

SmARt Projection: モバイル端末内データを共有するための情報揭示システム

土佐 伸一郎^{†1} 田中 二郎^{†1}

スマートフォンに代表されるモバイル端末の普及が進んでいる。このようなモバイル端末は多機能であるため、カメラやウェブブラウザ等様々な用途で使用される。そのため、モバイル端末内部には画像、web ページ、音楽等の種々のデータが保存されている。このようなモバイル端末内データを研究室の友人や学校のクラスの友人といったような、日常生活で同じ場所で過ごす人々と共有したいという場面は数多く存在する。

そこで本研究では、同じ場所を利用する人々とのモバイル端末内データの円滑な共有を行うためのシステムである SmARt Projection を提案、実装した。本システムは普段から過ごす実世界空間の壁面に自由にデータを配置して、モバイル端末内データの共有を行うことが出来る。そして拡張現実感を利用したインタラクション手法を用いて直感的なデータの「貼り付け」、データの「閲覧、取得」を行うことが出来る。

この拡張現実感を利用したインタラクション手法により、高い操作性を実現し、円滑なデータ共有を可能とする。また、普段から利用する空間の壁面上でデータの共有を行うことで、web にアクセスする等の必要が生じず、日常生活の自然な延長としてデータの共有を行うことが出来る。そして、壁面の自由な位置にデータを貼り付けられることに加え、壁面に存在する物理オブジェクトとの関係性を利用することで、より円滑な共有を可能とする。

SmARt Projection: Wall Screen Information Sharing System For Mobile Device's Data

SHINICHIRO TOSA^{†1} and JIRO TANAKA^{†1}

Mobile devices represented by smartphones have become increasingly popular. Such mobile devices are used in various applications, like web browsers, cameras and so on. Various kinds of data, such as music, pictures, web pages are saved inside these mobile devices. There are many situations when users want to share the data with people spending time at same place, such as school's

friends, lab's colleagues etc.

We propose the system to share the mobile device's data smoothly with the people spending time at same place. The system makes it possible to share the mobile device's data by pasting the data to the walls of our living space.

We have actually implemented "SmARt Projection System" as a prototype. Users can paste, browse and obtain the data intuitively by using Augmented Reality (AR) Interaction method. This interaction method enables users to interact and share the data smoothly. Also, users can share the data naturally as extension of daily life by sharing the data on the walls of their living space. Users can share the data more smoothly by using relations of the physical objects which exist on the walls.

1. はじめに

スマートフォンに代表されるモバイル端末の普及が進んでいる。このようなモバイル端末は多機能であるので、カメラやウェブブラウザ等様々な用途で使用される。そのため、モバイル端末内部には画像、web ページ、音楽等の種々のデータが保存されている。このようなモバイル端末内データを研究室の友人や学校のクラスの友人といったような、日常生活で同じ場所で過ごす人々と共有したいという場面は数多く存在する。例えば、「旅行先で撮影した面白い写真データを研究室内のメンバの誰かしらに見せたい」「自身のホームページを更新したので、クラスの友達の誰かしらに見せたい」といったような場合である。

共有する手段として、既存の方法では web にアップロード、メールに添付して送信というのが一般的である。しかし、web を用いる場合ではどのアドレスに置いたという情報を共有相手に何かしらの形で伝える必要がある。メールにおいてもデータの共有相手を指定する必要が生じる。つまりは、web やメールでは明示的にデータの在処やデータの共有相手を示す必要性が生じる。

そこで本研究では、同じ空間を利用する人々とのモバイル端末内データの円滑な共有を行うために、SmARt Projection を提案、実装した。本システムは普段から過ごす空間の壁面をデータの共有スペースとする。拡張現実感を利用したインタラクション手法により、壁面の任意の位置にモバイル端末内のデータを容易かつ直感的に貼り付けることが出来る。そして揭示されたデータは各人が所有するモバイル端末で閲覧、取得することが出来る。

以下、本論文の構成を示す。第 2 章では我々が提案した SmARt Projection について述べ、

^{†1} 筑波大学 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻

第3章では我々が提案した SmARt Projection システムの実装について述べる。第4章では、本システムの試用を通じて議論を行う。第5章は関連研究について述べ、第6節でまとめと本研究の今後の課題について述べる。

2. SmARt Projection

本研究が提案するシステムである SmARt Projection の利用イメージは図1のようになる。

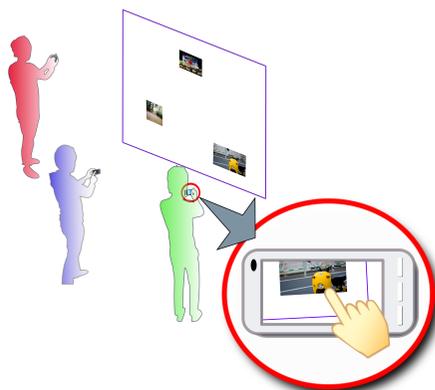


図1 利用イメージ

本システムでは各人が所有するモバイル端末を操作デバイスとする。そのモバイル端末には背面カメラと二つのボタンを備えた物を想定している。壁面に対して操作を行うときには、モバイル端末を壁面に向けて操作を行う。操作はデータの「貼り付け」、データの「閲覧、取得」から構成される。「貼り付け」「閲覧、取得」を行う際には、モバイル端末のカメラから取得している映像がその端末画面に表示される。この表示される映像のことを以後カメラ取得映像と呼ぶ。

データの「貼り付け」では、各人が所有するモバイル端末内に保存されているデータを、壁面の自由な位置に貼り付けることができる。貼り付ける際には、データに付加情報を付加することが出来、ユーザ名やコメント等を残すことができる。データの「閲覧、取得」では、各人が所有するモバイル端末を貼り付けられているデータに向ける。そして、カメラ取得映像に写るデータを指でタッチすることによってデータを選択することができる。選択し

たデータの情報を閲覧したり、そのデータを端末へと取得することが出来る。

2.1 拡張現実感を利用したインタラクション手法

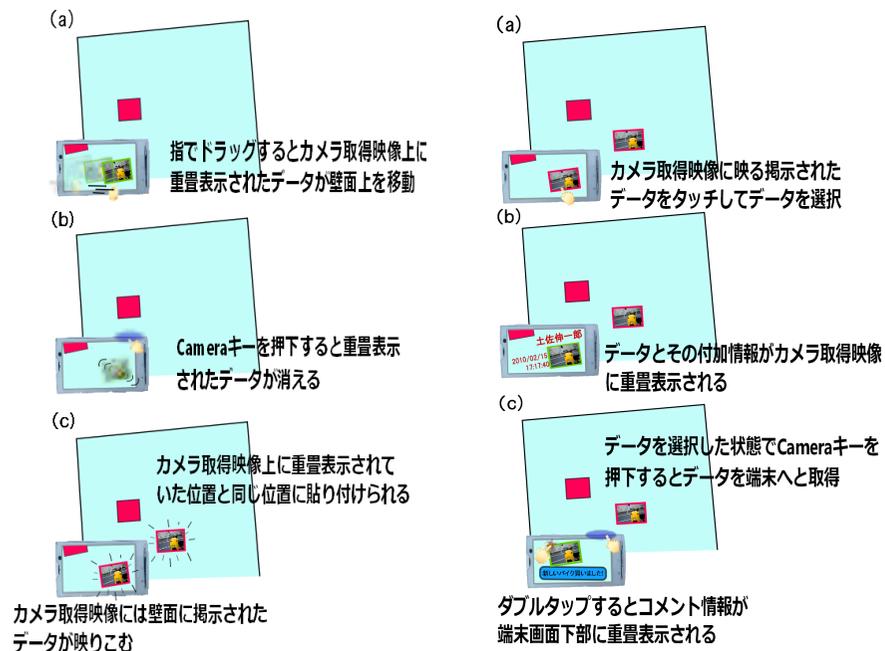
拡張現実感とは、現実の環境から知覚に与えられる情報に、コンピュータが作り出した情報を重ね合わせ、補足的な情報を与える技術・環境のことをいう。拡張現実感とは実世界の物体に関連する付加的な情報を付与する場合などに用いる。近年では、拡張現実感を用いた様々な研究がされている [1] [2]。一般的にはウェアブルコンピュータを装着して、眼前に装着できる透過型のディスプレイ上に仮想的な情報を重畳表示させたり、モバイル端末等のカメラで撮影している映像上に仮想的な情報を重畳表示させるものが多い。

この拡張現実感を利用したサービスとして Sekai Camera [3] がある。このサービスは位置情報を利用して、実世界空間の様々な場所に仮想情報を設置することが出来る。モバイル端末内データを共有する為に、このサービスのように空間上にデータを設置して他人と共有を行うことも可能である。しかし、データの設置をすることは可能であるが、利用者が端末を使って覗いてみようと思えばデータの存在に気付くことは出来ない。

本システムでは実世界の壁面上に実際にモバイル端末内のデータを「貼り付け」ることが可能である。そのため、肉眼でデータの存在を認識することが出来る。そうすることにより、日常生活の自然な延長としてデータに気付くことが出来、そのデータに興味を抱いた場合はデータの情報を「閲覧、取得」することが出来る。「貼り付け」の際の様子を図2に、「閲覧、取得」の際の様子を図3に示す。

貼り付けの際の利用 「貼り付け」を行う際、モバイル端末のカメラ取得映像上に映る壁面には、貼り付けるデータが実際に存在するかのように重畳表示される(この時、実世界の壁面にはデータは表示されていない)。端末の画面上を指でドラッグすると、カメラ取得映像上に重畳表示されている貼り付けるデータが指に追従するように壁面上を移動する。そしてモバイル端末の Camera キーを押下すると、重畳表示されたデータが画面から消え、実世界の壁面に移動するように、重畳表示されていたのと同じ位置に貼り付けられる。

拡張現実感を用いて、仮想的なものであるデータが実世界に移動するよう貼り付けられることにより、利用者は実世界の壁面に紙や絵などを貼り付けるような感覚で直感的なインタラクションを行うことが出来る。また、カメラ取得映像上に重畳表示されるデータを視覚フィードバックとして利用することにより、貼り付けられるであろう位置や大きさを容易に認識可能である。さらに画面を指でドラッグすることにより容易に位置指定をすることが出来ることにより、高い操作性を実現し、任意の位置にデータを貼



り付けることが出来る。

閲覧、取得の際の利用 「閲覧、取得」の際にも、モバイル端末の画面にカメラ取得映像が表示される。壁面にモバイル端末を向け、カメラ取得映像に映る壁面に貼り付けられたデータを指でタッチすると、カメラ取得映像上にそのデータとそのデータに付加された情報が重畳表示される。「貼り付け」の時と同様に「閲覧、取得」の際にも重畳表示されるデータを視覚フィードバックとして利用している。それにより利用者はどのデータを選択しているかという情報を分かりやすく認識出来る。また、データの周辺にはそのデータに付加した情報を表示させているので、ユーザは更なるデータの詳細を得て、貼り付けてあるデータへの更なる興味を持つことが出来る。

本システムを日常的に利用した場合、壁面には数多くのデータが貼り付けられると考えられる。そのような場合、データだけでなく付加情報までもが壁面上に表示されると、壁面上が情報が溢れ、煩雑になると考えられる。そして、ある利用者には興味があ

るが、他の利用者には全く興味のないデータが貼り付けられることも多々あると考えられる。そこで本システムでは、拡張現実感を用いて、利用者が興味を抱きデータを閲覧した時にだけ、付加情報を見せるようにしている。そして実世界の壁面上にはデータの種類を連想させるアイコンのみを表示させている(以後このアイコンをデータイメージと呼ぶ)。これらにより、壁面には最低限の情報のみを表示させ、煩雑化を防止することが出来る。そしてデータに関心を抱いた利用者だけがそのデータの情報を深く知ることが出来るようにしている。このように拡張現実感を用いることにより、様々な利用者に対して、煩わしくないシステムになると考えられる。

2.2 壁面の利用

本システムでは、モバイル端末内データを共有するスペースとして壁面を用い、利用者はその壁面上にモバイル端末内データを自由に貼り付けることが出来る。

普段から生活する場所の壁面をデータの共有スペースとすることで、壁面の未使用領域を有効活用することが可能となる。それだけでなく、利用者は web 上のデータの存在する場所にアクセスするなどといった必要がなく、日常生活の自然な延長としてデータに気付き、共有を行うことが出来る。例えば、いつものように研究室にやってきてふと壁に目をやると、データが貼り付けられているのに気付き共有を行う、と行った具合である。

壁面上には多くの利用者によって多数のデータが貼り付けられると考えられる。その様な時に、「ここらへんにあるのがおそらく A 君が貼り付けたデータかな」「これが昨日 B 君が話していた web ページデータかな」というように、貼り付けてあるデータがどのような情報を内包しているかということを、壁面に目をやるだけである程度把握することが出来れば、多くのデータの中から任意のデータを探しやすくなると考えられる。本システムでは二次元平面である壁面の任意の位置にデータを貼り付けることが出来るので、複数データ間での二次元的な位置関係が生じる。それにより、例えば旅行の写真データはまとめて近くに貼り付けるといったようにデータ同士の関係性を利用者が作り出すことが可能となる(図 4 左部)。また、我々が生活する実世界の壁面には時計、ポスターといったような物理的なオブジェクトが存在していることが多い。そのような時には、アイドルのポスターの近くにそのアイドルの web ページデータを貼付けるといったような実世界の壁面に存在する物理オブジェクトと関連付けることも可能である(図 4 右部)。このような関連付けが行われることによって、利用者は壁面を見るだけで任意のデータがどのような種のデータであるかをある程度把握することが可能となる。

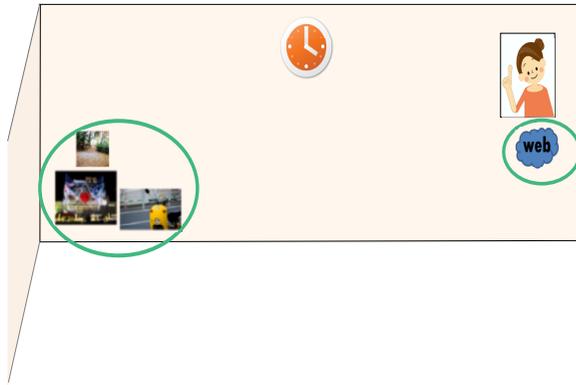


図 4 位置関係により関係性が生じている例

2.3 利用シナリオ

本システムはモバイル端末内データの円滑な共有を支援する。複数人数でデータの共有の為に利用した場合の利用シナリオを示す。

複数人での利用

学校で A 君は夏休みを利用してクラスの友人達と旅行に出かけた。そこで思い出を形に残す為、自身のモバイル端末でいくつかの写真を撮った。学校が始まると、A 君はそれらの写真データを他のクラスの友人にも見せたいと思い、隣のクラスの壁面に貼り付けようと思い立った。そこで A 君はデータにコメントを付加して、目立つように壁面の高い所にまとめてそれらの写真データを貼り付けた。隣のクラスの友人の B 君が学校にやって来て、ふと壁面に目をやると複数枚の写真データが新たに壁面に貼り付けられていることに気付いた。時計の近くの高い位置に貼り付けてあったので容易に気付くことが出来、まとめて近くに複数毎貼ってあったので、おそらくこれらの写真データは関連性があるだろうと B 君は思った。

その写真をよく見てみると、写真データにはどうやら隣のクラスの友人の A 君が写っているようだと思ひ、B 君はそれらのデータに興味を抱いた。そこで、モバイル端末を取り出し、それらの写真データを選択して情報を閲覧した。そうするとやはり友人の A が貼り付けたものだと表示から分かり、コメントとして「夏休み中に旅行行ってきましたー！」とある。この旅行について何も聞かされていなかった B 君は、隣のクラスに乗り込み、「今度は俺も誘えよなー!!」と A に文句を言いに行った。

一方、A 君に秘かに想いを寄せる C さんは、どのデータを選択しているか周囲の人に分からないよう遠くからモバイル端末を覗いて、A 君が写る写真データを選択して、自身の端末へと取得、保存した。そして折に触れてはその写真データを見返して、A 君への想いを募らすのであった。

研究室で A 君は研究室で夜遅くまで研究をしていた。A 君は昨日モバイル端末でネットサーフィンをしている時に B 君の関連研究を見つけたことをふと思い出した。そこで A 君は B 君のデスクの近くの壁面に、その関連研究が紹介されている記事の web ページデータを貼り付けた。貼り付ける際にはコメントとして「これ B は見といた方が良いでしょう！」と加えた。そして、翌日 B 君が研究室にやってくると、自身のデスク付近の壁に web ページデータが貼り付けてあることに気付いた。気になってモバイル端末でそのデータの情報を閲覧すると、A が貼り付けたものだと分かり、「これ B は見といた方が良いでしょう！」とある。気になった B 君はその web ページデータを自身の端末へと取得し、その web ページに端末でアクセスし、記事を閲覧した。

以上のように、本システムによって容易に壁面上にデータを貼り付けられるので、日常生活の自然な延長としてモバイル端末内データの共有を行うことが出来ると考えられる。

しかし、本システムの利用の仕方によってはデータ共有以外の用途にも利用出来ると考えられる。以下に個人での利用シナリオを示す。

個人での利用

自宅で A 君は念願の一人暮らしを始めた。しかし、まだ必要最低限のものしかなく部屋がどことなく寂しい。そこで A 君は SmARt Projection を使ってデータを壁面に貼り付けることにした。まず好きなアイドルの写真データを壁面に貼り付けた。さらに、高くて手が出ないが、いつかは買おうと思っているおしゃれな壁かけ時計画像データも貼り付け、飾っている気になった。ベットの上の天井には、寝起きとともに予定を把握出来るように今月カレンダー画像データを貼り付けた。ひとしきり満足した A 君は最後に、次の日支払いをするのを忘れないよう、公共料金の請求書の画像データをトイレの壁に貼り付けて寝床についた (A 君は毎朝トイレで新聞を読むのが日課である)。このようにして A 君は家を飾るだけでなく、実用的な空間にすることが出来た。

この例では、個人で利用した場合の例を示している。このように本システムは他人とデータを共有するために使用するだけでなく、PC のディスプレイにウィジェットを貼り付けるよ

うな感覚でデータを貼り付け、ディスプレイの拡張であったり、メモ感覚で利用することも可能であると考えられる。

2.4 付加情報

データを貼り付ける際にはデータに情報を付加することが出来る。付加出来る情報にはユーザ情報や日時情報、コメント情報等がある。これらの付加情報は利用者がデータの「閲覧、取得」を行う際に見ることが出来る。

付加情報を利用者が閲覧することによって、利用者はデータの更なる情報を知ることが出来るので、データに対して興味を持つきっかけを広げることが出来る。それによりデータの円滑な共有を支援出来ると考えられる。

本システムではカメラ取得映像に指でタッチするだけで任意のデータを選択して閲覧することが出来るので、例として、あるデータを取得するついでに他のあまり興味の無いデータを閲覧するという場面を考えてみる。たとえ最初は興味が無いデータであっても、付加情報が表示されることにより、「このデータは A 君が貼り付けたものだから気になる」であるとか、「こんなコメント書いてあるし、ちょっと見てみようかな」といった具合に、付加情報により興味を抱く場合は多数存在すると考えられる。

3. システムの実装

本研究が提案する SmARt Projection のプロトタイプシステムを実装した。本システムの実装はモバイル端末側と計算機側に分かれる。モバイル端末側では、データの「貼り付け」または「閲覧、取得」を行う際に利用するアプリケーションの実装を行った。また、実世界の壁面とモバイル端末画面上の座標との対応付けを行うための実装と、カメラ取得映像上へのデータの描画の実装を行った。計算機側では、壁面に描画するための画面描画プログラムを作成した。また、計算機とモバイル端末の間でのデータの送受信を行うために、計算機側、モバイル端末側ともにクライアント・サーバ方式の無線ソケット通信プログラムの実装を行った。

3.1 開発環境と言語

モバイル端末側では、Android SDK^{*1} を用いて、Android OS 1.6 以上で動作する Android アプリケーションを実装した。実機として Android 端末である Sony Ericsson Xperia

を使用した。プログラミング言語は Java を用い、AR のライブラリとして szARToolkit^{*2} を使用した。ポリゴンやテキストの処理、座標変換には OpenGL ES 1.1 を用いた。計算機側も Java を用いて実装した。どちらも開発環境には eclipse を使用した。

3.2 システム構成

本システムのハードウェア構成のイメージ図を図 5 に、実際に構築したシステムを図 6 に示す。壁面の中心部にはマーカを貼り付け、モバイル端末側に搭載されたカメラでマーカを認識し、画像処理を行う。モバイル端末と計算機間では無線ソケット通信を行い、データの送受信が成される。計算機の画面を投影するためのプロジェクタを壁面正面に配置し、計算機に接続する。計算機はソケット通信により、モバイル端末からデータと各種情報を受け取り、画面描画を行っている。

今回の実装では、プロジェクタを壁面の正面に配置している。しかし、近年プロジェクタの小型化、高出力化が進んでいる [4]。また、可動式プロジェクタによりあらゆる場所に投影する研究も成されている [5]。このような背景から、将来的には天井部や壁面上部に取り付けられた小型のプロジェクタや、高性能な可動式プロジェクタにより様々な壁面に投影を行うことが出来ると考えられる。また、今回の実装ではマーカーを壁面に貼り付けている。マーカーを貼り付けない解決法としては、例えばモバイル端末を壁面に向けた時にだけマーカーを壁面に投影するという手法が考えられる。プロジェクタの高出力化、そしてモバイル端末側の処理次第では、たとえ壁面に投影したものであっても高い精度で認識出来ると考えられる。

3.3 モバイル端末側の実装

モバイル端末ではアプリケーションの各種インタフェースを実装した。また、実世界の壁面とモバイル端末画面上の座標との対応付け、モバイル端末のカメラ取得映像上に表示されるデータの描画、そして計算機とのクライアント・サーバ方式の無線ソケット通信プログラムの実装を行った。

3.3.1 アプリケーションインタフェース

アプリケーションのインタフェースは home アクティビティ、comment アクティビティ、userInfo アクティビティそして、camera アクティビティから成る。アクティビティとは Android の画面を表すオブジェクトの事であり、1 画面ごとに 1 アクティビティを持つ^{*3}。

*1 Android SDK <http://developer.android.com/sdk/index.html>

*2 szARToolkit <http://sourceforge.jp/projects/szartoolkit/>

*3 Activity <http://developer.android.com/reference/android/app/Activity.html>

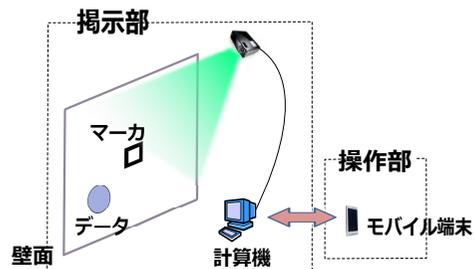


図 5 システム構成



図 6 実際に構築したシステム

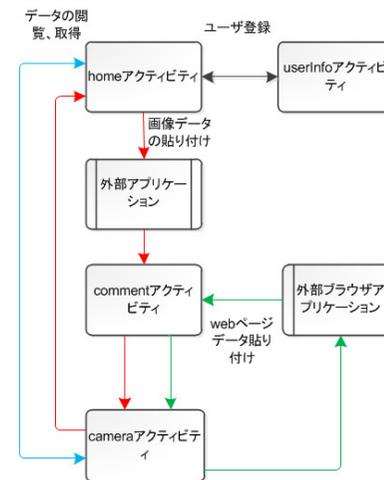


図 7 アクティビティの遷移

SmARt Projection アプリケーションのアクティビティの遷移の様子を図 7 に示す。

home アクティビティ home アクティビティの画面を図 8 に示す。home アクティビティではデータの「貼り付け」、そして「閲覧、取得」を行うためのボタンが配置されている。ここで、「貼り付け」を選択すると暗黙的 intent^{*1}を送り、データを選択可能な外部アプリケーションを呼び出す。暗黙的 intent は、明示的に起動するアクティビティを指定せずとも、起動するアクティビティをある程度絞ることが出来る情報を含めることで、該当するアクティビティを起動出来るものである。今回のプロトタイプでは「貼り付け」を選択すると、外部のファイルマネージャアプリケーションや写真管理アプリケーションが起動する。また、「閲覧、取得」を選択すると、camera アクティビティが呼ばれる。そして、端末の Menu キーを押下すると画面下部に Menu ボタンが表示され、そのボタンを選択するとすると userInfo アクティビティが呼ばれる (図 9)。

userInfo アクティビティ userInfo アクティビティの画面を図 9 下に示す。userInfo アクティビティではユーザが使用したいユーザ名を登録することが出来る。このユーザ名は「閲覧、取得」の際に、データを選択するとカメラ取得映像上に表示されるものである。画面上にはユーザからの入力を受けるためのテキストボックスと「登録」ボタンが配置



図 8 home アクティビティ



図 9 home アクティビティから userInfo アクティビティが呼び出される様子

*1 <http://developer.android.com/reference/android/content/Intent.html>

されている。任意のユーザ名をこのテキストボックスに入力し、「登録」ボタンを選択することでユーザ名を登録出来る。登録したユーザ名はプリファレンスを使用してローカルに保存され、一回登録を行えば次回以降もそのユーザ名は保存される。

comment アクティビティ comment アクティビティの画面を図 10 に示す。comment アクティビティはデータに付加するコメントを入力するためのアクティビティであり、コメントを入力した後に「OK」ボタンを選択することで、データにコメント情報を付加することが出来る。この comment アクティビティに遷移するパターンには二つある。一つ目は home アクティビティから「貼り付け」を選択した場合である。この場合は外部アプリケーションからデータ情報を受け取り、その情報にコメント情報を付加して camera アクティビティを呼び出す。二つ目はブラウザ外部アプリケーションから呼び出される場合である。この場合はブラウザの「ページの共有」から SmARt Projection アプリケーションが選択されると、comment アクティビティが呼ばれ、開いていた web ページの Url と Title 情報を受け取る。その情報にコメント情報を付加して camera アクティビティを呼び出す。



図 10 comment アクティビティ

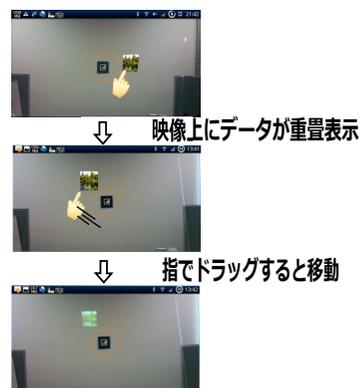


図 11 データの「貼り付け」の際の camera アクティビティの様子

camera アクティビティ データの「貼り付け」を行う際の camera アクティビティの画面の様子を図 11 に、データの閲覧、取得を行う際の camera アクティビティの画面の様

子を図 12 に示す。

データの「貼り付け」を行う際、カメラ取得映像がモバイル端末の画面に表示され、そのカメラ取得映像上には選択したデータが重畳表示される。画面上を指でドラッグするとカメラ取得映像上に重畳表示されたデータが壁面上を移動する。Camera キーを押下するとその位置にデータが貼り付けられる。

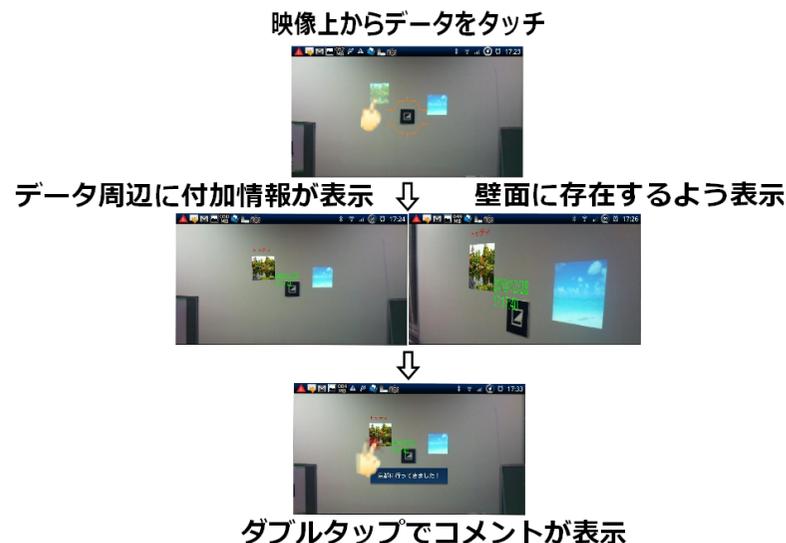


図 12 データの「閲覧、取得」の際の camera アクティビティの様子

データの「閲覧、取得」を行う際、カメラ取得映像がモバイル端末の画面に表示される。モバイル端末のカメラを壁面に向け、カメラ取得映像に映る壁面上のデータをタッチするとそのデータを選択することが出来、カメラ取得映像上にはデータとそのデータの付加情報が重畳表示される。データをダブルタップすると画面下部にコメント情報が表示される。このコメント情報の表示には android.widget.Toast を用いている。データを選択した状態で Camera キーを押下するとそのデータを取得することが出来る。画像データの場合はその画像データをモバイル端末内へと取得し、ストレージに保存することが出来る。web ページデータの場合は、Camera キーを押下するとダイアログが表示され、web ページにアクセスするかどうかを尋ねられる。「はい」を選択すると、

ブラウザアプリケーションが起動し、web ページにアクセスすることが出来る。「いいえ」を選択すると、先ほどのカメラ取得映像が表示された画面に戻る。

この camera アクティビティの画面上ではカメラ取得映像が表示されると同時に、各種タッチ操作を認識し、タッチ座標を取得している。具体的には、camera アクティビティは `Ges-tureDetector.OnGestureListener` と `GestureDetector.OnDoubleTapListener` を implements しており、`onScroll` と `onDoubleTap` メソッドでタッチイベントを取得している。そこで取得したスクリーン座標から座標変換を行い、実世界と端末画面上の座標との対応付けを行っている。また、この camera アクティビティが起動するとソケット通信スレッドが立ち、データの転送を行うために、ユーザの操作に応じて計算機と通信を行う。そして、ユーザの操作に応じて camera アクティビティの画面上には平面ポリゴンに画像テクスチャを張り付けたものを描画する。camera アクティビティは AR のライブラリである `szARtoolkit` を使用して作成している。カメラ取得映像が端末スクリーン上にビューとして表示され、端末内ではマーカを認識するため画像処理を行っている。

3.3.2 壁面座標とモバイル端末画面座標との対応付け

端末の画面上に表示されたカメラ取得映像越しに実世界の壁面上の任意の点を選択するためには、モバイル端末のスクリーン座標と実世界の壁面上の座標との対応付けを行う必要がある。このような、二次元座標から三次元座標を取得する手法を一般的にピッキングと呼ぶ。このピッキングを行うことによって、壁面を見る角度、距離に依らずあらゆる所から壁面にデータを貼り付けることが可能となり、貼り付けられたデータをモバイル端末のカメラ取得映像越しに「触れる」ことにより選択することが可能となる。これを実現するために android の AR SDK である `szARToolkit` を用いた。このライブラリを用いて、あらかじめ登録したマーカの座標や向きなどをカメラ画像から取得している。座標変換のイメージ図を図 13 に示す。

まず、モバイル端末のスクリーン座標を、撮像面上のタッチした点の三次元座標に変換する。次にカメラ、すなわち原点とその変換後の点を通るレイを求める。最後に、そのレイとマーカ延長平面（壁面平面）が交差する点の座標を求める。これにより、カメラ座標系での、タッチした点の三次元座標を求めることが出来る。

以下にその導出方法を示す。携帯情報端末のスクリーン座標を (x,y) 、撮像面上のタッチした点の三次元座標を (p_x,p_y,p_z) 、マーカの原点の座標を (m_x,m_y,m_z) 、マーカの法線ベクトルを (n_x,n_y,n_z) 、レイとマーカ延長平面とが交差する点を (t_x,t_y,t_z) とする。 (x,y) はス

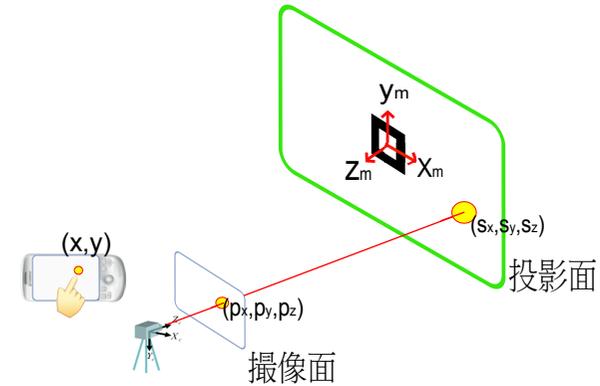


図 13 座標変換

クリーン座標系、他の座標はカメラ座標系での値となっている。

(p_x,p_y,p_z) は (x,y) 、モデルビュー行列、プロジェクション行列、ビューポートから、`android.opengl.GLU.gluUnProject` ^{*1} を用いて求めることが出来る。カメラ座標系の原点 $(0,0,0)$ と変換後の点 (p_x,p_y,p_z) を通るレイ R の方程式は、媒介変数 s を用いて次式で与えられる。

$$R(s) = s \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix}$$

また、 A_c,B_c,C_c をカメラ座標系での任意の座標値を表す変数とすると、マーカ平面の方程式は次式で与えられる。

$$n_x(A_c - m_x) + n_y(B_c - m_y) + n_z(C_c - m_z) = 0$$

レイ R の方程式から、

$$A_c = sp_x$$

$$B_c = sp_y$$

$$C_c = sp_z$$

*1 しかし、このメソッドには実機での動作に問題があり、正常に動作しなかった。そのため STREETS OF BOSTON 氏が作成したメソッドを用いた。 http://groups.google.com/group/android-developers/browse_frm/thread/9d2b5f3e3a798cb6/07cfa3ee11507fc1?lnk=gst&q=gluunproject#07cfa3ee11507fc1

であるので、この A_c, B_c, C_c をマーカ平面の方程式に代入すると、 s についての方程式を解く事が出来る。 s は以下のようになる。

$$s = \frac{n_x m_x + n_y m_y + n_z m_z}{n_x p_x + n_y p_y + n_z p_z}$$

よって (t_x, t_y, t_z) は以下の式に s を代入したものとなる。

$$(t_x, t_y, t_z) = (sp_x, sp_y, sp_z)$$

この後、求めた座標を OpenGL の座標系で扱うために、マーカーを原点とする座標に変換する。変換するための行列は szARToolkit のライブラリを利用して求めたモデルビュー行列の逆行列となる。

3.4 計算機側の実装

計算機側では、モバイル端末とのクライアント・サーバ方式のソケット通信プログラムと壁面用の画面描画プログラムを実装した。「貼り付け」を行う際に、モバイル端末から送信されるデータとその付加情報、座標情報はデータベース化されデータごとに管理される。

3.4.1 画面描画

モバイル端末から送信された座標情報をもとに、計算機のディスプレイ全体に描画を行い、その画面を壁面に投影している。

κ を定数、 $disp_w$ をディスプレイの幅、 $disp_h$ をディスプレイの高さ、 $data_x$ を送信された x 座標値、 $data_y$ を送信された y 座標とすると描画位置は以下の計算式で求まる。

$$x = disp_w/2 + data_x \kappa$$

$$y = disp_h/2 + data_y \kappa$$

定数 κ は使用するプロジェクタの解像度、そしてそのプロジェクタと壁面間の距離によって変動する。今回作成したシステム環境下では $\kappa = 2.2$ とした。プロタイプシステムでは、SONY LCD プロジェクタ VPL-PX15 を使用し、解像度は 1024×768 であり、投影サイズは最大とした。また、壁面とプロジェクタ間の距離は 310cm であった。

壁面に表示されるデータイメージはデータの種類によって変化する。例えば画像データが送られてきた場合には、その画像のサムネイルをデータイメージとして座標情報に従って描画する。web ページデータが送られてきた場合には、web ページの Url 情報から、その web ページのキャプチャ画像を生成する。キャプチャ画像の生成には CrenaHtml2jpg^{*1} を使用した。そのキャプチャ画像からデータイメージを生成し、座標情報に従って描画する。

*1 CrenaHtml2jpg <http://www.picolix.jp/>

4. 議 論

4.1 試用とそこから得られた知見・課題

本研究が提案、実装したシステムである SmARt Projection の試用を行った。モバイル端末として Sony Ericsson Xperia, SHARP IS01, SHARP IS03 の 3 機種で試用したところ正常に動作し、システム利用に問題が生じないことを確認した。

まずデータの送受信について述べる。今回作成したシステムでは、計算機とモバイル端末との無線によるデータの送受信を安定して行うことが出来た。データの共有を行う上で、安定したデータの送受信を行えることは重要であると考えられる。

システム利用時における壁面とのインタラクションについて述べる。まず、壁面を共有スペースとしたことで、実世界環境の一部に仮想的なものであるデータが溶け込み、日常生活の延長として自然にデータの共有を行うことが出来た。貼り付けの際には、貼り付けたいと思った位置をタッチするだけで、直感的に位置指定を行うことが出来た。また、拡張現実感を用いてカメラ取得映像上にデータが重畳表示されることによって、どのような位置にどのような大きさで貼り付くかを視覚的に認識出来るので、直感的なデータの貼り付けを行えた。閲覧、取得の際にはカメラ取得映像に映る揭示面上のデータを、タッチすることによって選択出来るので、直感的なデータ選択を行えた。また、カメラ取得映像上にその選択したデータだけでなく、付加情報も表示されるので、コメント情報やユーザ情報からそのデータに興味を持つ場合もあった。そして興味を持った場合は即座にそのデータを取得することも可能であった。

さらに、これらのデータの貼り付けと、データの閲覧、取得を行う際には、様々な角度や距離から行うことが出来るため、指定された位置に立つ必要が無い。そのため、椅子に座ったままの利用や、遠距離からの利用も可能であった。

一方で、問題点も発見した。試用を行うと、データの上にさらに異なるデータを貼り付けてしまうということがある。下に埋もれてしまったデータを閲覧、取得することが出来ないという事例があった。その他にも、揭示面のマーカ上にデータを掲示してしまうと、マーカの認識を正常に行えなくなり、操作が出来なくなるという事例もあった。それゆえに、貼り付けられない位置を作成するなどの工夫が必要であると感じられた。また、現時点では扱えるデータが画像データと web ページデータの 2 つであるので、データ共有としては不十分である。そのため、ビデオや伝言メモといったような他のメディアもサポート出来るように実装を進める必要がある。

5. 関連研究

5.1 コンピュータ間でのファイルの交換を行う研究

金の研究では、モバイル端末のカメラで壁面に映る QR コードを読み込み、モバイル端末と壁面とを接続する。そして独自のインタフェースを用いることによってユーザにとって有益な情報を壁面から容易に見つけ出すことが出来、携帯型端末とのデータの交換を可能とする [6]。大画面上にデータを掲示し、データの交換を行うという点で本研究と関連している。しかし、この研究では大画面上のデータを選択する際に、モバイル端末上の入力エリアでペンをスライドさせ、相対量を取り、データを選択する必要がある。本研究では、モバイル端末の画面に映るカメラ映像越しにデータに触れることにより、大画面上の絶対的な位置指定が出来るので、より容易なデータ選択が可能である。

岩淵は、見かけの保存先が人の体にあるような感覚を与えるストレージである柔らかいストレージを提案し、その応用的利用を行うシステムとして Natural Storage Mirror を作成した [7]。マーカを人体に取り付け、NS ミラーの前に立ち、ジェスチャを行うことで、柔らかいストレージに保存されたデータを他人と交換することが出来る。ストレージ間でデータの移動を行い、共有しているという点で本研究と関連している。しかし、NS ミラーでは人自身にデータを保存し、NS ミラーの前に立つ必要がある。本研究では普段から過ごす空間の壁面にデータを貼り付けることにより共有を行えるので、複数人での非同期な共有が可能である。

椎尾らの IconSticker [8] は、コンピュータ画面上のアイコンの情報を保持する IconSticker と呼ばれる紙アイコンを実世界に貼り付け、コンピュータ画面と実世界との間で連続的なデータの整理と交換の手法を提案した。実世界でデータの交換を行えるという点で、本研究と関連している。しかし、IconSticker では紙アイコン上にデータごとの一意のアイコン情報しか表示されていないために、そのデータがどのような情報を内包しているのかということが分かりづらい。本研究では壁面にデータが内包する情報を視覚的に壁面に表示することによって、ユーザが貼り付けてある情報に気付き、関心を持つための手助けとしている。

暦本らの Pick-and-drop [9] では、Pick-and-drop と呼ばれる操作技法を提案し、複数コンピュータ間でのデータ移動、データの貼り付けを可能とする。しかし、Pick-and-drop ではペン型のデバイスを用いてデータの移動場所を指定する必要がある。本研究ではモバイル端末に搭載されたカメラからの情報により、余計なデバイスを必要とすることなく、より容易な位置指定を行うことが出来る。

綾塚らの Gaze-Link [10] では、見ているものに接続するというメタファを用いて、計算機に取り付けられたカメラでマーカを見ることにより、そのマーカに関連付けられたオブジェクトに接続することが出来、双方向の自由のデータのやり取りを行うことが出来る。カメラでマーカを見ることで、マーカに関連付けられたオブジェクトに接続し、データのやり取りを行うという点で関連している。しかし、本研究ではマーカをオブジェクトの識別子として使用するだけでなく、壁面内の位置情報を取得するために使用し、それによってより直感的なデータのやり取りを行うことを可能としている。

5.2 モバイル端末を操作デバイスとする研究

モバイル端末をインタラクションにおける操作デバイスとして用いる研究は多数存在する。その中でも、モバイル端末に搭載されたカメラが取得した情報から画像処理を行うことによってインタラクションの手助けとしている研究を挙げる。

Boring らの、Touch projector [11] ではモバイル端末のカメラで、実世界のディスプレイに映るデータを見ることで、カメラ取得映像越しにディスプレイに映るデータを操作することが出来、データの複数ディスプレイ間の移動も行える。また、Shoot & copy [12] では、ディスプレイに表示されているアイコンをモバイル端末のカメラで撮影することによって、そのモバイル端末からそのアイコンが表すデータにアクセス出来る。

Pears らは、マーカをモバイル端末のカメラで認識し、端末の画面とマーカが映るディスプレイとの複数ピクセルごとの対応付けを行う手法を提案した [13]。それによって、モバイル端末の画面に映るビデオ映像越しに、ディスプレイ上のデータを精度高く操作することが出来る。

これらは、モバイル端末を操作デバイスとし、モバイル端末に搭載されたカメラが取得した情報から画像処理を行うことによって操作の手助けとしているという点で本研究と関連している。しかし、これらはどれもデータの操作が研究の目的となっており、データの共有を目的としていない。また、本システムでは、オブジェクトを操作する際に拡張現実感を用いていることにより、ユーザはより直感的なデータ操作を行うことが出来る。

5.3 拡張現実感を用いた研究

暦本らは、この技術を利用する NaviCam と呼ばれる、携帯型と頭部装着型のデバイスを作成した [14]。このデバイスで実世界に張り付けられた ID タグを認識することで、カメラ映像上にコンピュータが生成した情報を重畳表示させることが出来る。本研究では、実世界の物事に関する補足的な情報を表示するだけでなく、インタラクションにおける直感性の向上や、操作性の向上を図るために使用した。

Sekai Camera は iPhone, Android アプリとして利用が始まっているサービスである [3]. GPS や加速度センサを利用して実世界空間の座標を取得し, エアタグと呼ばれるタグを貼り付け, カメラ映像に重畳表示する. これを多数の sekai camera 上で共有することにより, テキスト, 音声, 写真を用いた非同期なコミュニケーションを可能とする. しかし, GPS 情報をもとに座標を取得し, 貼り付けを行うのは誤差が大きいため, 本研究のように壁面内の位置情報を必要とするような場合には適さない. また, 本研究では貼り付けるデータをカメラ取得映像上重畳表示するだけでなく, 実世界にも表示させているという点で異なる.

6. まとめと今後の課題

本研究では, 同じ空間を利用する人々とのモバイル端末内データの円滑な共有を行うために, SmARt Projection を提案, 実装した. 本システムでは普段から過ごす空間の壁面をデータの共有スペースとし, 拡張現実感を利用したインタラクション手法を用いることによって, 円滑なモバイル端末内データの共有を行うことが出来る. 今後の課題として, 長期間システムを稼働させ, 第三者に利用してもらうという評価実験を行う必要があり, また, 対応可能なデータ形式を増やすことも今後の課題である. そして, 拡張現実感を用いて人気のあるデータを利用者に伝えるといったように, 拡張現実感の更なる利用方法についても模索していく.

参考文献

- 1) Ronald Azuma. A survey of augmented reality. *Teleoperators and Virtual Environment* 6, 4, pp. 355–385, 1997.
- 2) Ronald Azuma, Yohan Baillot, Reinhold Behringer, Steven Feiner, Simon Julier, and Blair MacIntyre. Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.21, pp. 34–47, 2001.
- 3) Tonchidot Corporation. Sekai camera support center. <http://support.sekaicamera.com/>.
- 4) Optoma. pocket projector pk101 <http://www.pocket-pj.com/pk101/index.html>.
- 5) Claudio Pinhanez. The everywhere displays projector: A device to create ubiquitous graphical interfaces. In *UbiComp '01 Proceedings of the 3rd international conference on Ubiquitous Computing*, pp. 315–331, 2001.
- 6) 金春明. 携帯デバイスを入力装置として用いた公共空間の大画面インタラクション手法. 修士論文, 筑波大学, 2007.
- 7) 岩淵志学. ユビキタス環境における情報提示手法に関する研究. 修士論文, 筑波大学, 2006.
- 8) 椎尾一郎, 美馬義亮. Iconsticker : 紙アイコンによる情報整理 (特集・インタラクティブ)

- 9) Jun Rekimoto. Pick-and-drop: a direct manipulation technique for multiple computer environments. In *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '97, pp. 31–39, New York, NY, USA, 1997. ACM.
- 10) 綾塚祐二, 松下伸行, 暦本純一. Gaze-link:実世界指向ユーザインタフェースにおける「見ているものに接続する」というメタファ 「特集」次世代インタラクションのための情報技術. *情報処理学会論文誌*, Vol.42, No.6, pp. 1330–1337, 2001-06-15.
- 11) Sebastian Boring, Dominikus Baur, Andreas Butz, Sean Gustafson, and Patrick Baudisch. Touch projector: mobile interaction through video. In *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems*, CHI '10, pp. 2287–2296, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- 12) Sebastian Boring, Manuela Altendorfer, Gregor Broll, Otmar Hilliges, and Andreas Butz. Shoot & copy: phonecam-based information transfer from public displays onto mobile phones. In *Proceedings of the 4th international conference on mobile technology, applications, and systems and the 1st international symposium on Computer human interaction in mobile technology*, Mobility '07, pp. 24–31, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- 13) Nick Pears, Daniel G. Jackson, and Patrick Olivier. Smart phone interaction with registered displays. *IEEE Pervasive Computing*, Vol.8, pp. 14–21, 2009.
- 14) Jun Rekimoto and Katashi Nagao. The world through the computer: computer augmented interaction with real world environments. In *Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology*, UIST '95, pp. 29–36, New York, NY, USA, 1995. ACM.