スマートグラスのAR表示による遠隔フィールド作業支援システムの開発

Research and Development of a Remote Field Support System using Augmented Reality for Smart Glasses

正会員 加藤 晴久[†], 正会員 小林 達也[†], 正会員 辻 智弘[†],
正会員 菅野 勝[†], 正会員 柳原 広昌[†]

Haruhisa Kato[†], Tatsuya Kobayashi[†], Tomohiro Tsuji[†], Masaru Sugano[†] and Hiromasa Yanagihara[†]

あらまし 本稿では、遠隔フィールド作業における現場作業者と遠隔指示者との間で、迅速な状況把握および正確な指示理解を目的とした作業支援システムについて紹介する。本システムは、作業者が装着するスマートグラスから作業者の視野映像を遠隔の指示者へ伝送するとともに、遠隔の指示者が画像中の作業対象に手書きした視覚的な指示をスマートグラスのカメラプレビュー映像へ重畳する。本システムの拡張現実感（AR）技術は、作業対象をその場で学習・認識・追跡し、従来研究が抱える課題を克服することで、作業者が移動しても指示内容は作業対象に重畳し続ける頑健性と認識可能な範囲を2倍に拡大する広域性を実現した。本システムの開発にあたっては、通信設備の建設・運用現場でトライアルを重ねることでARを活用した情報共有に関わる研究を推進し、インフラ保守・点検業務等でのヒューマンエラー防止と作業コスト削減の両立が期待されている。

キーワード：作業支援, 拡張現実感, AR, スマートグラス

1. ま え が き

通信事業者は、24時間365日、快適な通信サービスを安定的に提供するのが使命であり、緊張感を持ってネットワークを常時監視しているが、インターネットやメール、通話が利用できなくなる等の通信障害は毎年数多く発生している[1]。特に、通信障害が長時間・広範囲に影響を与えた場合は総務省へ重大事故としての報告義務が定められており、事故の状況把握やその後の再発防止に向けた施策に活用されている。報告義務が生じる通信事故は、電気通信事業法施行規定において定義されており、1984年の策定時より通信障害の影響が甚大になっている現在、より厳格な基準（図1）に改定（2015年4月施行）された。即ち、通信事業者には通信障害の防止および復旧の迅速化がこれまで以上に要請されている。

一方、一般的な建設／運用現場では、ヒューマンエラーを防ぐ取り組みとして、複数の作業員による二重確認や指差喚呼、喚呼応答等が採用されている。しかし、突発的な障害や災害で復旧作業にあたる場合、複数の作業員が現場へ集合するまで作業を開始できないという問題がある。特に、通信設備に関しては、通信拠点が分散と増加の傾向に

図1 総務省による電気通信事故の報告対象

図2 フィールド作業が抱える課題

あるため、現場までの到着に時間を要する。また、通信設備の多様化と高機能化により作業内容が複雑化しているため、専門性を持った熟練作業員が不足してくると、この問題は一層顕著となる。

図2のような上記課題を抱えるフィールド作業の効率化対策のひとつとして、マニュアル・指示書のデジタル化は

2016年7月25日受付, 2016年9月12日再受付, 2016年11月8日採録

[†]株式会社 KDDI 総合研究所

(〒 356-8502 埼玉県ふじみ野市大原 2-1-15)

図3 システム構成と機能概要

もとより、更なる高度化に主眼を置いた遠隔フィールド作業支援システムが幾つか実用化されつつある [2-7]。遠隔フィールド作業支援システムでは、現場からの映像／音声を遠隔でリアルタイム共有できるため、現場には作業員が一名であっても、遠隔で映像を共有する作業員との二重確認を担保することで、作業の高信頼化と迅速化が可能と喧伝されている。さらに、拡張現実感 (AR: Augmented Reality) に対応したシステム [6,7] や研究 [8-11] では、作業対象に作業内容や指示内容を重畳できるため、不慣れた作業員であっても作業の効率化が期待されている。しかし、従来の AR 対応システムは、マーカーの付与 [6-8] や作業対象の 3 次元計測 [9-11] 等の煩雑な事前準備が必要であるため、作業環境・作業設備が頻繁に変更される場合や対応箇所が多い場合は事前準備にコストがかかるという課題があった。また、作業対象に白黒のマーカーを設置する必要がある既存手法 [6-8] は、マーカーが物理的に大きいため、比較的小さな作業対象に適用することは困難であった。マーカーを利用しない別の手法 [9-11] は前記の問題を一部解決するが、作業対象の 3 次元形状を照合するなどの処理負荷が大きいため携帯端末で実行することは不可能であった。

上記の課題を技術的に克服し、可搬性に優れた端末だけを用いて映像・音声を伝送するとともに、事前準備が無くとも既存技術より高精度かつ端末でのリアルタイム動作を可能とするシステムへの要望が高まっている。

2. 提案する遠隔フィールド作業支援システム

2.1 概要

著者らはモバイル AR を活用した情報共有に関わる研究を推進し、スマートグラス・タブレット端末間において映像・音声だけでなく視覚的な指示を映像へ重畳することで、円滑なコミュニケーションを実現するシステムを構築した (図 3)。

スマートグラスを装着した作業員は、遠隔の指示者から AR による指示を確認しながらハンズフリーで効率的かつ確実に作業することができる (図 4) ため、緊急時の一人作業や突発的な災害復旧作業、複雑かつ多岐に及ぶ作業などにおいても高い信頼性を維持できる。また、遠隔から熟

図4 スマートグラスを装着した作業員と、作業員の視野（遠隔の指示者からのリアルタイムな AR 指示が重畳した作業対象）

練作業員が複数の現場を一元的に監視・指示することでオペレーションコスト削減も見込める。

主な機能としては下記の 4 点が挙げられる。

- (1) 遠隔映像伝送
- (2) スタンドアローン動作 (特別なサーバ不要)
- (3) ハンズフリー
- (4) オンサイト学習 (事前学習不要)

技術的特長は作業対象をその場で学習・認識・追跡し、スマートグラスが移動しても指示内容は作業対象に重畳し続けることができる点にある。

提案する当該技術は、スマートグラスだけを用いて映像・音声を伝送するとともに、マーカーが無くとも従来技術より高精度かつ端末でのリアルタイム動作を可能とした。また、主要機能 (オンサイト学習、遠隔映像伝送、ハンズフリー、スタンドアローン動作) を満たす作業支援システムは世界初の成果となる。同システムは通信設備の建設・運用現場でトライアルを重ねており、インフラ保守・点検業務等でのヒューマンエラー防止と作業コスト削減の両立が期待されている。

2.2 操作手順と技術的特長

遠隔フィールド作業支援システムの運用手順を図 5 に示す。まず現場の作業員が装着したスマートグラスのカメラで作業対象を撮影し、遠隔にいる指示者へリアルタイム映像を伝送する (遠隔映像伝送機能)。次に、本部の監督・指示者は PC あるいはタブレット端末でリアルタイム映像・音声を共有し、作業状況・進捗を把握する。視覚的な指示が必要な場合は、リアルタイム映像を一時停止させた参照画像に作業箇所や手順、注意点などを PC やタブレット端末のタッチパネル上で手書きする。続いて、指示者は一時停止した参照画像と手書きした指示画像とを作業員に送信する。スマートグラスにおいては、受信した参照画像から認識に用いる特徴量を選別・登録する (オンサイト学習機能)。最後に、作業員は、カメラ映像に指示内容が重畳されたスマートグラスのディスプレイを確認しながら (ハンズフリー)、スマートグラスだけで効率的かつ的確に作業できる (スタンドアローン動作)。作業員が移動して視点が変わってもスマートグラスに登録された特徴量とカメラ画像が

図5 AR指示の処理フロー

ら抽出された特徴量とをリアルタイムにマッチングすることで、指示情報を作業対象へ常に重畳し続けることができる。なお、指示者が直感的に指示内容を伝えられるよう手書き入力を採用しているため、本部側ではタッチパネル機能を備えた端末が必要であるが、標準でタッチスクリーンを備えるタブレット端末の方がタッチスクリーン対応PCより安価であり、タッチパッドを外部接続するPCより取り回しに優れる。

遠隔映像伝送については、回線品質に応じた映像品質の動的制御で、遠隔にいる指示者へリアルタイム映像を確実に伝送する技術を既に確立している[12,13]。数十kbps～数Mbpsの幅広い帯域に対応し、3G/Wi-Fi/LTE/衛星回線などの様々な通信環境を幅広くサポートするとともに、LTEとWi-Fiなどの切り替わり（ハンドオーバー）に自動的に追従し伝送を継続することで、モバイル回線でも安定した映像品質を提供する。また、国際標準（ISO18033-4）および電子政府推奨暗号に採用された暗号方式KCipher-2[14]により、映像の安全性を確保している。従来の暗号方式AESと比較して10倍程度的高速処理により、スマートグラスでの利用を実現した。

スタンドアロン動作およびハンズフリーは、AR機能および映像伝送がスマートグラス単体で動作することを表す。従来手法[11]などはサーバーで作業対象を認識・追跡していたため往復の通信時間が長く表示遅延が非常に大きいという課題があった。本システムでは作業対象の学習・認識・追跡をスマートグラスで実現できたことから、ARの映像を送受信する手間を排除し表示遅延を大幅に低減できた。

特に、オンサイト学習機能では、計算リソースが限定されるスマートグラスにおいて、高速化と高精度化を両立させ、従来システムの抱える下記課題を克服した。

- (1) 視点変化への頑健性
- (2) 処理負荷

具体的には、視点変化に頑健な局所画像特徴量データベース構築に基づく姿勢推定手法ならびに移動状態推定に基づ

図6 提案する初期値推定（姿勢検出）のフレームワーク

く姿勢追跡手法を新たに確立し、事前準備をしていない現場であっても即応的かつ柔軟な運用を可能とした。第2.3節および第2.4節で、それぞれ両手法の詳細を述べる。

2.3 視点変化に頑健な局所画像特徴量データベース構築に基づく姿勢推定手法

任意の画像をARの認識対象として扱う場合、特徴点/局所特徴量のマッチングによって取得した点对応を利用する手法が一般的である。しかし、スマートグラスのような計算リソースが限定される環境でリアルタイムにモバイルARを実現するには前述の計算負荷が課題となる。高速化が必要なモバイルARでは、特徴量を利用したマッチングを追跡の初期値推定（姿勢検出）にのみ利用し、以降のフレームでは前フレームからの姿勢の変化量を追跡・適用する手法が用いられる。また、局所特徴量としては、ORB[21]等のバイナリコードの特徴量が提案されており、点对応のマッチングにおける高速化が有効である。しかし、従来手法では、撮影距離や角度に対する頑健性に乏しいことが課題であった。

上記課題を解決するための提案手法として、データベースサイズの小さいバイナリ特徴を利用しつつ、複数視点からの画像生成[17]と頑健な局所画像特徴量の選別手法[18,19]とに基づく姿勢推定手法を新たに考案した。提案手法の主な貢献は、図6に示した初期値推定（姿勢検出）フレームワークにおける代表画像生成処理（Generating representative images）と特徴点選別処理（Two-stage keypoint selection）に相当し、特徴量データベースの構築時に高速かつ頑健な姿勢検出を実現する特徴点を生成・選別する。一方、姿勢推定におけるRuntime処理（図6右）は既存手法を踏襲する。

特徴生成においては、事前に認識対象物の画像（参照画像）を撮影距離や角度を変えた代表的な視点から投影することで学習用の画像（代表画像）を作成し、各代表画像から均等にバイナリ特徴を抽出する。参照画像は、任意の距離から認識対象物の正面を撮影した画像を用いる。図5の手順では、参照画像は指示者が一時停止させた画像に該当する。一方、代表画像（RI:Representative Image）は、図7

図7 視点配置と代表画像生成

に示す 16 箇所の視点から参照画像を撮影したかのように生成する。16 視点は z 軸を中心として、参照画像から距離 t_z の半球面上に配置し、 t_z を 5 段階で変化させることで、計 80 視点から最大 80 枚の代表画像を生成する。各視点から代表画像を生成する投影パラメータ P は Eq. (1) で求める。

$$P = A[R]t$$

$$= A \left[\text{rod} \left(\arccos(e_z \cdot e_p) \frac{e_z \times e_p}{|e_z \times e_p|} \right) | (0, 0, t_z)^T \right] \quad (1)$$

ここで e_z , e_p はそれぞれ z 軸方向、視点方向の単位ベクトル、 $\text{rod}(\cdot)$ は Rodrigues 変換を表す。カメラの内部パラメータ A は予めキャリブレーションで取得しておく。 P で参照画像を投影することにより代表画像を生成し、各代表画像から均等に ORB 特徴量 [21] を取得し、データベースに登録する。例えば、図 7 下段の左上 (赤枠) 画像が参照画像であり、他の画像が参照画像から生成された代表画像である。光軸周りの回転を加えた画像は ORB 特徴の不変性に期待し、あえて生成しないことで画像数を削減、学習画像枚数を最小限に抑えることで短時間の事前学習を実現する。

特徴選別においては、マッチング精度向上と処理負荷低減のため、識別性能の高い特徴量を 2 段階に分けて均等に選別する。具体的には、 N 個の特徴点/特徴量を出力する場合、一段階目の選別では、各視点の代表画像から検出した特徴点/特徴量を参照画像に逆投影し、各特徴量間の類似度が小さい特徴量を $3N$ 個選択する。二段階目の選別では、どの視点からも均等に認識できるように $k\text{-means++}$ で特徴点座標を N クラスに分類し、図 8 の各クラスから特徴量をひとつずつ選択する。

2 段階の選別により、識別性能の高い特徴量を漏れなく算出するとともに、クラスタリング処理時間の高速化を両立させる。

2.4 移動状態推定に基づく姿勢追跡手法

前節で初期値となる姿勢が推定された後は、特徴点を追跡することで高速に姿勢パラメータを更新していく。従来の姿勢追跡手法では、前フレームの姿勢パラメータの推定結果を基準とし、その変化分のみを効率的に推定する姿勢追跡のアプローチの有効性が示されている [20,21]。従来手法 (Patch Tracker) [20] では、認識対象の参照画像から予め抽出した特徴点を、過去 2 フレームの推定結果から線形予測した姿勢パラメータを用いて入力画像上に投影し、探索範囲を限定したテンプレートマッチングによって特徴点の移動量を推定する。探索範囲と特徴点数とはそれぞれ追跡の頑健性と姿勢推定精度とに影響するが、処理負荷の制約から両立が困難である。この問題に対して、従来手法は入力画像から画像ピラミッドを生成し、上位レベルでは少ない特徴点数で広範囲の探索を行い、下位レベルでは上位レベルの姿勢パラメータの推定値を初期値として、より狭

図8 特徴点/特徴量の選別 (緑色の点が各段階の選別結果)

図9 移動状態推定による特徴点追跡の処理手順

い範囲で多くの特徴点を追跡する。反復処理によって頑健性と推定精度の両立を目論んでいるが、画像ピラミッドのレベル数分の処理負荷の増加に課題が残っていた。

上記課題を解決する提案手法として、フレーム間の動きの速度と線形性に着目した移動状態推定と最適な追跡アルゴリズムの動的切り替え手法 [15, 16] を考案した (図 9)。提案手法は、特徴点追跡処理の前段でカメラの移動状態を推定し、移動状態 (フレーム間の姿勢パラメータの変化が大きい状態) の場合は画像ピラミッドの下位レベルの処理を省略する。逆に、静止状態 (フレーム間の姿勢パラメータの変化が小さい状態) の場合は画像ピラミッドの上位レベルの処理を省略することで処理負荷の軽減を実現する。

具体的には、移動状態を 4 種類 (Stable, Slow, Linear, Non-linear) に分類 (図 10) し、それぞれ異なる動き探索アルゴリズムを適用する。画像ピラミッドの上位レベルの画像から移動状態を推定する際に、追跡に使用する特徴点の内、外側に位置する特徴点からサブセットを作成し、Zero-mean NCC(normalized cross correlation) による特徴点の追跡を行う。サブセットの移動量が閾値よりも低い場合は静止状態 (Stable) と判断し、以降の上位レベルに対する処理を省略し、下位レベルに対してのみ処理を行う。さらに姿勢パラメータの推定値のジッタを軽減するため、姿勢パラメータの線形予測を排除し、前フレームの推定結果をそのまま初期値として特徴点追跡を行う。静止状態の条件を満たさない場合は、移動量と分散を用いて 3 種 (Slow, Linear, Non-linear) に分類し、サブセット以外の特徴点も追跡処理を行う。Slow と Linear は姿勢パラメータの線形予測を適用し、Slow は下位レベルのみ、Linear は探索範囲を狭めて上位レベルのみ追跡処理を行う。Non-linear は従来の探索手法を適用する。

特徴点追跡によって取得した特徴点の点对応から姿勢パラメータを推定する処理は、従来手法 [20] と同様に前フレームの推定結果を初期値として、参照画像上の三次元座標 M_i と入力画像上の追跡位置 m_i から、Eq. (2) の IRLS (Iteratively Reweighted Least Squares) 法で 6 自由度の姿

図10 4種類の移動状態と判断基準

勢パラメータ $\hat{p}$ を推定する。

$$\hat{p} = \arg \min_p \sum_i \rho(\|\text{proj}(p, M_i) - m_i\|^2) \quad (2)$$

ここで $\rho(\cdot)$ は重み係数、 $\text{proj}(p, M_i)$ は p による M_i の画像平面への投影を表す。

最後に、Eq. (2) で求めた推定値を最終的な推定結果として扱う。すなわち、提案手法は移動状態に応じて画像ピラミッドの上位レベルまたは下位レベルの処理を省略するとともに、探索範囲を適応的に変更することで、姿勢追跡の処理負荷を軽減する。

3. 評価実験

3.1 視点変化に頑健な特徴量データベース構築手法の評価

評価実験では、標準画像データベース SIDBA の画像 (参照画像) をテクスチャとした 200mm 四方の矩形ポリゴンモデルを作成し、モデルをランダムな姿勢パラメータで投影することでテスト画像を作成した。姿勢パラメータは距離 200mm ~ 1200mm、角度 0 度 ~ 80 度の範囲内でランダムにサンプリングし、テスト画像は各画像 10000 枚作成した。従来手法 [21] は参照画像から 5 段の画像ピラミッド (スケール係数 $\sqrt{2}$) を作成し、特徴を登録した。

提案手法の特徴選択の効果を評価するため、従来手法、提案手法共に 500 点の ORB 特徴を登録した。なお、実験ではモデルの 4 頂点の再投影誤差が全て 20 ピクセルを下回った場合に姿勢が正しいと判定した。比較評価のため、本稿で提案する 80 枚の代表画像を使用した提案手法 (RI80) に加えて、正面の視点のみから距離を変えて生成した計 5 枚の代表画像を使用した手法 (RI5) の検出率も評価した。

図 11 は、距離別の姿勢検出率を示す。検出率は角度によっても変化するため、同一距離の全角度で検出率を平均した。まず、従来手法は認識対象とカメラの距離が大きくなるごとに検出率が劣化する。一方、提案手法の RI5, RI80 はいずれも安定して姿勢を検出できており、600mm 以上の距離では従来手法に対して RI5 が約 50 ポイント、RI80 が約 70 ポイント優れる結果となった。従来手法が 500 点の特徴の大半を低いピラミッドから取得したのに対して、提案手法は 5 段階の距離のそれぞれから均等に (約 100 ずつ)

図 11 距離別の姿勢検出率

図 14 角度別のインライア数

図 12 角度別の姿勢検出率

図 13 距離別のインライア数

特徴をデータベースに登録したことで、距離に依らずに安定的に対応点を取得できることに起因する。

図 12 は、角度別の姿勢検出率の比較結果を示す。検出率は距離によっても変化するため、同一角度の全距離で検出率を平均した。角度が大きくなるごとに認識対象物の射影歪みが大きくなるため、従来手法では約 30 度から検出率が大幅に劣化している。一方、全 80 枚の代表画像を用いた RI80 は約 60 度まで高精度な検出が可能であったため、高精度に認識できる角度は 2 倍以上に広域化できたといえる。角度が 60 度における検出率を比較すると、従来手法 [21] に対して RI5 が約 30 ポイント、RI80 が約 80 ポイント優れる結果となった。

全学習画像に対する検出率を平均して比較すると、従来手法 [21] が 19.7% に対して提案手法 (RI80) が 74.5% と、約 55 ポイントの検出率向上を確認した。

図 13 と図 14 は、それぞれ距離別と角度別の平均インライア数を示す。従来手法は最短距離にだけインライアが集中しているが、図 11 で姿勢検出率に差が無いことから、姿勢推定には過剰であり、むしろ提案手法は必要最小限に抑えることで他視点でのインライア数を確保できていると考えられる。なお、提案手法は従来手法よりハミング距離が近いインライアをより多く取得できているため、PROSAC の Homography 推定の速度が向上し、従来手法より約 7% の処理速度向上を確認した。

3.2 移動状態推定に基づく姿勢追跡の評価

認識対象のテクスチャと 4 つの AR マーカを配置したテスト画像を 4 種類のカメラワーク（静止、水平移動、垂直移動、回り込み）で撮影し、VGA のテスト映像を 30 秒ずつ作成した。従来手法 (Patch Tracker) [20]、提案手法いずれも中央のテクスチャのみ使用して姿勢追跡を行い、ARToolKit [22] で推定した姿勢パラメータを真値とした場合の誤差と速度とを評価した。姿勢パラメータの推定誤差

図 15 移動状態推定による追跡の誤差

図 16 移動状態推定による追跡の処理時間

は、評価用テクスチャの4頂点の再投影誤差を計算し、全フレームにおける二乗平均誤差 (RMS: root mean square) で評価した。

図 15, 16 にそれぞれ移動状態推定による追跡の誤差と処理時間とを示す。PC (Intel Core i5-3380 CPU 2.9GHz) で計測した処理速度は提案手法が平均 43% 優れる結果となった。精度に関しては、静止以外のカメラワークでほぼ同等であったが、静止状態では従来手法 (Patch Tracker) [20] より提案手法が 25% 向上した。作業者がカメラを全く動かさない場合でも発生する微細な振動は、線形モデルに当てはまらないため、提案手法が静止状態と判定した場合に線形予測しないことが高精度化に寄与したと考えられる。下位レベルの処理を省略したことが精度に影響しない要因としては、移動状態では下位レベルの画像にブラーが発生していることが多く、下位レベルの処理による高精度化の効果が小さいことが挙げられる。また、線形予測を解除したことでジッタ誤差が軽減し、提案手法の姿勢推定精度が優れる結果となった。

カメラ/対象物の移動状態を毎フレーム判別し、追跡アルゴリズムを適宜切り替える (移動中は細かい精度より探索範囲重視、静止中は探索範囲より姿勢精度重視) ことで

図 17 視覚的な指示内容を作業対象からずれることなく重畳している例

図 18 指示者側の AR 指示入力 GUI (上) と、通信設備に対する重畳表示 (下) の例

高速高精度な姿勢追跡を実現した。特に追跡処理において処理負荷を平均 43% 削減できたため、従来では実現できなかったスマートグラス端末での即応的な作業支援を可能とした。

3.3 システムとしての評価

本システムは第 2.3 節および第 2.4 節の提案手法により、事前準備を必要とせず現場で作業対象を学習・認識・追跡するとともに、映像伝送と AR 表示との同時動作をスマートグラスで実行可能なレベルとしたことで、第 1 章で挙げた従来システムの課題を解決した。

社内展示会や意見交換会などでのデモ展示において、現場の担当者や顧客から有効性や使い勝手等についてコメントをもらった。図 17 および図 18 は、実環境を想定した設備に対して指示を重畳した例を示す。デモ展示では、図 17

および図 18 のような通信設備をその場で認識し、手書き指示の重畳を体験してもらっている。下記に見学者からの代表的なコメントを記す。

- 作業品質向上、誤作業防止、ミスの低減につながる
- 同時に同じものを見て、一緒に作業している感覚で作業できるのは現場にとって心強い
- 海外での工事補助などに使える
- 教育や医療、物流などの現場にも広く活用できそう
- AR の実用的な使い方に感銘を受けた

全般的に、現場のニーズに一致しているとのコメントが多く、導入後の効果についても事故削減及び作業品質向上が期待されている。また、オンライン学習によって事前準備が不要となることは実用であるとのコメントをもらっている。さらに、様々な撮影環境下で取得された実際の配信映像による検証を通して、従来手法が認識できない距離や角度でも提案手法は正確な認識を可能とする有効性を明らかにした。なお、利用シーンとして、当初想定していた建設・運用の現場以外からも要望が挙がり、より広範な用途が期待されている。一方、改善要望としては、スマートグラスのハードウェア的な制約（バッテリーの稼働時間、ディスプレイの画角、装着感など）に対するコメントが多くみられた。本システムは特定のスマートグラスに限定されないため、より高性能なスマートグラスが今後リリースされた場合は順次対応していく予定である。

現在、部外との協力状況として、複数のインフラ設備会社や大学にて、本システムを用いた保守・点検、災害訓練のトライアルを実施中である。実際の訓練においては、全体像の把握や進行の確認などを通じて、高い有用性が確認されている。

4. 社会に与えるインパクトとユースケース

日本における国土強靱化政策の中で、道路など社会インフラの新設からメンテナンスが急がれる一方、労働人口の減少、特に熟練労働者の不足が深刻な課題である。遠隔フィールド作業支援は熟練作業者の柔軟な配置・運用を可能とすることで、当該課題の解決に貢献することが期待できる。本システムでは、当該技術により視覚的な指示内容を作業対象からずれることなく重畳する運用を可能とただけでなく、画像認識手法の高速性を活かして、低スペックなスマートグラスでのハンズフリー化を実現するとともに、特殊なマーカーの設置や事前学習、認識サーバ等の準備を必要としないため、突発的な障害・災害対応などの緊急性が求められる用途にも対応できる。また、頑健な特徴量データベース構築により認識可能な範囲が従来比 2 倍に拡大され、作業中の視点変化に十分に対応したため、従来では認識できなかった視点や作業対象でも指示内容の重畳が可能になったことから、作業者の習熟度に依存せず効率的に作業を完遂できる新たな遠隔作業支援スタイルを創出した。さらに、映像・音声伝送システムとして、複数拠点の一括集

中監視・録画およびネットワーク設定の動的制御により作業者数の大規模化にも対応したことで、海外を含む多拠点間でも熟練指示者から未熟な作業者への作業ノウハウの共有・伝承が実現できる。

高度経済成長期に建設された社会的インフラの老朽化が懸念される中で、インフラの安全確保と低コスト化にはインフラの長寿命化が不可避であり、保守／点検の重要性が増しているのは通信設備だけに限らない。本システムは先進的な技術に取り入れつつ現場からの要望を適宜反映することで、より多くのソリューションに適用できることを目指したい。その先には、次に掲げる点に置いて社会インフラの維持／管理に資すると確信している。

● インフラ設備の保守・点検業務の効率化とヒューマンエラーの抑制

- 突発的な障害・災害時の復旧時間の短縮
- 海外を含む多拠点間での技術伝承・ノウハウ共有
- 人員配置の柔軟性向上によるコスト削減
- 発生してしまったヒューマンエラーやヒヤリハット事例の映像を活用した再発防止教育

5. む す び

本稿では、映像・音声・AR 技術を応用した直感的な指示を伝送することで、離れた作業現場との円滑なコミュニケーションを実現する「スマートグラスの AR 表示による遠隔フィールド作業支援システム」を開発した。

今後、熟練者の不足を補い、コスト増加を最小限に抑えつつ、多数分散する通信設備拠点での保全、保守、運用の質を維持する一助として、同システムの普及とワークフロー化が期待される。

〔文 献〕

- 1) 総務省: 電気通信サービスの事故発生状況 (平成 26 年度), http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/net_anzen/jiko/result.html (2016 年 7 月 15 日時点)
- 2) 株式会社オプティム: Remote Action, <http://www.optim.co.jp/remoted/remotedaction/> (2016 年 7 月 15 日時点)
- 3) ウェストユニティ株式会社: RMS 遠隔作業支援システム, <http://www.westunitis.co.jp/wearable/> (2016 年 7 月 15 日時点)
- 4) 株式会社 OKI ソフトウェア: Remote Support, <http://www.oki-osk.jp/product/network/remoted/> (2016 年 7 月 15 日時点)
- 5) 山田 達司, 小山 武士: “スマートグラスを活用した「遠隔作業支援」と「AR 入力技術」,” 映像情報インダストリアル, No.1, pp.21-25 (2015)
- 6) 株式会社日立製作所: Doctor Cloud / 巡回・点検支援システム, <http://www.hitachi.co.jp/doctor-cloud/> (2016 年 7 月 15 日時点)
- 7) 富士通株式会社: Interstage AR Processing Server, <http://interstage.fujitsu.com/jp/arprocessserver/?pr> (2016 年 7 月 15 日時点)
- 8) Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel: “T.A.C: Augmented reality system for collaborative tele-assistance in the field of maintenance through internet,” Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference, No. 14, pp.1-7 (2010)
- 9) H. Sagawa, H. Nagayoshi, H. Kiyomizu, T. Kurihara: “Hands-Free AR Work Support System Monitoring Work Progress with Point-cloud Data Processing,” IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.172-173 (2015)
- 10) Zhiwei Zhu, Vlad Branzoi, Michael Wolverton, Glen Murray, Nicholas Vitovitch, Louise Yarnall, Girish Acharya, Supun Samarasekera, Rakesh Kumar: “AR-mentor: Augmented reality based mentoring system,” IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.17-22 (2014)
- 11) Atsushi Fukayama, Shunsuke Takamiya, Junichi Nakagawa, Shinyo Muto, Naoki Uchida: “Development of Remote Support Service by Augmented Reality Video-

- phone,” The Fourth International Conference on Emerging Network Intelligence, pp.74–77 (2012)
- 12) 豊田 陽介, 小原 朋広, 米山 暁夫: “ニュース向け映像素材の蓄積伝送の効率化,” 映像情報メディア学会誌, Vol. 64, No.11, pp.1542–1545 (2010)
 - 13) 株式会社 KDDI 研究所: VistaFinder MX, <http://www.kddilabs.jp/products/vistafinder.html> (2016 年 7 月 15 日時点)
 - 14) Shinsaku Kiyomoto, Toshiaki Tanaka, Kouichi Sakurai: “K2 Stream Cipher,” in Proceedings of the 4th International Conference on E-Business and Telecommunications (ICETE), vol. 23, pp.214–226 (2007)
 - 15) 小林 達也, 加藤 晴久, 柳原 広昌: “カメラの移動状態推定に基づく高速な姿勢追跡手法,” 映像情報メディア学会 冬季大会講演予稿集, pp.6-8-1-6-8-2 (2013)
 - 16) Tatsuya Kobayashi, Haruhisa Kato, Hiromasa Yanagihara: “Pose Tracking Using Motion State Estimation for Mobile Augmented Reality,” in Proceedings of IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), pp.9–10 (2015)
 - 17) 小林 達也, 加藤 晴久, 柳原 広昌: “高速かつ頑健な姿勢検出のための特徴点データベース構築手法,” 映像情報メディア学会 年次大会講演予稿集, pp.3-7-1-3-7-2 (2013)
 - 18) Tatsuya Kobayashi, Haruhisa Kato, Hiromasa Yanagihara: “Novel Keypoint Registration for Fast and Robust Pose Detection on Mobile Phones,” in Proceedings of the 2nd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR), pp.266–271 (2013)
 - 19) 小林 達也, 加藤 晴久, 柳原 広昌: “バイナリ特徴を用いた視点変化に頑健な三次元物体の姿勢推定手法,” 電子情報通信学会 技術研究報告, 114(205), pp.23–27 (2014)
 - 20) D. Wagner, D. Schmalstieg, H. Bischof: “Multiple target detection and tracking with guaranteed framerates on mobile phones,” IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.57–64 (2009)
 - 21) E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski: “ORB: An efficient alternative to sift or surf,” IEEE ICCV, pp. 2564–2571 (2011)
 - 22) H. Kato, M. Billinghurst: “Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system,” in Proceedings of 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, pp.85–94 (1999)

かとう はるひさ
加藤 晴久 1997 年, 神戸大学工学部電気電子工学科卒業。1999 年, 同大学大学院修士課程修了。同年, KDDI(株) 入社。現在, (株)KDDI 総合研究所ソフトウェアインテグレーショングループ 研究マネージャー。映像符号化・変換・編集・伝送・認識および Augmented Reality に関する研究開発に従事。博士(工学)。正会員。

こばやし たつや
小林 達也 2008 年, 慶応義塾大学理工学部電子工学科卒業。2010 年, 同大学大学院修士課程修了。同年, KDDI(株) 入社。以来, コンピュータビジョン, 拡張現実感に関する研究開発に従事。現在, (株)KDDI 総合研究所ソフトウェアインテグレーショングループ 研究主査。正会員。

つじ ともひろ
辻 智弘 1997 年, 富山県立大学工学部電子情報工学科卒業。1999 年, 同大学大学院修士課程修了。ソフトウェア開発者を経て, 2005 年, KDDI(株) 入社。以来, 映像の圧縮伝送・編集変換技術に関する研究開発, およびマルチメディア関連システムの開発・市場展開に従事。現在, (株)KDDI 総合研究所ソフトウェアインテグレーショングループ 研究マネージャー。正会員。

すがの まさる
菅野 勝 1995 年, 早稲田大学理工学部電子通信工学科卒業。1997 年, 同大学大学院修士課程修了。同年, KDDI(株) 入社。以来, 画像圧縮, 画像解析や画像認識に関する研究開発に従事。2005-2006 年, 米国カーネギーメロン大学客員研究員。現在, (株)KDDI 総合研究所ソフトウェアインテグレーショングループ グループリーダー。正会員。

やなぎはら ひろまさ
柳原 広昌 1988 年, 名古屋大学工学部電子工学科卒業。1990 年, 同大学大学院電気工学研究科修了。同年, 国際電信電話(株) に入社。1997 年より, 現(株)KDDI 総合研究所にて, 映像の圧縮伝送・編集変換・検索技術に関する研究開発, および端末プラットフォームに関する技術開発に従事。現在, マルチメディア部門担当執行役員。2015 年, 第 60 回前島密賞受賞。博士(工学)。正会員。