

TubTouch : 湯水の影響や自由形状への適用を 考慮した浴槽タッチ UI 環境

榊原 吉伸[†] 平井 重行^{††}

本研究では、浴槽縁へ静電容量方式のタッチセンサを組み込むことで湯水がある状況でも指先でのタッチ・スライド・近接の操作が可能なシステム TubTouch を実装した。元々、静電容量センサは液体にも反応するものだが、TubTouch は人の手指と水を区別できる。また、曲面を含む様々な形状の箇所に適用可能である点や日常的な掃除などにも支障がない形で導入可などの特徴もある。本論文では、タッチセンサ機能の特徴と共に浴槽を中心とした浴室内のインタラクションについて考察し、実装システムやアプリケーション例について述べる。

TubTouch : Bathtub touch user-interface toward curved surfaces and unaffected by water

YOSHINOBU SAKAKIBARA[†] and SHIGEYUKI HIRAI^{††}

This paper describes the bathtub surface computing system "TubTouch" which changes a bathtub with water to an interactive controller. This system handles touching, sliding and proximity of human body such as hands and fingers by capacitive touch sensors. Basically, a capacitive sensor detects conductive objects including human bodies and water. TubTouch can, however, make distinguish between them by responses of sensors. In addition, this system is not obstacles of daily cleaning by installing inside of existing bathtub, and can adapt to various places including curved surfaces. In this paper, we discuss an interaction design in a bathroom, describe an implementation of TubTouch and its applications.

1. はじめに

最近の一般住宅の浴室はテレビや浴室暖房乾燥機など、様々な機器の取り付けが可能で、給湯器のリモコン以外にそれらのリモコンが増え、リビングでの複数リモコン問題と同様のことが起こると考えられる。また壁への据え付け型であるため、デザインの観点で到底スマートとは言えない環境になりつつあると言える。

本研究ではこの浴室リモコンの問題を解決することが目的の一つであり、様々な機器や機能を統合的に扱い、スマートな機器操作ができる環境を実現することが望ましいと考えている。そのためのアプローチとして、システムバスのパーツとして導入される浴槽にセンサ機能やディスプレイ機能を持たせ、直感的な入力や機器の操作メニュー表示を行うことを解決策の一つ

とする。ただ、湯水や汚れの存在を考慮すると、掃除の観点から浴槽表面にセンサやディスプレイ機能を加工・導入することは実用的ではない。我々はそれらを考慮したうえで浴槽へ適用するシステム TubTouch を提案する。ここでは浴槽裏側へ組み込む形で静電容量方式タッチセンサを導入し、天井取付のプロジェクトから浴槽へ画面投影し、インタラクティブな環境を構築する。そのような研究は数多くあるが、浴室のような電子機器の利用が過酷と言える環境で動作するシステムを実現している点が大きな特徴である。また、浴槽表面は加工しないため掃除などの支障はなく、センサの適用箇所も曲面を含む様々な形状の箇所に適用できるという利点もある。

本論文では、これらの特徴を持つ TubTouch のシステム構成やタッチセンサの基本特性と操作機能を説明し、実装システムとアプリケーション例について紹介する。そして、それらにより浴室に限らない様々な箇所への静電容量タッチセンサの適用や応用の可能性について示す。

[†] 京都産業大学大学院 先端情報学研究科
Graduate School of Frontier Informatics, Kyoto Sangyo
University

^{††} 京都産業大学 コンピュータ理工学部
Kyoto Sangyo University

2. TubTouch のシステムデザイン

2.1 基本コンセプト

様々な機器を統合的に操作でき、柔軟なユーザインタフェースを持つ仕組みを実現することが TubTouch の基本コンセプトでもある。そのためのアプローチとして、浴槽内部に静電容量方式のタッチセンサを組み込み、入浴者が浴槽に触れることで様々な操作ができる入力インタフェースを構成する。また、操作に関する情報提示には、天井設置プロジェクタを用いて浴槽表面に投影する。図1に TubTouch のシステムイメージを示す。以下では、システムを構成するハードウェアの考慮点および、浴槽を中心とした浴室インタラクティブシステムとしての考慮点について述べる。

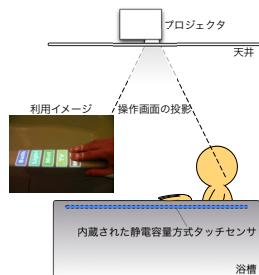


図1 TubTouch の基本システムイメージ

2.2 ハードウェア構成について

2.2.1 システムバスの構造とタッチセンサの導入

日本の一般住宅で普及している規格化されたユニット型システムバスは、壁や床、浴槽、天井などがパーツで構成され、組み立てや取り外しがし易い。浴槽の横壁（エプロン）も取り外し可能で、浴槽裏側にも容易にアクセス可能である。TubTouch はこれを利用して、既存浴室でもタッチセンサの端子や計測回路の設置を行うため、実用化の際のメンテナンス性についても考慮している。なお、浴槽形状については、図2のような流線型で上面も曲面で構成されているものがある。多くのタッチセンサは平面状だが、次節で説明するタッチセンサの方式と端子を用いることで曲面であっても導入は可能である。

2.2.2 タッチセンサ方式の考慮点

数あるタッチセンサ方式の中で静電容量方式は壁やテーブルなどの面の裏側にセンサ端子を取り付けて構成可能なほか、曲面などにも適用できる利点がある。ただ、静電容量のセンサなので人体以外の誘電体（湯水）にも反応するという欠点があるが、その影響については以前の研究で既に確認済みである¹⁾。なお、タッチセンサは銅板電極によるタッチスイッチを複数で並



図2 システムバスと浴槽横壁（エプロン）

列化したものを用いる。

2.2.3 プロジェクタ利用の考慮点

システムバスには天井裏に浴室暖房乾燥機などの機器のユニットが設置できるスペースがあり、天井にアクセスハッチも付いている。そのため天井取付は比較的容易である。将来的にはピコプロジェクタがより小型・高機能・高出力化し、天井裏にプロジェクタを設置せずともマッチ箱以下のサイズのプロジェクタを天井へ貼り付けるだけで情報投影環境が構築できると考えている。

2.3 浴槽を対象としたインタラクティブデザイン

前節までの内容を元にした浴室内のインタラクティブシステムを構成するが、本節ではユーザ（入浴者）が浴槽縁に触れて操作するインタラクティブデザインについて考察する。

2.3.1 ユーザ位置・操作範囲とセンサ端子サイズ

次章で示すタッチセンサの特性から、比較的サイズの小さいセンサ端子はタッチ検出する範囲が小さく、配置間隔を考慮することで指先での操作にも適用できる。一方で、サイズが大きな端子はタッチ検出できる範囲が大きいため、指先の動きより手のひらや複数本の指の腹を用いた比較的大きめな動きを捉えることに向いている。このことを元に、ユーザの位置や操作範囲と、センサ端子のサイズと配置について考察する。

浴室内ではユーザは浴槽内に座っているか、洗い場で座るか立つかである（図3）。洗い場では、ユーザは浴槽縁を広い範囲に触れることが可能で、手のひらなどを使うことが想定される。他方、浴槽内で座った状態では腕を伸ばしても届く範囲は限定され、浴槽縁上に手や肘を置いて指先で細かい操作をすることが多くなると考えられる。そのため浴槽縁の左右端（図3の赤い枠）のほうはあまり細かい操作には利用されにくく、浴槽縁の中心あたり（図3の青い枠付近）は細かい操作に利用されやすい箇所と言える。タッチセンサの端子数をかなり多めに設置可能な場合には、浴槽縁全体に小型の端子を配置してどのようなタッチ操作入力にも対応できる。端子数が限られている場合には、小さめの端子を中央あたりに配置し、浴槽縁の左右端

には比較的大きめの端子を配置することが有効と考えられる。

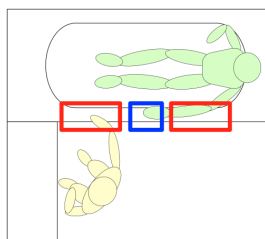


図 3 浴槽縁の主な操作箇所

2.3.2 操作位置・内容の情報投影

次に、プロジェクタで情報投影する内容に関して考察する。ユーザが洗い場にいる際には、手のひら操作で浴槽縁を広く範囲に操作可能であり情報投影も広範囲に行う。ユーザも広範囲に視認できることから図4のようなアイコンでも、比較的大きめのサイズで投影して支障がない。ただ、浴槽縁上面は細長い領域であり、提示内容は一次元的な配置が基本となる。また、浴槽縁の狭さのため、機器操作のメニュー項目提示には、メニュー遷移の表現方法や選択項目の状態表示にも工夫が必要となる。様々な浴室内機器の統合的な操作を行うには、各機器の操作メニュー項目を切り替え表示する必要も出てくるため、アニメーションなど表現方法についてよく検討する必要がある。また、投影内容が手指の上にかかり視認しにくくなることがあるため、手や腕に被らない位置へ情報提示することも考える。例えば、指先から少し位置をずらした箇所や、図4のように浴槽の内側の壁に投影するなどの工夫が考えられる。

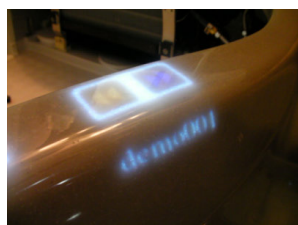


図 4 浴槽壁面への情報投影

3. 浴槽埋め込みタッチセンサの基本特性

本章では、TubTouch の操作手法である、近接操作（端子と手指の近接具合）、タッチ操作（On/Off のタッチスイッチ）、スライド操作（複数端子の連続的な値の変化を利用したスライド入力）の3つの操作に対する基本特性と可用性について確認する。ここでは、静

電容量方式タッチセンサとして、16ch 版タッチスイッチ用センサ IC（オムロン社 B6TS-16LF）を使用した。浴槽エプロンを外した箇所にセンサ IC を納めた回路ケースを、浴槽縁上面の裏側となる箇所にセンサ端子を取り付け、端子と回路ケースの間をリード線で接続している（図5参照）。

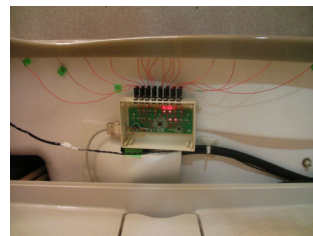


図 5 浴槽横にセンサ回路と端子を設置した様子

3.1 センサ端子

センサ端子は銅板を利用しており任意のサイズで作成することが出来る。今回、研究で使用した浴槽の縁は流線型であり、その縁の幅は場所によって異なるがおよそ 50mm 程度である。端子サイズはこの浴槽裏側の設置可能幅を基に決定する。端子の面積によって計測特性が異なるため、端子は大型のもの（50mm 四方）と小型のもの（20mm 四方以下）を用意する（図6参照）。大型端子は手のひらや複数指の腹での操作に利用することを想定している。小型端子は指先による細かな操作を想定しており、操作目的や位置に応じた空間分解能の向上を図ることを目的としている。ここでは、大型端子と小型端子それぞれ単体での近接操作とタッチ操作の検証を行う。また、端子を複数並べ、その並べ方と端子サイズの違いを含めてスライド操作に関する特性の確認を行う。なお、センサ IC に接続するセンサ端子はそれぞれ独立して計測がされることから、近接、タッチ、スライド操作それぞれ複数同時入力（マルチタッチ入力）が可能である。



図 6 センサ端子

3.2 端子サイズによる特性の違い

近接操作

センサ端子と手指間の距離による計測値の影響につ

いて、15mm × 15mm の端子を用いて銅板の面に対し垂直方向・水平方向でそれぞれ 5mm 刻みの距離で計測した。垂直方向の計測では、比誘電率が低く計測値への影響が少ないウレタン片を重ねて、端子-手指間の一定距離を保ちつつ計測した。垂直、水平それぞれの結果を図 7 と図 8 に示す。

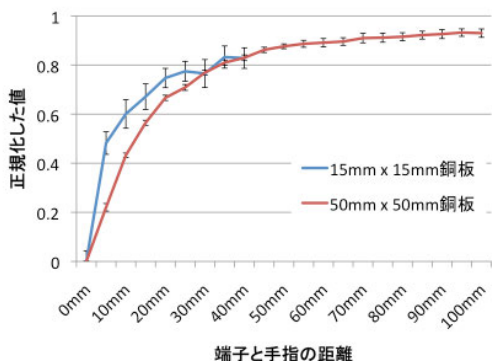


図 7 近接距離とセンサ出力値の関係（垂直方向）

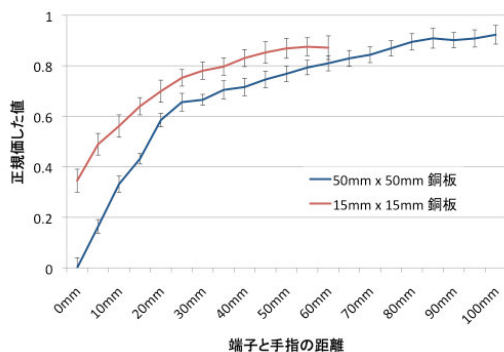


図 8 近接距離とセンサ出力値の関係（水平方向）

これらから、静電容量の変化量は端子サイズ（表面積）で違うことが確認できた。小型端子では垂直方向 15mm 程度、水平方向 25mm 程度までの近接量しか計測できず、誤差も比較的大きいため操作手法に含めることは少々難しい。一方、大型端子は垂直方向 35mm、水平方向 50mm 程度まで比較的精度良く計測が可能で、近接操作に利用できることが確認できた。

垂直方向の近接量は連続的な値の入力に適用可能だが、手が宙に浮いた状態での操作であり、微調節や特定の値で留めることが難しい。しかし、操作アイコンへのフォーカスや近接による操作パネルのアニメーション処理などへ適用は可能と考える。また、水平方向の近接距離はセンサ端子同士の設置間隔を決める参考にすることができる。また、後述するスライド操作の処理でも利用できる。

タッチ操作

センサ端子の出力値の絶対値や変化量は各端子のリード線の長さや周囲の状況、水の有無や温度などに依存する。そこで、単純に端子毎にキャリブレーションを行ってセンサ出力値に閾値を儲け、On/Off 判定を行ってタッチ操作の検出に利用する。この場合、センサ上面に水がある場合でもキャリブレーションを適切に行えば、センサ端子の大小に関わらずタッチの検出が可能であることは確認できている¹⁾。

スライド操作

列に並べた複数個のセンサ端子に対し、隣接する端子の出力値の変化量を連続的に計測することでスライド操作の処理を実現する。そこで、センサ端子を一列に並べて手指でスライド操作した際のセンサ出力値の計測を行った結果、大小どちらのセンサ端子でもスライド操作処理が可能であることを確認した¹⁾。

スライド方向と平行な辺の端子長さについては、短いほうが複数端子のデータを扱えることになり、スライド入力 of 分解能向上が図れる。また、スライド軸を複数列設置することや、浴槽縁の幅が狭く限られていることを考慮すると、端子サイズは小さいめのほうが好ましいと言える。そこで、小型端子で異なるサイズにおいて計測値の関係性を調べた。その結果を図 9 に示す。

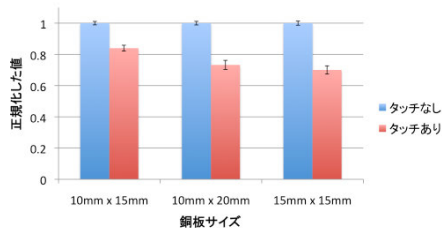


図 9 端子面積とタッチ・非タッチの比較

この図では、銅板の表面積に依存してタッチと非タッチの静電容量の変化量が増加していることが確認できる。次に、隣接する銅板同士の影響を調べるため、10 × 20mm 銅板を 10mm 間隔で 8 つを図 10 のような 2 次元の配置に並べ、端子 C をタッチした時の隣接する端子の計測値を調べた。その結果を図 11 に示す。

端子 C の長辺 (20mm) に隣接する B と D は多少の影響を受けているが、端子 C の短辺 (10mm) に隣接する G はほとんど影響を受けていない。これにより、同じ距離で隣接する銅板でも隣接辺の長さで影響の違いがあることを確認した。静電容量の変化が比較的に見込める 10x20mm サイズの銅板端子であれば、列の違う端子へ与える影響が少ないことから、今回実装する

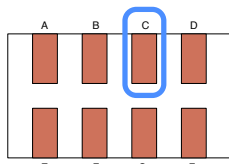


図 10 小型端子の 2 次元配置

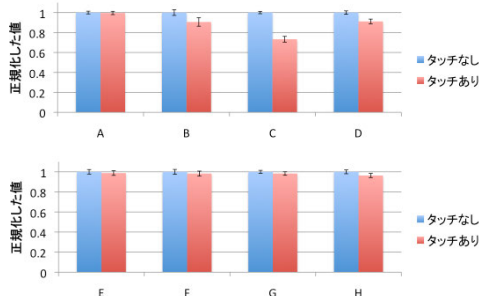


図 11 配置された小型端子同士の隣接影響

浴槽縁の幅の中では 10mm 間隔で二列に並べればスライダ機能が実装できることを確認した。このことを踏まえ、次章で述べるシステムの実装では 10x20mm の端子を 10mm 間隔で 4 つずつ 2 列に並べ、長さ 70mm のスライダ領域を構成する。

4. TubTouch の実装とアプリケーション例

4.1 実装システムの構成

今回は 16ch のタッチセンサ IC を 1 つ利用する形で TubTouch を実装した。2 章のインタラクションデザインの考察および 3 章のタッチセンサの基本特性を踏まえ、センサ端子の取り付けは図 12 のような配置とした（回路および端子の取り付けについては図 5 を参照）。これは、浴槽内に座って浴槽縁に手を伸ばしたときに自然に指先が来る位置に、指先でのスライダ対応可能な小型センサ端子列がある構成と鳴っている。そして、その左右に 4 つずつ大きめの端子を設置しており、手のひらでの様々な操作に使用可能である。



図 12 センサ端子の配置図（浴槽縁上面）

このシステムでは、計測した各タッチセンサの情報を情報提示用 PC で受け取り、浴槽へ投影する操作情報の視覚フィードバックに用いる。なお、この情報提示用 PC ではセンサ IC との通信や計測データのキャリブレーションを行い、そのデータを基に各センサ端子の近接操作、タッチ操作、スライダ操作の検出処理

も行う。これらの処理は Processing で実装している。

4.2 TubTouch による機器操作システム

2 章と 3 章の内容をベースにセンサ端子を配置し、調光照明と音楽プレーヤのアプリケーション機能を実装した。そのシステム構成図を図 13 に、その浴槽縁へ操作画面が投影された様子を図 14 に示す。

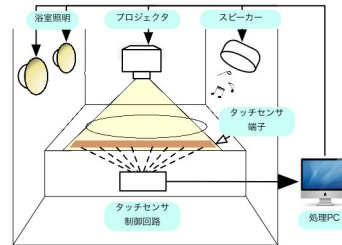


図 13 TubTouch による複数機器操作システムの構成



図 14 TubTouch によるユーザインタフェース構成例

左右両端のアイコンには 2 つの機能の切り替え操作を割り当ててあり、近接操作で機能選択が行える。機能選択の際には、各機能の操作アイコンが浴槽縁上で引き出されるアニメーション描画を行う。残りの 3 つのアイコンは各機能時にそれぞれ特定操作が割り当てられ、これらはタッチ操作を行う。調光照明機能では 2 つの照明を調光できる。各アイコンは、消灯・点灯・調光の選択で、調光は中央の二列のスライダを指先スライド操作でそれぞれ独立して制御可能である。音楽再生機能では再生・停止・一時停止の操作をアイコンに割り当ててある。中央付近の小さなセンサ端子で、再生曲の変更操作が可能である。浴槽側面には再生トラック名が表示され、手指の操作にかぶらない情報提示を行っている。

なお、この実装システムの操作は TubTouch を利用した際の一例を示したものであり、各操作手法への機能の割り当てや情報提示は機器の種類や数、機能の多さなどに応じてデザインし直す必要があると言える。ただ、実際に複数機器を切り替えて操作できていることから、より様々な機器を含めた統合的な操作環境が

TubTouch で実現できることは示した。さらに、曲面へのセンサ適用や狭い範囲での3種の操作機能も実現しており、システムバスの浴槽を用いていることから、より様々な浴室環境(浴槽)への適用可能性も示した。なお、TubTouch の機能の一部は Bathcratch²⁾ などでも使われている。

5. 関連研究

静電容量方式タッチセンサでマルチタッチ入力可能なシステムの研究としては、暦本による SmartSkin⁶⁾ や福地らによる研究⁵⁾ が挙げられる。これらはテーブルやパッドサイズのセンサ平面を構成しており、マルチタッチ入力以外に近接近入力や、腕や手指での形状入力も行える³⁾⁴⁾。適用箇所は全く違うものの、操作情報をプロジェクタで投影する点などを含めこれらの研究の構成は本研究に近いと言える。また、静電容量方式を利用し、かつプロジェクタで画面投影している研究としては、Westerman らによるシステム⁷⁾ や、DiamondTouch⁸⁾ が挙げられる。DiamondTouch は単なる静電容量方式ではなく、タッチする人を区別することができ、複数人での操作環境を実現している。本研究に関しては、親子でお風呂に入る場合などに浴槽を複数人数で触れる可能性があることから、複数人対応という点で DiamondTouch は参考にするべき研究と言える。一方で、曲面でのタッチ操作環境に関する研究としては、Benko らの、Sphere⁹⁾ や、ドーム状のディスプレイ¹⁰⁾ が挙げられる。これらの画面もプロジェクタを利用するものだが、タッチ検出には赤外光を利用する方式という点で、本研究とは違うアプローチと言える。

6. おわりに

本論文では、様々な浴室用機器に対し、浴槽を用いて統合的で直感的に扱える UI システム TubTouch を提案し、実装システムやアプリケーション例について述べた。曲面を含む様々な形状の浴槽に適用でき、かつ湯水の影響を考慮して操作環境を実現している点に特徴がある。また、後付け設置できる点、浴槽表面には何も加工しないため掃除の際に浴槽に洗剤をかけたりスポンジでゴシゴシこするなどしても問題がない点など、実用性の高さも大きな特徴と言える。本論文ではまた、TubTouch を実装したシステムで複数機器の統合的な操作ができることを示した。身の周りの環境をユーザインタフェースとして活用し、新たな生活の楽しみ方や新たな応用方法を開拓するという観点では、このような研究はスマートさを追求する以上の価値が

あると考えている。

今後は、高度な UI 処理や様々な機器の統合操作で発展させる予定である。また、水場や汚れという同じ条件を持つキッチンやトイレ、洗面台にも同様の機能を適用してスマート環境をより多くの箇所で構築することも試みたい。さらに、住宅に限らず、水や汚れが課題となるような過酷な環境、例えばレストランの厨房やモーターボートの操縦席、水産加工会社の工場などで先進的なユーザインタフェースの適用と実用化することにも取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 林宏憲, 榊原吉伸, 早川聖朋, 平井重行. タッチセンサ内蔵浴槽による浴室のインタラクションデザインとその応用. ヒューマンインタフェース学会研究報告集 Vol.12, No.1, 2010.
- 2) 平井重行, 榊原吉伸, 早川聖朋. Bathcratch: 浴槽をこすることで DJ スクラッチ演奏を楽しむシステム. エンタテインメントコンピューティング 2011 論文集, pp 95-100, 2011.
- 3) 福地健太郎, 暦本純一. SmartSkin を用いた多点入力システムの実装. 情報処理学会論文誌 Vol.46 No.7, pp.1682-1692, 2005.
- 4) 福地健太郎, 暦本純一. 多点入力 GUI による複数オブジェクトの並行操作の評価. 情報処理学会論文誌 Vol.49 No.7, pp.2500-2508, 2008.
- 5) Kentaro Fukuchi and Jun Rekimoto. Interaction Techniques for SmartSkin. In *Proc. of UIST2002*, 2002.
- 6) Jun Rekimoto. SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces, In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp.113-120, 2002.
- 7) Westerman, W. Hand Tracking, Finger Identification and Chordic Manipulation on a Multi-Touch Surface. PhD Thesis, University of Delaware, 1999.
- 8) Dietz, Paul and Leigh, Darren. Diamond-Touch: a multi-user touch technology. In *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp.219-226, 2001.
- 9) Hrvoje Benko, Andrew D. Wilson, and Ravin Balakrishnan. Sphere: multi-touch interactions on a spherical display. In *Proc. of UIST2008*, pp.77-86, 2008.
- 10) Hrvoje Benko, and Andrew D. Wilson. Multi-point interactions with immersive omnidirectional visualizations in a dome. In *Proceedings of ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pp.19-28, 2010.