

光学式力測定手法を用いた携帯型タッチパネル端末用 入力デバイスの提案

渡部 陽一[†]

佐藤 克成^{†‡}

牧野 泰才[†]

前野 隆司[†]

近年、携帯型タッチパネル端末は、従来の携帯端末と比較して大画面であることや表示領域と入力領域が一体となった直感的な操作など、様々な利点から普及しつつある。一方で、その操作入力方式から、皮脂により画面が汚れる、指が画面を遮り正確な入力の妨げになるなどの問題が生じている。本稿では、これらの問題を解決する手段の一つとして、光学式力測定手法を用いた入力デバイスの提案をした。本デバイスは既存のタッチパネル端末に対し、ポインティングや押し込みによる操作を付与する。力の測定には端末搭載のカメラを利用するため、省スペースかつ安価なデバイスであることが期待される。プロトタイプ及びアプリケーションを作成して、提案デバイスの有効性を定性的に評価した。さらに、ブレインストーミングとインタビューによるユーザニーズ調査を行ない、提案デバイスの適用範囲を明確にした。

Input Device for Touch Panel Applying Optical Force Measurement Method

YOCHI WATANABE[†]
YASUTOSHI MAKINO[†]

KATSUNARI SATO^{†‡}
TAKASHI MAENO[†]

Recently, portable touch panel terminal is spreading because of many benefits such as its intuitive manipulation and display size. On the other hand, because it's required to touch the display directly, there are some problems i.e., prolusion on display and occlusion. In this paper, we develop an input device using GelForce technology for the portable touch panel terminals as a solution of their problems. This device can detect user's manipulation force and provide us operability such as pushing and pointing on the touch panel. As this device uses camera mounted on the touch panel, comparing with existing optical measurement method, it is expected to realize cheaper and smaller device. We qualitatively validated its efficiency using a proto-type with a basic application. Then, we researched user requirement of touch panel devices using interviews and brainstorming to gain guidelines in order to show range in application of the proposed device.

1. はじめに

近年、スマートフォンや電子書籍リーダーなどの携帯型タッチパネル端末が普及してきている。これらのタッチパネルは、従来の携帯端末と比較して大画面であることや表示領域と入力領域が一体となった直感的な操作など、様々な利点がある。また、画面内に自由にボタンを配置できることから多くのアプリケーションが展開され、端末の利用シーンは拡大している。一方で、利用シーンの多様化に伴い、皮脂により画面が汚れる、指が画面を遮り正確な入力の妨げになる、操作自由度の低さなどが問題であると考えられる。これらのタッチパネルにおけるハードウェア的な問題を解決する

アプローチの一つとして、操作入力デバイスを付加することが考えられる。

既存のデバイスに新たな操作入力を付与する研究は、これまでも多く行われている。熊澤らは、指と画面の間にデバイスを配置し、指の三次元的な動きを操作入力とするデバイス^[1]を提案している。また、Park らは、ペン型入力デバイスとディスプレイ下に配した磁性体を用い、磁力による力覚フィードバックを提示する手法を^[2]提案している。指がデバイスを押下する力を推定する手法としては、爪上に配した光学センサで得た爪の色彩情報を利用する Mascaro らの方法^[3]がある。一方 Han らは、アクリル板内で全反射する赤外光が接触時に指内部へ吸収されることを利用し、指を透過した赤外光の光量から各指の押下力が推定可能な手法^[4]を提案している。我々は J.Han らの手法を応用し、爪上のカメラを用いてタッチパネルと指の接触点に描画した光源を測定することによって、押下力と指の姿勢を推定可能な手法^[5,6]を提案してきた。また、

[†] 慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科

Graduate School of System Design and Management, Keio University

[‡] 日本学術振興会 特別研究員

Japan Society for the Promotion of Science

指の姿勢推定は、画像処理による指先の輪郭抽出^[7,8]によっても可能である。これらの手法やデバイスを利用する場合には、それぞれが特定の状況下において一定のニーズを満たすが、一方ではニーズにそぐわない利用状況も存在する。そのため、デバイスを評価する上で、ユーザニーズを把握し適用範囲を明確にすることは重要であると考えられる。

本稿では、光学式の力分布測定手法（GelForce^[9]）を利用した携帯型タッチパネル用入力デバイスの設計、及び、デバイスのプロトタイプを構築する。さらに、インタビュー調査及びブレインストーミングを用いたユーザニーズ抽出を行い、この調査結果を基に、構築したデバイスの適用範囲を明確にする。

2. 携帯型タッチパネル用入力デバイスのデザイン

本章では、光学式力測定手法 GelForce を用いた入力デバイスを提案し、その力測定原理を示す。

2.1 デバイスの概要

GelForce は、主に透明弾性体、弾性体内部に配置されたマーカマトリクス、そしてカメラから構成される。弾性体内部のマーカの移動量をカメラ画像から読み取ることで、弾性体表面に加わる力の方向と大きさ、分布を推定するセンサである。ロボットハンドの指先用力センサや、ロボットハンドの操作インタフェース、テーブルトップインタフェースや AR システムなど、幅広く応用されている^[10,11,12,13]。本研究では、近年のスマートフォンやタブレット端末にはカメラが搭載されることが多いことに着目し、GelForce の力測定原理を携帯型タッチパネル端末へ適用する。図 1 のように端末内蔵のカメラを利用して Gel Force を実装する。ユーザは端末搭載のカメラ上に貼付された弾性体に指を置き、指が弾性体に加える力によって端末を操作できる。これにより、既存の携帯型タッチパネル端末にポインティングや押し込みによる操作性が付与される。

提案する入力デバイスを用いる場合、端末自体にハードウェア的な改良は不要であり、ユーザは端末の利用状況に合わせて弾性体部を着脱できる。また、内蔵カメラを用いることから安価かつ省スペースであり、導入の負担が小さい。さらに提案デバイスを導入することにより、複数の利用シーンにおいて端末の利便性を向上させると考えられる。例えば、手袋をした状態で端末を操作したり、片手で拡大縮小を行ったりといった操作性が付与される。

近年の携帯型タッチパネル端末にはリアカメラとフロ

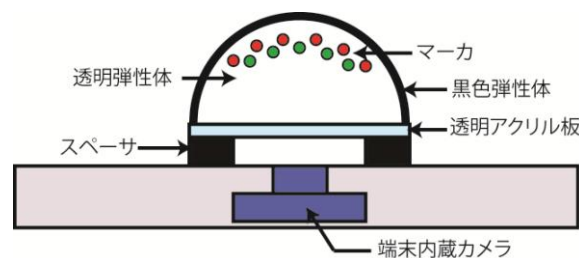


図 1 提案デバイスの構成

ントカメラの 2 つが搭載される傾向にあり、用途に応じて弾性体部をいずれかのカメラに装着することで、2通りの利用方法が考えられる。例えば、フロントカメラに装着して親指で操作する、あるいはリアカメラに装着して人差し指で操作するといった利用方法である。

2.2 Gel Force の力測定原理

弾性体表面に外力が加えられた場合、弾性体内部のマーカは、力の向きや大きさ・分布に応じた移動を示す。GelForce 技術では、この表面に加わる力ベクトル分布と弾性体内部のマーカ移動量との関係式を予め導き、その逆問題を解くことで、カメラが検出するマーカ移動量 $\mathbf{u}$ から弾性体表面に加わる力ベクトル分布 $\mathbf{f}$ を算出する。

$$\mathbf{f} = \mathbf{H}\mathbf{u} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{H}$ は力ベクトル分布からマーカ移動への変換行列である。弾性体表面が平面と近似できる場合は弾性理論式^[9]に、曲面の場合は実測^[10]に基づき作成される。弾性体表面に対して深さのことなる 2 層のマーカマトリクスを配置することにより、2 次元のマーカ移動から 3 次元の力を算出できる。

3. プロトタイプの実装

図 2 のように、端末内蔵のフロントカメラ上に GelForce の弾性体部を両面テープで貼付し、プロトタイプの実装を行なった。端末には iPhone4 を用いた。弾性体はエクシールコーポレーション社製の透明ヒト肌ゲルを用いて、半径が 9mm の半球と、半径 9mm 高さ 9mm の半円柱を組み合わせた形状とした。マーカには直径 1mm の蛍光シールを利用し、弾性体表面から 1mm の深さに赤色マーカを 5 つ、2mm の深さに緑色マーカを 4 つ、3mm 間隔で配置した。マーカ移動量の検出は、それぞれのマーカの重心座標を算出することで行った。弾性体内部の 9 つのマーカの移動から、(1)式に基づき弾性体に加わる 4 点の力ベクトルを測定した。ここでは、マーカが存在する範囲を平面と仮定し、弾性理論式に基づく変換行列を用いた。指

先が加える 3 次元的な力を 4 点の力ベクトルの各軸方向の総和として、またトルクをモーメントの和として算出した。リアカメラ対しても実装を行なった様子を図 3 に示す。

提案デバイスの定性的な評価を行うため、基本的なアプリケーションを作成した。図 4 に示す 3 次元空間に配置した UFO に対し、操作を行う。UFO は、力を加えた方向に画面平面上を移動し、押し込み量に応じて奥へ移動する。また、指をねじる動作により UFO の傾きを変更できる。このアプリケーションを用いて、提案デバイスを用いて意図した入力を行えることを確認した。

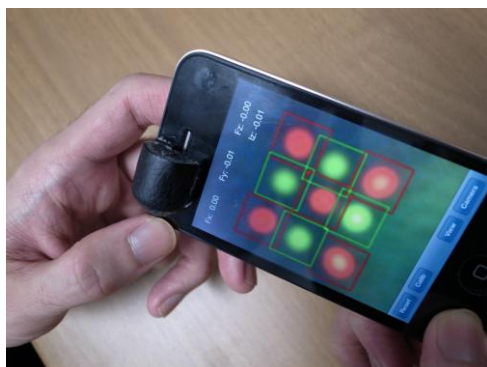


図 2 プロトタイプの実装



図 3 リアカメラを用いた実装

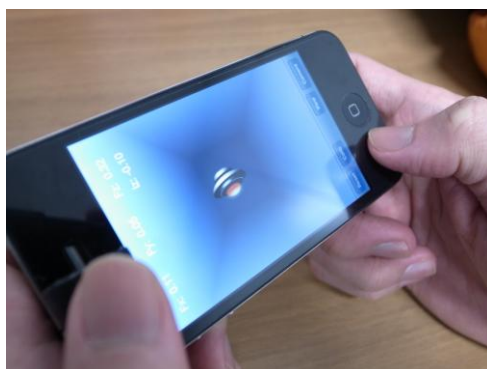


図 4 基本的なアプリケーション

4. ユーザニーズの抽出

携帯型タッチパネル端末に対するニーズを把握しデバイスの適用範囲を評価する指針を得るため、ユーザニーズ調査を行った。ユーザニーズの抽出に際しては、端末が利用される様々な状況を考慮する必要がある。そのため、タッチパネル端末の所有者に対するインタビュー、及び、ブレインストーミングの二つの方法を用いて調査を行なった。

4.1 インタビュー方法

多様な背景を持つ携帯型タッチパネルのユーザ 9 人（表 1）に対し、30 分間のインタビュー調査を実施した。デバイスの評価指針を得るためには、多様な利用シーンを考慮して多くのニーズを抽出しなければならない。また、端末の利用方法はユーザによって大きく異なると考えられる。そのため、インタビュー手法として非構造化インタビューを用いた。大まかな質問項目のみを決めておき、ユーザの端末利用状況や質問への回答に応じて話題の掘り下げや展開を行なった。

4.2 ブレインストーミング方法

ブレインストーミングは、インタフェース研究者 2 名と理系学生 8 名から成るグループ（22～30 歳、男性 6 人、女性 4 人）で行なった。なお、このうちタッチパネル端末の所有者は 7 人であった。まず、携帯型タッチパネル端末の長所と短所を自由に書き出した（図 5）。次に各項目に対して利用状況やその利便性及び欠点についてディスカッションを行ない、ニーズの抽出を行なった。

4.3 調査結果と考察

調査結果を表 2 に示す。「票数」行は、インタビューおよびブレインストーミングでそのニーズを挙げた人数を示す。この結果から、以下のような評価指針を得た。

- 1) 誤入力の改善に対するニーズは強く、パスワード入力時や検索ウィンドウの指定時には、正確に入力できることが重要である。
- 2) タッチパネル端末のハードウェア仕様に起因する要求として、画面の汚れ、および、触知フィードバックの無さとそれによってブラインドタッチができないことが挙げられた。
- 3) 「メールを打ちながらスクロールしたい」及び「本来は大きさを変えられないアプリの画面を拡大したい」という要求は、操作自由度の低さから生じる問題である。タッチ情報が特定の操作に割り当てられているため、画面のスクロールや拡大

縮小ができない。この問題は、入力デバイスの付与によって操作自由度を向上させ、入力操作を割り当てることで解消できると考えられる。

- 4) 女性ユーザのように比較的指が短く、爪の長いユーザは、それが操作の制約となることが分かった。また、冬期には手袋をした状態で操作するニーズが確認された。
- 5) インタビュー対象者の多くが、ほとんどの利用シーンにおいて端末を片手のみで操作すると回答した。そのため、入力操作は片手で把持した状態で行えることが望ましい。
- 6) スマートフォン利用者には端末のデザイン性を購入動機とするユーザも見られたが、デバイスに対して物理的なボタンを配置することを許容する意



図5 プレインストーミングによるニーズ抽出

見も挙げられた。特にジョイスティック型の入力を好意的に捉えるユーザも見られた。

次章では、これらの評価指針を元に、入力デバイスの評価を行う。

5. 提案デバイスの適用範囲の評価

本章では、提案デバイスの利用によって満たされるニーズを明らかにし、デバイスの適用範囲と今後の課題を明確にする。

5.1 提案デバイスが満たすニーズ

提案デバイスの利用によって満たすことができるニーズを表2に灰色の領域で示す。提案デバイスでは、弾性体部を用いた操作により、「手袋をした状態での操作」や「長い爪や短い指を持つユーザによる操作の改善」が実現される。また、指の接触判定で入力となされるタッチパネルとは異なり、入力となる接触力の大きさを設定することで、操作部に指を置いた状態で継続した入力が可能である。この際、弾性体からの反力による触知フィードバックを手掛かりとした直感的な操作が期待される。また、この触知フィードバックにより、十字キー操作やボタン操作のような操作を行う場合には、ブラインドタッチも可能となると考えられる。

提案デバイスを利用した操作では指が入力画面を遮らないため、ユーザが必要に応じて本デバイスを使用することで、細かい操作における誤入力の低減が期待できる。さらにこのとき、皮脂による画面の汚れは生じない。

表1 インタビュー対象者のユーザ属性

年齢	性別	職業・専門性	所有デバイス・利用歴
23	男	学生(タウンマネジメント)	iPhone(29ヶ月)
29	女	学生(体育、スポーツ)	SH04A(24ヶ月), iPhone4(13ヶ月)
24	男	学生(リサーチ、マーケティング)	GALAXY S(12ヶ月)
23	女	学生(システムエンジニアリング学)	GALAXY S(18ヶ月), iPod touch(24ヶ月)
24	男	建築、組織論	iPhone(18ヶ月)
44	男	人材派遣業	GALAXY S-II(2ヶ月)
50	女	翻訳、ウェブ制作、主婦、学生	iPhone(30ヶ月), iPad(1ヶ月)
24	男	学生(経済学・会計), 元携帯キャリア勤務(営業職)	iPhone3(27ヶ月), iPhone4S(1ヶ月), HTC Aria(12ヶ月), iPad(8ヶ月)
36	男	研究者(教育)、元教員	iPod Touch(12ヶ月)

表2 抽出したニーズ

ニーズの分類	抽出したニーズ	票数	
		インタビュー	ブレインストーミング
誤入力・ミスタッチ	キーボード入力時に誤入力しやすい	1	
	指だと文字入力など細かい操作がしづらい	3	
	指が太いからため誤入力が生じやすい	2	
	ピンポイントでタッチすることが難しい	1	
	拡大縮小したいのにリンクをクリックしてしまう		1
	指や手で画面が隠れてしまい、その部分の情報が分からない		2
	押すべき位置がわかりにくい		2
	反応しない時がある		2
	静電気の影響で操作がぶれる	1	
	タッチ検出の精度	1	
	少し触れただけで反応してしまう		3
	ポケットの中でアプリが起動してしまう	2	1
触知フィードバック	タイピング時に指を浮かせなければならない		1
	ミスタッチが起こりやすい		3
	押したことのフィードバックがあると押すのが楽になる	1	
	タッチ感（クリック感）がないので入力の現実感が無い	1	
	正しく入力されたかがわかりにくい		2
ブラインドタッチ	触覚フィードバックが無い		4
	ペン入力時に表面のザラザラ感があると良い	1	
	ブラインドタッチで入力すると誤入力が頻出する	1	
	画面を見ないと操作できない		3
画面の汚れ	歩きながら使っていて人にぶつかりそうになる	1	
	ブラインドタッチができない		2
	皮脂で画面が汚れる、きずつく	2	5
	画面の汚れで反応が悪くなる	1	
	料理中に操作できない(手が濡れている、汚れている)、	1	
操作自由度の低さ	端末に触れずにジェスチャー等で操作したい	1	
	手が汚れていると使えない		1
	メールを打ちながらスクロールしたい	1	
	本来は大きさを変えられないアプリの画面を拡大したい	1	
	ゲームがやりにくい		1
操作の制約	スマートフォン用ゲームは操作が単一になりやすい	1	1
	物理的なボタンが少なく、操作がわかりにくい		1
	寒い日に手袋をした指で操作できない、手袋をしていても反応して欲しい	1	1
	爪が邪魔して打ちにくい、爪で操作したい	1	
片手操作	画面左上を右手親指タッチしようとする親指の付け根が反応してしまう	1	
	片手で持った時に落とさないか不安		1
	落としやすい		1
	片手で使いにくい		2
操作の統一性	操作は右手で完結したい	2	
	ボタンの配置がアプリによって違う		1
	機種によって操作感が違う		3
ボタン等の付加	ジョイスティックがあったら良い、	1	
	追加でもう一つくらいボタンがあっても良い	1	
	ポインティングスティックで十分		1
	ホームボタン以外にもボタンがあってそれぞれに機能が割り振られていても良い	1	
操作の手間	PCに比べて文字入力が面倒		1
	フリック入力を覚えるのが手間	1	
	コピー等の作業がしづらい		1
情報の閲覧性	複数のメモを俯瞰的に見られない（閲覧性の限界）	1	
	裏面などにサブディスプレイが欲しい	1	
	オフィス系ファイルが見づらい		1
携帯性	軽量化	1	1
	小型化	1	3
	薄型化	1	
	バッテリーの高寿命化・電池が長持ちして欲しい	3	
収納性	ゴムのカバーがポケットに入れる時に引っかかる	1	
	ポケットに入れると服の形が崩れる	1	
レスポンス	フリーズする	1	
	メール送信時のエラーがストレス	1	
	追従性の良さ、レスポンス（入力から動作までの時差が少ない方が良い）	3	1
	十字キーでのウェブ閲覧は操作が遅くイライラする（画面の切り替え時には問題ない）	1	
デザイン性	デザインで端末を選ぶ	2	
	外付けのマウスやキーボードは要らない	3	
その他	衝撃に弱く、すぐ割れる		1
	操作していると遊んでいるように見られる		1
	鏡を付けて欲しい	1	

また、特定の操作を本デバイスに割り当てることで、アプリケーション設計の自由度向上が期待される。例えば、ディスプレイで文字を入力しながら画面のスクロールや拡大縮小が可能となる。これらの操作を既存のタッチ操作と併用することで、片手のみを用いた際の操作性を拡張することができる。

5.2 今後の課題となるニーズ

提案デバイスに対して今後の課題となるニーズは、携帯性・収納性・デザイン性・レスポンスである。提案デバイスは弾性体を端末に貼付するため、貼付時は端末の収納性や携帯性を損なうことになる。弾性体は取り外しが可能であるので、非使用時には携帯ストラップとして携帯できるなど、簡易に着脱可能な形態で運用することが必要である。また、提案デバイスではカメラによる力測定を行うため、使用時には操作入力に対する処理が行われるとともにカメラの起動によって端末の消費電力が増大する。カメラの解像度を低く設定し、処理の負担と消費電力を低減するなどの工夫が必要である。一方、この操作に対するレスポンスも重要であり、入力の処理速度を定量的に評価することは今後の重要な課題である。

6. おわりに

本稿では、GelForceを用いた携帯型タッチパネル端末用入力デバイスを提案した。本デバイスは、GelForceを端末内蔵のカメラに応用することで、端末に安価かつ省スペースに力による操作入力を付与する。提案デバイスのプロトタイプおよび基本的なアプリケーションを作成し、その操作感を定性的に評価した。さらに、インタビューおよびブレインストーミングによってニーズの抽出を行い、デバイスの評価指針を得た。この指針に基づいて提案デバイスの評価を行ない、その適用範囲を明確にした。提案デバイスは、端末に新たな操作自由度を付与することで、ミスタッチの低減や触知フィードバックなどのニーズを満たすが、一方で、消費電力の増大等のニーズと相反する側面を持つことがわかった。消費電力や操作の処理速度など、提案デバイスの定量的な評価は今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、特別研究員奨励費の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) Itsuo Kumazawa: A Finger Attachment to Generate Tactile Feedback and Make 3D Gesture Detectable by Touch Panel Sensor, IEEE Haptics Symposium 2010, 25-26 March, Waltham, Massachusetts, USA (2010)
- 2) Su-Min Park, Kwangyong Lee, Ki-Uk Kyung: A New Stylus for Touchscreen Devices, Consumer Electronics(ICCE), 2011 IEEE International Conference, pp. 491 – 492(2011)
- 3) Mascaro S, Asada H: Measurement of Finger Posture and Three-Axis Fingertip Touch Force Using Fingernail Sensors; IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 20, no. 1, pp. 26-35. (2004)
- 4) Han,J.: Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection: In UIST '05, Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology (2005), 115–118.
- 5) 牧野, 渡部, 前野: 爪上での透過光計測によるタッチパネル操作時の力推定, センシングフォーラム資料 27, 157-160 (2010)
- 6) 渡部, 牧野, 前野: タッチパネルにおける爪上の透過光を利用した接触状態と接触角度の推定; 社団法人日本機械工学会, ロボティクスメカニクス講演会, 1P1-C03 (2011)
- 7) 山内, 三原, 土井: 実時間インタラクションのための3次元手姿勢判定法の提案と評価, 情報処理学会論文誌フェース学会誌, Vol. 42, No. 6, pp.1290-1298 (2001)
- 8) 長谷部, 芦澤, 山本: ジェスチャー認識を備えた直観的な画像インタフェース, 社団法人映像情報メディア学会技術報告, Vol. 34, No. 10, pp.29-32 (2010)
- 9) 神山 和人, 梶本 裕之, 稲見 昌彦, 川上 直樹, 舘 暲: 触覚カメラ弾性を持った光学式3次元触覚センサの作成ー, 電気学会論文誌E, Vol.123, No.1, pp.16-22 (2003)
- 10) Katsunari Sato, Kazuto Kamiyama, Naoki Kawakami, and Susumu Tachi: Finger-Shaped GelForce: Sensor for Measuring Surface Traction Fields for Robotic Hand, IEEE Transaction on Haptics, Vol.3, No.1, pp.37-47 (2010)
- 11) 古明地 秀治, 佐藤 克成, 南澤 孝太, 渡邊 孝一, 新居 英明, 舘 暲: ロボットハンド操作システムのための円筒型多点ベクトル入力インタフェース, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第16巻, 第3号, pp.415-425(2011)
- 12) 城 堅誠, 笥 康明, 南澤 孝太, 新居 英明, 川上 直樹, 舘 暲: ARForce: Augmented Realityのための光学式多点力ベクトルセンサ, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.12, pp.2831-2840 (2009)
- 13) Yasuaki Takehi, Kensei Jo, Katsunari Sato, Kouta Minamizawa, Hideaki Nii, Naoki Kawakami and Susumu Tachi: ForceTile: Tabletop Tangible Interface with Vision-based Force Distribution Sensing, 35th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (ACM SIGGRAPH 2008), New Tech Demos, Los Angeles, USA (2008)