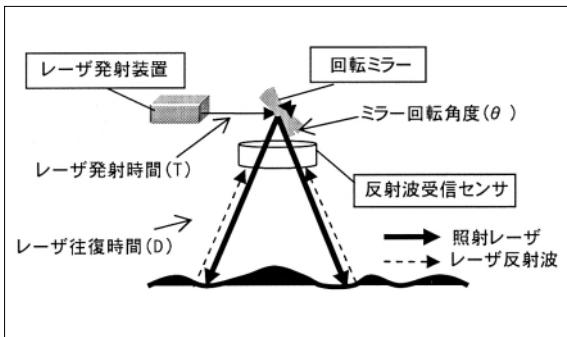


図3.1 パルスデータおよび計測システム

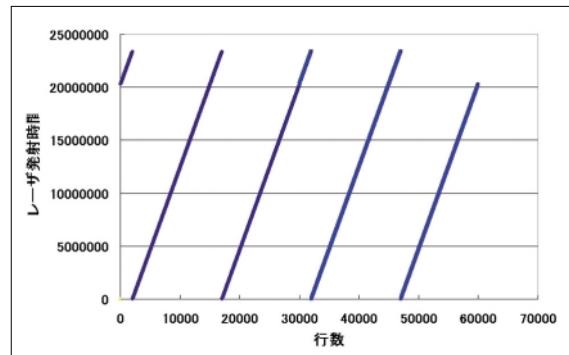


図3.2 レーザ発射時間

パルスデータを分離した各データの連続性を図3.2、図3.3、図3.4に示す。図の横軸は時間を、縦軸はそれぞれのデータの値となるが、どちらもレーザデータフォーマット特有の変換された数値であるため、基本的に単位は存在しない。

レーザ発射時間は、定期的にレーザを発射する機構となっていることから、0から1(秒)までを1周期として値が増加していく、ほぼ直線状のデータ分布となる。

ミラー回転角度は機器設定に対応した負の角度-xから正の角度xまでを1周期として回転するため、ほぼ正弦波状のデータ分布となる。この角度は視野角(FOV)と対応している。

リターン次数Mのレーザ往復時間は、ミラー回転角度と地物形状の影響から、地物形状を重畳しているため、ほぼ正弦波状のデータ分布となり、雲や塵等に反射した空中ノイズを中心としたノイズ群も含まれる。なお、図3.4に記述しているレーザ往復時間のリターン次数は1である。本圧縮手法は可逆圧縮であるため、ノイズも含めて圧縮を行うが、このノイズが多いほどデータのばらつきが大きくなり、符号化効率が低下してしまう。

3.2 圧縮手法

本研究では、パルスデータを3種のデータ群に分離し、各々のデータ特性から最適な圧

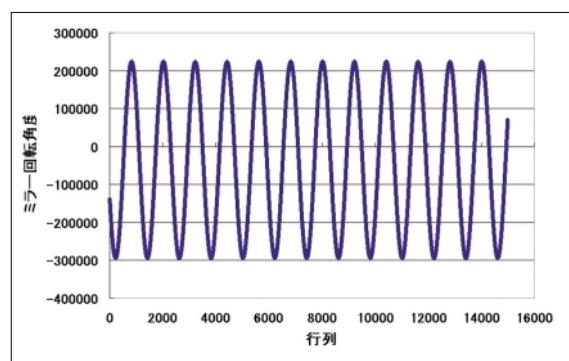


図3.3 ミラー回転角度

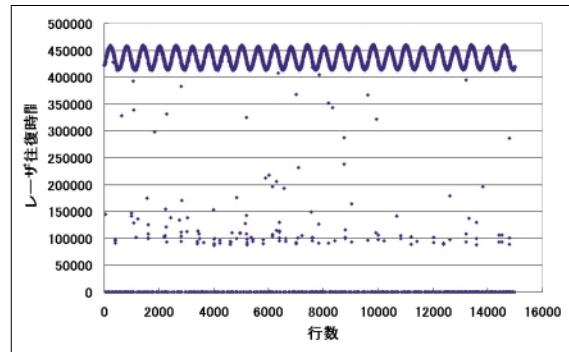


図3.4 レーザ往復時間(1次)

縮手法を選定した。

各データ群の圧縮手法検討および、評価用パラメータの一例として圧縮時のデータ削減率(1パルスデータの圧縮後の平均バイト量/1パルスデータのオリジナルのバイト量)を表3.1、表3.2、表3.3に記述する。

データ削減率は、例えば1.0/3.0Byteの場合、元々3.0Byteのデータを1.0Byteに圧縮、つまり約1/3に圧縮することが可能であることを表している。

表3.1 レーザ発射時間圧縮手法検討

圧縮手法	データ削減率
直線近似差分方式	1.97/3.0Byte
最小2乗法 近似差分方式	1.86/3.0Byte
隣接1次差分方式	2.0/3.0Byte
隣接2次差分方式	1.0/3.0Byte

以下、検討した圧縮手法について記述する。

(1) 直線近似差分方式

図3-2の分布状況を解析し、直線分布部分について、始点と終点とを結んだ1次式を求め近似直線とする。近似直線上で実際の時間データとの差分を算出し、圧縮データとして保存する。

(2) 最小2乗法近似差分方式

分布状況の解析結果から直線分布部分について、始点と終点との間のデータから最小2乗法を用いて近似式を求め、これを近似直線とする。近似直線上で実際の時間データとの差分を算出し、圧縮データとして保存する。

(3) 隣接1次差分方式

直線分布部分について、時間データのn+1行目とn行目の差分を算出し、圧縮データとして保存する。

直線計算はそれぞれの直線毎に再計算することにより求める。

(4) 隣接2次差分方式

直線分布部分について、時間データのn+1行目とn行目の差分データをdとすると、di+1とdiの差分(2次差分)を算出し、圧縮データとして保存する。

表3.2 ミラー回転角度圧縮手法検討

圧縮手法	データ削減率
スタティックSIN方式	1.96/3.0Byte
ダイナミックSIN方式	1.83/3.0Byte
隣接1次差分方式	1.94/3.0Byte
隣接2次差分方式	1.01/3.0Byte

(1) スタティックSIN方式

正弦波で角度データを近似し、これを近似曲線とする。正弦波のパラメータは、パルスレートに応じた固定値を用いる。近似曲線上で実際の角度データとの差分を算出し、圧縮データとして保存する。

(2) ダイナミックSIN方式

正弦波で角度データを近似し、これを近似曲線とする。パラメータは、角度データから動的に算出する。近似曲線上で実際の角度データとの差分を算出し、圧縮データとして保存する。また、近似曲線を生成する度(1周期毎)にパラメータの値も保存しておく。

(3) 隣接1次差分方式

角度データのn+1行目とn行目の差分を算出し、圧縮データとして保存する。

(4) 隣接2次差分方式

角度データのn+1行目とn行目の差分データをdとしたときの、di+1とdiの差分(2次差分)を算出し、圧縮データとして保存する。

表3.3 レーザ往復時間圧縮手法検討

圧縮手法	データ削減率
スタティックSIN方式	2.53/4.0Byte
ダイナミックSIN方式	2.21/4.0Byte
1次差分方式	1.43/4.0Byte
隣接2次差分方式	1.84/4.0Byte

(1) スタティックSIN方式

波形データ部分を正弦波で近似し、これを

近似曲線とする。近似曲線上で実際の距離データとの差分を算出し、圧縮データとして保存する。

(2) 最小2乗法SIN近似方式

角度データの波形の周期と距離データの波形の周期には、1対2となる関係がある。この関係を利用して、角度データから距離データを近似する正弦波の周期を導き、1周期中のデータを用いて、最小二乗法により曲線の近似式を作成し、これを近似曲線とする。

(3) 1次差分方式

複数の距離データのうち、値が0のデータは保存しない。その代わりに0でないデータの位置を示す何らかの値を1行毎に付加する。1次パルスデータは、n+1行目とn行目の差分データを算出し、1次パルスの圧縮データとして差分値を保存する。2次パルスデータは、1次パルスデータとの差分値を算出し、圧縮データとして保存する。3次パルスデータ以降は、2次パルスデータと同様に差分値を求めるが、例えば2次パルスデータが存在しない場合は1次パルスデータを利用して差分を算出し、圧縮データとして保存する。

(4) 隣接2次差分方式

距離データのn+1行目とn行目の差分データをd_{i+1}とd_iの差分(2次差分)を算出し、圧縮データとして保存する。(3)とは異なり、データの有無は考慮せず、n+1行目のM次パルスとn行目のM次パルス同士で差分を算出する。

表3.4に選定した圧縮手法を示す。

表3.4 選定圧縮手法

データ	圧縮フォーマット
レーザ発射時間	隣接2次差分方式・インデックス方式
ミラー回転角度	隣接2次差分方式
レーザ往復時間	1次差分方式
GPS/IMU	隣接1次差分方式

レーザ発射時間に隣接2次差分方式を利用した結果、全体の99%以上の値が特定範囲の値に置き換えられることから、あらかじめ出現パターンを決定し、特定パターンの文字列を一文字に置き換えるインデックス方式を採用した。¹⁾これにより、隣接2次差分方式を行った後のデータ量を約1/4にすることが可能となった。

なお、レーザ往復時間での1次差分方式について、図3.5、図3.6に詳細内容を示す。

【縦方向】
時系列での差分
【横方向】
リターン数での差分

時間	M次パルス	M+1次パルス	M+2次パルス
n	100	0	0
n+1	200	300	0
n+2	301	0	400
n+3	400	450	500

図3.5 オリジナルレーザ往復時間

時間	M次パルス	M+1次パルス	M+2次パルス
n	100	0	0
n+1	100	100	0
n+2	101	0	99
n+3	99	50	50

図3.6 レーザ往復時間の差分イメージ

3.3 結果

本圧縮方式を利用した結果を表3.5に、汎用的な圧縮方式との比較図を図3.7に示す。

表3.5 圧縮結果

データ	圧縮率(%)	圧縮時間(分)	復元時間(分)
パルスデータ	7.13	41	71
GPS/IMUデータ	47.94	15	23
全データ	8.63	56	94

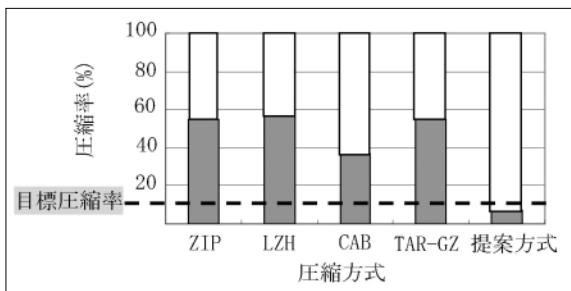


図3.7 標準圧縮方式との比較結果

図3.7に示す通り、本圧縮方式により圧縮率は8.6%となり、最終目標である10%以下の圧縮率を満たし、全体的な圧縮時間についても飛行時間である4時間20分（うち実質データ取得時間2時間8分）より短い時間となつた。また、パルスデータに関しては、1MByte単位での圧縮処理時間は0.197秒となり、目標である0.4秒を上回った。これにより、実際に通信環境が整った際、リアルタイムでのレーザスキャナ取得データの伝送が理論的に可能であると言える。

4. 非可逆圧縮手法の速報データ生成への応用

4.1 画像変換手法

レーザ計測の難点として、後処理工程が複数存在し、それぞれに専門的なソフトウェアおよび知識が必要である上、現行の処理で画像化を行うにはPOS解析やGPS/IMU補正等の処理が必要になるため多大な時間が必要となることが挙げられる。また、精度と品質はトレードオフの関係にあるため、高精度のデータを作成する場合には相応の処理時間を要する。

ここで、パルスデータのレーザ往復時間から求めた標高値を、画素の点として配置することで画像に置き換え、非可逆画像圧縮の手法を利用すると、短時間の処理で標準のビューアで閲覧可能な画像を作成することが可能になるため、一つの解決策として提案する。

ただし、飛行機の傾き等の補正が行われておらず、1ライン毎の点数は一定でないため、中心位置の決定、不足データの充填、1ライン毎の方向反転等の作業が必要となる。標高から画像への変換イメージを図4.1に示す。

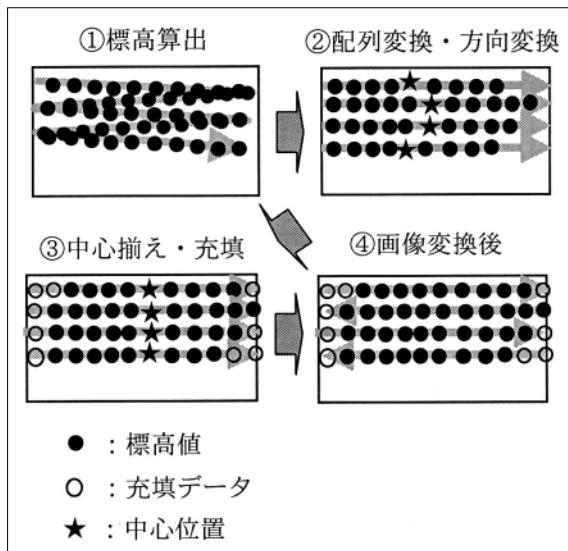


図4.1 変換イメージ

まず の処理で、パルスデータのレーザ往復時間から標高値を算出する。初期状態ではデータ取得方向が列毎に逆方向となっているため、 の処理で同方向の配列の形に変換する。この時にミラー回転角度から各列の中心位置を把握しておく。 の処理で中心位置に揃えてデータ位置を変更するが、各列のデータ数は一定ではないため、ほとんどの行でデータ数が不足してしまうため、仮データとして0、あるいは255といった極端なデータによって充填して各列のデータ数を一定にする。この操作を行うことで、幅と列が等しく

なり、画像に変換することが可能となる。

この手法で変換した結果(以下速報データとする)と、現行処理で画像化した結果を図4.2に示す。

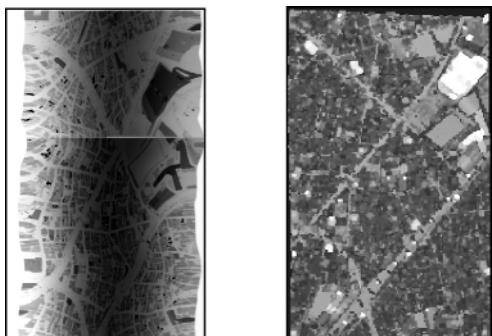


図4.2 結果(左:速報データ、右:現行処理)

速報データは、現行のソフトウェアでは位置標定ができないため、全体像がいびつであるが、現行処理の画像と比較するとおおよその位置は判読できることが確認できた。

4.2 検証

速報データの判読能の検証を行うにあたり、2004年10月23日に発生した、中越震災時のデータを利用した。

10月29日に撮影したレーザスキャナ取得データから速報データを作成し、10月28日に撮影した航空写真との比較を行った。図4.3に山古志村周辺の速報データを、図4.4に航空写真を示す。



図4.3 速報データ

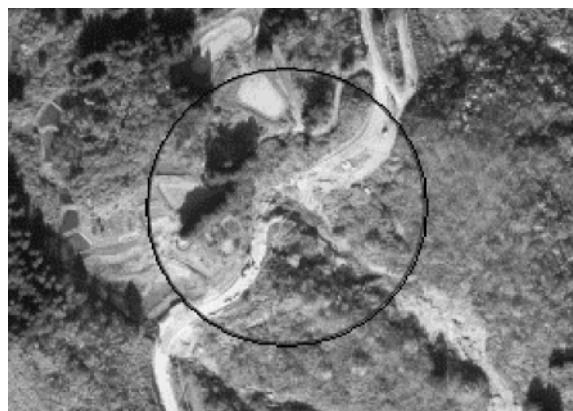


図4.4 航空写真

4.3 結果

今回の検証で利用可能な画像は山間部のみであったため、土砂崩れを変化対象とした。丸で囲まれた個所が土砂崩れの場所となっている。速報データ上では黒く変化しており、高さ情報から変化を判読することも可能であることがわかる。

現行の処理と、本研究の画像変換処理との処理時間の比較を表4.1に示す。なお、データ総量は約2.7GByteである。

表4.1 処理時間

現行処理時間	画像変換処理時間
2~3時間	98.437sec

表4.1での現行の処理時間は計算処理のみの時間であり、前段階の処理として位置精度の向上や、ノイズ除去等を行うため、実作業では1日以上の時間が必要である。

一方の画像変換処理はGPS/IMU補正を行っていないために高い精度は望めないが、現行処理に比べて作業時間が非常に短く、かつ現行の処理方法と並行作業が可能である。例えば災害が発生した際に被害が大きい地域を速報データで把握しておき、高精度なデータを作成する際に優先順位を付けて作業を行う等の利用方法が考えられる。

5.まとめ

本研究で開発した圧縮手法を利用することで、航空機上で取得したレーザスキャナ取得データのリアルタイム伝送を可能とする圧縮率に到達することが出来た。

また、速報データを利用することで、短時間でパルスデータの内容を確認することができ、実際に圧縮伝送処理と組み合わせることで、作業時間の短縮、即時性に対応したレーザスキャナ取得データの利活用が可能となる。

(発表日2005年6月22日)

謝辞

本研究は、平成16年度総務省「次世代GISの実用化に向けた情報通信技術の研究開発」の一環として行ったものである。総務省および研究参加機関には多大のご協力を頂いた。ここに感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 昌達K'z : 圧縮アルゴリズム～符号化の原理とC言語による実装～ ソフトバンクパブリッシング、2003、pp.29～65
- 2) 宇宙開発事業団 衛星ミッション推進センター：WINDS（超高速インターネット衛星）の概要 参考資料2 第3版、2003
- 3) 橋 菊生、洲浜 智幸、上杉 晃平、久保 孝嘉、加藤 三卓：GPS/IMU直接座標参照システムの精度検証、写真測量学会 平成13年度春季学術講演会発表論文集、2001
- 4) 藤岡 展介：空中レーザー・マッピングとデジタル・カメラ技術の現状とその応用、深田研ライブラリーNo.59、2002
- 5) 笹川 正、橋 菊生：空中直接定位システム（GPS/IMU）の現状と課題、日本測

量調査技術協会論文No.82-14、2000

- 6) 社団法人日本測量協会：空間情報技術の実際、2002
- 7) 航空レーザ測量WG：図解 航空レーザ測量ハンドブック、財団法人日本測量調査技術協会、2004
- 8) 宇宙航空研究開発機構：
http://i-space.jaxa.jp/pilot_experiments/disaster/outline/experiment_p/evaluation.htm
- 9) 2) 宇宙航空研究開発機構：
http://i-space.jaxa.jp/pilot_experiments/medical/14fy Domestic_telemedicine/evaluation/densou_eval.htm

発表者紹介

寺岡 延尉（てらおか のぶやす）
所属：株式会社パスコ

この研究は平成16年度総務省「次世代GISの実用化に向けた情報通信技術の研究開発」の一環として行ったものです。1分1秒でも早く詳しい情報が必要な災害発生直後において、データ提供までの時間短縮を可能にする案の一つとして航空機から地上への圧縮・伝送という研究を行いました。この技術を利用してことで、災害時の情報収集に少しでも役立てれば幸いです。

E-mail : nobuyasu_teraoka@pasco.co.jp

共著

笹川 正（株式会社パスコ）
浅沼 俊一（株式会社パスコ）
夏目 佳史（株式会社パスコ）