

プロジェクト型研究事業報告書



2007年度版

2007年度大学院教育改革支援プログラム「プロジェクト型研究提案」研究提案要旨

1. プロジェクト名

立体映像を用いた高臨場感バーチャルジェットコースターシステムの開発

2. プロジェクトリーダー

所属講座	学年	学生番号	氏名	e-mail アドレス
視覚情報メディア講座	D1	0761025	堀 磨伊也	maiya-h@is.naist.jp

3. 分担者

所属講座	学年	学生番号	氏名	e-mail アドレス
視覚情報メディア講座	D1	0761012	河合 紀彦	norihik@is.naist.jp
視覚情報メディア講座	M2	0651063	武富 貴史	takafumi-t@is.naist.jp

4. チューター

所属講座	職名	氏名
視覚情報メディア講座	助教	神原 誠之

5. 必要経費

	金額(千円)	支出予定月	品名・型名・数量/行先・目的・日数等
設備備品費	525	11月	ヘッドマウントディスプレイ・ I-visor FX605/高臨場感映像提示用
	160	11月	グラフィックスカード・ NVIDIA Quadro FX3500 /立体視ステレオ動画像出力用
消耗品費	126	11月	モーションレコーダ・ MicroStone MVP-A3-25b 2セット /実験入力データ(3軸加速度)取得用
	74	11月	体感音響装置・ セルシネエイム研究所 FM-112A /テレプレゼンスシステム音響用
	126	11・12月	ケーブル類など/実験データ撮影用補助品
旅費(調査目的も可)	339	3月	IEEE VR2008/調査 Reno(USA) 5日間
合計	1350		

6. プロジェクトの背景と目的

遠隔地の情景をユーザに提示し、あたかもその場にいるかのような感覚を与える仮想現実技術はテレプレゼンスと呼ばれ、いかに遠隔地の情景を臨場感豊かに提示するかが課題となっている。テレプレゼンスシステムは、エンターテインメントや医療、教育などの様々な分野で応用が期待されるが、本提案ではエンターテインメント性の高いコンテンツをテレプレゼンスの対象とし、「ジェットコースター」を疑似体験できるシステムの開発を目的とする。

われわれは従来、全方位動画像を用いて大型ドームスクリーンにユーザの指示する視線画像を提示し、360度視線を自由に変更することができるシステムの開発を行ってきた。本プロジェクトではこのシステムの高臨場化を目指す。従来、提示する映像は単眼画像で撮影地点での視点画像に限定されるため、臨場感が損なわれる問題が生じた。そこで本プロジェクトでは、撮影された全方位画像群より新しい視点位置の画像を生成する画像処理技術を用い、ユーザの左右の視点画像を生成することにより、ユーザに両眼ステレオ画像を提示する手法を提案する。ユーザは大型ドームスクリーンに投影されたステレオ画像をシャッター式眼鏡で見ることにより立体視と自由な視線変更が可能となる。また撮影時には、加速度センサと風速計により撮影時の加速度と風速を同時に取得し、取得したデータを用いて椅子に振動を与えたり、ユーザに対して風を送ることにより、さらに臨場感が高いシステムの構築を目指す。

7. 目的到達までの研究計画

ステレオ画像を生成するために全方位カメラ 2 台を図 1 のように固定し、それらをジェットコースターに設置し、移動しながら全方位画像群の取得を行う。その後、取得した全方位画像から特徴点を抽出し、撮影時のカメラ位置・姿勢を推定する。推定されたカメラ位置・姿勢情報を用いて左右両眼の視点画像の生成を行う。両眼ステレオ画像は異なる位置で撮影された複数の全方位画像を用いて **Image-based Rendering** と呼ばれるアプローチで合成して生成を行うが、360 度自由な見回しが可能なステレオ画像を精度良く生成するためには、多数の地点で撮影された全方位画像が必要となる。しかし、移動体(ジェットコースター)の速度が高速なため、一度の撮影で生成に必要な全方位画像を十分に得ることができない可能性がある。この場合には、同様の経路を複数回撮影することにより全方位画像を密に取得するか、全方位カメラをもう 1 台増設し同時に撮影可能な全方位画像の枚数を増やす。テレプレゼンスを行う際には、図 2 のような大型ドームスクリーンにステレオ画像を提示することにより立体視を可能とし、臨場感を高める。

また撮影時に、加速度センサと風速計により加速度と風速を同時に取得し、テレプレゼンスを行う際には計測されたデータを用いて、図 3 に示す可動椅子を通してユーザに振動を与えたり、電気送風機により風を与えたりすることによりユーザに振動と重力加速度を体験させる。このとき問題となるのは、実際の振動や重力加速度を可動が 2 軸回転の椅子と送風機により、どのように表現するのかという問題である。この問題に関しては、実際にジェットコースターを体験したことがある複数の人物に対して、試作したテレプレゼンスシステムを繰り返し体験してもらい、評価実験を行うことにより実際のジェットコースターに近い高臨場感のテレプレゼンスシステムの構築を目指す。



図 1.全方位カメラ設置例



図 2.テレプレゼンスの様子



図 3.可動椅子

8. 決算の要約

	金額(千円)	支出予定月	品名・型名・数量/行先・目的・日数等
設備備品費	145	12月	ヘッドマウントディスプレイ
	273	12月	ビデオカード
消耗品費	138	12月	モーションレコーダ
	188	2月	データ記憶装置一式
	26	2月	映像取得補助品一式
	115	12月	体感音響装置一式
	198	2月	映像提示用補助品一式
旅費	218	3月	IEEE VR2008
合計	1301		

9. プロジェクトの状況および自己評価の要約

本プロジェクトでは、高臨場感のバーチャルジェットコースターシステムを構築することを目的とし、映像効果、振動・加速度効果、体感音響効果の3つの効果を付加した。

まず映像効果について述べる。映像提示はヘッドマウントディスプレイで行い、全方位画像を用いることにより自由な視線方向と両眼立体視を行うことで臨場感を高めた。計画では2台の全方位画像を用いて撮影を行い、全方位の立体視を行う計画であったが、2台の全方位カメラを用いてジェットコースターからの撮影を行うことが困難であったため、本プロジェクトでは、1台の全方位カメラで撮影された全方位動画像を用いてシステムの構築を行った。立体視を行うためには、視差のある映像を両眼に提示する必要があるが、1台のカメラ画像からではジェットコースターの進行方向に関して、視差のある映像を得ることが困難であったため、左右の眼に同様の画像を提示した。進行方向に対して横方向周辺の視線方向に関しては、シーケンシャルに撮影された画像から視差のある映像を取得することが可能なため、ステレオ画像の生成を行い、立体視を行った。

加速度効果は、ジェットコースターから撮影された映像に合わせて振動椅子を傾け、振動させることにより実現した。振動椅子に与える傾きは、撮影画像からレールの傾きを検出し、遠心力を与えたい方向に対して椅子を傾けることにより遠心力を実現した。提示する映像もユーザの傾きを考慮して傾きを補正することにより違和感を軽減した。振動は、ジェットコースターの車体の揺れを画像から検出し、実装を行った。

音声効果は、実際に録音された音声に加え、体感音響装置と呼ばれる音声の低域成分(150Hz以下)を振動に変換して体感するシステムを用いた。体感音響装置を用いることにより臨場感を高めた。

デモンストレーションでは、プロトタイプジェットコースターシステムを構築し、スプリングセミナー参加者に体験していただいた。参加者からは、臨場感が十分に感じられたといった意見が多く得られ、目的を十分に達成できた。ただ、実際のジェットコースターと同様の風力を要求する意見が多く、画像から自動的に速度を計測し風力を変化させるシステムの実装を今後行いたい。また、振動椅子での擬似的な横方向の遠心力・前後方向の加速度に関しては、技術的に新規性があると思われるので、今後、実験・考察を行い、学術発表を行いたい。

2007 年度大学院教育改革支援プログラム「プロジェクト型研究提案」結果報告
「立体映像を用いた高臨場感バーチャルジェットコースターシステムの開発」
堀 磨伊也

1. 概要

遠隔地の情景をユーザに提示し、あたかもその場にいるかのような感覚を与える仮想現実技術は、テレプレゼンス[1]と呼ばれ、いかに遠隔地の情景を臨場感豊かに提示するかが課題となっている。テレプレゼンスシステムは、エンターテインメントや医療、教育などの様々な分野で応用が期待されるが、本プロジェクトではエンターテインメント性の高いコンテンツをテレプレゼンスの対象とし、「ジェットコースター」を高臨場感で疑似体験できるシステムの開発を目的とする。

ジェットコースターのテレプレゼンスを行う際に、臨場感を高めるためのアプローチとして、ジェットコースターに搭乗しながら撮影した全方位動画像を入力画像として用いる。全方位動画像を用いることによりユーザは、自由な視線変更が可能となり、指示する視線方向の画像をインタラクティブに提示可能[2]である。提示する映像は、撮影された画像から左右の眼に視差のあるステレオ映像を生成する技術[3]を用いて生成し、ユーザの両眼にそれぞれの視点画像を提示することにより立体視を可能とする。また、臨場感を向上させるために、映像を提示する際には振動・加速度効果、音響効果を付加する。振動・加速度効果は、ロール・ピッチの 2 軸の可動軸を持つ振動椅子を撮影画像から得られる情報を用いて制御することにより実現する。音響効果は、体感音響装置と呼ばれる音声の低域成分を振動に変換してユーザが体感するシステムを用いることにより実現する。

デモンストレーションではプロトタイプ of ジェットコースターシステムの構築を行い、スプリングセミナー参加者に体験してもらうことにより本システムの有効性を示す。

以下、2 節ではプロジェクトの進捗について詳述し、

3 節ではプロジェクトの成果、4 節では今後の展開、最後に 5 節では自己評価について述べる。

2. プロジェクトの進捗

本プロジェクトでは臨場感の高いバーチャルジェットコースターシステムの実現のために主に映像効果、振動・加速度効果、体感音響効果の 3 つの効果が付加した。以下に、それぞれの手法を詳述する。

2.1 映像効果の実現

映像効果に関しては、自由な視線変更と立体視を実現した。以下に手法の詳細を述べる。

ジェットコースターの撮影には全方位型マルチカメラシステム(Point Grey Research Ladybug2)を用いた。このカメラユニットは、水平方向の 5 台と真上の 1 台の CCD カメラが同期して 30fps の動画像を取得することが可能である。図 1 に撮影機器の外観を示す。ジェットコースターからの映像の撮影を行うときには、安全性の問題から全方位カメラをヘルメットに固定し、それを装着し搭乗しながら撮影を行った。撮影画像の保存はラップトップ PC で行ったが、付属のハードディスクでは、ジェットコースターの加速度の影響で動作が停止し、30fps の動画像を取得できない問題が生じた。そこでデータ保存機器としてハードディスクの代わりにシリコンディスクを用いた。シリコンディスクは外的衝撃に強いのが特徴で、ジェットコースター上でも正常に動作した。撮影された画像をそれぞれのカメラ位置を考慮して統合したパノラマ画像を図 2 に示す。使用したパノラマ画像の解像度は横 2048 画素、縦 1024 画素である。このパノラマ画像の一部を透視投影変換することによりユーザの指定する視線方向の画像をリアルタイムで提示することが可能である。

本プロジェクトでは、映像提示装置としてヘッドマ

ウントディスプレイ(i-visor FX601)を用いた。外観を図3に示す。このディスプレイは横800縦600の解像度の映像を提示可能で2m先に60inchのディスプレイがあるかのように体感できる装置である。また左右に異なる映像を提示することが可能で人間の視覚と同様に視差のある映像を提示することにより立体視が可能である。

立体視に関しては、人間の眼と同様に眼間距離だけ離れた位置において撮影された画像をユーザに提示することで可能であるが、本プロジェクトの目的である自由な視線変更と立体視を同時に実現するためには、ベースラインを眼間距離に固定したステレオカメラをユーザの希望する視線方向に回転させなければならないため、現実的には困難である。そこで本プロジェクトでは全方位カメラで撮影された画像群から擬似的に視差のある画像の生成を行う。計画では、全方位カメラを2台用いて撮影された画像群から Image-Based Rendering と呼ばれるアプローチ[3]を用いて全方位の両眼ステレオ画像を生成する予定であったが、全方位カメラを2台用いてジェットコースターの撮影を行うことが困難であったため、1台の全方位カメラで撮影された全方位画像群から擬似的に視差のある画像の生成を行った。全方位カメラ1台ではジェットコースターの進行方向に対して視差のある画像を取得することは難しい。したがって本プロジェクトでは進行方向に対して横方向周辺のみ視差のある映像を生成し、立体視を行う。視線がジェットコースターの進行方向の場合は左右に同様の映像を提示した。横方向周辺に関しては、シーケンシャルに撮影された画像から視差画像の生成を行った。われわれが以前に提案した手法[4]は、ジェットコースターが高速移動しているため生成に必要な光線情報には誤差が大きくなるため、生成されるステレオ画像の生成精度が下がる問題が残るが、本プロジェクトでは、この手法を用いて擬似的に生成した。



図1. 撮影装置外観



図2. 全方位パノラマ画像の例



図3. 映像提示装置(ヘッドマウントディスプレイ)

また、撮影された画像はジェットコースターの振動のため、提示画像が大きく揺れる問題があったが、画像中の特徴点をトラッキングすることにより、画像の揺れを補正した。特徴点はジェットコースターの車体の一部の点を用いた。特徴点のトラッキングはテンプレートマッチングを用いることにより行った。テンプレートマッチングで用いる画像の類似度は、正規化相互相関を用いた。ジェットコースターの車体上の2点についてトラッキングした様子を図4に、ジェットコースターに搭乗して撮影した4479フレームの画像に対してトラッキングした結果を図5に示す。縦軸は画像のx,y座標の画素のずれを、横軸はフレーム数を示している。特徴点は初期位置のみ手動で与え、後は自動的にトラッキングを行った。図5からわかるように画像中で特徴点がx,y座標ともに大きく移動して



図 4. 特徴点のトラッキング

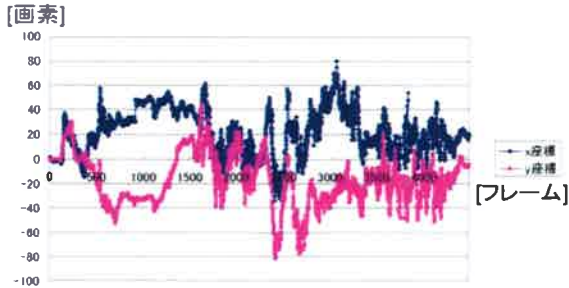


図 5. トラッキング結果



図 6. 画像の揺れ補正結果
(左:補正前 右:補正後)

いることがわかる。これは撮影時に、カメラがジェットコースターの車体に対して固定されておらず、相対的な位置が頻繁に変化しているためである。この揺れを補正することによりカメラと車体を固定した場合の映像提示が可能である。

最後に、視線を変更した場合の画像と立体視を行った例を図 7 に示す。これはある地点で視線を変更させたものだが、(a) 視線方向が進行方向 と (c) 進行方向に対して後ろ方向 に関しては、左右の視点では同じ画像を提示している。一方、(b) 進行方向に対して左方向の視線画像、(d) 進行方向に対して右方向の視線画像 に関しては左右の視点で視差のある映像が生成されていることがわかり、これをヘッドマウンドディスプレイに提示することによりユー



(a) 進行方向の視線画像



(b) 進行方向に対して左方向の視線画像



(c) 進行方向に対して後ろ方向の視線画像



(d) 進行方向に対して右方向の視線画像

図 7. 提示画像例(左:左眼画像 右:右眼画像)

ザは立体視が可能である。

2.2 振動・加速度効果の実現

本プロジェクトでは、画像から得られる情報とロール・ピッチの 2 軸の可動軸を持つ振動椅子を用いることにより振動・加速度の実現を行った。以下に詳細を述べる。

ユーザに振動・加速度を与えるために振動椅子 JoyChair-R1 (川田産業(株))を用いた。これはロールとピッチの 2 軸の可動軸を持ち、最大±15度の可動範囲を持ち、振動と傾きを自由に与えることができる。外観を図 8 に示す。

まず椅子に与える振動について述べる。振動は画像の特徴点のトラッキング結果を用いた。図 5 で示す特徴点の画像中の移動量は、撮影時の車体の振動情報を含んでおり、これを振動椅子の振動に変換させることにより、テレプレゼンスシステムをより現実近づける。

次に加速度について述べる。振動椅子の自由度はロール・ピッチの2軸のため、加速度を実際のジェットコースターと同様に与えることは困難である。そこで本プロジェクトでは、加速度を振動椅子の傾きで体感させる。図 9 に示すように振動椅子をレールのカーブに対して遠心力を感じる方向に傾けることにより遠心力を与える。例えば、図 9 の左図では、ジェットコースターのレールが左に傾いており、実際にジェットコースターに搭乗しているユーザは右方向に遠心力を感じる。この遠心力を図 9 の右図に示すように振動椅子を右方向に傾けることによって擬似的にユーザに体感させる。これは、実際にジェットコースターに搭乗しているユーザの傾きに対して反対方向であるため、ユーザに撮影時の映像をそのまま提示すると違和感が生じる。そこで、提示する画像をユーザの傾きと同様に回転させることにより、この違和感を軽減し、あたかも遠心力を感じるかのような感覚を与える。なお、この映像の回転はヘッドマウントディスプレイでは、ユーザが振動椅子とともに傾くと映像も自動的に傾くため、提示する画像は回転などの特別な変化を与えていない。

前後方向に対しても同様の効果を利用する。ジェットコースターが下がっているときは、振動椅子を前方向に傾けることにより、ユーザはジェットコースターの進行方向に対して加速度を感じるような感覚を知覚する。このようにしてユーザは前後方向にも擬似的にジェットコースターの加速度を体感することができる。ただし、ジェットコースターの前後方向の傾きは画像から自動的に取得することが困難であったため、前後方向の傾きに関しては、手動で入力した。



図 8. 振動椅子外観

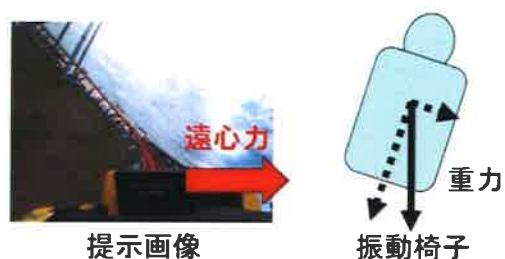


図 9. 振動椅子による遠心力の実現



図 10. 体感音響装置外観

2.3 体感音響効果の実現

本プロジェクトでは、**体感音響装置(FUTEK)**と呼ばれる音声の低域成分(150Hz 以下)を振動に変換して体感するシステムを用いた。図 10 に外観を示す。なお音声はジェットコースターに搭乗しながらビデオカメラで録音したものをを用いた。映像と音声の同期は手動で合わせた。体感音響装置を搭載したシートを振動椅子の座席の背中部分に設置することにより、ユーザに直接的に振動を与え、臨場感高める効果を演出した。

3. 成果

3.1 スプリングセミナーでの発表

2008年3月7日のスプリングセミナーにおいて、スプリングセミナー参加者に対して、実際にプロトタイプのジェットコースターシステムを体験していただいた。映像は横 800 画素、縦 600 画素の画像(全 4479 フレーム)を 30fpsで動作させた。ビデオカードはステレオ画像提示機能を持つ Quadro FX3500 (NVIDIA) を用いた。デモンストレーションの様子を図 11 に示す。ユーザはヘッドマウントディスプレイを装着し、自由な視線変更と立体視(横方向周辺限定)が可能である。視線変更はユーザの持つコントローラによって実現した。ユーザはインタラクティブに視線変更可能である。また、振動椅子により擬似的な遠心力と前後方向の加速度、ジェットコースターの振動を演出した。ユーザには、実際に撮影時に録音された音声と体感音響装置による振動を同時に体験させることにより臨場感の高いシステムの構築を行った。

なお、本プロジェクトはスプリングセミナー参加者の投票により、最優秀賞をいただいた。

3.2 国際会議参加報告

仮想現実感技術の学術調査のため、IEEE Virtual Reality 2008 (March 9-12, Reno, Nevada USA) に参加させていただいた。今回、この学会は、IEEE Haptics Symposium, IEEE Symposium on 3D User Interfaces と共催で参加人数も非常に多かった。

口頭発表されていた論文の中で多視点ディスプレイの開発[5]に関する発表があったので簡単に紹介する。この研究では、平面ディスプレイパネルを回転させることで多視点に異なる映像を提示することのできる回転型多視点ディスプレイを提案している。設計パラメータである画像提示の方向数、視点の更新レートとその決定要因であるディスプレイパネルのリフレッシュレート、回転速度、指向性の強さとの関係を示し、実現可能な使用を決定している。レンティ



図 11. デモンストレーションの様子

キュラとスリットによる指向性フィルタの構成を試み、ディスプレイパネルの回転と指向性を考慮したひずみの少ない映像提示のレンダリング手法の提案を行っていた。他に類を見ない研究だったので非常に興味を引かれた。

なお発表は、仮想現実感だけでなく拡張現実感・複合現実感に関する研究[6][7]が数多く発表されていた。今後の研究の参考にしたい。

4. 今後の展開

今後は、臨場感の高いテレプレゼンスの構築に向けて今回実装できなかった点について改良を行いたい。

1 つはジェットコースターの色を画像より自動的に検出することである。これは環境中の特徴点をトラッキングする[8]ことで可能であると考えられる。ただし、ジェットコースターは高速で移動しているため、速度に対してロバストなトラッキング手法を適用する必要があると思われる。このようにして計測した速度を用いてユーザに体感させる加速度の大きさを変化させることにより、より実物のジェットコースターに近いテレプレゼンスを行うことができると考えられる。またスプリングセミナー参加者から要望があった風力を体感するシステムの開発を行う必要がある。これは画像から取得した速度を用いて線型的にユーザに与えることによって臨場感を高められると考えられる。

今回実装を行った 2 軸の可動軸しか持たない振

動椅子での擬似的な横方向の遠心力・前後方向の加速度に関しては、技術的に新規性があると思われるので、今後、実験・考察を行い、学術発表を行いたい。

5. 自己評価

今回スプリングセミナーでの発表までに実装できなかった点があったが、スプリングセミナーでは一連のシステムとして動作したので高評価につながったものと考えられる。特に遠心力・加速度に関しては、ユーザに対して臨場感を高めることができたものと考えられる。今後は、今回実装したシステムで感じる加速度と、実際のジェットコースターで計測した加速度と比較することにより評価実験を行い、本システムの有効性を示したい。今回、ジェットコースターに搭乗しながら風力や加速度の計測ができなかったため、発表までに実装できなかった点があったのが残念であるが、スプリングセミナー参加者からいただいた意見を参考にして風力を体感できるシステムの構築を目指したい。

プロジェクトの予算に関しては、シリコンディスクなどジェットコースターの撮影に特化した装置、または体感音響装置、立体視ディスプレイ、立体視用ビデオカードなど特殊な機能を付加した備品を多く購入できたため、予算の有用な使用ができたものと自負する。また、調査で参加させていただいた国際会議では、最先端の仮想現実感技術に関する研究を聴講することができ、非常に得るものが大きかった。今後は、このような学会で発表できるように努力を重ねたい。

協力 ナガシマスパーランド

<http://www.nagashima-onsen.co.jp/>

参考文献

- [1] S.Moezzi. Ed.: Special Issue on Immersive Telepresence, IEEE MultiMedia, Vol.4, No.1, pp. 17-56, 1997.
- [2] S. Ikeda, T. Sato, M. Kanbara and N. Yokoya: "Immersive Telepresence System with a Locomotion Interface Using High-Resolution Omnidirectional Videos," Proc. IAPR Conf. on Machine Vision Applications, pp. 602-605, 2005.
- [3] L. McMillan and J. Bergen: "Plenoptic Modeling: An Image-Based Rendering System," Proc. SIGGRAPH'95, pp. 39-46, 1995.
- [4] M. Hori, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Novel Stereoscopic View Generation by Image-Based Rendering Coordinated with Depth Information," Proc. 15th Scandinavian Conf. on Image Analysis (SCIA2007), pp. 193-202, June 2007.
- [5] K. Hirota, K. Tagawa, Y. Suzuki: "Automultiscopic Display by Revolving Flat-panel Displays," IEEE Virtual Reality 2008, pp. 161-168, March 2008.
- [6] S. Jeon, G. J. Kim: "Providing a Wide Field of View for Effective Interaction in Desktop Tangible Augmented Reality," IEEE Virtual Reality 2008, pp. 3-10, March 2008.
- [7] S. Yamamoto, H. Tamaki, Y. Okajima, Y. Bannai, K. Okada: "Symmetric Model of Remote Collaborative MR Using Tangible Replicas," IEEE Virtual Reality 2008, pp. 71-74, March 2008.
- [8] J. Shi and C. Tomasi: "Good features to track," In Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR94), June 1994.