

ウェアラブルビジュアルインタフェースのための コンピュータビジョン

蔵田武志¹² ウォルテリオ・マヨール³

¹ 産業技術総合研究所 情報技術研究部門 ² 筑波大学 ³ ブリストル大学

E-mail : kurata@ieee.org

あらまし 筆者らは、視覚センサや視覚ディスプレイを用いて実世界や仮想世界、または遠隔地の人との直感的で円滑な対話を実現する装着型インタフェースの研究開発に従事している。そのようなインタフェースのことを筆者らは、“ウェアラブルビジュアルインタフェース”と呼ぶ。本稿ではまず、このウェアラブルビジュアルインタフェースにおける視覚センサの有効性について触れ、カメラはどこに装着すべきか、その光学系や撮像系はどうあるべきかについて述べる。また、それらに関連して、ハンドヘルドビジョンシステムやアクティブビジョンアプローチについても概説する。最後にウェアラブルビジョン関連技術として、筆者らの研究例について紹介する。

キーワード ウェアラブルビジョン、ビジュアルインタフェース、AR、アクティブビジョン

Computer Vision for Wearable Visual Interface

Takeshi Kurata¹² Walterio Mayol³

¹Information Technology Research Institute,

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST),

²University of Tsukuba ³University of Bristol

Abstract We are engaged in developing wearable interfaces that enable intuitive and direct interaction with real/virtual environments and with remote person via visual sensors and displays, and we call such interfaces “Wearable Visual Interfaces”. In this paper, we begin by giving an outline of how useful visual sensors are for the wearable visual interfaces. Then we describe where the cameras should be worn, and how the optics system and imaging system should be configured. In addition, we touch on hand-held vision systems and active vision approach. We also introduce a few outcomes from our own research in regard to wearable vision technology.

Keywords wearable vision, visual interface, AR, active vision

1 はじめに

カメラや計算機、記憶装置などの小型省電力化や高性能化、高速通信網の普及、さらにはそれらの低コスト化、ユビキタス化を背景として、携帯・装着したカメラをユーザインタフェースの視覚センサとして利用しようとする試みが数多くなされている [38][53]。慣性センサや RFID に代表される電磁波を用いたペアワイズなセンサなどと比較した場合、視覚センサにはいくつかの優れた利点が備わっている。まず挙げられるのが、色、動き、対象の見え方や 2.5 次元構造 [32][33] (図 1) など、実世界中の対象の表面的な特性をありのまま取得できることである。また、それら得られる実物体の特性に基づいて、人物や物体、場所 [25][29][30] (図

2) などを識別・認識することもできる。さらに例えば、RFID などで得られる個体認証結果を画像認識により確認することで ID の摩り替わりを検査したり、拡張現実 (AR) システムにおける CG 呈示の際、自蔵式センサ (慣性センサ、地磁気など) で得られる位置姿勢を画像の位置合わせで最終調整したりといったように、他のセンサとのフュージョンが有効な場合も多い。

上記とも関係するが、もう一つの優れた点は人間の視覚との互換性にある。“残すため”、“見せるため”に撮ることを主な目的としてカメラ付きケータイやデジカメが急速に普及しているが、これは、ウェアラブルビジュアルインタフェースのインフラが整備されつつあると考えることもできる。実

際すでに、ケータイでの QR コード [2] の利用もかなり浸透しており、さらに研究開発レベルでは、ARToolKit[19] の PDA やケータイへの移植も進んでいる [14][45][60]。また、このようなバーコードやマーカーは目立つため、カメラをそこに向ける動作をユーザに誘発させるといった利点もある。文字の場合は、人も機械も読むことができ、既に大量に存在する印刷メディアや標識などとサイバースペースを繋げることができるという意味でも利用価値は高い [17][57]。

視覚センサを用いたウェアラブルシステムが実現可能な機能としては、記録 [4][15]、状況把握 [39][54]、予測、さらには AR 情報提示などが代表的なものであるが、これらの機能を用いることで、特にユーザの能力の拡張や補完に関する様々な応用が想定される。例えば、視覚障害者支援 [5] (図 3) や、作業支援・学習支援 [16][44] (図 4)、記憶の拡張・補完などである。作業支援や学習支援には、意味記憶や手続き記憶の獲得支援も含まれることも多い。また、日常的な記憶支援に関しては、過去のエピソード記憶の想起支援 [23] や展望記憶の支援などがある。

このように将来性が高く応用範囲の広いウェアラブルビジュアルインタフェースに欠かせないコンピュータビジョン (CV) に関連して、以下、本稿では、カメラはどこに装着すべきか、その光学系や撮像系はどうあるべきかについて述べる。また、それらに関連して、ハンドヘルドビジョンシステムやアクティブビジョンアプローチについても概説する。最後にウェアラブルビジョン関連技術として、筆者らの研究例について紹介する。

2 カメラはどこに装着すべきか

過去の文献に見られるカメラの装着位置の例を図 5 に示す。これらの各装着位置は、装着者の視点映像を得るため、装着者周囲 (前方、後方、全体) の状況を捉えるため、手指の動作や歩行動作を捉えるため、日常無理なく装着できるようにするためなど、様々な理由により設定されている。これらは経験的、もしくは実験的知見により決められたものと考えられるが、より客観的にカメラの装着位置を評価するために、Mayol らは 1800 ポリゴンからなる人間の多関節モデル [1] を用いたシミュレータを開発した [41]。

この Matlab 上で動作するシミュレータでは、まず、図 6 に示すように、体の部位及びその部位表面からの距離に応じて、理想的な全方向カメラの視野にどの程度の自己隠蔽 (self-occlusion) が生ずるかを算出することができる。このグラフからは、額から肩、胸部へとカメラ位置を下げると自己隠蔽の割合が増加し、部位表面からカメラを離すと



図 1: 逐次型ロバスト因子分解法を用いてユーザが把持する対象物体の 3 次元形状を取得し、AR コンテンツ (飛び出すポスタ) として使用した例

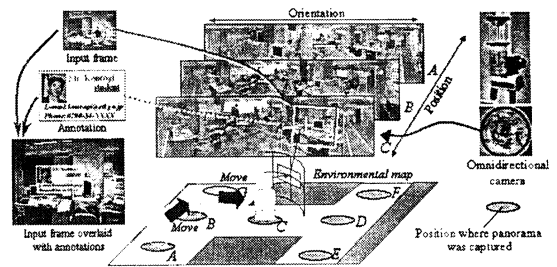


図 2: 事前に登録されたパノラマ画像群と入力画像との位置合わせ手法によりユーザの場所と見ている方向を取得する例

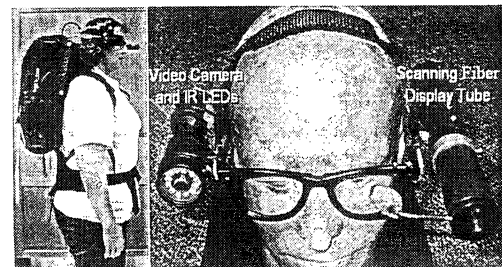


図 3: 弱視者支援: 赤外光投影を用いて近接した障害物を検知し、その大まかな位置をファイバースキャニング網膜ディスプレイで呈示

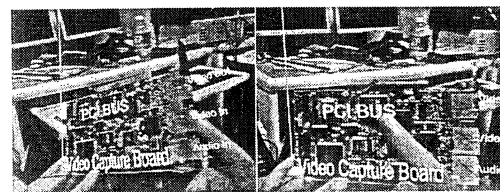


図 4: 自然特徴点追跡に基づく 3 次元位置姿勢推定を用いた AR マニュアルによる作業支援の例

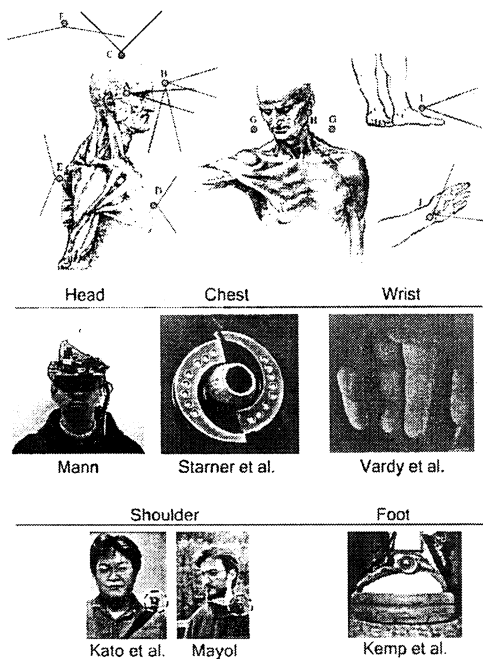


図 5: カメラの装着位置. (A) こめかみ [37], (B) 額 [55], (C) 頭頂部 [11], (D) 胸骨部 [52], (E) 背中 [6], (F) 頭上 [48], (G) 両肩 [42], (H) 耳 [35], (I) 足の甲 [10], (J) 手首 [12][59]

その割合が減少することがわかる。

カメラからの視点ではなく、作業領域を基準にして評価することもできる。図 7 左は、点線で示された作業領域がどの程度観察可能かを部位（ポリゴン）ごとに評価した結果である。さらに、自己隠蔽、歩行運動による視野の不安定さ、作業領域の観測しやすさなどによる各評価結果に重みをつけて総合評価することも可能である（図 7 右）。例えば、作用支援を想定し、首振り運動や、作業領域の観測しやすさを重視すると、頭部の評価値は低くなる一方、肩や胸部の評価が高くなる。このように使用状況に応じた定量評価はウェアラブルビジュアルインタフェースを設計する際に非常に有効である。

2.1 ハンドヘルドビジョンシステム

“ウェアラブル”とは何かという議論は尽きないが、“always-on”や“always-ready”を満たす必要があるとすれば、視覚センサはやはり体のいずれかの部位に装着されて然るべきである。しかしながら、実際にはハンドヘルドデバイスもウェアラブルの範疇に含まれることが多く、最近ではカメラ

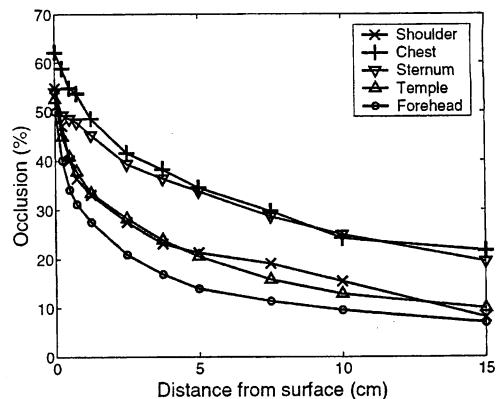


図 6: カメラ位置（代表的な 5 箇所、及び各部位表面からの距離）に応じた自己隠蔽の割合

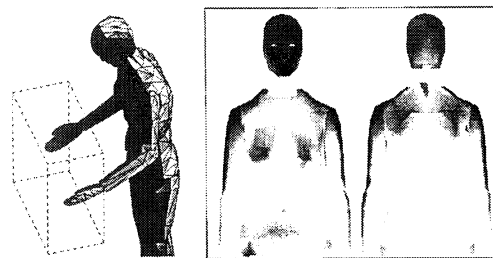


図 7: 左) 点線で示された作業領域を見るのに適した部位, 右) 自己隠蔽, 歩行運動による視野の不安定さ, 作業領域の観測しやすさに関する評価値の重みを 50:30:1 とした場合の総合評価結果（高評価：黒, 低評価：白）

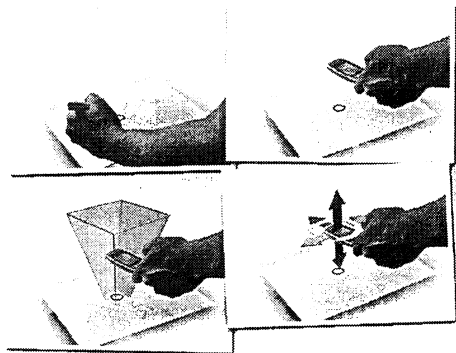


図 8: 手書きマーカやユーザの顔を追跡することで、カメラ付きケータイ自体をポインティングデバイスとして利用

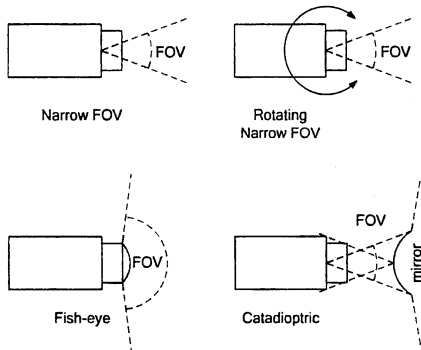


図 9: 標準画角のカメラ, アクティブカメラ, 広角レンズや反射屈折光学系を用いたカメラ

付きケータイが CV アプリプラットフォームとして注目されているため, 本稿でも少し触れることとする。

ハンドヘルドカメラとディスプレイの組み合わせは, しばしば「虫眼鏡メタファ」[47]を用いたビデオスルーデバイスデバイスとして頻繁に利用されている [18][56]. カメラ付きケータイの場合, 前述の QR コードをはじめ, LOG (Laplacian of Gaussian) フィルタや適応的な輝度平滑化などを用いた文字列抽出と OCR とを組み合わせた例 [57], 相関ベースのマッチングに基づいて写真や絵をマーカとして用いるオリンパス社の SyncR の例など, 既に CV 技術を活用した虫眼鏡メタファベースのインタフェースの実用化が進んでいる。

虫眼鏡メタファとは異なるカメラ付きケータイ上の CV アプリも提案されている。例えば, Hansen らは, Randomized Hough 変換による手書きマーカ追跡や, CamShift アルゴリズムによるユーザの顔追跡の結果を用いて, ケータイの動き自体をケータイの操作や大型ディスプレイのポインティングなどに利用している [13] (図 8)。顔を追跡する場合, カメラとディスプレイが同じ面にある必要があるが, マーカを用意する必要がないという利点がある。また, オムロン社の OKAO VISION の場合, 200MHz 前後の ARM コアを用いて顔の検出と認証を 1 秒程度で実現しており, 今後様々な応用が期待される [24]。

3 どのようなカメラを使うか

視覚センサをどの部位に装着するかと共に, どのような光学系や撮像系を用いるのかも注意深く検討しなければならない要素の 1 つである。図 9 は, これまでウェアラブルビジュアルインタフェース関連の研究で使われたことのある単眼カメラの例である。従来, 多くのウェアラブルシステムでは, 標

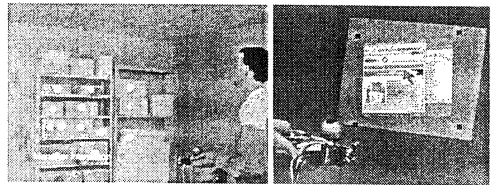


図 10: RFIG タグ (アクティブ RFID & フォトセンサ) とハンドヘルドプロジェクタ・カメラシステムにより各タグの位置を計測

準的な画角のレンズ, QVGA から VGA クラスの撮像系からなる単眼カメラが採用されてきた。光学系, 撮像系のみならず, 計算機や画像蓄積・伝送の性能などを考慮しつつシステム全体を小型・軽量化したり, 入手性やコストを考慮したりすると, このようなカメラは現状でも現実的な選択肢の 1 つである。実際, 上述のように頭部, 胸部, 足など様々な部位に付けやすく, ある限定された範囲であれば実用的な解像度の画像を得ることができるという利点もある。

多眼カメラを適用した研究例もある。Molton は, 図 5(G) のように両肩上方に配置した 2 眼カメラを視覚障害者歩行ナビゲーションシステムに導入し, ステレオ画像, 時系列画像を併用した特徴点ベースの手法を用いて, シーンの 3 次元構造復元や障害物回避などを行った [42]。Kawai & Tomita は, 3 眼カメラをヘルメット上に配置し, セグメントベース及び相関ベースのステレオ処理により, 環境や対象の距離情報を取得し, やはり視覚障害者支援に応用した [22]。多眼システムは, データ量・計算量が増加しシステム構成が複雑になるため, 一般に小型化は容易ではないが, 例えば, 指の追跡に基づくポインティングインタフェース専用で組込 2 眼システムを構築し小型化した例もある [9]。

光学系として, 魚眼などの広角レンズや反射屈折光学系を用いる場合, 装着者周囲の状況を広く捉えることができる [6] というだけではなく, 特徴点や対象物体が画像内に留まっている可能性が高く追跡しやすい, 位置姿勢を精度よく推定しやすい [7] など, CV 技術のロバスト性向上に寄与するといった利点もある。

3.1 アクティブビジョンアプローチ

最も上手く機能するビジョンシステムは, 見たいものだけを見ることのできるシステムかもしれない。常に対象のみを撮像できれば, セグメンテーションなどの複雑な問題を回避でき, 簡単なアルゴリズムでよい結果を得ることができるからである。そのような理想的な状況を作るために, 見たいも

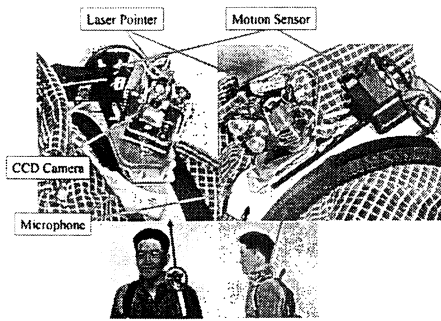


図 11: パンチルト雲台にカメラ・レーザヘッドを搭載した WACL

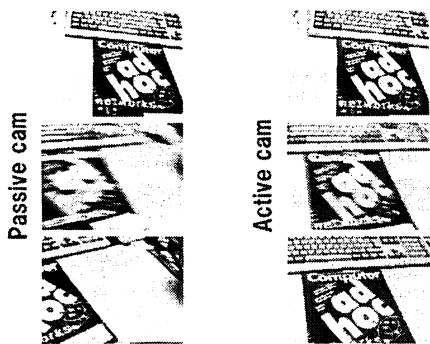


図 12: 固定カメラとアクティブカメラにおけるモーションブラーや撮影の継続性の違い

のだけを光学的に選択するアクティブライティング、及び見たいものを逃さないようにするアクティブカメラに代表されるさまざまなアクティブビジョン手法が提案されている。問題を簡単化できると計算コストを低減できるため、アクティブビジョン手法はウェアラブルシステムにも適したものである。

アクティブライティングでは、照明（主に赤外光）、レーザスポット、スリット、パターン光などを投影し、その反射光を視覚センサで観測することで、主に距離や形状に関する情報を取得する。赤外照明を用いた手法の場合、太陽光や熱源など他の赤外光源が混在する場合に信頼性が低くなる、人に見せる画像を撮るには可視光用カメラが別途必要な場合があるなどの問題点があるが、反射強度を用いて、背景除去や近接物体検出 [5]、対象の認識・追跡 [52][58][61] などが簡便なシステムで比較的容易にできるという利点がある。Nakazatoらは、天井に多数の再帰性反射マーカを配置し、頭頂部の赤外照明及びカメラを用いてマーカを検出し、ユーザの位置姿勢を計測している [43]。赤外光もマーカも目立たないため、屋内での歩行ナビなどに適した手法であるといえる。

実物体をアイコン、レーザポインタをマウスカーソルに見立てた実世界インタラクションを実現するためにアクティブライティングを用いた研究例もある (Circle & Identify [51])。ユーザは、レーザポインタとカメラからなるハンドヘルド空間マウスを用いて、アイコンとして使いたい物体を囲むようにレーザスポットで閉じたループを描く。そのループ内部の画像情報のみを用いて物体認識をすることで、セグメンテーションの問題を対話的に軽減している。

フォトセンサ付きアクティブ RFID タグである RFIG (RFID and Geometry) タグとハンドヘルドプロジェクタ・カメラシステムを用いた RFIG Lamps (Lamp: Locale-aware mobile projector) [46] では、まず、RFIG タグが配置された空間に対して、グレイコードパターン光を投影する。各タグは、フォトセンサでグレイコードを獲得し ID とともにシステムに送信する。グレイコードはカメラ画像上でも観測されているため、システムはマーカ検出などの技術を用いずに各タグの位置を獲得することができる。さらに壁面など環境中の LED やプロジェクタ・カメラシステムに取り付けられた複数のレーザポインタなどを使ったハイブリッドな実時間位置姿勢更新も実現している (図 10)。

パン、チルト、ロールなどのカメラ運動やズームなどを制御するアクティブカメラは、スタビライズや追跡処理などにより常に対象を撮像するように視線方向やズームを変更する (撮影の継続性を保つ) ことができ、また、標準的な光学系、撮像系、通信経路の組み合わせでも広範囲の映像や注視したい対象の高精細映像を取得できるなどの特徴を持つ [8][21][20][40]。また、装着者の視点移動とは独立にカメラ視点を設定できるため、WACL (Wearable Active Camera/Laser) (図 11) のように、遠隔作業支援のためのウェアラブルビジュアルインタフェースとしても適している [36][50][49]。

また、パン、チルトなどのカメラ運動を制御可能なアクティブカメラは、モーションブラーの影響を軽減させることもできる (図 12)。撮像面に沿った平行移動を仮定すると、モーションブラーなしで詳細な画像を獲得できる最大速度は、 $V_s = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ のように計算できる。ここで、 $\Delta\phi$ は画素毎の画角、 Δt はシャッター速度とする。例えば、 640×480 pixel、30Hz、水平画角 42deg、シャッター速度 30msec の場合、モーションブラーは $V_s = 2 \text{ deg/sec}$ から発生することになる。例えば、2m 離れた対象を横に見ながら歩く場合、約 30deg/sec で対象が移動するため、日常的な動作でも固定カメラの場合は容易にモーションブラーの影響を受けることがわかる。

4 Weavy

筆者らのグループでは、1999年よりウェアラブル拡張現実インタラクションに関する研究を実施している [3]。本節では、これまでの研究成果の中から、ウェアラブルビジュアルインタフェースのための CV 関連技術としてパーソナルポジショニングとハンドジェスチャについて簡単に紹介する。

環境側に手を加えることなくユーザの位置・方位を推定するために、筆者らは、腰部の自蔵式センサ（加速度・ジャイロ・磁気）によるデッドレコニング、及び頭部装着カメラから得られる画像を用いた絶対位置・方位推定を組み合わせたパーソナルポジショニング手法 [27] を開発した。本手法ではまず、加速度、角速度の時系列パターンを用いて歩容を解析し、歩行移動量を推定する。ジャイロのドリフト補正には重力加速度及び地磁気データを用いるが、伏角に基づいて磁場を安定的に利用できるスポットを検出することにより、ヨー角の信頼性を向上させている。

しかしながら、慣性センサの性能限界や、地磁気の乱れなどによる誤差の蓄積を完全に防ぐことはできないため、撮影視点位置・方位情報を含む登録画像（図 2 ではパノラマ画像を用いていたが、パノラマ画像である必要はない）と入力画像との対応付けにより、絶対位置・方位を補正している [26]。ただし、この対応付けには比較的多くの計算資源が必要であり、登録画像が存在しないと結果が得られないという問題がある。本手法では、このような特性の異なるセンサ・手法をカルマンフィルタの枠組みで相補的に融合することでパーソナルポジショニングを実現している。現在は、デッドレコニングと GPS との統合についての研究も推進している [28]。

ハンドジェスチャインタフェースは、とっさに何かを指示する場合や簡単な操作で十分な場合にわざわざ入力デバイスを持つ必要がなく、また直感的に使えるという利点を持つ。筆者らの提案手法 [31] では、手の検出・追跡のために、まず、動き補償付き低解像度フレーム間画像差分を用いて、少ない計算量（手の追跡時の 7%）で手の出現をモニタリングする。これにより、ハンドジェスチャ未使用時はウェアラブルコンピュータの計算リソースを他の処理に振り分けることができる。手が出現したと判断されると、出現時の手の色情報と、事前に登録された輪郭情報を用いた重点サンプリングを含むパーティクルフィルタによる手の追跡処理を起動する [34]。現状では、ポインティング、クリック、ドラッグ動作に対応する手振りをを用いたシステムとの対話が可能である（図 13, 14）。



図 13: 隠れや照明変化にロバストな手の追跡

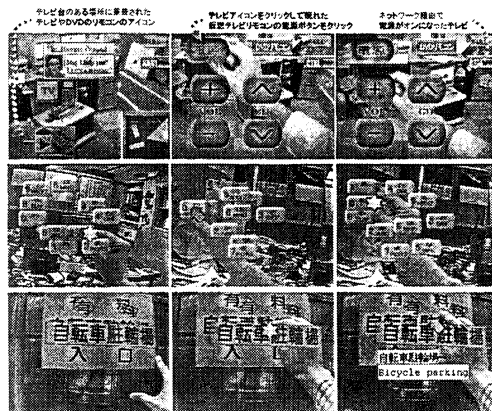


図 14: ハンドジェスチャ応用. 上から、ユニバーサルリモコン、セキュアなパスワード入力、実世界 OCR と翻訳サービス

5 おわりに

本稿では、ウェアラブルビジュアルインタフェースに欠かせない CV 技術に関して、主に、ウェアラブルカメラの装着位置、その光学系や撮像系、アクティブビジョンアプローチについて述べ、筆者らの研究例についても紹介した。

一般用途では、カメラ付きケータイをプラットフォームとした CV アプリが徐々に普及しはじめ、産業用途においても、特に作業支援分野などでウェアラブルカメラシステムを採用するケースが増えている。このように、CV 技術を適用しやすいインフラが整い始めている今こそ、ウェアラブルビジュアルインタフェースや CV 技術を社会に浸透させるための努力をより一層すべきであると考えている。

参考文献

- [1] Nancy h-anim humanoid under Matlab, <http://www.robots.ox.ac.uk/~wmayol/3D/nancy-matlab.html>.
- [2] QR コード (株式会社デンソーウェーブの登録商標), <http://www.qrcode.com/>.

- [3] *Weavy: Wearable Visual Interfaces*, <http://www.is.aist.go.jp/weavy/>.
- [4] K. Aizawa. Digitizing personal experiences: Capture and retrieval of life log. In *Proc. Int'l Multimedia Modelling Conf. (MMM)*, pp. 10–15, 2005.
- [5] R.C. Bryant, C.M. Lee, R.A. Burstein, and E.J. Seibel. Engineering a low-cost wearable low vision aid based on retinal light scanning. In *Proc. SID 2004*, pp. 23–28, 2004.
- [6] B. P. Clarkson. *Life Patterns: structure from wearable sensors*. PhD thesis, MIT MediaLab, 2002.
- [7] A. J. Davison, Y. G. Cid, and N. Kita. Real-time 3d slam with wide-angle vision. In *Proc. IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles (IAV)*, 2004.
- [8] A.J. Davison, W.W. Mayol, and D.W. Murray. Real-time localisation and mapping with wearable active vision. In *Proc. ISMAR*, pp. 18–27, 2003.
- [9] P. de la Hamette, P. Lukowicz, G. Troster, and T. Svoboda. Fingermouse: A wearable hand tracking system. In *Proc. Ubicomp 2002*, pp. 15–16, 2002.
- [10] P. Fitzpatrick and C. C. Kemp. Shoes as a platform for vision. In *Proc. ISWC*, pp. 231–235, 2003.
- [11] E. Foxlin and L. Naimark. Miniaturization, calibration & accuracy evaluation of a hybrid self-tracker. In *Proc. ISMAR*, pp. 151–160, 2003.
- [12] 藤本昌宏, 井村誠孝, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原國宏. Airgrabber: 小型カメラと傾斜センサを用いたバーチャルキーボード. 日本 VR 学会論文誌, Vol. 9, No. 4, pp. 413–422, 2004.
- [13] T. R. Hansen, E. Eriksson, and A. Lykke-Olesen. Mixed interaction space: designing for camera based interaction with mobile devices. In *CHI Extended Abstracts*, pp. 1933–1936, 2005.
- [14] A. Henrysson, M. Billinghurst, and M. Ollila. Face to face collaborative ar on mobile phones. In *Proc. ISMAR2005*, pp. 80–89, 2005.
- [15] M. Hirose and R. Ueoka. Virtual time machine – experience recording and utilization by using wearable technology. In *SICE Annual Conference 2005, CDROM*, 2005.
- [16] T. Jebara, C. Eyster, J. Weaver, T. Starner, and A. Pentland. Stochastics: Augmenting the billiards experience with probabilistic vision and wearable computers. In *Proc. ISWC97*, pp. 138–145, 1997.
- [17] K. Jung, K. I. Kim, T. Kurata, M. Kourogi, and J. Han. Text scanner with text detection technology on image sequences. In *Proc. ICPR2002*, Vol. 3, pp. 473–476, 2002.
- [18] Y. Kameda, T. Takemasa, and Y. Ohta. Outdoor see-through vision utilizing surveillance cameras. In *Proc. ISMAR 2004*, pp. 151–160, 2004.
- [19] H. Kato and M. Billinghurst. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In *Proc. IWAR99*, pp. 85–94, 1999.
- [20] 加藤丈和, 蔵田武志. 分散型ウェアラブルアクティブビジョンシステムとその応用. 信学論, Vol. J87–D-II, No. 12, pp. 2112–2123, 2004.
- [21] T. Kato, T. Kurata, and K. Sakaue. VizWear-Active: Distributed Monte Carlo face tracking for wearable active camera. In *Proc. ICPR*, Vol. 1, pp. 395–400, 2002.
- [22] Y. Kawai and F. Tomita. A support system for visually impaired persons to understand three-dimensional visual information using acoustic interface. In *Proc. ICPR*, Vol. 3, pp. 974–977, 2002.
- [23] T. Kawashima, K. Yoshikawa, K. Hayashi, and Y. Aoki. Situation-based selective video-recording system for memory aid. In *Proc. ICPI96*, Vol. 3, pp. 835–838, 1996.
- [24] K. KINOSHITA, Y. MA, S. LAO, and M. KAWADE. A fast and robust facial points localization and pose estimation system. In *Demo Proc of ICCV 2005*, 2005.
- [25] 興梠正克, 蔵田武志. ウェアラブル拡張現実システムのための利用者のビューベースト位置・方位取得手法. 日本 VR 学会論文誌, Vol. 7, No. 2, pp. 139–149, 2002.
- [26] M. Kourogi and T. Kurata. A method of personal positioning based on sensor data fusion of wearable camera and self-contained sensors. In *In Proc. MFI2003*, pp. 287–292, 2003.
- [27] M. Kourogi and T. Kurata. Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained sensors and a wearable camera. In *Proc. ISMAR03*, pp. 107–114, 2003.
- [28] 興梠正克, 蔵田武志. GPS と歩行動作解析に基づくデッドレコニングの統合によるパーソナルポジショニング. 第 19 回人工知能学会全国大会 (JSAI2005), pp. IA3–03, 2005.
- [29] M. Kourogi, T. Kurata, K. Sakaue, and Y. Muraoka. Improvement of panorama-based annotation overlay using omnidirectional vision and inertial sensors. In *Proc. ISWC*, pp. 183–184, 2000.
- [30] M. Kourogi, T. Kurata, K. Sakaue, and Y. Muraoka. A panorama-based technique for annotation overlay and its real-time implementation. In *Proc. ICME*, pp. 657–660, 2000.
- [31] 蔵田武志, 興梠正克, 加藤丈和, 大隈隆史, 遠藤健. ウェアラブルビジュアルインターフェースのための機能分散型ハンドトラッキング手法とその応用. 日本 VR 学会論文誌, Vol. 10, No. 4, pp. –, 2005.
- [32] T. Kurata, J. Fujiki, M. Kourogi, and K. Sakaue. A fast and robust approach to recovering structure and motion from live video frames. In *Proc. CVPR2000*, Vol. 2, pp. 528–535, 2000.

- [33] 蔵田武志, 藤木淳, 興梠正克, 坂上勝彦. ライブ映像からの3次元構造と運動の復元のための高速でロバストなアプローチ. 信学論, Vol. J84-D-II, No. 12, pp. 2515-2524, 2001.
- [34] T. Kurata, T. Kato, M. Kourogi, J. Keechul, and K. Endo. A functionally-distributed hand tracking method for wearable visual interfaces and its applications. In *Proc. MVA*, pp. 84-89, 2002.
- [35] T. Kurata, T. Okuma, M. Kourogi, T. Kato, and K. Sakaue. VizWear: Toward human-centered interaction through wearable vision and visualization. In *Proc. 2nd IEEE Pacific-Rim Conf. on Multimedia (PCM2001)*, pp. 40-47, 2001.
- [36] T. Kurata, N. Sakata, M. Kourogi, H. Kuzuoka, and M. Billinghurst. Remote collaboration using a shoulder-worn active camera/laser. In *Proc. ISWC2004*, pp. 62-69, 2004.
- [37] S. Mann. Wearable computing: A first step toward personal imaging. *Computer*, Vol. 30, No. 2, pp. 25-32, 1997.
- [38] W. Mayol and T. Kurata. Computer vision for wearable visual interface. Tutorial at ISWC, 2005.
- [39] W.W. Mayol and D.W. Murray. Wearable hand activity recognition for event summarization. In *Proc. ISWC2005*, pp. 122-129, 2005.
- [40] W.W. Mayol, B. Tordoff, and D.W. Murray. Wearable visual robots. In *Proc. ISWC2000*, pp. 95-102, 2000.
- [41] W.W. Mayol, B. Tordoff, and D.W. Murray. Designing a miniature wearable visual robot. In *Proc. ICRA*, pp. 3725-3730, 2002.
- [42] N. Molton. *Computer Vision as an Aid for the Visually Impaired*. PhD thesis, University of Oxford, 1998.
- [43] Y. Nakazato, M. Kanbara, and N. Yokoya. Discreet markers for user localization. In *Proc. ISWC2004*, pp. 172-173, 2004.
- [44] T. Okuma, T. Kurata, and K. Sakaue. Fiducial-less 3-d object tracking in ar systems based on the integration of top-down and bottom-up approaches and automatic database addition. In *Proc. ISMAR03*, pp. 342-343, 2003.
- [45] W. Paman and C. Woodward. Implementation of an augmented reality system on a PDA. In *Proc. ISMAR2003*, pp. 276-277, 2003.
- [46] R. Raskar, P. Beardsley, J. van Baar, Y. Wang, P.H. Dietz, J. Lee, D. Leigh, and T. Willwacher. Rfip lamps: Interacting with a self-describing world via photosensing wireless tags and projectors. *ACM Transactions on Graphics (TOG) SIGGRAPH*, Vol. 23, No. 3, pp. 406-415, 2004.
- [47] J. Rekimoto and K. Nagao. The world through the computer: Computer augmented interaction with real world environments. In *Proc. UIST*, pp. 29-36, 1995.
- [48] W. Rungsrityotin and T. Starner. Finding location using omni-directional video on a wearable computer platform. In *Proc. ISWC 2000*, pp. 61-68, 2000.
- [49] 酒田信親, 蔵田武志, 興梠正克, 葛岡英明, マークベリングハースト. 肩載せアクティブカメラ・レーザによる遠隔協調作業. 日本 VR 学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 333-341, 2005.
- [50] N. Sakata, T. Kurata, T. Kato, M. Kourogi, and H. Kuzuoka. WACL: Supporting telecommunications using wearable active camera with laser pointer. In *ISWC 2003*, pp. 53-56, 2003.
- [51] B. Sohn and G. Lee. Circle & identify: interactivity-augmented object recognition for handheld devices. In *Proc. UIST*, pp. 107-110, 2005.
- [52] T. Starner, J. Auxier, D. Ashbrook, and M. Gandy. The gesture pendant: A self-illuminating, wearable, infrared computer vision system for home automation control and medical monitoring. In *Proc. ISWC*, pp. 87-94, 2000.
- [53] T. Starner, S. Mann, B. Rhodes, J. Levine, J. Healey, D. Kirsch, W. R. Picard, and A. Pentland. Augmented reality through wearable computing. *Presence*, Vol. 6, No. 4, pp. 386-398, 1997.
- [54] T. Starner, B. Schiele, and A. Pentland. Visual contextual awareness in wearable computing. In *Proc. ISWC*, pp. 50-57, 1998.
- [55] T. Starner, J. Weaver, and A. Pentland. A wearable computer based american sign language recognizer. In *Proc. ISWC'97*, pp. 130-137, 1997.
- [56] 高橋和彦, 柴崎隆男, 赤塚祐一郎. 携帯型オブティカルシースルービューワにおけるキャリブレーション方法. 日本 VR 学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 281-284, 2005.
- [57] 小島岳史 福本博文 志久修玉井敬一. ケータイカメラ画像からの文字列抽出技術の開発. シンポジウム「ケータイ・カーナビの利用性と人間工学」, 2004.
- [58] N. Ukita and M. Kidode. Wearable virtual tablet: Fingertip drawing on a portable plane-object using an active-infrared camera. In *Proc. Int'l Conf. on Intelligent User Interfaces (IUI2004)*, pp. 169-176, 2004.
- [59] A. Vardy, J. Robinson, and L.-T. Cheng. The wristcam as input device. In *Proc. ISWC'99*, pp. 199-202, 1999.
- [60] D. Wagner and D. Schmalstieg. First steps towards handheld augmented reality. In *Proc. ISWC2003*, pp. 127-135, 2003.
- [61] H. Yamazoe, A. Utsumi, and K. Hosaka. A body-mounted camera system for capturing user-view images without head-mounted camera. In *Proc. ISWC2005*, pp. 114-121, 2005.