

赤外光の投影による作業過程の三次元形状計測

中村 太祐 日浦 慎作 佐藤 宏介

大阪大学大学院基礎工学研究科

560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

Tel 06-6850-6372 E-mail: nakamu@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp

遠隔地間で協調して作業を行う場合、遠隔地の指示者は作業空間の形状情報を把握することで、より詳細な指示を作業者に与えることが可能となる。しかし、作業空間の形状計測をするために作業の効率が低下してしまうことは好ましくない。そこで、本研究では作業者に意識させることなくシーンの三次元形状の計測を行うことを目標としている。システムは赤外光によるグレイコードパターン投影法を用いることで、作業者に知覚されずに計測を行う。また空間コードを用いてシーンの変化部分を検出し、その部分のみについて計測を行うことで計算量を削減し、再現するシーンのCGモデルから作業者の像を除去する。簡単な組立作業に対して計測を行い、作業者に意識されずに計測できることを確認した。また、計測した作業の過程が記録され、シーンが再現できていることを確認した。

Range imaging of work process using infrared ray projection

Daisuke Nakamura Shinsaku Hiura Kousuke Sato

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

1-3 Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka 560-8531 Japan

Tel 06-6850-6372 E-mail: nakamu@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp

It is useful to visualize 3-D shape of the scene for cooperative work with distant site. However, it is undesirable that the efficiency of work is disturbed by the measurement of the work space. Then, we aim to measure it without consciousness by the worker. The system uses the infrared light for the gray code pattern projection method. Moreover, the computational effort is reduced by measuring only the changed region of the scene detected by the change of spatial code. The worker is also excluded from the CG model of the reconstructed scene. It was confirmed that our system can measure the scene without decreasing the efficiency of the work.

1 はじめに

近年、作業空間の映像を遠隔地に伝送することにより協調して作業を行う研究が進められている。しかし、その多くは通常のカメラを用いて映像を獲得するものであり、3次元情報が欠落していることから、カメラが設置された視点からしか対象を観察することができず、遠隔地から立体的な状況を正確に把握することは困難である。作業対象の配置を容易に把握するためには、シーンを任意の視点から観察することが求められる。

任意の視点からの映像を得るためにカメラ自身を移動させることが考えられる。しかし、この方法ではカメラの移動に時間がかかることや、作業空間が狭ければカメラの移動が作業の障害になるといった問題が考えられる。

そこで、形状計測に基づいた三次元CGモデルの提示により、任意の視点から観察を可能にすることが考えられる。この方法ではカメラの移動による遅延や作業の障害がなく任意の視点からの観察が可能となる。加えて、計測により得られた三次元データを保存しておけば、任意の時間に任意の視点から対象を観察することが可能となる。しかし、高精度な三次元形状計測を行う場合、一般的に光などを対象に投影する能動的な計測手法が用いられるが、この投影される光が作業者の刺激となって作業能率が低下する恐れがある。また一回の計測に数秒かかり、その間に対象が動いているとシーンを正確に再現できないといった問題があるため、作業過程を計測しようとする、一旦作業を中断して退出せねばならず、作業効率が低下してしまう。

そこで、本研究では投影光に不可視の赤外光を用いることにより作業者に知覚されない計測を提案する。また投影されるパターン光によって得られる空間コードから正しく計測でき

ない動的な部分を判別し、作業を中断させることなく作業空間の立体形状を計測し三次元CGモデルを生成する手法を提案する。

2 システム構成

図2-1に示すようにカメラとプロジェクタからなるレンジファインダの配置を行い、プロジェクタからグレイコードパターン光を投影し、その像をカメラにより取り込むことで三角測量法に基づく距離計測を行う。このとき、プロジェクタ・カメラ双方の前に赤外線フィルタを設置することでプロジェクタから投影される光は不可視の赤外光のみとなり、またカメラにはその投影された赤外パターン光のみが取り込まれる。この結果、作業者に知覚されない形状計測が実現される。投影されるパターン光が作業者に知覚されないことから、このグレイコードパターン光を繰り返し投影し、連続的に形状計測を行うことによって作業空間の三次元形状を常に把握する。

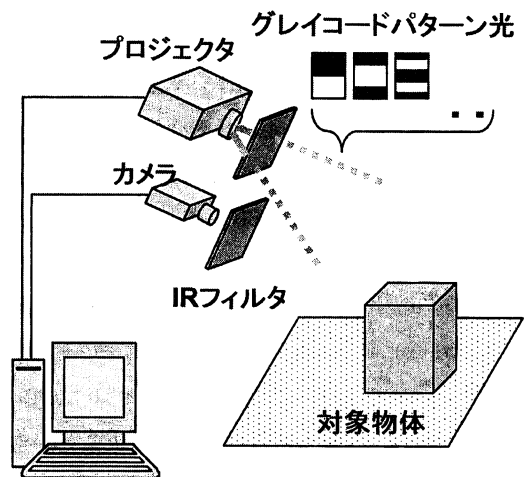


図2-1 システム構成

また、形状計測を行うに前にキャリブレーションを行う必要がある。本研究では、図 2-2 のような一辺 160mm の立方体で、カメラから見える各面の縁に 20mm おきに基準点が描かれている基準物体を用いる。キャリブレーションは赤外線フィルタを設置した状態で行い、これによってカメラパラメータとプロジェクタパラメータをそれぞれ算出することができる。

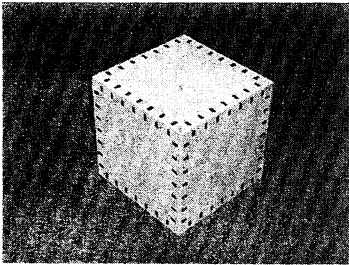


図 2-2 基準立方体

グレイコードパターン投影法は投影するパターン光により測定空間をスリット状に分割する。分割された各スリットには符号が与えられ、この符号は空間コードと呼ばれる。ここで測定対象がパターン光の投影中に動いてしまうと、この空間コードが正しく得られないことからその対象の三次元形状を正しく求めることができない。そのため、グレイコードパターン光投影法には、測定対象は静的でなければならないという制約が存在する。

3 作業過程の計測と CG モデルの生成

カメラの各画素はプロジェクタからの投影パターンを取り込むことで、それぞれ空間コードを保持している。この得られた空間コードを基に各画素に対応した世界座標が計算される。また空間コードが得られたすぐ後に CG モデルのテクスチャとして利用するためにカメラ

からの入力画像を取得する。この各画素に対応した世界座標・輝度を基に三次元 CG モデルの生成を行う。

3.1 シーンの領域判別

先に述べたように本システムは計測の手法上、動的なものは正しく空間コードが得られないことから形状計測を行うことができない。しかし、パターン光投影中も作業は行われており、シーンには作業員や作業対象など動的なものが存在することが考えられる。また、作業員でも静止していたことにより空間コードは正しく得られる部位もあるが、これを再現しても不完全のもので、逆に再現された作業対象を観察する際に障害となってしまう。このような作業員及び動的なものを含んだ画素を「作業領域」とし、この領域は形状計測を行わず、CG モデルとして再現は行わない。

システムを実用的な速度とするためには、形状計測および CG モデル作成のための計算量やデータの伝送を行うネットワークへの負担をできるだけ小さくすることが求められる。しかし、繰り返し得られる空間コードに対して作業領域を除くだけでは負担は依然として大きい。そこで、一度形状計測を行い、その後その部分の形状に変化が起こっていない画素を「不変領域」とし、この領域では空間コードから三次元座標へ変換する処理を行わず、過去に得られた形状計測の結果からシーンの再現を行う。

最後に作業領域・不変領域のどちらでもない画素、つまり作業員によりその形状が変化し空間コードも正しく得られている画素を「変化領域」とする。この領域のみ形状計測を行い、さらにその結果を CG モデルによるシーンの再現に反映させる。

3.2 空間コードを利用した領域判別手法

前節で述べたように各画素を作業・不変・変化の各領域に分類するが、具体的にどのような方法でこの分類を行うか以下に述べる。

まず、作業が行われていない状況のシーン、すなわちシーン全体が静的である状況下で空間コードを取得し、それをマスタとして保持する。そして、各画素で繰り返し取得される空間コードとマスタの空間コードとを比較し、同じであれば不変領域とする。逆に、空間コードが異なる領域は作業領域か変化領域かのいずれかであるが、このマスタとの比較だけでそこが作業領域であるのか変化領域であるのか区別することは困難である。そこで、作業者は静止し続けることはなく、一方作業対象は作業が行われた後、その状態を保持し続けると仮定する。これにより各画素で現在までに空間コードに変化が生じていない回数を数えておき、この回数が設定した値より小さい部分を作業領域とし、逆に回数が設定値と等しい、もしくは設定値より大きい部分を変化領域とする。そして変

化領域でマスタの空間コードの更新を行う。また空間コードから三次元座標への変換処理もこの変化領域でのみ行い、計測された部分のCGモデルを随時更新していくことでシーンの再現を行う。

最初からマスタを使わずに、空間コードに変化が起きていない回数を数え、設定値より小さければ作業領域、等しければ変化領域、大きければ不変領域とする方法も考えられる。しかし、この方法では作業者がカメラの前を横切るなどの行為を行った場合に、全画素で空間コードが変化してしまうため、実際に作業は行われていない多くの部分で再び形状計測を行うことになってしまう。そこでマスタを用いることによりこの冗長な形状計測を行うことを防いでいる。このマスタが更新される一連の様子を図3-1に示す。空間コードは各画素の画素値をその画素の空間コードの値とし、グレイスケールで表現する。また、変化領域と作業領域を区別するための設定値は2回とする。

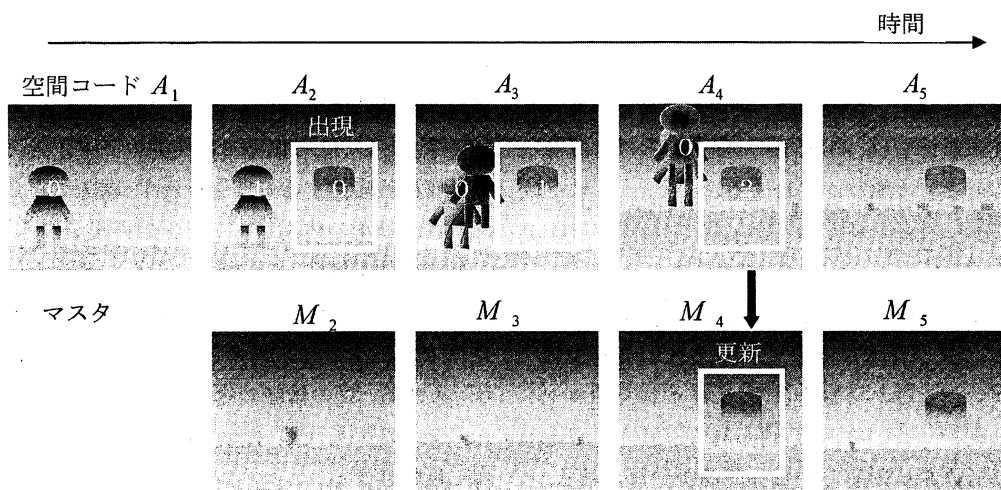


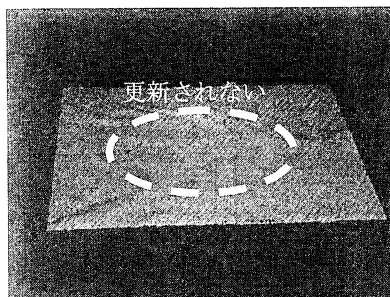
図 3-1 マスタ更新までの流れ

3.3 テクスチャマッピング

CG モデルを生成するにはその形状だけではなくテクスチャも必要である。本システムではカメラから得られる入力画像をテクスチャに利用する。先に述べたように形状は変化領域のみ更新していくことによってシーンの再現を行う。しかし、テクスチャについても形状の場合と同様に変化領域のみを更新していくと、例えば薄い紙のようなものをシーンに追加するといった形状変化を伴わない作業に対してシーンを正確に再現できない(図 3-2a)。しかし、得られる入力画像を用いて全領域を毎回更新していくと、形状の比較により除いた作業者のテクスチャがマッピングされてしまう(図 3-2b)。そこで、3.2 節で述べた不変領域と変化領域の部分についてテクスチャを更新する(図 3-2c)。本システムにおいて CG モデルの更新を行う画素の領域を形状・テクスチャについて表 3-1 にまとめて示す。

一枚の入力画像からどの部分をテクスチャとして用いるかを述べてきたが、繰り返し得られる入力画像の中でいつ得られた入力画像をテクスチャとして用いれば良いかという問題もある。例えばちょうど今得られた入力画像をテクスチャとして用いると、空間コードを得るタイミングと入力画像を得るタイミングに若干のずれが存在するため、空間コードを得た後に作業者がカメラに写りこんでしまい正確な CG モデルを生成することができないことがある。また図 3-3 のように形状は変化しないがそのテクスチャは変化するような作業を考える。このとき作業領域と変化領域の区別のために各画素で空間コードが 2 回続けて変化しなければ変化領域とする。するとちょうど空間コードに変化が起きた直後に得られた入力画像を用いればいいことが分ける。すなわち、入力画像はこの場合 2 つ前の計測で得られたもの

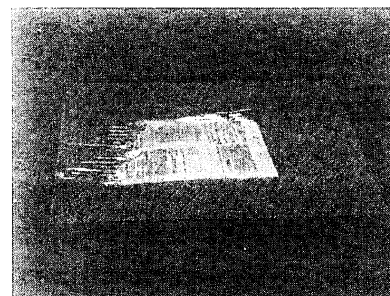
を用いればよい。



(a) 変化領域のみ更新



(b) 全領域を更新



(c) 変化・不変領域で更新

表 3-1 CG モデルの更新を行う領域

	作業領域	不変領域	変化領域
形状	×	×	○
テクスチャ	×	○	○

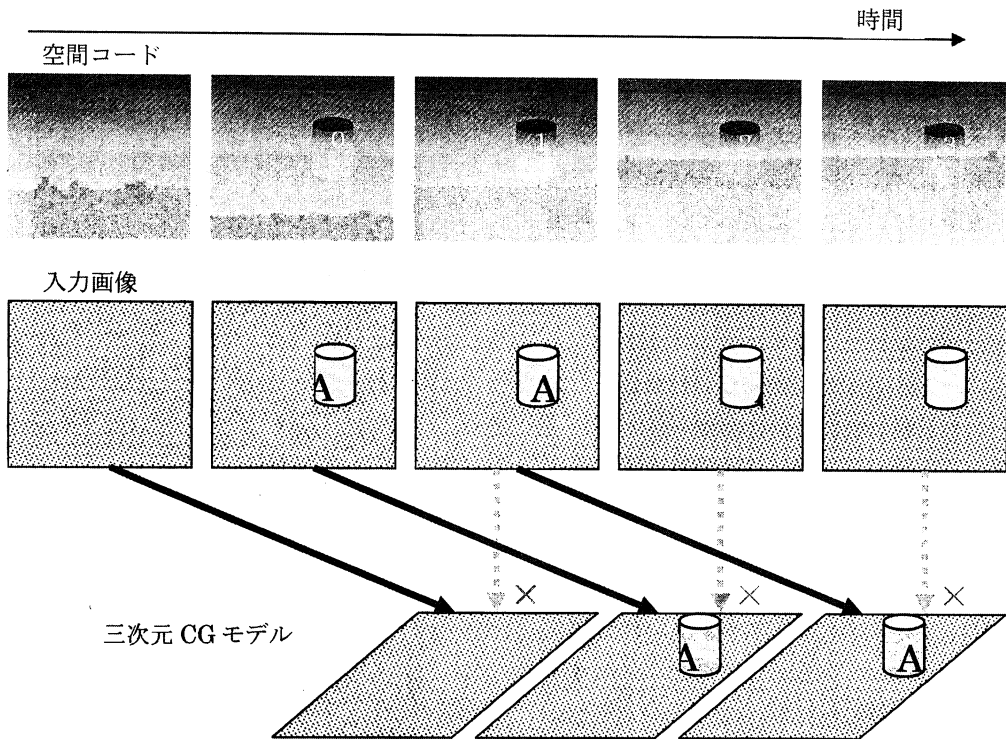


図 3-4 テクスチャマッピング

4 試作アプリケーションによる シーンの再現

得られた形状・テクスチャの情報からシーンの再現を行う必要がある。本システムでは OpenGL によりその描画アプリケーションを作成した。また、GLUI によりコントロールパネルを作成し、これにより再現されたシーンに対して視点位置の回転移動や平行移動を行うことで、任意の視点からの観察が可能となった。

ネットワークによるデータの伝送により遠隔地でシーンを再現し、その観察を行うことが目標としているところであるが、今回はネットワーク環境をまだ構築していないためデータを記録し、後でその記録したデータからシー

ンの再現・観察を行う手法で実際にシーンが適切に再現されているかの確認を行った。今回はラックの組立作業の三次元形状計測を行った。得られた結果を図 4 に示す。

この結果よりパターン光投影中にシーンに含まれる作業者が再現の時点で除かれていることがわかる。また、計測は赤外光で行っていることから計測していることを作業者に知覚されることはなかった。

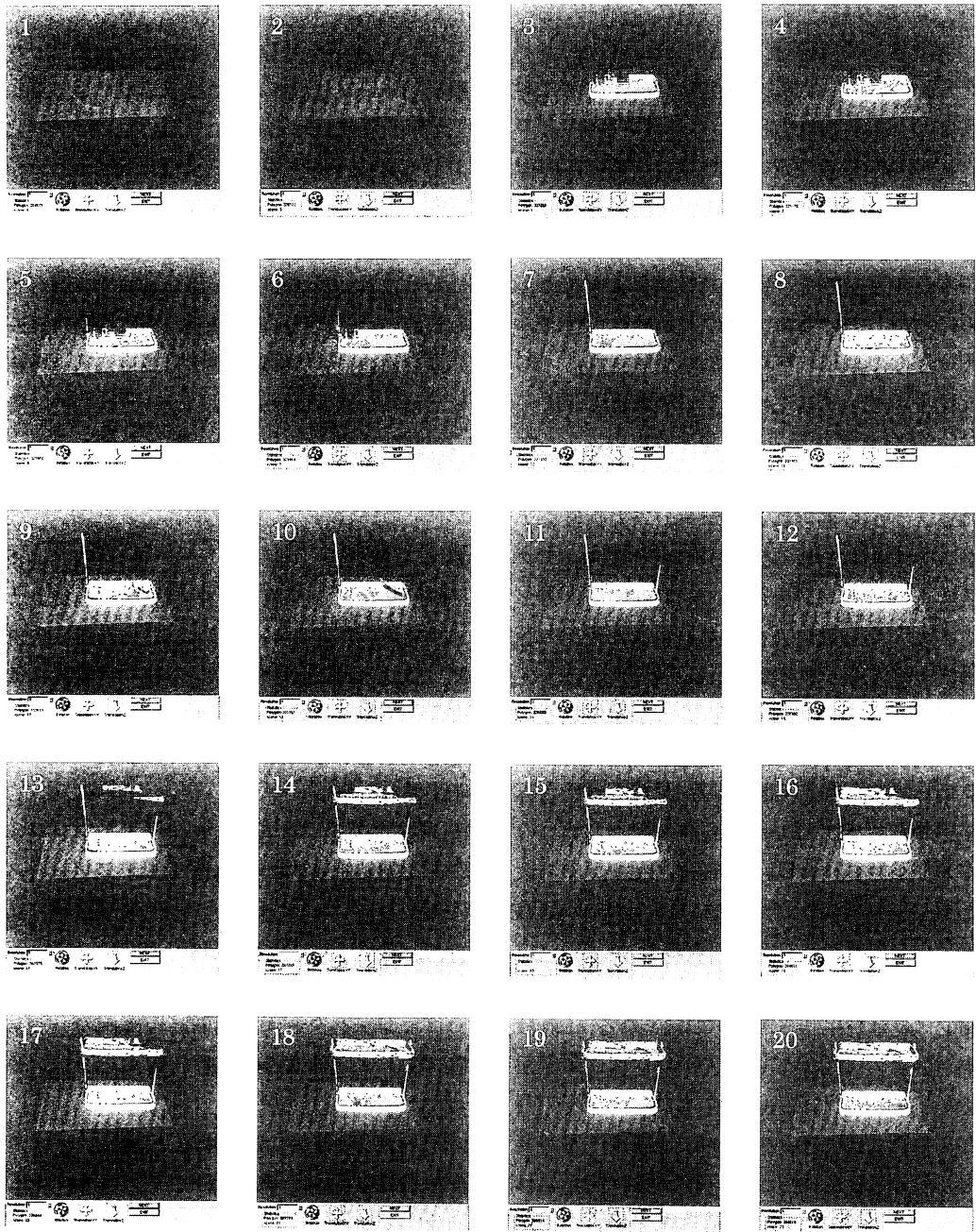


図4 実験結果

5 おわりに

本研究では、赤外光を用いたグレイコードパターン投影法により、作業者に知覚されずに高精度に三次元計測を行うシステムを構築し、シーン中の作業者や正しく計測できない部分を除いた作業過程の三次元モデルの生成を行った。

本システムでは、赤外光で距離計測を行うために利用しているカメラの入力画像をテクスチャとしても用いているため生成される CG モデルがグレイスケールでしか表現できていない。CG モデルをカラーにするにはカラー画像を取得するためのカメラを新たに設置し、そのカメラから得られるカラーの入力画像をテクスチャとして用いる必要がある。正確なテクスチャマッピングを行うには赤外光を入力とするカメラと可視光を入力とするカメラの各画素の対応をとる必要がある。そこで、各カメラのキャリブレーションを行い、世界座標との対応関係を得ておく。そして赤外光を扱うカメラから対象の世界座標を計算し、得られた世界座標から対応するカラー画像を扱うカメラのカメラ座標を計算し、その座標の色をテクスチャとしてマッピングすることでカラーの CG モデルを生成することができる。

また、遠隔地と協調して作業を行う場合、時間的に遅延が生じることが問題となる。これは本システムで用いているアルゴリズムが原因であり、シーンの変化に対して作業者でないことを確認するために時間的に空間コードが変化しないことを確認しているためである。これはシーンの観察者に作業者領域を何らかの形で提示することで、その部分が不確かであることを伝え、遠隔地間で大きな認識のずれをなくすことや、背景差分を用いるなど作業者の判別に空間コードを用いることとは別の方法を取り入れることにより遅延を小さくすることな

どが考えられる。

また、指示を伝達する手法に関しても今後検討していく必要がある。指示者は作業空間の立体形状を把握することが可能であり、それによって奥行き情報を含んだ指示を出すことが可能になるが、それを作業者に伝える段階でディスプレイ等によって二次元的に伝えることになっては、三次元形状を得た意味も半減してしまう。本システムでは計測に市販のプロジェクタを用い、その投影光の不可視である赤外線の部分しか形状計測に利用していないので、その可視光の部分を利用して指示を伝えることが有効であると考えられる。

参考文献

- [1] 稗田洋也, 日浦慎作, 井口征士: “首振りカメラを用いた変化シーンの効率的な 3 次元計測”, 2003 年電子情報通信学会総合大会講演論文集 情報・システム, p.290 (2003)
- [2] 井口征士, 佐藤宏介: “三次元画像計測”, 昭晃堂, 1990
- [3] 東城賢司, 日浦慎作, 井口征士: プロジェクタを用いた 3 次元遠隔指示インタフェースの構築, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.7, No.2, pp.169-176 (Jun. 2002)
- [4] 日浦慎作, 三田雄志, 加藤博一, 井口征士: ビデオプロジェクタを用いた簡易距離画像計測装置, 第 39 回自動制御連合講演会 前刷, 423-424 (1996)
- [5] 日浦慎作, 眞鍋佳嗣: 高機能画像センシング, 情報処理学会研究報告 2005-CVIM-147, pp. 35-50 (2005).