

ワイヤーベース・モーション・コントロールカメラの開発

A development of wire based motion control camera

白井暁彦¹⁾, 小林希一¹⁾, 齋藤 豪²⁾, 中嶋正之²⁾, 佐藤 誠²⁾

Akihiko SHIRAI, Kiichi Kobayashi, Suguru Saito, Masayuki Nakajima and Makoto Sato

1) (財)NHK エンジニアリングサービス

(〒 157-8540 東京都世田谷区砧 1-10-11 NHK 放送技術研究所内 C-0510, shirai@nes.or.jp)

2) 東京工業大学

(〒 152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

Abstract : This paper describes a new method for capturing camera motion in photorealistic virtual studio sets. It uses some wires attached to encoder with motor as known as haptic VR system, "SPIDAR" and tripod having rotary encoder or motion sensors to detect translation and rotation. In this experiment, we measured a motion sensor and rotary encoder on an actual set up using HiVison camera with human dynamic operation to know requirements to realize our method.

Key Words: *Virtual studio sets, Motion control camera, Motion sensor, SPIDAR.*

1. はじめに

リアルタイムCG技術の発達とともに、実写とCGを合成したテレビ向け実写ベースバーチャルスタジオ技術の研究開発が盛んになりつつある [1, 2]. クロマキー等のキーイング処理を極力使用せずに、実写背景や実セット、人物とフォトリアスティックCGを合成する技術であるが、この合成手法をより一般的なテレビ映像のためのシーンに利用するためには、高速なレンダリング・合成処理に加え、実写映像を撮影する実カメラのバーチャルセット内での位置を高速・高精度に取得する必要がある。

2. カメラ情報取得技術

カメラの外部パラメータと呼ばれる位置 (x, y, z) と角度 (pitch, yaw, roll) を取得・推定する方式として、コンピュータビジョンを応用した方式、メカトロニクスを利用したロボットカメラ方式、オプトエレクトロニクスを利用した光学計測方式に分類できる。

静止画では Zhang の既知のパターンを撮影する方式 [3], 映画などの自然動画像を対象にしたオフライン合成で実用化されているマッチムーブ技術がある。これは撮影した映像の各フレームの画像上から数百～数千の特徴点を抽出し、連続画像上の3次元的な点群のオブティカルフローとズーム・フォーカスなどの予め設定された内部パラメータ、絶対位置のための指標から、撮影したカメラの軌跡を取得できる画像トラッカーであるが、テレビ放送での利用を考慮したリアルタイム化は難しく、まだ現実的な技術とはいえない。リアルタイム可能な方式としては ORAD 社によりブ

ルーバックに特殊な方眼パターンを投影する方式があるが、画像内に常に特徴点が撮影されている必要がありショットの自由度に制限がある。

映画や専用スタジオ、オリンピックなどの特殊な環境下においては、撮影したカメラの位置・角度・ズーム・フォーカスなどを再生するモーション・コントロールカメラ等のロボットカメラ技術が代表的である。機械制御されたクレーン、レール、ドリーなどにカメラを搭載し、外部パラメータを記録・再生、合成に利用することが可能であるが、メカの構造による制限や機材の大きさ、クレーンやレールの確保の必要性などから、ショットの自由度には限界がある。一般的には、フィールド・水泳競技、音楽プロモーションビデオ、語学・報道・教育番組等を中心に利用されており、ショットの自由度とモビリティ、リアルタイム性が必要となる生放送番組、バラエティ番組、テレビドラマといったシーンにはまだ利用例が少ない。

このような番組で使用されるシーンを想定すると、三脚等にカメラを固定する映像ではなく、ハンディやドリーでダイナミックに移動しながら撮影するショットが多い。このようなショットにおいて高度なCG映像を合成する場合は、多重撮影が必要とされるカメラの動作軌跡の再生ではなく、むしろ簡易で応答性の高い位置計測が必要となると思われる。既に三脚、クレーンやブームに高精度のエンコーダを内蔵したもの、天井への赤外線アレイとフォトセンサを組み合わせたシステムなどが存在するが、MR技術と密接に関連した映像合成技術であり、HMD等のための小型CCDカメラと磁気センサを組み合わせたカメラパラメータの取

得・補正手法がすでに報告されている [4, 5]

3. ワイヤベース・モーション・コントロールカメラの提案

我々はすでに、奥行濃淡画像が取得可能なハイビジョンカメラ「Axi-Vision」を使って、奥行濃淡画像と同時に撮影した実写映像から、撮影画像中の奥行・形状を取得し、背景の複雑な形状にあわせた任意 CG 物体のシャドウを描画することが可能であることを示した [6, 7]。この方法は奥行濃淡画像を Height-map として利用しており、GPU 上での実時間処理が可能なアルゴリズムであるが、フォトリアスティックなハイビジョンクオリティにおける最終画像の生成のために、生成した CG と実写映像間において、緻密で高速な合成が必要となる。また奥行濃淡画像の取得には、高周波で変調した赤外線光源をイメージインテンシファイアにより撮影するため [8, 9]、既存の技術に見られるような赤外線を使用するトラッキング方式は利用できない。また三脚からは大域照明を考慮した新しいライティング合成技術に赤外線照明による合成マスクとして利用しており、赤外線チャンネルは今後よりあたらしい映像表現のために確保しておきたい。また天井へのビーコン等の設置も撮影照明と干渉するため、好ましくない。

このような背景から、我々は新しく簡易で高速なメカニカル計測とセンシングの利点を組み合わせたカメラ外部パラメータ取得方式として「ワイヤベース・モーション・コントロールカメラ」を提案する。

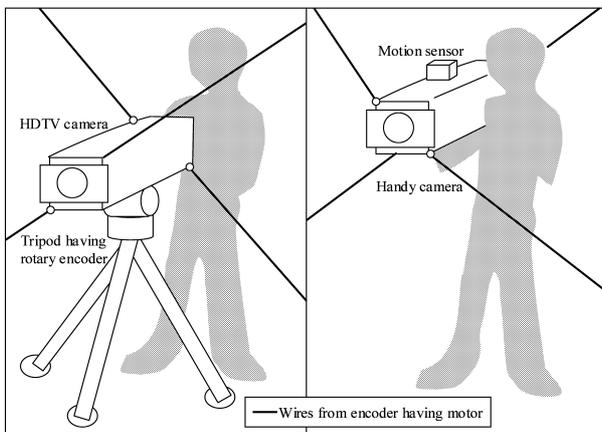


図 1: ワイヤベース・モーション・コントロールカメラ

カメラに触覚 VR システムのヒューマンインタフェースとして実績のある糸張方式空間入出力システム「SPIDAR」を取り付け、スタジオ内におけるカメラの絶対位置 (x, y, z) を取得し、高精度に角度を検出できるエンコーダ内蔵三脚 (図 1 左) や加速度・地磁気・ジャイロを組み合わせたモーションセンサを用いて (図 1 右)、カメラの回転角 (pitch, yaw, roll) を取得する。

SPIDAR による 3 次元位置検出は最低でも 3 本のワイ

ヤーが設置できれば可能であり、検出精度は使用するエンコーダと設置空間に依存するが、4m 立方で 1mm 以上の空間分解能を持ち、エンコーダモータの取り付け位置も、必ずしも撮影を阻害しない位置での設置が可能である。SPIDAR の特徴であるワイヤーは非常に細く、スタジオ内照明を阻害しない。またクレーン等のモーション・コントロールカメラに比べ、撮影クルーとの衝突時の危険性が少ない。本提案では必ずしも SPIDAR の特徴である触覚力覚フィードバックを行わず、この種類のカメラをカメラモーションを記録するカメラとして別に「モーション・キャプチャカメラ」と呼ぶが、将来的に高性能なモータとカメラの慣性を考慮した制御アルゴリズムを開発することで、バーチャルセットとの衝突通知や、反重力によりカメラマンをアシストするカメラや、完全なワイヤーアクションによる新たな映像表現を可能にするカメラシステム実現の可能性があるため、このような名称とした。

4. 実験

ワイヤベース・モーション・コントロールカメラのプロトタイプとして、図 1 のような、角度検出方法の異なる 2 つの方式のシステムを想定しているが、本報告ではまず、既存のモーション・コントロールカメラにない機能となる、三脚等を使用しない、拘束性の少ないカメラ角度検出方式についての検討を報告する。

4.1 モーションセンサ

業務用テレビカメラに搭載する小型軽量の角度センサとして、NEC トーキン社製モーションセンサ MDP-A3U7 を使用した。このセンサはセラミックジャイロ (3 軸角速度センサ)、2 軸の加速度センサ、地磁気センサの 3 種類のセンサデバイスが実装されており、汎用のモーションセンサとして HMD 開発や人体動作測定に使用されている。コンピュータとは USB1.1 により高速通信で接続でき、電源供給も行える。18g という軽さからハンディカメラや民生品ビデオカメラへの実装も容易である。

センサデバイスの更新速度は 150Hz で、各センサの値による補正計算済みの回転姿勢である Z-Y-X オイラー角が取得できる。X 軸回転 (pitch) を θ 、Y 軸回転 (yaw) を ϕ 、Z 軸回転 (roll) を ψ とおいた場合、センサはそれぞれの回転角 θ, ϕ, ψ を出力し、センサの回転姿勢を示す変換行列 \mathbf{R} は、

$$\mathbf{R} = \text{Rot}Z(\psi)\text{Rot}Y(\phi)\text{Rot}X(\theta) \quad (1)$$

で表現できる。このとき $\text{Rot}X, \text{Rot}Y, \text{Rot}Z$ は各軸の回転行列 (3x3) であり、カメラの並進情報 (x, y, z) と組み合わせることで、CG 上のカメラマトリクスとすることができる (CG のための行列オペレーションは VR 環境構築ライブラリ「Springhead」[10] を使用し、各要素や逆行列、クォータニオンの取得などを行っている)。

しかしながら実際にはセンサから出力される補正計算値が再計算されないケースや、ドリフト誤差により値が実際の角度と大きく異なるケースも報告されており [11], 各センサの特性について予備調査を行った。

4.1.1 セラミックジャイロによる角速度検出

角速度が3軸それぞれ10bitで出力されているが、三脚上で360度(yaw)を20秒で回転させた場合(0.05Hz), 検出下限となり値が出力されない。手動計測によると15秒程度(0.067Hz)が限界のようであり、角速度では24deg/secを下回る遅さで検出範囲外となる。北林らのHMDへの応用における研究報告によると、最大検出角速度は500deg/secである [12]。HMD等への応用と同様、ハンディカメラへの実装も高周波で微小な角速度の検出が必要となるため、センサの内部キャリブレーション項目「ジャイロ不感帯レベル(deg/sec)」の調整が重要といえる。

4.1.2 加速度センサによる絶対姿勢角検出

10bitの加速度センサがpitch, roll(前後, 左右)方向に設置されており、両軸の値が512levelのとき完全な水平であるので、通常の撮影時でも水準器等の代用として利用でき利便性がある(三脚の水準器では±1度程度の精度しか保てない)。

4.1.3 地磁気センサによる方位角検出

磁気抵抗によるホイートストンブリッジが構成されたコンポーネントで、地球の南北に走る地磁気に対して、2軸方向の電位差(V_x, V_y)を出力している。その比

$$\phi_{NS} = \tan^{-1}\left(\frac{V_x}{V_y}\right) \quad (2)$$

をとることで±90度の絶対方位角を取得できるが、磁気センサの特性上、環境からのショットノイズをうけることがあり高速測定には向かない。しかし絶対的な方位角を得られることは、加速度・角速度の積分による誤差を打ち消すことができるので重要である。環境による地磁気の伏角の違いは内部キャリブレーション項目がありデバイス上で調整できる。また、環境内で出力値の振る舞いを精密に測ってみると1軸について(11mm/level)という分解能を得た。狭い範囲であれば、簡易な位置検出にも使える可能性がある。

4.2 カメラへの実装

予備調査の結果からも、加速度センサ、角速度センサ、地磁気センサを利用する特性上、メカニカルエンコーダ程の角度検出精度は期待できないことがわかる。しかしながら、速度・加速度は質量・慣性に依存するため、実際に撮影に使用するカメラの実際の位置に実装し、動的な撮影環境下における重量のある業務用カメラの慣性モーメントと人体によるオペレーションを考慮した特性実験を行った。

図2の写真の通り、SONY社製ハイビジョンカメラHDC-750A(重量8Kg)上部マウントにMDP-A3U7を実装し、規準計測としてエンコーダ内蔵三脚ENG2CF改(sachtler製業務用三脚をベースにしたコスメイト社製カメラデータ収集装置)を使用する。ENG2CF改はpan, tilt方向にロータリー

エンコーダを実装しており、各軸360度あたり86,400pulse, 0.004167度(=15秒)の最低分解能を持ち、38,400bpsのシリアル通信で最大60Hzのフレーム垂直同期信号にあわせて角度パルス値を取得できる。実際の番組制作においても使用された実績がある機材であるが、コントローラ、GEN信号、電源類も含めると、MDP-A3U7で必要となる軽量化USBケーブル1本に対し、5本と多く、大掛かりな装置構成になる。

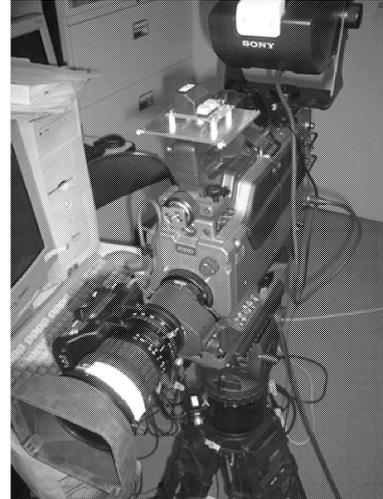


図2: 実験システム

4.3 絶対角度計測特性

まず使用したセンサの絶対角度計測特性を明らかにするため、図2の実験システムを水平に設置し、tilt方向を固定し、エンコーダ三脚上のpan方向に手動でpan回転させ、エンコーダpan角度とセンサ自身もつ補正アルゴリズムによる絶対方位角の特性を測定したところ、センサの出力とエンコーダ値は正の相関があり0.9991であった。

4.4 動的目標撮影時の角度検出特性

図3は、同様の装置構成でtilt方向の動作も含めた左右90度離れた2点の撮影ターゲット(θ, ϕ) = (+140, +4), (+230, -3)[deg]を撮影するよう、それぞれ5,10,20秒周期で回転させた場合のpan値を示した結果である(エンコーダ値はセンサ出力と異なった基準方位、極性をもっている)。

カメラの振り速度が早くなるにつれ、エラーが減少する傾向をみる事ができる。

4.5 ハンディ撮影時の角度検出特性

実際の撮影時の環境を想定し、業務用ハンディカメラを肩に乗せた上で測定を行った。この実験でのオペレータは撮影業務に従事しない30歳男性であり、pan方向のみ90度離れた水平2点のターゲット撮影を行った。

三脚上での結果に比べ、2点間を10sec周期(10Hz)で撮影した場合がもっともドリフト誤差が顕著に現れている。

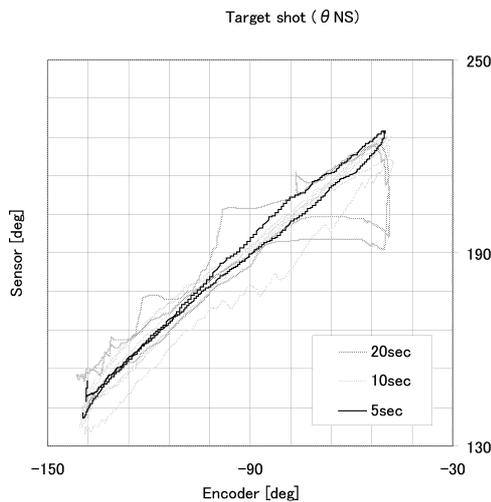


図 3: 動的目標撮影時の角度検出特性 (三脚上)



図 4: 動的目標撮影時の角度検出特性 (ハンディ)

5. まとめ

触覚 VR インタフェースである SPIDAR を応用し、実写ベースバーチャルスタジオにおける新しい映像表現を可能にする「ワイヤーベース・モーション・コントロールカメラ」を提案するとともに、プロトタイプにおけるエンコーダ三脚とモーションセンサの角度計測特性を明らかにするため、地磁気センサとロータリーエンコーダの絶対角度計測、三脚上での動的角度検出特性、慣性モーメントを考慮した三脚を使わない状態での pan, tilt 方向での角度計測特性を測定した。

今後、位置計測ワイヤーの位置精度とともにより計測精度を高め、新しい合成映像生成システムへの統合を進めていく予定である。

謝辞 本研究は情報通信研究機構の委託研究「高精細・立体・臨場感コンテンツ技術の研究開発 (第二期)」の一環であり、厚く感謝します。また、機材をお貸しいただいた NHK 放送技術研究所・山内、三ツ峰さまに感謝を記します。

参考文献

- [1] 山内, 三ツ峰, 深谷, 河北, 井上, 林: 実空間ベース仮想スタジオ〜実セットと仮想セットのシームレスな合成〜, 映像情報メディア学会誌 Vol.57, No6, pp739-744, 2003.
- [2] 大島登志一, 黒木 剛, 小林俊広, 山本裕之, 田村秀行: 2001 年 MR 空間の旅 - 複合現実感技術の映像製作分野への応用日本バーチャルリアリティ学会論文誌, TVRSJ Vol.7 No.2, pp.219-226, 2002.
- [3] Zhengyou Zhang: A Flexible New Technique for Camera Calibration, Technical Report MSR-TR-98-71, Microsoft Research, 1998.
- [4] 苗村 健, 新田拓哉, 三村篤志, 原島 博: Virtual Shadows in Mixed Reality Environment Using Flashlight-like Devices, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, TVRSJ Vol.7 No.2, pp.227-238, 2002.
- [5] 遠藤隆明, 片山昭宏, 田村秀行, 廣瀬通孝: 写実的な広域仮想空間構築のための画像補間手法日本バーチャルリアリティ学会論文誌, TVRSJ Vol.7 No.2, pp.185-192, 2002.
- [6] 白井曉彦, 小林 希一, 河北 真宏, 齊藤 豪, 中嶋 正之: Axi-Vision カメラによるモデリングとシャドウイング, 情報センシング研究会 メディア工学研究会, 映像情報メディア学会技術報告, 2004.
- [7] A. Shirai, K. Kobayashi, M. Kawakita, S. Saito, M. Nakajima: A new archiving system for TV studio sets using depth camera and global illumination, NICO-GRAPH International 2004, pp.85-90, 2004.
- [8] M. Kawakita, K. Iizuka, T. Aida, H. Kikuchi, H. Fujikake, J. Yonai, and K. Takizawa: Axi-vision camera (Real-Time Depth- Mapping Camera), Applied Optics, Vol.39, pp.3931-3939, 2000.
- [9] M. Kawakita, T. Kurita, H. Hiroshi, and S. Inoue: HDTV Axi-vision Camera, Proceedings of IBC (International Broadcasting Convention) 2002, pp.397-404, 2002.
- [10] <http://www.springhead.info/>
- [11] 佐藤清秀, 穴吹まほろ, 山本裕之, 田村秀行: 屋外装着型複合現実感のためのハイブリッド位置合わせ手法日本バーチャルリアリティ学会論文誌, TVRSJ Vol.7 No.2, pp.129-138, 2002.
- [12] 北林一良, 加納浩行, 木島竜吾: 日常生活における頭部運動の解析, 日本バーチャルリアリティ学会第 8 回大会論文集, pp135-136, 2003.