6Z-1

6軸動揺タッチパネルの提案

田代　遥†　　中根　正博‡　　鎌原　淳三‡　　長松　隆‡

神戸大学海事科学部†

神戸大学大学院海事科学研究科‡

1．はじめに

現在、タッチパネル型のユーザインタフェースは直感的な操作を可能にするとともに、自由度の高い画面設計が可能であるため、ATM や駅の券売機等で幅広く使われている。一般に使用されているタッチパネル型ユーザインタフェースは画面が平らであり、画面上のボタン等に触れた際に正しく操作した実感を得にくい。また、タッチパネルに表示しているものについて指でなぞって確認、人に説明する場合などに誤ってパネルに触れてしまい、誤入力してしまうなどの問題もある。著者らはこのような問題を解消するために、押し込み型タッチパネルを研究している[1-3]。

これまでの研究では、垂直方向のみの押し込みが可能であった。そこで新たに表面パネルが 6 軸（位置：3 方向、向き：3 方向）動揺可能なタッチパネルを提案する。パネルを傾けることにより複数個所への異なるフィードバックの付与や地図地形の表現等が可能となる。本稿ではそのコンセプトを提案し、例として、2 点押し込みを可能とする表面パネルの制御方法について述べる。

2．コンセプト

図 1 のようにタッチパネルの表面パネルを 6 軸で支えて駆動することにより触覚フィードバックを実現する。サーボモータを 6 つ使用することにより、パネルが水平のまま上下するだけでなく傾くことが可能になる。映像表示面(スクリーン)はパネルの動きにあわせて動かないように分離して設置している。

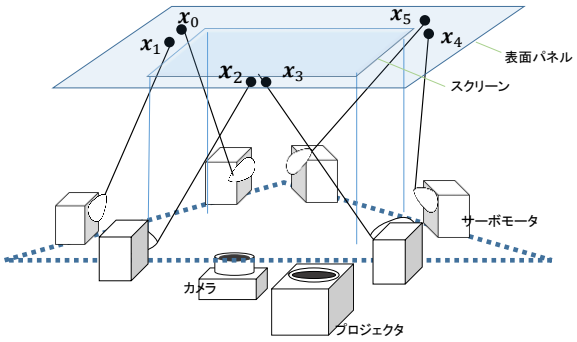
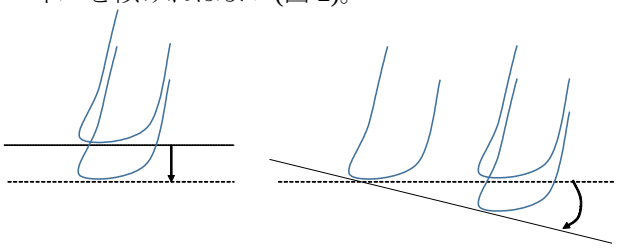


図 1　システムの概要

Proposal of a Six-Axis Motion Touch Panel
Haruka TASHIRO†, Masahiro NAKANE‡
Junzo KAMAHARA‡, and Takashi NAGAMATSU‡
Faculty of Maritime Sciences, Kobe University†
Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University‡

3．2 点押し込み機能

1 点目の押し込みは、パネル全体をスイッチのように下げればよい[1-3]。2 点目の押し込みは、1 点目の押し下げた指の位置を変えずに 2 点目の指の位置を下げる必要がある。そのためには 1 点目の指の位置を通るパネルに含まれる線を軸としてパネルを傾ければよい(図 2)。



(a)1 本目の指の押し込み　　(b)2 本目の指の押し込み (1 本目の位置を変えずにパネルを傾ける)

図 2　2 点押し込み機能

4．計算手法

4.1　指の 3 次元位置の導出

指の検出はカメラで行うが、カメラ座標系で、指の位置 ${}^{c}\mathbf{F}$ の座標には、パネル上の 3 点 ${}^{c}\mathbf{C}$, ${}^{c}\mathbf{A}$, ${}^{c}\mathbf{B}$ を基準にして以下の関係がある。

$$\left({}^{c}\mathbf{F}-{}^{c}\mathbf{C}\right)=a\left({}^{c}\mathbf{A}-{}^{c}\mathbf{C}\right)+b\left({}^{c}\mathbf{B}-{}^{c}\mathbf{C}\right) \qquad (1)$$

この式より係数 a, b を求め、ワールド座標系での指の位置 $\mathbf{F}$ の 3 次元座標を求める。

$$\mathbf{F}=a\left(\mathbf{A}-\mathbf{C}\right)+b\left(\mathbf{B}-\mathbf{C}\right)+\mathbf{C} \qquad (2)$$

4.2　パネルの動き

2 本目の指を押し込むときに、パネルを回転させる回転軸 $\mathbf{l}$ は図 3 の $\left(\mathbf{F}_2-\mathbf{F}_1\right)$ とパネルの法線ベクトル $\mathbf{n}$ に垂直な方向となる。これは外積で求まる。

$$\mathbf{l}=\left(\mathbf{F}_2-\mathbf{F}_1\right)\times\mathbf{n} \qquad (3)$$

ここで、$\mathbf{n}$ は、$\mathbf{x}_0$~$\mathbf{x}_5$ から求まる。回転する角度は、$\mathbf{F}_1$ と $\mathbf{F}_2$ の距離を d_{12}、$\mathbf{F}_2$ の下がる深さを $dep2$ とし、以下のように求める。これまでの研究から、$dep2$ は、2mm 程度で十分であると分かっている。

$$\alpha=\sin^{-1}\frac{dep2}{d_{12}} \qquad (4)$$

Copyright ©2014 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

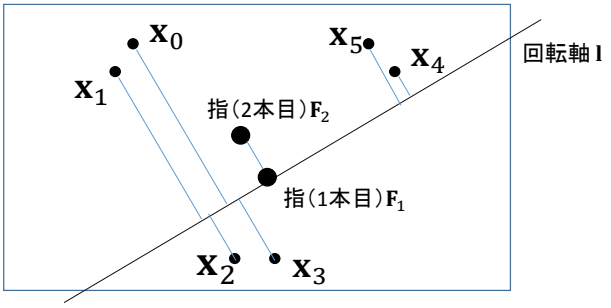


図 3　回転軸とサーボモータの位置関係

4.3　サーボモータの回転位置

表面パネルを 4.2 のように動かすには、サーボの回転位置を求めなければならない。そのためには、サーボ座標系で考える必要がある。ワールド座標系からサーボ座標系への変換式は以下の通りである。

$$ {}^{i}\mathbf{x} = {}^{i}\mathrm{R}_{w}\left(\mathbf{X} - {}^{i}\mathbf{T}_{w}\right) \qquad (5) $$

ただし、${}^{i}\mathbf{x}$ はサーボ i 座標系上の点であり、$\mathbf{X}$ はワールド座標系上の点である。${}^{i}\mathrm{R}_{w}, {}^{i}\mathbf{T}_{w}$ はそれぞれワールド座標系からサーボ i 座標系へ変換する際の回転行列と平行移動ベクトルである。

パネルの位置を制御するには、パネル上の点 $\mathbf{x}_0$~$\mathbf{x}_5$ の位置が決まっている時に、それぞれにつながるサーボの回転角度 θ を求めればよい。図 4 のようにサーボモータの中心からパネルをつなぐ金属棒の取り付け位置までの距離を r、金属棒の長さを l とすると以下の式を満たす。この式を満たす θ を求めればよい。

$$ l^2 = (r\cos\theta - x)^2 + (r\sin\theta - y)^2 + (0 - z)^2 \qquad (6) $$

これより、

$$ \sin(\theta + \beta) = \frac{x^2 + y^2 + z^2 + r^2 - l^2}{2r\sqrt{x^2 + y^2}} \qquad (7) $$

ただし、$\sin\beta = \dfrac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}$, $\cos\beta = \dfrac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}$ (8)

よって、

$$ \theta = \sin^{-1}\left(\frac{x^2 + y^2 + z^2 + r^2 - l^2}{2r\sqrt{x^2 + y^2}}\right) - \beta \qquad (9) $$

または、

$$ \theta = \pi - \beta - \sin^{-1}\left(\frac{x^2 + y^2 + z^2 + r^2 - l^2}{2r\sqrt{x^2 + y^2}}\right) \qquad (10) $$

θ は、サーボの取り付け向きによって、どちらか適切な方を選択する。

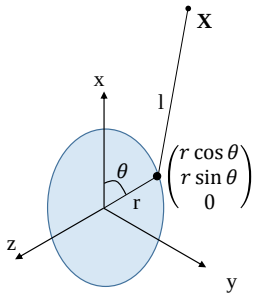


図 4　座標とサーボモータの角度

5．システムの構築

指の検出には、FTIR 方式を用いた[4]。指が触れる表面パネル内部に赤外線 LED により赤外線を満たし、指が触れたときにそこから漏れる赤外線を赤外線カメラで撮影し、その画像を OpenCV により楕円を検出することで指を認識するようにした。赤外線カメラからの画像を取り込み、画像中から楕円を検出し表示するようにした。

図 5 に開発したシステムの外観を示す。

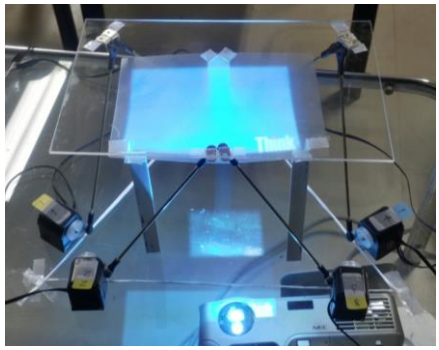


図 5　システム外観

6．おわりに

表面パネルが 6 軸（位置：3 方向、向き：3 方向）が動揺可能なタッチパネルを提案した。この新しいタッチパネルの機能として、2 本の指でタッチして 2 箇所の押し込みを可能とする手法について示した。

参考文献

[1]棚瀬直政, 島田景司, 長松隆, 赤澤輝彦, 鎌原淳三：パネルの遊びから押せる場所が分かるタッチディスプレイの開発,情報処理学会第 73 回全国大会予稿集,4-315 – 4-316, 2011

[2]Takashi Nagamatsu, Sachio Echizen, Teruhiko Akazawa, Junzo Kamahara: WobblySurface: Tactile Feedback by Holding/Releasing a Surface Panel, Demo, ACM ITS2011, 2011

[3] 中根正博, 越前祥生, 鎌原淳三, 長松隆：押し込み型タッチディスプレイにおける触覚フィードバックに関する研究,情報処理学会第 75 回全国大会予稿集, 4-69 – 4-79, 2013

[4]Jefferson Y. Han: Low-Cost Multi-Touch Sensing through/Frustrated Total Internal Reflection, Proc. ACM UIST, pp.115-118, 2005

Copyright ©2014 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.