

Eye-Tracking を用いた情報機器 3次元プロトタイプ上の注視オブジェクト特定による誤操作原因の解析

北海道大学 ○永淵 達也, 金井 理, 伊達 宏昭

要旨

デジタルプロトタイプ操作時にユーザが注視している UI 上の注視オブジェクトの特定を行うと、誤操作時の注視箇所や誤操作原因が推定出来る。本報では、角膜反射 Eye-Tracking を用いて 3次元プロトタイプ上の UI 内の注視オブジェクトの特定を試みたので報告する。

1. はじめに

情報機器開発では、ユーザビリティに配慮したユーザインタフェース(UI)デザインが重要視されている。しかし現状のユーザビリティ評価では、高価な物理プロトタイプを用いたユーザテストの実施が必要であり、開発のコストや期間が問題となっている。そこで、機器筐体の 3次元 CAD モデル上で UI 操作が模擬できる 3次元 UI 可動型デジタルプロトタイプを物理プロトタイプの代替品としてテストに用い、操作時間や誤操作パターン等を自動評価可能なシステムが試作されている[1]。さらにデジタルプロトタイプ上で UI 操作時のユーザの視線や注視点を記録出来れば、誤操作時のユーザの認知過程や心理状態を分析でき、評価結果の品質向上に役立つ。

そこで本研究では、Eye-tracking と既開発の UI 可動型デジタルプロトタイプ[2]を統合し、プロトタイプ上の注視点位置を実時間で記録し、ユーザが注視している UI 上のアイコンなどのオブジェクトの特定を行うシステムの開発を目的とする。前報[3]では、USB カメラを用いた低コスト Eye-tracking システムを試作し、その視線検出精度を報告した。本報告では、Eye-Tracking によるデジタルプロトタイプ上の注視 UI オブジェクトの特定機能を開発したので報告する。

2. 本報告で統合するシステム

本報告では、前報[3]で開発したユーザの注視点位置の計測が可能な Eye-Tracking システムと、UI 可動型デジタルプロトタイプ[3]を組み合わせたシステムを提案する。概要を図 1 に示す。Eye-Tracking システムを用いてユーザの注視点位置を求め、これを用いてデジタルプロトタイプ上の注視点位置と注視オブジェクト(アイコン、ボタン等)の特定を行う。その後、オブジェクトの注視状況から操作性の評価を行い、誤操作原因の推定や心理的戸惑いの評価を行う。2 では本システムのベースとなる Eye-Tracking システムと、UI 可動型デジタルプロトタイプシステムについて述べる。

2.1 Eye-Trackingシステム

Eye-Tracking システムは、角膜反射法を用いてユーザの LCD モニタ上の注視点位置検出が可能なシステムである。図 2 のように、このシステムは 1 台の USB カメラ、2 つの IR-LED、LCD モニタで構成されている。LCD モニタを注視する被験者の眼球に対し赤外線 LED 光を照射し、2 個の LED スポットと瞳孔を含むグレースケール画像を USB カメラで図 3(a)のように撮影する。次に画像内から、LED スポット像と瞳孔輪郭を別々に図 3(b),(c)のように抽出する。さらにこれらから、角膜反射法により角膜中心と瞳孔中心の 3次元位置を求め、この 2 点を通るベクトルを視線ベクトルとし、これと LCD モニタ面との交点を求め、注視点位置を推定する。最後に被験者に依存する系統誤差をキャリブレーションにより補正し、最終的な注視点位置を求める。本システムの視線検出の誤差(図 4)は LCD-眼球間距離が約 500mm で、モニタ全体(平均 1) では平均 8.9mm、デジタルプロトタイプの操作を行う中心付近(平均 2)では平均 6.6mm 程度である。また、実行速度は約 24FPS である。

2.2 UI可動型3Dデジタルプロトタイプ

本報告で用いた UI 可動型デジタルプロトタイプ[3]は

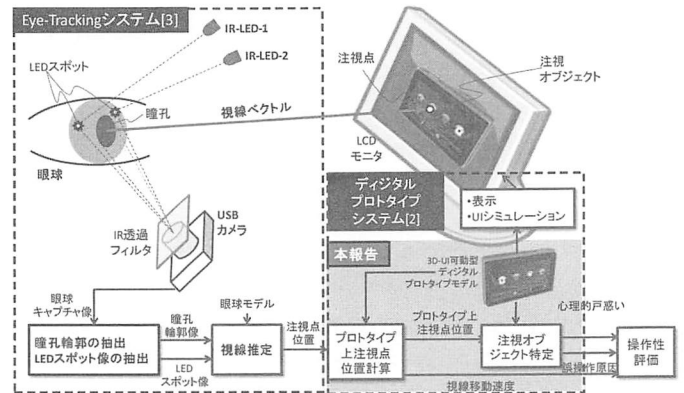


図 1 提案するシステム概要

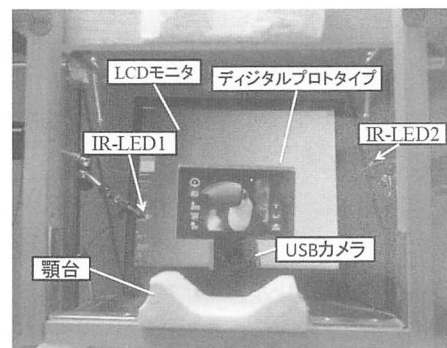


図 2 Eye-Tracking システムの外観

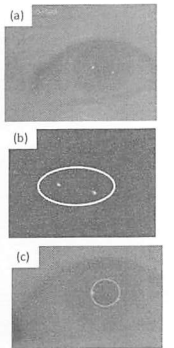


図 3 (a) 取得画像 (b) LED スポット像 (c) 瞳孔輪郭像

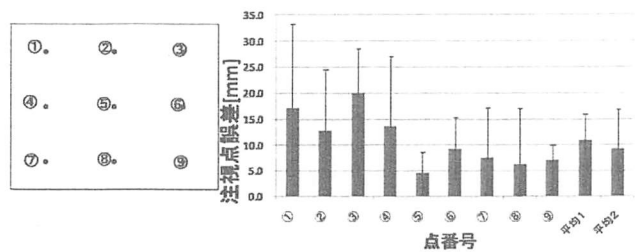


図 4 (左) ディスプレイ上の平均注視点誤差検出マーカー点と (右) 各マーカー点における誤差

WindowsOS の WPF (Windows Presentation Foundation) 上で表示・実行可能である。プロトタイプの 3D 筐体及び UI 画面上の 2D アイコン等のオブジェクトは、UI 静的構造モデルを記述した XAML ファイルで定義され、画面上に図 5 のように入力される。また UI 画面の遷移の挙動は、動的構造モデルを記述した XAML-B ファイルで定義され、ユーザからジェスチャ入力(マウスクリック等)により、UI 上のオブジェクトの状態(可視性、色等)が図 5 のように遷移する。この機能により、計算機上で実機の UI と同等の操作を模擬することが可能である。また、WPF 上では表示オブジェクトが Scalable Vector Graphics で描画されるため、拡大しても UI 画面が品質劣化せ

ずに表示される利点を持つ。

3. Eye-Tracking とデジタルプロトタイプ統合

前節で述べた Eye-Tracking システムと UI 可動型 3D デジタルプロトタイプシステムを統合し、プロトタイプ操作時のユーザの注視オブジェクトの特定を可能とする機能の開発を試みた。Eye-Tracking システムではデジタルプロトタイプ操作時のユーザのディスプレイ上の注視点位置を検出し、プロセス間通信を経由してこの位置をデジタルプロトタイプシステムに送信する。デジタルプロトタイプシステムでは、受信した注視点位置をウインドウ座標系へと変換し、WPF ベースのデジタルプロトタイプのウインドウ座標系におけるユーザの注視点位置を計算する。

続いてこの注視点位置をもとに、WPF が提供するヒットテスト機能を利用して、デジタルプロトタイプ上に表示されている全てのオブジェクト(アイコン等)内から注視オブジェクトの特定を行う。図 6(a)のようにウインドウ内にデジタルプロトタイプが表示されている場合、WPF では、ウインドウ内要素は図 6(b)のような Window、Grid 等の論理要素と表示オブジェクトを含むビジュアル要素からなるツリー構造をなしている。ヒットテストは、図 6(a)のようにテスト開始要素に対して相対座標値をもつテスト点を与え、開始要素からツリーの下位階層を辿って探索を行い、テスト点の真下のビジュアル要素を特定出来る方法である。その結果として、前もってオブジェクトに対して定義しておいたオブジェクト固有名が得られる。この機能を用いて注視点位置の座標を利用してヒットテストを行うことで、注視オブジェクトの特定が可能となる。

4. Eye-Tracking を用いたオブジェクト特定テスト

4.1 実験条件

Eye-Tracking システムによって得られた注視点位置を用いることで、注視オブジェクト特定機能の性能を評価した。テストでは被験者に対して図 7 のデジタルプロトタイプ上の特定のオブジェクト 5 種類を約 5 秒間注視させ、注視中の全フレームのうちオブジェクトを正しく特定できたフレーム数を求め、オブジェクトの特定率を評価した。被験者は 3 名で、右目の注視点位置を用いて実験を行なった。テストに用いた各アイコン(図 7)の画面上の表示サイズは、camera、home、macro は 1 辺が約 20mm、shoot、play は約 35mm である。使用した PC のスペックは、CPU: Intel Core 2 Quad Q9650 3GHz、メモリ 3.00GB である。

4.2 実験結果

図 8 に、オブジェクト毎の各被験者の特定率と、平均の特定率を示している。特定結果は被験者ごとに多少のばらつきがあるものの、サイズの大きいアイコン(shoot、play)は特定率が、いずれも 90% 以上と高いものであった。一方 camera、home、macro の 3 つの小さいオブジェクトの特定率は、いずれも 50% 前後であり問題が残っている。

4.3 考察

以上の結果より、1 辺が画面上で 35mm 以上の大きさのオブジェクト特定が本システムにより十分可能であることが確認できた。しかし、被験者 2 の play の特定率のように、個人によって精度のばらつきがあることも確認された。また、画面上で 1 辺が 20mm のオブジェクトについては特定精度が 50% 程度であり、注視していると判断することが難しいことが分かった。これは、Eye-Tracking の注視点位置検出誤差が原因であると考えられる。従って、これら小さな面積のオブジェクトの特定には Eye-Tracking の改良による注視点位置検出の精度の向上が必要である。

5. まとめと今後の課題

デジタルプロトタイプと Eye-Tracking システムとの統合によりデジタルプロトタイプ上の注視オブジェクトの特定

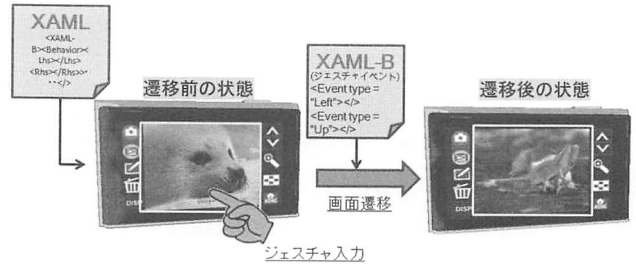


図 5 UI 可動型デジタルプロトタイプモデルの遷移

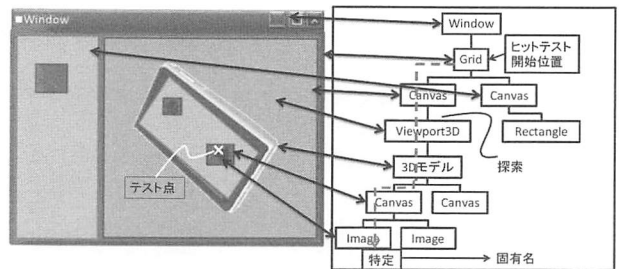


図 6 (a) WPF での表示例 (b) WPF ビジュアルツリー構造の例

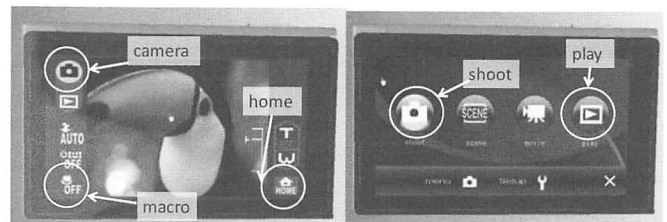


図 7 注視したオブジェクト

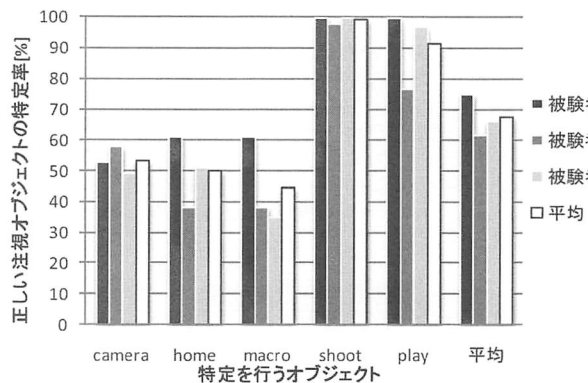


図 8 注視オブジェクト特定テストの結果

が可能な機能を開発し、画面上で 35mm 以上の大きさのオブジェクトの特定が 90% 以上の特定率で可能であることを確認できた。しかし、個人差が大きく特定が出来ない場合もあること、画面上でそれ以下の面積を持つ小さいオブジェクトを特定することは困難であるという課題が残った。今後は、Eye-Tracking の瞳孔輪郭抽出のアウトライヤー除去を行うことで精度と安定性の向上を図り、面積の小さい UI オブジェクトの特定率を高める。更に、注視オブジェクト特定機能を利用した誤操作原因の推定、誤操作時の注視オブジェクトの特定を行う予定である。

参考文献

- [1] 特集: 携帯情報機器開発のためのデジタルプロトタイプング, 設計工学, 45(7), pp.313-337 (2010)
- [2] 樋口大河, 金井理: 「XAML を用いた情報機器ユーザインタフェースプロトタイプングとユーザビリティ評価」, 2009 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.149-150(2009)
- [3] 永瀬, 金井: 「Eye-Tracking と情報機器 3D デジタルプロトタイプの統合による情報機器のユーザビリティ評価」, 2011 年度精密工学会春季学術講演会論文集, pp.649-650 (2011)