

# 現地調査を考慮した 3次元測量計画の最適化システム

ソフトウェアデザイン研究室

都 08-14 上野 敦史

## 1 はじめに

我が国の公共工事では、ダンプ受注の発生や成果品の品質低下などが増えてきたことを受け、価格及び品質が総合的に優れた内容で落札する「総合評価落札方式」の実施が拡大してきた [1]。この実施によって低価格かつ高い技術力・技術提案が求められることとなり、測量業務を行う会社では、1つの対策として、3次元レーザスキャナを導入している。3次元レーザスキャナは、出来形を面的に確認でき、出来形管理密度が濃いものとなる。また維持管理データとして後工事に引き継ぐ事ができるため、品質確保において高い成果をあげている [2]。しかし、スキャナは、計測位置から直接観測が可能な対象物しか計測できないため、屋外広域の構造物の形状計測を行う際のスキャナの計測位置を選択を誤ってしまうと、欠損部分があったり、データ密度が薄い場合がある。また、現地で実測する時に、作業計画で決まっていた計測位置が、何らかの環境の変化で計測出来なくなったとしても、簡単に手直しができず、計画し直すといった問題が生じることがある。そこで本研究では、3次元レーザスキャナの現地調査を考慮し計測点の手直しを可能にすることを目的とする。

## 2 既存研究

スキャナは1つの地点から見通せる表面は対象の形状によって限られており、また計測位置と対象物の間に障害物がある場合も多いため、屋外広域の構造物の形状計測をする場合、計測位置を変えながら複数回の計測を行う。このとき、データに欠損がなく、計測密度が高くなるように、効率的に計測位置を選択するためのビュープランニング法が研究されている [3]。この方法では、計測場所の平面図から構造物の壁面の位置情報と計測候補位置からの壁面の可視性、ならびに壁面を計測することができる場合には、計測候補位置からその壁面を見るときに角距離のパラメータを取得し、2つの数理計画問題を解いている。第1の問題は、全ての壁面を計測するのに必要な最低計測回数を求める問題、第2の問題は定められた計画回数の上限に対し、角距離で決まる最良の計測結果を得るための計測位置の配置を求める問題である。なお、スキャナの位置から対象全体を捉える視野範囲の角度を角距離とし、各壁面に対する最小角距離の設定が可能である。以下はその数理計画問題である。

### 【添字と集合】

$i \in I$ : 計測候補位置とその集合

$j \in J$ : 壁面とその集合

### 【変数】

$$x_i := \begin{cases} 0, & i \text{ で計測しない} \\ 1, & i \text{ で計測する} \end{cases}$$

### 【パラメータ】

$$d_{ij} := \begin{cases} 0, & i \text{ から } j \text{ が計測不可} \\ 1, & i \text{ から } j \text{ が計測可能} \end{cases}$$

$$a_{ij} := \begin{cases} 0, & \\ i \text{ から } j \text{ を見たときの角距離,} & d_{ij} = 0 \\ d_{ij} = 1 \end{cases}$$

$r$ : 計測回数の上限

## 問題

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && \sum_{i \in I} x_i \\ & \text{subject to} && \sum_{i \in I} d_{ij} x_i \geq 1 \quad (\forall j \in J) \\ & && x_i \in \{0, 1\} \quad (\forall j \in J) \end{aligned}$$

## 問題

$$\begin{aligned} & \text{maximize} && \sum_{i \in I, j \in J} a_{ij} x_i \\ & \text{subject to} && \sum_{i \in I} d_{ij} x_i \geq 1 \quad (\forall j \in J) \\ & && \sum_{i \in I} x_i \leq r \\ & && x_i \in \{0, 1\} \quad (\forall j \in J) \end{aligned}$$

## 3 提案手法

既存手法では、平面図から得られる情報だけで、最適計測位置を計算しているため、その計測計画が実施可能であるとは限らない。そこで本研究は、既存手法に基づき、かつ現地調査を考慮して、スキャナの計測位置を再計算できる手法を提案する。実際に計測を行う際に、平面図にはない環境条件により、手直しが必要と判断される場合、その条件を反映させる手段が必要であること、また計測密度が薄い場合に新たに計測位置を適切に増やすことが必要であることから、以下の手法を提案する。

### 3.1 候補点の除外

現地調査を考慮してスキャナの計測位置を再計算することを可能にするため、ユーザによる画像編集機能を設ける。計測できない部分を入力画像において背景と同じ色で塗りつぶすことで、ユーザにとって直感的に現地状況を反映し候補点を設置し直す。

### 3.2 壁面の分割

既存手法では、どれだけ長い壁面でも1つの壁面と捉えてスキャナからの可視性を計算しているため、長い壁面の計測密度が場所によって極端に低くなる可能性があった。そこで長い壁面がある場合は、1度に計測する長さに限度を設け、ユーザが壁面を分割することによって、柔軟な対応ができると考えられる。

## 4 実験

今回の実験では、容易に平面図が手に入る対象構造物として関西大学第4学舎第2実験棟を例にして全周計測を行った。この現地周辺には建物や植込みなどの障害物があり、現地調査も必要であると考えられる。今回の実験では周辺の建物は計測せず、対象構造物だけを計測する。計測候補位置間隔は0.13m、最小角距離20度として計算を行った。この手法は、スキャナの垂直方向の角度を考慮していないので、計測点が壁面に近いところは、スキャナの垂直方向の角度を変えて同じ位置で2回計測を行った。以下の実験フローにより、実験を行う。

## 4.2 実験2, 壁面の分割による計測密度比較

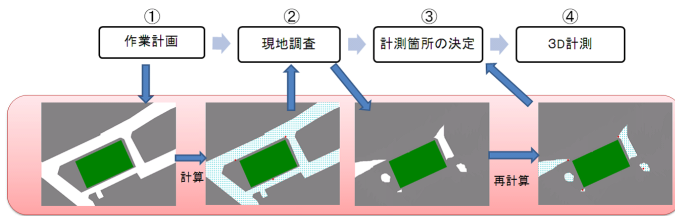


図 1: 実験フロー

### 4.1 実験1, 現地調査による計測位置の変更

- ① 図2の地図から読み取れる計測できない場所を事前に画像化する．その結果を図3に示す．

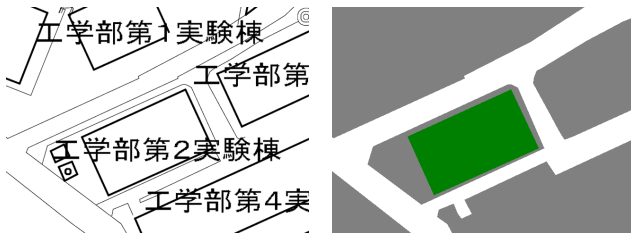


図 2: 第2実験棟周辺平面図 図 3: 対象と計測候補領域

- ② 現地調査を考慮せず、壁面の長さに限度(60m程度)を持たせ計算を行った．行計測候補点 805 個に対し、計測点 3 個となった．その結果を図4に示す．

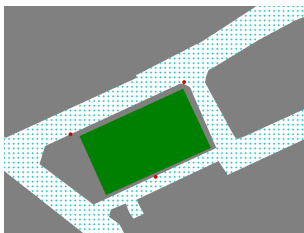


図 4: 計算結果

- ③ 現地調査を行い、計測できない位置があったため、新たに画像編集機能を用いて、画像に反映させ計算を行った．計測候補点 144 個に対し、計測点 4 個となった．その結果を図6に示す．

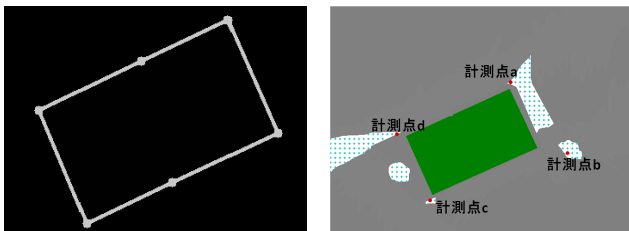


図 5: 線分近似

図 6: 再計算結果

- ④ 図6の計測位置で実際に計測した．図7は計測点 a の上から見た結果で、図8は対象構造物の真上から見た結果である．

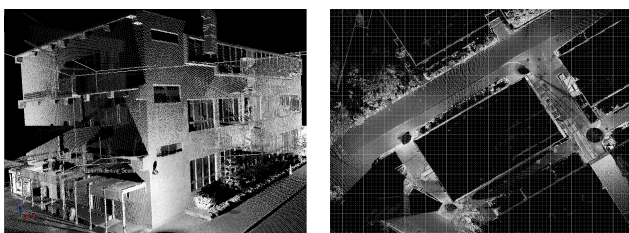


図 7: 結合結果

図 8: 結合結果

- ① 実験1の結果は、壁面の長さに限度を持たせた場合だったが、持たせない場合と計測密度がどれほど違うのかを比較する．限度を持たせず計算を行った場合、計測候補点 144 個に対し、計測点 2 個となった．その結果を図10に示す．

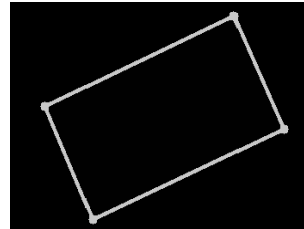


図 9: 線分近似

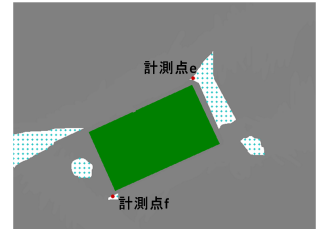


図 10: 計算結果

- ② 図10の計測位置で実際に計測した．図11は計測点 e の上から見た結果で、図12は対象構造物の真上から見た結果である．



図 11: 結合結果

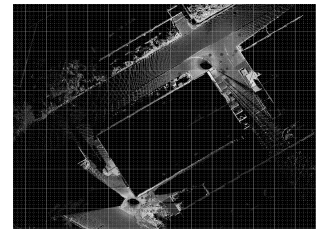


図 12: 結合結果

## 5 おわりに

現地調査を考慮し、手直しを行った上での計測計画は実施可能で現実的なものであった。実験1では、現地調査を考慮し、地図上には無かった樹木の影響や、他の建物による遮蔽により、大幅に計測候補が減少したが、有効な計画が得られた。また壁面に限度を持たせた場合は、持たせない場合に対して、全ての壁面を網羅する上で、良い結果が得られた。今後の課題として、現地で簡単に実行させるために処理全体を一連のアプリケーションで動かすことと、複数の構造物を計測する場合の検証などが挙げられる。

### 参考文献

- [1] 国土交通省, 建設コンサルタント業務等におけるプロポーザル方式及び総合評価落札方式の運用ガイドライン, 2009. <http://www.mlit.go.jp/chohatsu/tutatsu/04/090420-2.pdf>
- [2] NETIS, <http://www.netis.mlit.go.jp/>
- [3] 檀 寛成 他, 数理計画法を用いた屋外構造物の形状計測プランニング, 第13回 画像の認識・理解シンポジウム, P808-815, 2010.