

画面遷移テスト自動化のためのロバスト局所幾何補正

樋口晴彦^{†1} 太田茂^{†2} 小田雅絵^{†2}

概要: 品質保証試験におけるコスト低減と品質向上のため、テスト自動化の要求が高まっている。画面遷移を伴う製品においてはカメラを用いた画像判定が有効であるが、撮像される画像は検証環境の光学特性の影響を受けて形状や色情報に変化し、判定精度の低下要因となる。本研究では、カメラのレンズ収差とディスプレイの光学特性による画像の変化を検出することで高精度に判定用画像を生成する手法を提案する。本手法をカーナビゲーションシステムの品質保証試験環境に適用して検証し、本技術の有効性を確認した。

キーワード: 透視変換, 自由変形, 画像相関, 収差

The Robust Local Geometry Transformation for the Automated Screen Transition Test System

HARUHIKO HIGUCHI^{†1}
SHIGERU OOTA^{†2} MASAE ODA^{†2}

Abstract: For the inspection cost reduction the automated quality test system is under development, which determines whether display information changed by screen transition accords with design information. The verification image based on the camera image tends to be deteriorated by optics properties of the inspection environment. In this research, we propose the local geometry transformation technology, which robustly detects the variation of the image information by lens distortion of the camera and relative position between the camera and the display, and precisely generate a verification image. We confirmed the effectiveness of the proposal method by applying to the test environment of car navigation system.

1. はじめに

自動運転の技術開発激化に伴い、運転支援システム(ADAS)やカーナビゲーションシステムの高機能化が進んでおり、品質保証試験における検証項目が増加している。一方で、近年スマートフォンの地図アプリが普及、進化してきたことに代表されるように、カーナビゲーションシステムは急速にコモディティ化され、開発の低コスト化と品質向上の両立が急務となっている。

カーナビゲーションシステム(以後、カーナビと呼ぶ)の品質保証試験の項目の1つに画面遷移処理の判定がある。ナビのタッチディスプレイを操作した後に表示される画像が設計と一致するかを判定すること(以後、一致判定と呼ぶ)を目的とする。一致判定では、画面遷移した後にディスプレイに表示される画像と、設計時に作成した画像「期待値画像」とを照合して、画素単位で画素値の一致/不一致を判定する。

筐体に組み込んだ後の製品をテストするなど、ディスプレイに表示される画像をデータ出力できないとき、ディスプレイ部分をカメラで撮影して照合用画像を生成することが考えられるが、次のような課題が生じる。

一般に、ディスプレイをカメラで撮影したとき、ディス

プレイやカメラの光学特性により撮影画像にはモアレや非線形な像歪みが発生する。また、ディスプレイの表示素子とカメラ撮像素子では分光特性が一致せず、撮影画像中のRGB画素値はディスプレイに表示させるRGB画素値と一致しない。一致判定の精度を高めるためには、表示側、撮影側それぞれの光学特性による影響を推定し、判定用画像を生成する際の幾何補正・色補正を適切に行うことが課題となる。

本報告では、ナビディスプレイ及びカメラの光学特性による影響を考慮し、ディスプレイの特徴点を局所的に検出して幾何補正する手法を提案する。

以下、2章で解決すべき課題を説明し、3章にて提案手法を詳述する。4章でその評価について述べ、5章で本報告をまとめる。

2. 解決すべき課題

2.1 現状分析と課題

表示画像の一致判定に関して、テストシナリオと呼ばれる、操作に対して期待される表示内容(期待値画像)を保持しておき、テスト時には自動操作により画面遷移を発生させて、表示される画像情報(判定用画像)を期待値画像と照合して一致/不一致を判定する技術が提案されている[1][2]。このうち[2]では、ロボットアームにてタッチディスプレイを自動で押下させる機能を提供している。これらの期待値画像と判定用画像は、どちらもシステム内メモリ

^{†1} (株)日立製作所
Hitachi Ltd.

^{†2} クラリオン(株)
Clarion Co., Ltd.

から取得されるデータである場合や、どちらも同条件のカメラで撮影される画像である場合を想定しており、例えば PC 上で作成した期待値画像とディスプレイを撮影した判定用画像とを照合するような用途には対応していない。

Fig. 2.1 に、ある条件でのナビ表示画面を用いた一致判定の成功例を示す。設計情報である期待値画像(a)と、ナビディスプレイを撮影した画像(b)について、図中赤い点線で囲む部分のみ表示が異なっている ((a):「0:00」、(b):「0:01」)。(b)は、画像の中央付近にディスプレイ部分が撮影されており、ディスプレイ部分はわずかに湾曲しアスペクト比や色味は(a)と異なっている。(c)は、一致判定した結果「不一致」と判定された箇所を赤く表示した画像であり、確認を容易にするため(b)から生成する判定用画像をグレースケール変換した画像に重畳して作成している。(c)を見ると、(b)の撮影画像に見られた幾何ズレや色ズレの影響を受けず、(a)と(b)とで一致しない領域のみを検出していることがわかる。

一方、Fig. 2.2 には、判定失敗例を示す。Fig. 2.1 と同様に、(a)と(b)とで図中の赤い点線部分のみ表示が異なっている ((a):「0:52」、(b):「0:51」)のに対して、(c)では、複数の箇所不一致と判定されている。判定失敗の原因は、上記処理フロー(3)の幾何補正計算もしくは色補正計算に誤差が生じて(b)の撮影画像から生成される判定用画像がズレていることにある。

判定失敗例について解析したところ、以下の課題を抽出した。

- (i) ディスプレイ部分の高精度検出
- (ii) カメラレンズ収差による面内非線形歪みの推定、補正

(i) ディスプレイ部分の高精度検出

試作機では、ディスプレイに全画面白を表示させてカメラで撮影し (Fig. 2.3), OpenCV ライブラリの cv::goodFeaturesToTrack を利用して矩形領域の 4 コーナーを検出させている。このとき、

- ・ ディスプレイのバックライトの漏れ光により、コーナー境界がボケて撮影される
 - 実際よりも矩形領域の内側でコーナー検出され、検出誤差を生じてしまう
- ・ 液晶を透過する光の透過率は視角度に依存し、撮影画像中でシェーディング (面内ムラ) が発生する
 - コーナー検出結果がディスプレイとカメラの相対位置に依存し、検出誤差を生じてしまう
- ・ ディスプレイ部分以外に、不要光や乱反射などによる像が撮影される

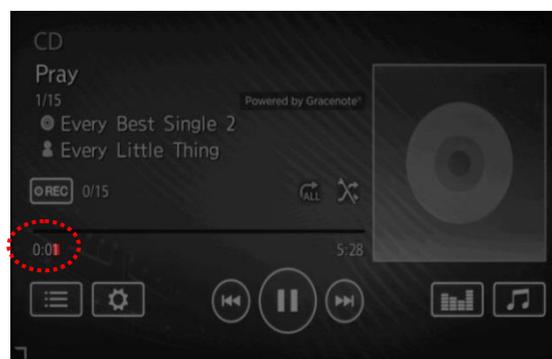
→ コーナーとして誤検出されてしまうなどの理由により、コーナーが正常に検出されない、もしくは検出座標に誤差が生じてしまう。改善方法として、矩形領域のコーナー付近において一定長の線分を検出し、線分の交点からコーナー座標を推定することが考えられる。



(a) Expected Image



(b) Camera Image of the Display



(c) Processing Result

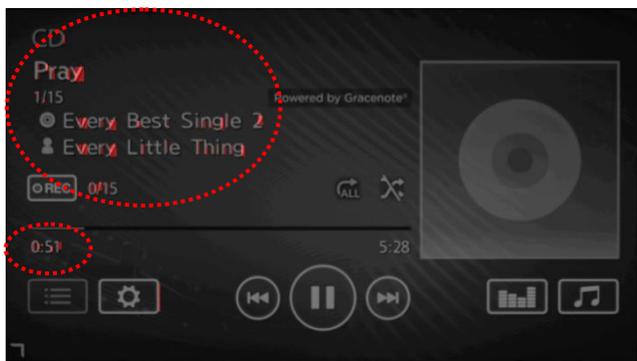
Fig. 2.1 A Successful Example of Match Judgment (Simple Homography)



(a) Expected Image



(b) Camera Image of the Display



(c) Processing Result

Fig. 2.2 A Failed Example of Match Judgment
 (Simple Homography)

(ii) カメラレンズ収差による面内非線形歪みの推定, 補正
 試作機では, Fig. 2.3 に示す撮影画像から矩形領域の4コーナーを検出した後, 透視変換により期待値画像の4隅に合わせて射影する。このとき, カメラレンズの収差が無視できないとすると, 撮影される画像は湾曲し, ディスプレイ部分は矩形ではなく樽型のように写ってしまう。すると, 透視変換により生成される判定用画像は, 面内で非線形に歪んでしまう。改善方法としては, ディスプレイ部分を複数の領域に分割して検出させ, 湾曲による変形を推定することが考えられる。

2.2 環境構築

システム構成図をエラー! 参照元が見つかりません。に示す。ロボットアームはPCからの制御により, ナビディスプレイのうち決められた座標を押し画面遷移を発生させる。カメラは, 固定された位置から画面遷移後のディスプレイを撮影する。PCでは, テストシナリオに従い画面遷移を発生させるようにロボットアームを制御する。また, 予め色補正及び幾何補正のための画像をディスプレイに表示し撮影した画像から特徴量を抽出し, 判定用画像を生成する。提案手法である各処理の詳細については3章で述べる。



Fig. 2.4 Captured Image of the Display
 with Full-screen White

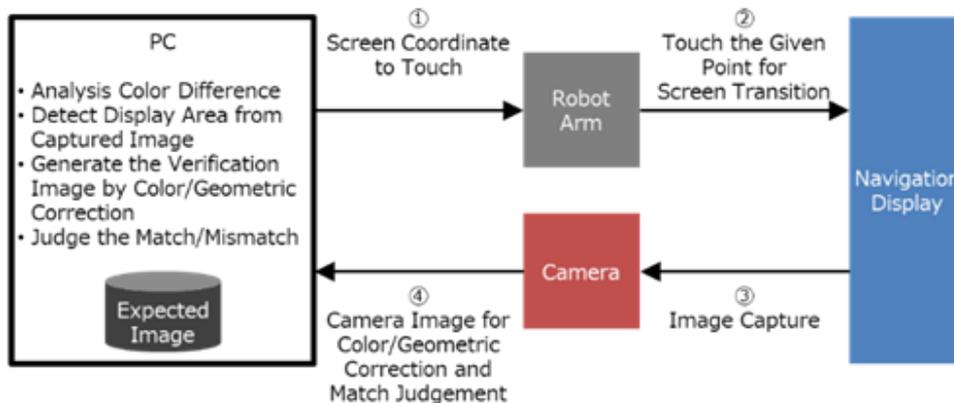


Fig. 2.3 System Configuration

3. 提案アルゴリズム

設計情報である期待値画像とカメラ撮影画像とを用いた一致判定処理の全体フロー図を Fig. 3.1 に、このうち提案手法であるロバスト局所幾何補正について詳細化したフロー図を Fig. 3.2 に示す。

Fig. 3.1 の全体フローにおいて、期待値画像は、事前に取得した色補正情報を用いて、撮影画像と同等のカラーバランスとなるよう補正される（本報告では詳細を割愛）。また撮影画像は、後述する本提案手法により、期待値画像と同等の解像度、アスペクト比になるよう撮影されたディスプレイ部分が抽出・変形される。その後画素単位で画素値を照合し、変化量が一定値以下の場合には「一致」、一定値を上回る場合には「不一致」として判定する。

本研究では、2. 節に示した課題を解決するため、

- ・ 撮影画像に写るディスプレイ部分を複数の矩形領域に分割して検出・補正する
- ・ コーナー近傍の線分を検出した後、線分同士の交点からコーナー座標を求める

を実現するアルゴリズムを開発することとした。提案手法を以下5つに分けて説明する。

- (i) ストライプ画像の表示、撮影
- (ii) 分割領域の抽出
- (iii) コーナー近傍の線分検出
- (iv) コーナー座標検出
- (v) 透視変換行列計算

- (i) ストライプ画像の表示、撮影

外乱に依らずディスプレイ部分を検出するため、間隔の異なる複数のストライプ画像を表示・撮影し、後段で領域を分割することとした。ところで、Fig. 2.3 の撮影画像を見ると、白いディスプレイ部分のうち下端の一部が欠けているように見える。これは、ナビ筐体の枠によりディスプレイの一部が覆われてしまっていることが原因で、表示させる画像の端を撮影できない恐れがあることを意味する。そこで、Fig. 3.3 に示すように、表示画像の上下左右に黒枠を設け、その内側を水平・垂直方向に等分割したストライプ画像を採用することとした。本研究では、想定するナビ製品に合わせて表示画像サイズを 1280(H)×720(V)画素、黒枠幅を 50 画素とし、水平・垂直それぞれ4分割することとした。これらのストライプ画像を撮影した例を Fig. 3.4 に示す。

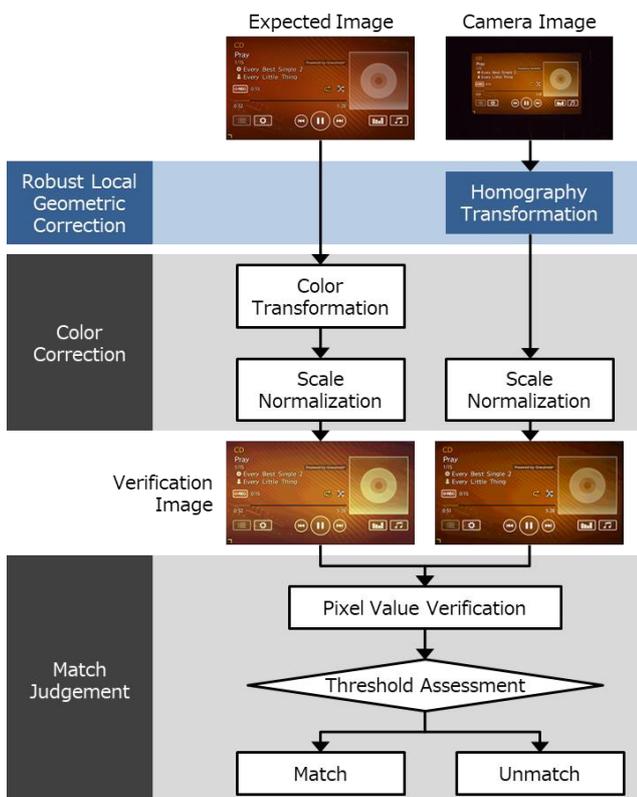


Fig. 3.1 Flow Chart of Match Judgement

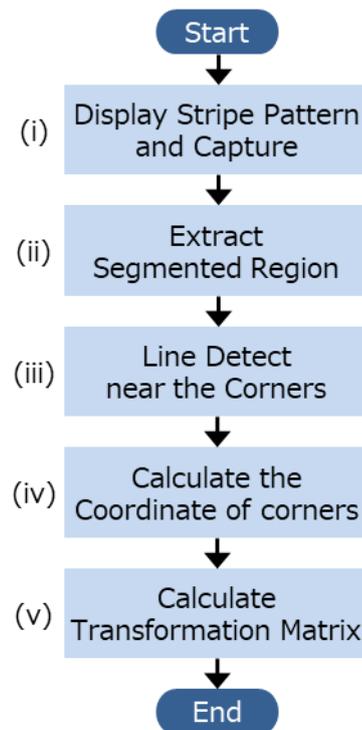


Fig. 3.2 Flow Chart of Proposal

(ii) 分割領域の抽出

次に、Fig. 3.4 の撮影画像を 2 値化し、論理演算により 16 分割された領域それぞれを抽出する。(a)~(e)それぞれの画像を A~E とし、画像 A の否定を !A, A と B の論理積を A · B と表すとすると、16 分割領域の右下の領域は「A · B · C · D · E」、左上の領域は「A · !B · !C · !D · !E」から求めることができる。論理演算で求めた画像においては、1,2 画素程度の線状の不要物が含まれるため、膨張・収縮処理により微小なノイズを取り除く。以上のようにして抽出した 16 領域の画像を Fig. 3.5 に示す。

(iii) コーナー近傍の線分検出

Fig. 3.5 の 16 領域それぞれについて、四隅のコーナーの座標を求めるため、cv::Canny にて矩形領域のエッジを検出した後、OpenCV ライブラリの cv::HoughLinesP を用いて線分を検出する (Fig. 3.6)。このとき、レンズ収差もしくは外乱により矩形領域が湾曲もしくは歪みをもつことを考慮し、一定以上の線分長を持ちコーナーに最も近い線分を抽出する。1 コーナーで垂直方向・水平方向に 1 本ずつ、計 8 本の線分を抽出する。

(iv) コーナー座標検出

(iii)で抽出した線分から、交点をコーナーの座標として求める。このとき、Fig. 3.7 に示すように、いくつかのコーナーは異なる領域と共有しそれぞれで座標値を得ている。図中黄色で示すコーナーは 2 点の平均値、赤色で示すコーナーは 4 点の平均値を求めて座標値とする。

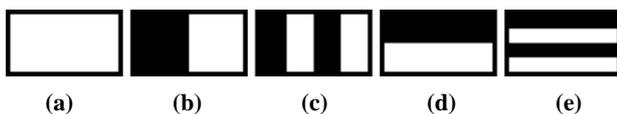


Fig. 3.1 Stripe Images with a frame

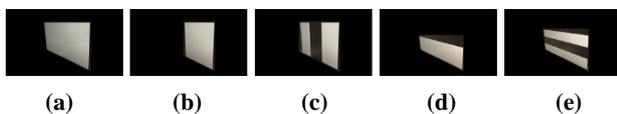


Fig. 3.2 Camera Images of Stripe Images

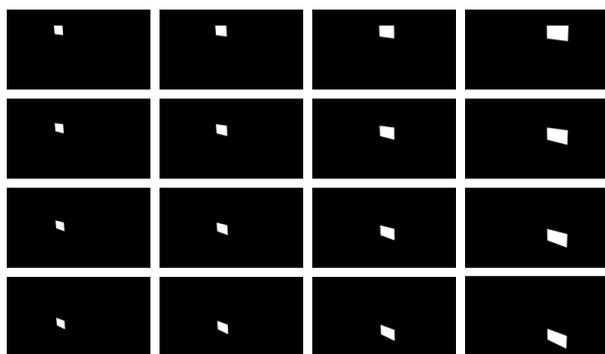


Fig. 3.3 16 Local Area Images

(i) 透視変換行列計算

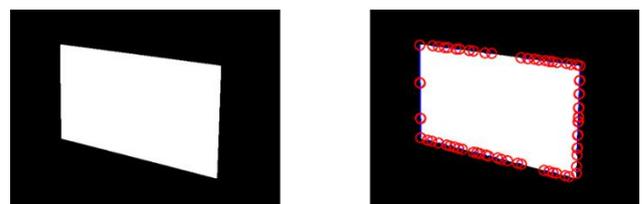
以下、透視変換行列の導出について簡単に述べる。平面 z=1 上の点 p を、透視変換行列 H を用いて P に透視変換することを考える。それぞれを次式で表す。

$$p = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}$$

このとき、次式の関係を得る。

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & x & y & 1 & -Yx & -Yy & -Y \\ x & y & 1 & 0 & 0 & 0 & -Xx & -Xy & -X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \\ h_{33} \end{bmatrix} = 0$$

透視変換行列は定数倍しても同じ変換結果が得られるため、透視変換行列の 8 つ変数を求めれば良く、画像中の 4 点の座標値から透視変換行列を求めることができる。



(a) Local Area Image (b) Detected Lines
 Fig. 3.4 Line Detection with cv::HoughLinesP (Zoomed)

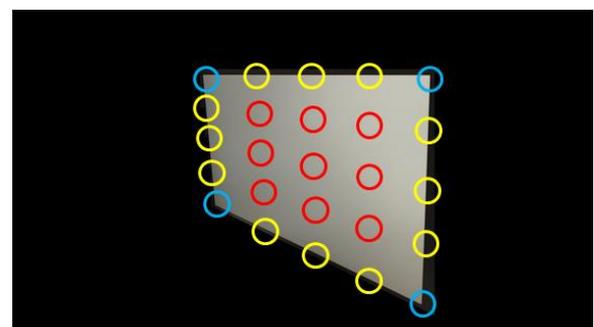


Fig. 3.5 Detected Corners
 (Blue: No Overlap, Yellow: 2 Overlaps, Red: 4 Overlaps)

4. 評価

Fig. 4.1 に示すようなテスト自動化システムの試作機を構築し、提案手法の効果を確認した。試作機ナビディスプレイとロボットアームを正対するように固定し、カメラはロボットアームが撮影画角内に入らないようにディスプレイの正面から 10 度程度の角度を持って設置されている。画像撮影時は外光が入り込まないように試作機全体は暗幕で覆われており、暗幕のすぐ外にある PC からロボットアームとカメラを制御する。本評価で用いたナビディスプレイの解像度は 1280(H)×720(V)画素、カメラの分解能は 1920(H)×1200(V)画素である。

Fig. 4.1 の環境にてディスプレイにチェッカー模様を表示させてカメラで撮影した画像を Fig. 4.2, 3 章にて述べた提案手法により特徴点を抽出し透視変換して生成した判定用画像を Fig. 4.3 に示す。また、ディスプレイに表示させた期待値画像を Fig. 4.4 に示す。Fig. 4.3 を見ると、Fig. 4.4 の期待値画像と一致するように幾何変換されていることがわかる。これらの差分画像 (Fig. 4.5) より、位置ズレは 1 画素前後であり、最大でも 2.0 画素未満であることを確認した。

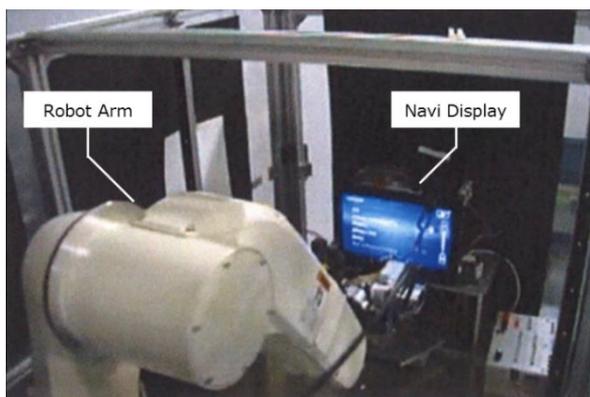
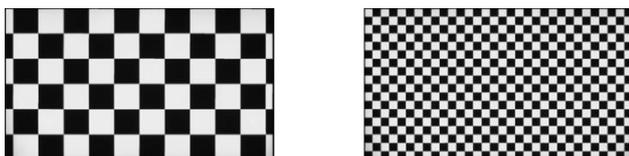


Fig. 4.1 Automated Product Test System (Prototype)



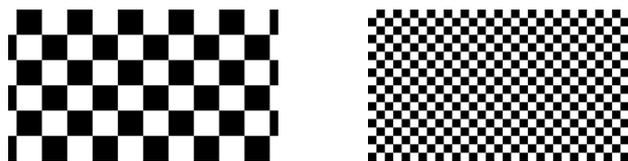
(a) 120 Pixel width (b) 40 Pixel width

Fig. 4.2 Camera Image of Checker Pattern



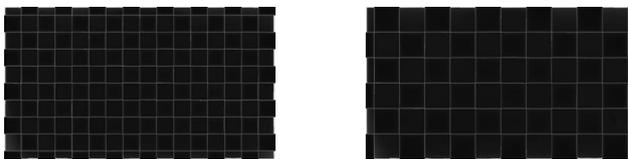
(a) 120 Pixel width (b) 40 Pixel width

Fig. 4.3 Verification Image (after Proposal Method)



(a) 120 Pixel width (b) 40 Pixel width

Fig. 4.4 Expected Image



(a) 120 Pixel width (b) 40 Pixel width

Fig. 4.5 Difference Image between Verification Image and Expected Image

5. まとめ

提案手法により、撮影画像からディスプレイ部分を高精度に抽出、補正することを実現し、本手法の有効性を確認した。提案手法適用までは、同様の条件でもディスプレイ部分のコーナー検出に失敗することがあったのに対し、本手法では失敗することなく検出することができたと言える。

ただし、今回の評価で使用したテスト自動化システムは、カメラがディスプレイのほぼ正面であり撮影画像中のディスプレイ部分の形状が比較的大きく歪んでいなかった。今後は、中国での試験環境や展開先の環境を考慮して、カメラ位置もしくはレンズ収差を変えて本手法を評価する必要があると考える。

6. 結論

カメラを用いた画面遷移一致判定における判定用画像を生成する局所幾何補正技術について、

- ・周期の異なるスリットパターン画像をディスプレイに表示
- ・撮影画像の論理演算から矩形局所領域を抽出
- ・矩形領域のコーナー近傍の直線検出及び交点検出より、幾何補正に用いる特徴点を推定
- ・各領域の特徴点から透視変換により、判定用画像サイズに正規化

の各処理を組み合わせた「ロバスト局所幾何補正手法」を提案し、その性能を評価した。

検証用画像を用いて評価した結果、画像中に設置した評価地点において平均で 1.5 画素、最大で 2.0 画素未満の位置ズレであることを確認した。今後は本手法に微小位置補正手法を追加することにより、位置補正精度 1.0 画素未満を狙う方針である。

参考文献

- [1] テスト自動化「SKYATT」
<https://www.skygroup.jp/software/quality/quality03.html>
- [2] Quality Commander
<https://www.jnovel.co.jp/service/qc/>
- [3] 今井 倫太郎, 加藤 嗣, 田口 亮, 保黒 政大, 梅崎 太造, プロジェクトの幾何補正システムの開発, 情報科学技術フォーラム講演論文集 12(3), 11-16, 2013-08-20