

Instant Replay: 構造化光投影型 高速モーシオンキャプチャシステム

新居英明^{*1*2}, Jay Summet^{*2}, Yong Zhao^{*2}, Jonathan Westhues^{*2}, Paul H. Dietz^{*2},
稲見昌彦^{*3*4}, Shree K. Nayar^{*2}, John Barnwell^{*2}, Michael Noland^{*2},
Vlad Branzoi^{*2}, Erich Bruns^{*2}, Ramesh Raskar^{*2}

*1: 東京大学

*2: Mitsubishi Electric Research Laboratories

*3: 電気通信大学

*4: 科学技術振興機構 さきがけ

あらまし 一般的なモーシオンキャプチャシステムは高速カメラやライン CCD, 磁気センサー等によって構成されており, 計測点の数と計測速度とはトレードオフの関係にあることが多い. 今回提案する Instant Replay システムは多数の対象を高速かつ安価にモーシオンキャプチャすることを可能とするシステムである. システムは赤外線 LED を用いた構造化光投影装置と赤外線受光部により構成される. 現状のシステムでは 500Hz で 2 次元座標を 1cm 以内の精度で計測することに成功した.

キーワード モーシオンキャプチャ, 情報投影プロジェクタ, LED

Instant Replay: Inexpensive High Speed Motion Capture

Hideaki Nii^{*1*2}, Jay Summet^{*2}, Yong Zhao^{*2}, Jonathan Westhues^{*2}, Paul H. Dietz^{*2},
Masahiko Inami^{*3*4}, Shree K. Nayar^{*2}, John Barnwell^{*2}, Michael Noland^{*2},
Vlad Branzoi, Erich Bruns^{*2}, Ramesh Raskar^{*2}

*1: The University of Tokyo

*2: Mitsubishi Electric Research Laboratories

*3: The University of Electro-communications

*4: Japan Science and Technology Agency

Abstract Instant Replay is a low cost position measurement system for motion capturing. This system consists of special projector and many tag board. The projector can project space division pattern with Infra Red LED and the tag board has IR detector to detect the position dependence information from the projector. Our prototype system works very high frame rate (500Hz) with 1cm accuracy.

Keyword Motion capture, Information projector, LED

1 まえがき

ネットワークやコンピュータの発達に伴い、ユビキタス情報処理と呼ばれる分野が急速に発達してきている。特に人に対する情報提示装置については研究開発が進んでおり、非常に小型で安価なシステムが入手可能となってきた。一方、情報入力装置については各種の研究が行われており、必要な機能に応じて各種の研究が行われている[1]。その中で、人の周囲の環境において、非接触で位置情報を計測できる装置は重要な位置を占めると考えられる。例えば、人間の意図を判別するために人間の動きパターンを記録し、ユビキタスデバイスの位置変化を入力として利用するようなモーションキャプチャ装置と呼ばれる機器である。このような用途のために市販されているモーションキャプチャ装置としては以下のようなシステムが挙げられる。

- 光学式 複数の高価なカメラと環境にマーカを配置。受動型のマーカを多数用いるアプリケーションでは ID が他のマーカと重なることがあり、マーカを区別するための認識問題が発生する。逆に能動型のマーカを用いる場合には計測フレームレートと計測点の間にトレードオフが発生する。
- 磁気式 周囲に金属の影響により、精度が劣化する。
- 内界センサ ジャイロ、磁気コンパス 時間的なドリフトや、キャリブレーションが難しい。

しかしながら、市販のモーションキャプチャ装置はどれも非常に高価である。なぜなら、非常に特殊な高速度カメラとマーカを用い、マーカからの信号を受信する場合に、ノイズの影響を避けるために高度なアナログ信号処理などを必要とすることが理由として考えられる。そこで、本論文では特殊な部品を用いず、なるべくデジタル的処理のみを用いることにより、安価なモーションキャプチャ装置を実現可能な赤外光による位置投影プロジェクトおよび、小型に構成可能な受信装置からなるシステムを提案する[2]。

本システムの特徴としては、以下の項目が挙げられる。

- LED を光源とした高周波変調した構造化光投影装置
- マーカは受光部を1つのみ搭載した簡単な構造
- マーカの数には左右されない計測フレームレート

また、このシステムは安価な安定したシステムにするため、以下のような方針とした。

- 市販の汎用品のみで構成する。
- アナログ演算を極力用いない。
- 計測データから複雑な処理を必要とせずに位置情報に変換できる。

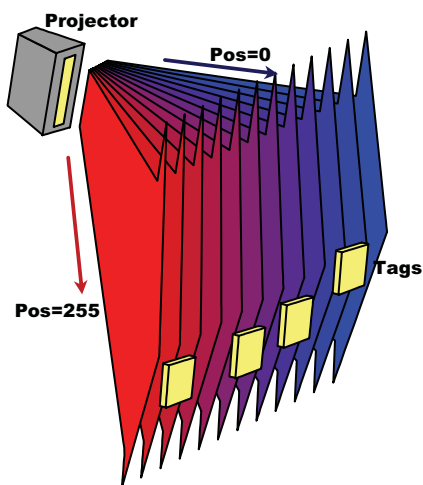


図 1 : Instant Replay の概要

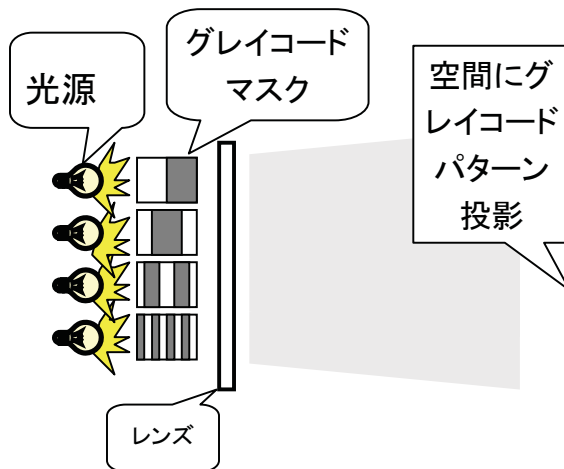


図 2 : 本プロジェクタの機構

本稿の構成は 2 章にて提案装置の概要, 3 章にて今回実装した装置を紹介, 4 章にてまとめを述べる.

2 モーションキャプチャシステム概要

本システムは図 1 のように空間に複数の構造化コードパターンを時分割で高速に投影することが基本となる.

情報投影プロジェクタとしては以下のような構造となる. 模式図を図 2 に示す.

- 写真のスライドプロジェクタと同様の機構で空間に位置情報を含んだグレイコードマスクパターンを投影する.
- 時系列で複数のマスクを切り替えることにより, 複数の情報を時分割方式にて送信する.

ここでは, 光切断法などで使われる空間コード化と同様の短冊形状の繰り返しパターンを用い, 解像度が異なるグレイコードによる複数のマスクを投影する. 例えば 8 ビットの解像度が必要な場合には 8 種類のマスクを順次投影することになる. 図 2 で言えば, 上から順に光源を発行させることで, 空間に異なるグレイコードパターンを投影するわけである.

一方, 受信側ではプロジェクタの前方に置かれた 1 つの受光センサによりプロジェクタからの変調光を受ける. この光は時分割でプロジェクタからの方向に応じて異なるグレイコードパターンを構成しているため, 順次光情報を受信することで現在のプロジェクタとの角度情報が取得できる.

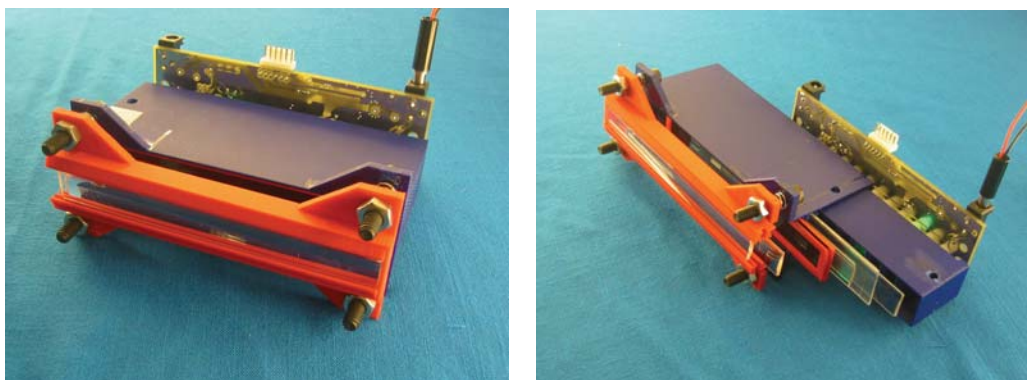


図3：プロジェクタの外観

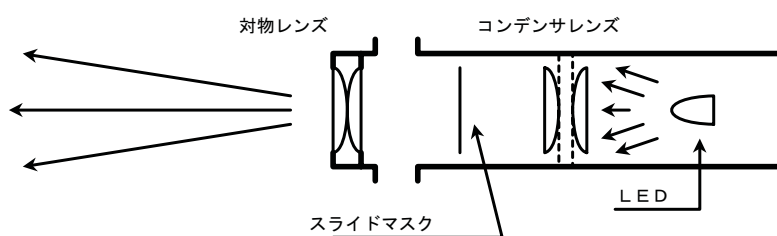


図4：プロジェクタ内部の説明



図5：使用したスライドマスク

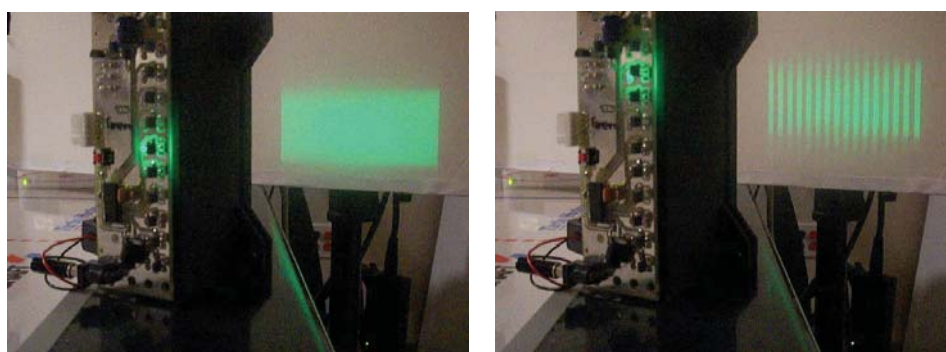


図6：可視光LEDを用いたプロジェクタでの投影

この手順では受信側と送信側が個別に同期等を取る必要が無いので、受信器の数が変わっても、計測手順は変わらない。つまり、計測レートは受信機の数によらず一定となる。

なお、本章で提案したプロジェクタは一台で1次元の位置情報を投影できる。2次元／3次元位置情報が必要な場合にはこのプロジェクタを2台、3台用意し、順次作動させる

ことにより、受信側は1つのセンサのみで2次元、3次元位置データを取得できる。

3 プロトタイプ

2章のような特徴を持つモーションキャプチャなどに用いることが可能な位置情報投影システムを試作した。以下にそのプロジェクトとマーカについて述べる。

3.1 プロジェクタ機構部

図3左に今回実装したプロトタイプのプロジェクタの外観を示す。内部構造は図3右のようになっている。構造としては、図4に示すようになっていて、一番右に IR-LED が一列に9個並んでいる。その前にはコンデンサレンズ、スライドマスク、対物レンズが並んでいる。レンズはすべて 130mm×15mm 焦点距離 40mm のシンドリカルレンズを使用しており、スライドマスク上の短冊状グレイコード9種類を別々に投影可能な構造となっている。実際に用いたグレイコード投影用スライドマスクパターンを図5に示す。中央部にスタートビット用のすべて光を通過する部分と、グレイコードの最上位ビットを左端、次のビットを右端、以後中央に向かって下位ビット並べている。最後に、投影用 LED を緑色に変更したプロジェクタを試作し、その投影の様子を図6に示す。この写真では、LEDを用いて、写真の水平方向に角度情報を投影する様子が示されている。

3.2 受光側マーカについて

受光側マーカのプロトタイプを図7に示す。このプロトタイプボードは組み込みマイコンボードにリモコン受信用の受光 IC を組み合わせたものである。そのブロック図を図8に示す。この装置はプロジェクタからの赤外線を受光部で受光し、角度情報を検出する。受光部は薄い衣服の裏側に置いても、データを受信可能である。その後、必要に応じてフラッシュメモリに記憶し、無線にて通信を行うことが可能である。コマンドとしては、フラッシュ消去、計測開始、計測中止、データ転送といったコマンドを内蔵している。

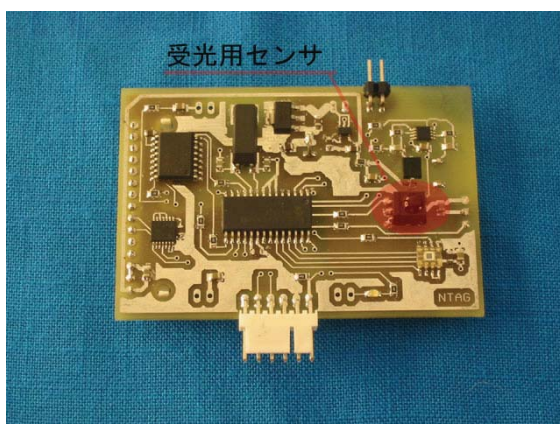


図7：受光側マーカの外観

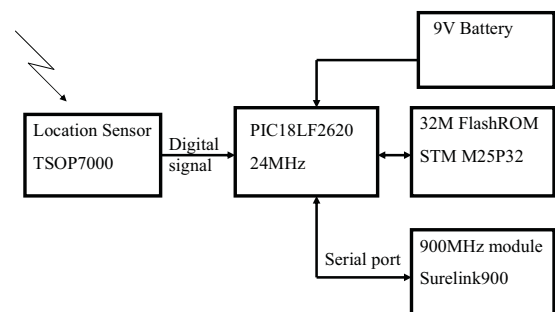


図8：受光側マーカのブロック図

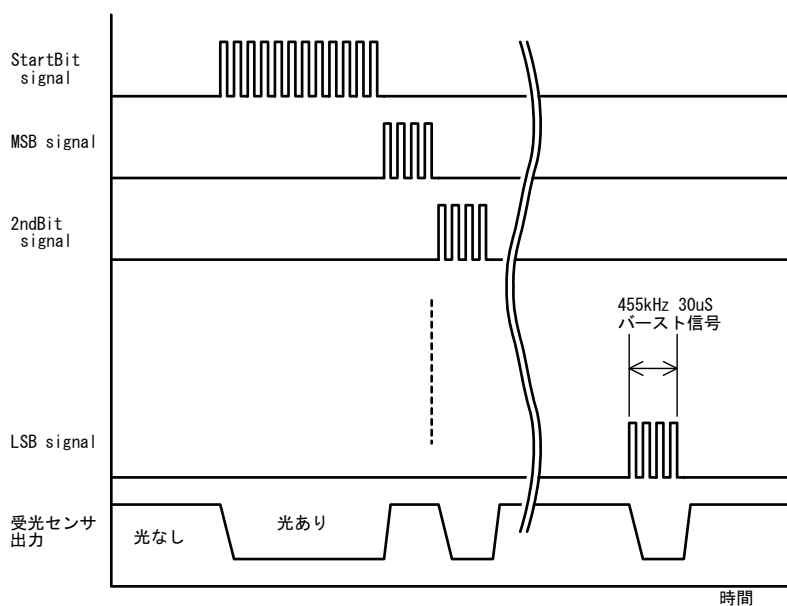


図 9 : 基本送受信タイミング

3.3 タイミング

プロジェクタは 455kHz の変調をかけたバースト信号を時分割で送信する。その様子を図 9 に示す。各ビットを 30uS 程度のバーストパルス及び数十 uS の休止時間として送信するが、スタートビットだけは 100uS 程度の長さとし、受信側で間違いなくスタートビットを検出できるような仕組みとした。一方、図 9 の一番下のラインで示される受光センサ出力は LED により投影された赤外線を受信している。スライドマスクによりさえぎられる方位の場合には受光部は光に反応せず、スライドマスクにさえぎられないビットのみ反応することでプロジェクタからの角度を時分割グレイコードとして計測することができるわけである。このため、受光マーカは通常のシリアルポートを読むのと同様な方法で位置情報を特定できるため、本方式においては演算処理がほとんど必要無い。つまり時間遅れがほとんど無いと考えられる。また、受光素子は 1 つですむため、マーカの角度に寄らず位置情報を検出できる。他の特徴としては、グレイコードを用いたため読み取りエラーが発生しても位置情報の誤差は最小限に抑えられることが挙げられる。



図 10 : 2次元プロジェクタ

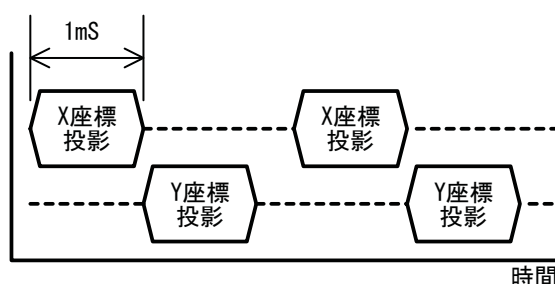


図 11 : 2次元投影時のタイミング

3.4 2次元以上への拡張

以上の方法で1次元データを投影，受信することができるが，通常のモーションキャプチャでは2次元以上のデータが必要になる．そこで，本システムでは2台の 프로젝터를図10のように並べることで，X座標，Y座標を取得できるようにした．このときの2台のタイミングは図11に示す．もし，3次元データが必要な場合には X_2 座標を取れるように3台の 프로젝터를並べることで，3つの角度情報から，受信マーカの位置を確定することができる．しかしながら， 프로젝터の台数が増えた場合には計測時間が1軸につき約1mS程度かかるため2次元計測では500Hzに，3次元では330Hzに下がってしまう．最後にこのシステムの主な仕様を表1に示す．

表1：システム仕様

프로젝터側			受光側		
名称	値	単位	名称	値	単位
測定時間	1	mS @ 1軸	メモリ容量	4	Mbyte
分解能	256		測定精度	±10	mm
測定角度	26	度	計測角度	±60	度
測定距離	1~5	M			

3.5 実験

2種類の実験を行った．まずはデータの連続性の検証である．図12に示すように 프로젝터とマーカの間を2m離して，マーカを移動させていった場合，出力データが連続して変化するか測定した．その結果は図13である．横軸には取り込んだデータが時系列順に並び，縦軸は 프로젝터座標系でのマーカの位置を示している．中央の帯状の部分はマ

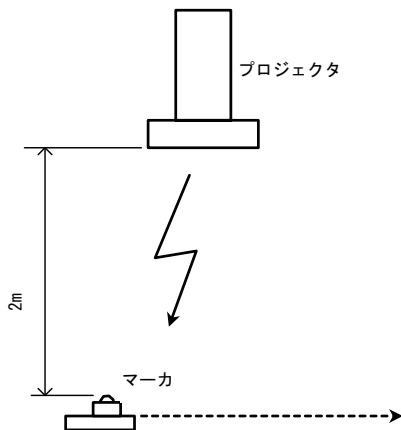


図12：データ連続性検証実験

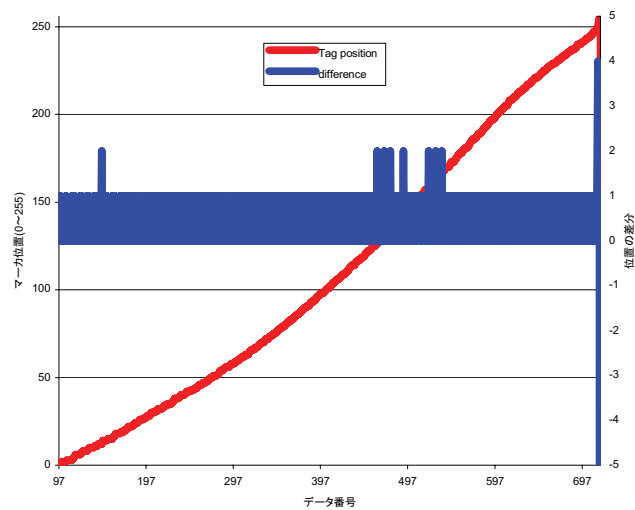


図13：データ連続性の検証

一カ所の位置の差分を拡大したものである。この図より、値が変わるときの変位は常に1か2であることで、値のジャンプがほとんど無いことが分かる。

また、2 m～4 m離れた位置にプロジェクタとマーカを置き、実際のデータを測定した。そのときの実験の様子を図14に示す。そのときの結果は図15となる。このように、ほとんどデータは理論的な傾き線上に載ることが分かる。計算してみると、誤差は約10mmに収まることが分かった。

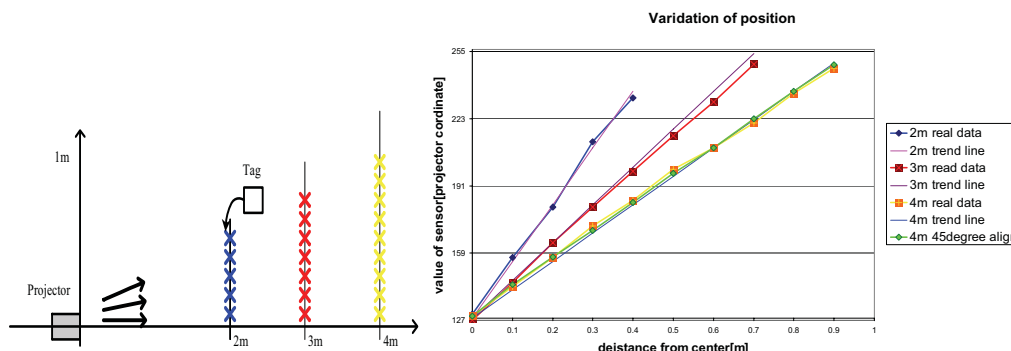


図14：リニアリティ計測実験

図15：リニアリティについて

4 まとめ

以上のように赤外線 LED とリモコン受信 IC を利用し、単純で高速なモーションキャプチャシステムを実現することができた。このシステムはマーカの数が増えても計測時間が変わらず、一軸あたり 1mS と短い時間で計測が可能で、マーカ自体は服の下に隠して取り付けることが可能である。

コストについては、レンズについては画像処理などに使われる高価な部品を用いたが、それ以外は非常に安価な部品ばかりで構成される。このプロトタイプで送信側が一台 10 万円、受信マーカは一台数千円となっている。しかしながら、量産する場合にはレンズはとて安くなるため、全体で 1 万円程度のモーションキャプチャ装置が実現可能だと考えられる。今後はこのシステムの高機能化、高速化、高感度化を図ることで、より高度な計測システムの実現を目指したい。

参考文献

- [1] Ramesh Raskar, Paul Beardsley, Jeroen van Baar, Yao Wang, Paul Dietz, Johnny Lee, Darren Leigh, Thomas Willwacher, RFIG Lamps: Interacting with a Self-Describing World via Photosensing Wireless Tags and Projectors, proceedings of SIGGRAPH, 2004
- [2] Hideaki Nii, Jay Summet, Yong Zhao, Jonathan Westhues, Paul H. Dietz, Masahiko Inami, Shree K. Nayar, John Barnwell, Michael Noland, Vlad Branzoi, Erich Bruns, Ramesh Raskar, Instant Replay, proceedings of SIGGRAPH, 2006