

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300022

研究課題名(和文) 動的に構成が可能な複数画面コンピューティングに関する研究

研究課題名(英文) Research on Dynamically Configurable Multi Display System

研究代表者

田中 二郎 (Tanaka, Jiro)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：20251043

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円、(間接経費) 4,470,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、携帯情報端末、ノートPC、デスクトップPC、共有の電子白板などの大小の画面を動的に連携させ、複数計算機間や複数人でのコミュニケーションを円滑にすることを旨とする。「動的複数画面コンピューティングシステム」では、様々な計算機の複数の表示画面を動的に連携させることが可能であり、表示画面間で画面転送や遠隔操作を行うことができる。我々は「複数画面コンピューティング」の考え方にに基づき、まず「複数画面コンピューティングシステム」を構築した。つぎに「複数画面コンピューティングシステム」のアプリケーション例としていくつかのアプリケーションを検討し、試作および評価を行った。

研究成果の概要(英文)：We carried out the research on dynamically configurable multi display system. By linking dynamically the large and small displays, such as PDA, note PC, desktop PC and an electronic whiteboard, we aim to facilitate the communication between persons and computers. We named this approach "dynamic multi display computing". Based on this concept, we constructed a "multi display computing system" first. Then we built several application examples of the "multi display computing system".

研究分野：ソフトウェア科学

科研費の分科・細目：情報学、計算機システム・ネットワーク

キーワード：ユビキタス 複数画面 情報提示 ワークスペース 協調作業

## 1. 研究開始当初の背景

ユビキタスコンピューティング時代の到来とともに、コンピュータを利用する機会が飛躍的に広がった。従来はオフィスの机上において高々一台のパーソナルコンピュータを操作するのが通常であったが、ユビキタスコンピューティング時代になり、一人が複数のコンピュータを同時に操作するようになった。

コンピュータの表示画面に関しては、電子白板や公共情報を表示する大型掲示板等の大画面から、携帯情報端末の画面、携帯電話の画面、家電の表示板、および腕時計型計算機の表示面などの小画面など大小多岐に渡る。こうした大小様々な計算機の表示画面間での動的な画面転送や遠隔操作を可能とし、複数の表示画面が連携して動作するように出来ることが望ましい。また複数の人間が集まった時にも、それぞれが所持するコンピュータの表示画面の情報を交換したり、共有画面に上げたりするグループウェア的機能が簡単に実現できると便利である。

## 2. 研究の目的

本研究では、今回、我々の先行研究をさらに発展させ、同室にある携帯情報端末、ノートPC、デスクトップPC、共有の電子白板などの大小の画面を動的に連携させ、複数計算機間や複数人でのコミュニケーションを円滑にすることを旨とする。本研究ではこうした考え方を「動的複数画面コンピューティング」と名付ける。

「動的複数画面コンピューティングシステム」では、様々な計算機の複数の表示画面を動的に連携させることが可能であり、表示画面間で画面転送や遠隔操作を行うことができる。

また複数の人間が集まった時にも、それぞれが所持するコンピュータの表示画面の間でグループウェア的機能を簡単に実現することができる。

## 3. 研究の方法

「複数画面コンピューティング」の考え方に基づき、まず「複数画面コンピューティングシステム」を構築する。「複数画面コンピューティングシステム」の機能として、「マルチ画面連携機能」と「マルチマウス機能」を実装する。

つぎに「複数画面コンピューティングシステム」のアプリケーション例としていくつかのアプリケーションを検討し、試作および評価を行う。

## 4. 研究成果

(1)まず「複数画面コンピューティングシステム」を構築した。「複数画面コンピューティングシステム」の主要な機能として、「マルチ画面連携機能」と「マルチマウス機能」が挙げられる。

マルチ画面連携機能とは個々のコンピュータ画面を仮想ワークスペース上に配置する機能である。これを用いて、ユーザは、複数のコンピュータに複数の画面を表示したり、画面表示を自分のコンピュータの画面から他のコンピュータの画面上に移動したりすることができる。

またマルチマウス機能とは複数のマウスカーソルをコンピュータの画面に表示する機能である。複数のユーザが各々のマウスカーソルを持つことができ、表示されたマウスカーソルは対応するユーザが操作するポインティングデバイスにより独立して操作することができる。

(2)「複数画面コンピューティングシステム」のアプリケーション例として、プレゼンテーションシステムを試作した。これは、学会や研究室のゼミなどでプレゼンテーションを行う時に使用する。本アプリケーションを使用すれば、何人かが連続してプレゼンテーションを行うときに、発表者が交代するごとにマシンをプロジェクトに機械的につなぎかえる必要がない。

本システムでは発表者や聴衆一人一人が固有のビューを定義することが可能である。

発表者は、発表をする際に、プロジェクトが映し出しているページだけでなく、そのページのオーラル原稿や次に映すページも見ることができる。

一方、聴衆も、プレゼンテーションを聞く際に、プロジェクトに映し出されているページや過去のページを手元のPCで確認することができる。

(3)様々な種類の情報端末同士を動的に連携することによって、複数人における情報の閲覧と操作を円滑化することを目的として、情報端末同士を紐づける手法や、端末間の画面サイズと解像度の違いを考慮した情報表示手法、他の情報端末を遠隔から操作する手法を提案した。

そして、提案手法によって情報閲覧と操作を行なうことができるシステム Interlock surfaces を開発した。

本システムを用いて情報端末同士を連携することをペアリングと呼ぶ。ユーザはシステムの利用開始時に操作端末とペアリングを行なう対象端末の選択を行なう。対象端末の選択方法は操作端末がカメラを搭載しているか否かによって異なる。これは、カメラ搭載端末と非搭載端末の両方において本システムを利用可能にするためである。

カメラ搭載端末においては、操作端末のカメラ映像越しに対象端末を選択する。カメラ映像にはペアリング可能な対象端末がハイライト表示され、対象端末の端末名や所有者情報が表示される。そして、カメラ映像中の対象端末を選択することによってペアリングが完了する。カメラ映像を通じて操作する

ことによって、対象端末が複数存在する場合においても直感的に選択することができる。また、拡張現実感を用いたハイライト表示と情報提示はユーザが対象端末を選択する際の補助となる。

一方、カメラ非搭載端末においては対象端末の一覧から対象を選択する。

なお、既にペアリングが行われた端末を対象端末とすることが可能であるため、3 台以上の端末間連携も可能である。

最初のペアリングにおいては、操作端末のコンテンツが対象端末に共有される。3 台目以降においては、既存のペアリングにおいて共有されているコンテンツが操作端末に共有される。操作端末に対してクリックやタップ操作を行った場合、その操作は別のペアリング端末に対しても行われる。

本システムの利用例として、数名が集まり会議を行なう場合を想定する。参加者それぞれの携帯情報端末と、会議室の大型ディスプレイをペアリングし、ドキュメント作成の共同編集と資料閲覧を行なう。編集においては参加者が各々の端末に対して入力を行なうことによって同時行なうことができ、他の参加者の編集内容を確認することができる。また、大型ディスプレイを利用することによって、効果的に共同閲覧を行なうことができる。

(4) タッチパネルを搭載した端末同士を連携させるための新たな手法を提案、実装した。本手法では、ユーザは端末同士を重ねることにより連携を行う。連携中は、重ねられた端末の画面が一体化される。ユーザは連携を行う端末同士を重ねる操作により連携を開始し、端末同士を離すことにより連携を終了する。連携中は、2 つの端末の画面が一体化される。すなわち、ユーザは重ねた端末のタッチパネルを重ねられた端末のタッチパネルの一部として扱うことができる。これにより、両端末間においてデータの移動を直接操作を用いてシームレスに行うことができる。ユーザは連携を行う端末同士を直接重ねる。ユーザは連携対象となる端末の上にもう一方の端末を重ねさえすれば良いため、ユーザは端末のアドレスや機種名などを指定せずに連携を容易に行うことができる。また、連携中は、連携を行なっている端末同士は常に重なっているため、ユーザはどの端末同士が連携しているかの識別を容易に行うことができる。さらに、端末同士を離すのみにより、ユーザは連携の解除を行うことができる。

(5) 個人用画面と大画面を用いた複数人での共同作業環境を作成した。

複数人で視覚的な分析作業を行うためには、共同作業各々が個人用画面を持ち、これに加えて大画面を一つ用いる作業環境が好ましい。

大画面と個人用画面を連携させるために、個人用画面はスマートフォンのような背面

カメラを持つ端末を利用し、大画面上に表示した AR マーカを端末の背面カメラで捉えることで、向いている方向を検出する。

本システムの使い方であるが、先ず大画面上に表示された概要を全員で観察する。全員で概要を観察することで、予め概要に関して議論を行うことが出来る。この時に、この後の各参加者が独立に行う詳細な分析作業の分担について相談する。

続いて、各参加者が大画面上に表示された概要から、各々が特に詳細に観察したい箇所を決める。その後、各々が自らの持つ個人用端末を詳細が見たい箇所に向けるというポインティング操作を行う。この操作は各参加者が独立に行うことが出来て、ある参加者が操作をすることによって他の参加者の操作を妨げることが無い。そのため、参加者それぞれが、自由に詳細を観察したい箇所をポインティング操作によって選択することが出来る。

ポインティング操作を行うと、各参加者が手元に持つ個人用端末に、大画面上で選択した箇所の詳細な情報が表示される。各参加者はその詳細な表示を見て分析を行う。大画面上から選択し、手元の個人用端末で分析するというこの流れを、詳細を見たい箇所に対して各参加者が繰り返し自由に行う。適宜分析作業の途中でコミュニケーションをはかり、分析作業を分担したり考察について議論を交わす。

最後に、分析結果を参加者同士でまとめて、分析を終える。

(6) 装着型携帯端末を用いて大画面と直感的にジェスチャインタラクションを行いながら、コンピュータを意識せずに情報共有できるシステムを提案し、そのプロトタイプシステムとして MobaJes システムを開発した。

本プロトタイプシステムでは、ユーザがカメラ付き携帯端末を装着し、そのカメラの前で両手によるハンドジェスチャを行うことで、大画面と直感的にインタラクションができる。そして、ハンドジェスチャだけで大画面上の情報に対して選択やドラッグドロップ、拡大縮小、回転、位置変更などの操作を行い、大画面とユーザの携帯端末の間で情報を移動させることが可能になっている。

また、ユーザが自分の携帯端末を手で操作する必要がないため、コンピュータを意識せずに情報共有を行うことができる。

(7) ネットワークを介した Web アプリケーションが普及しており、ユーザはネットワークに接続可能な情報端末があれば、端末の違いを意識することなく情報端末を使えるようになった。しかし、ユーザは利用場所に合った情報端末を利用するために、複数の情報端末を所有することが多く、常に情報端末の存在を意識している必要がある。そこで、我々はユーザがネットワークに接続可能な

ウェアラブルコンピュータのみを着用することで、情報端末の存在を意識することなく仮想的な情報端末を利用可能にする「情報端末の仮想化」を提案し、仮想的な情報端末を操作するためのインタフェース AiR surface を開発した。AiR surface とは、ユーザが矩形を描く手の姿勢を作ることによって、自由な場所に自由な大きさの仮想平面を作り出し、この仮想平面をタッチパネルのような入力デバイスとして扱うことができるインタフェースである。AiR surface とは、拡張現実感を用いて実世界に重畳表示される仮想平面を利用するインタフェースである。既存の情報端末の表示インタフェースであるディスプレイやタッチパネルは平面型であることがほとんどである。そのため、表示インタフェースが平面型であることはユーザにとって馴染みやすいものであると考え、AiR surface の表示インタフェースも平面型に設計した。さらに、仮想平面に対する入力操作として、Pointing 操作、Through 操作 Drag 操作の三種類の操作を実装した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

S. Kim, S. Takahashi and J. Tanaka  
"A location-sensitive visual interface on the palm: interacting with common objects in an augmented space", Personal and Ubiquitous Computing, 査読有, March 2014, DOI: 10.1007/s00779-014-0769-0

C. Chang, S. Takahashi and J. Tanaka  
"A Remote Communication System to Provide "Out Together Feeling"", Journal of Information Processing, 査読有, Vol.22, No.1, pp.76-87, 2014  
<http://dx.doi.org/10.2197/ipsjip.22.76>

中村卓, 高橋伸, 田中二郎  
"大画面環境におけるハンドジェスチャの選択手法 -ダブルクロッシングの提案と他の選択手法との比較-", 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J96-D, No.4, pp.978-988, Apr. 2013

S. Kim, S. Takahashi and J. Tanaka  
"Point-Tap, Tap-Tap, and the Effect of Familiarity: to Enhance the Usability of See-and-Select in Smart Space", ヒューマンインタフェース学会論文誌, 査読有, Vol.14, No.4, pp.445-456, 2012  
<http://dx.doi.org/10.11185/imt.8.97>

Y. Suzuki, K. Misue and J. Tanaka  
"A Potential Exploration of Finger-Specific Interaction"

ICIC Express Letters, 査読有, Vol.6, No.12, pp.3061-3067, 2012

[学会発表](計37件)

C. Chang, S. Takahashi and J. Tanaka  
"Provide "Out Together Feeling" by Sharing Panorama Live Image Between Outdoor and Indoor Users"  
The 22nd International Symposium on Human Factors in Telecommunication (HFT 2013), Berlin, Germany, pp. 12-19, Dec 4 to Dec 5, 2013

M. Ono, B. Shizuki and J. Tanaka  
"Touch & Activate: Adding Interactivity to Existing Objects using Active Acoustic Sensing."  
The 26th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST 2013), pp.31-40, St. Andrews, United Kingdom, October 8-11, 2013

Y. Fukatsu, B. Shizuki and J. Tanaka  
"No-look Flick: Single-handed and Eyes-free Japanese Text Input System on Touch Screens of Mobile Devices."  
The 15th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services (MobileHCI 2013), pp.161-170, Munich, Germany, August 27-30, 2013

H. Kamo and J. Tanaka  
"Interlocked Surfaces: A Dynamic Multi-device Collaboration System"  
The 15th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2013), Human Interface and the Management of Information: Information and Interaction for Learning, Culture, Collaboration and Business (Part III), LNCS 8018, pp. 317-325, Las Vegas, NV, USA, July 2013

A. Noguchi, T. Kurosawa, A. Suzuki, Y. Sakamoto, T. Oe, T. Yoshikawa, B. Shizuki and J. Tanaka  
"Evaluation of a Soft-Surfaced Multi-touch Interface"  
The 15th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2013), Human-Computer Interaction: Interaction Modalities and Techniques (Part IV), LNCS 8007, pp.469-478, Las Vegas, Nevada, USA, July 23-26, 2013

E. Davaasuren and J. Tanaka  
"MOBAJES: Multi-User Gesture Interaction System with Wearable Mobile Device"

The 15th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2013), Human-Computer Interaction: Interaction Modalities and Techniques (Part IV), LNCS 8007, pp.196-204, Las Vegas, Nevada, USA, July 23-26, 2013

T. Yoshikawa, Y. Mita, T. Kuribara, B. Shizuki and J. Tanaka  
"A Remote Pointing Technique using Pull-out"

The 15th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2013), Human-Computer Interaction: Interaction Modalities and Techniques (Part IV), LNCS 8007, pp.416-426, Las Vegas, Nevada, USA, July 23-26, 2013

H. Kobayashi, K. Misue and J. Tanaka  
"Colored Mosaic Matrix: Visualization Technique for High-Dimensional Data"  
The 17th International Conference Information Visualization (IV2013), London, UK, pp. 378-383, July 15-18, 2013

T. Kuribara, B. Shizuki and J. Tanaka  
"Sinkpad: a malleable mouse pad consisted of an elastic material"  
CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '13), pp.1251-1256, Paris, France, 2013

T. Yoshikawa, B. Shizuki, H. Hosobe and J. Tanaka  
"HandyWidgets: Local Widgets Pulled-out from Hands"  
The ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS 2012), pp. 197-200, Cambridge, Massachusetts, USA, November 11-14, 2012

R. Nogami, B. Shizuki, H. Hosobe and J. Tanaka  
"An Exploratory Analysis Tool for a Long-Term Video from a Stationary Camera"  
The 5th IEEE International Symposium on Monitoring & Surveillance Research (ISMSR2012), 6 pages, Athens, Greece, November 9, 2012

T. Oe, B. Shizuki and J. Tanaka  
"Scan Modeling: 3D Modeling Techniques using Cross Section of a Shape"  
The 10th Asia-Pacific Conference on Computer-Human Interaction (APCHI2012), pp.244-250, Matsue, Shimane, Japan, August 28-31, 2012

C. Chang, S. Takahashi and J. Tanaka  
"Analyzing Interactions between a Pair Out Together Real and Virtual"  
The Sixth International Conference on Collaboration Technologies (CollabTech2012), pp.100-105, Sapporo, Hokkaido, Japan, August 27-29, 2012

B. Shizuki, Y. Murata and J. Tanaka  
"Sharing Digital and Physical Contents on and above Distributed Surfaces using Active Infrared Keying"  
The Eighteenth International Conference on Distributed Multimedia Systems (DMS 2012), pp. 42-47, Miami Beach, Florida, USA, August 9-11, 2012

Y. Sakamoto, T. Yoshikawa, T. Oe, B. Shizuki and J. Tanaka  
"Constructing an Elastic Touch Panel with Embedded IR-LEDs using Silicone Rubber"  
IADIS International Conference Interfaces and Human Computer Interaction 2012 (IHCI 2012), pp. 263-268, Lisbon, Portugal, July 21-23, 2012

A. Kobayashi, K. Misue and J. Tanaka  
"Edge Equalized Treemap"  
The 16th International Conference Information Visualization (IV2012), Montpellier, France, pp. 7-12, July 10-13, 2012

S. Shiroy, K. Misue and J. Tanaka  
"ChoronoView: Visualization Technique for Many Temporal Data"  
The 16th International Conference Information Visualization (IV2012), Montpellier, France, pp. 112-117, July 10-13, 2012

C. Chang, S. Takahashi and J. Tanaka  
"WithYou - A Communication System to Provide Out Together Feeling"  
Advanced Visual Interfaces International Working Conference (AVI 2012), Capri Island, Italy, pp. 320-323, May 21 to May 25, 2012

武田慎之介, 萬成亮太, 小林弘明, 小林愛実, 大久保心織, 三末和男, 田中二郎  
"個人用画面と大画面を用いた複数人での共同作業環境", 情報処理学会研究報告(157回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会), 2014-HCI-157, 明治大学中野キャンパス, 2014年3月13-15日

栗原拓郎, 三田裕策, 大西主紗, 志築文太郎, 田中二郎  
"HandyScope: 引き出しジェスチャを用いた

テーブルトップ用遠隔地操作手法", 第21回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2013), 日本ソフトウェア科学会, ザ クラウンパレス新阪急高知, 高知市, pp.97-102, 2013年12月4-6日

⑲ 三田裕策, 志築文太郎, 田中二郎  
"タッチパネル搭載端末同士を重ねる操作による端末連携手法", 情報処理学会研究報告(154回ヒューマンコンピュータインタラクシオン研究会), 2013-HCI-154, 箱根湯本温泉 湯本富士屋ホテル, 2013年8月5-6日

⑳ 白井智子, 萬成亮太, 三末和男, 田中二郎  
"複数タブレットを用いた共同分析作業のための視覚的表現および操作の検討", 情報処理学会研究報告(152回ヒューマンコンピュータインタラクシオン研究会), 2013-HCI-152, 明治大学駿河台キャンパス, 2013年3月13-14日

㉑ 大野誠, 志築文太郎, 田中二郎  
"アクティブ音響センシングを用いた把持状態認識", インタラクシオン 2013, 情報処理学会, 日本科学未来館, pp.56-63, 2013年2月28日-3月2日

㉒ 土佐伸一郎, 田中二郎  
"LoopTouch: 画面ループを用いたモバイル端末片手操作手法", インタラクシオン 2013, 情報処理学会, 日本科学未来館, 2013年2月28日-3月2日

㉓ 深津佳智, 志築文太郎, 田中二郎  
"No-look Flick: 携帯情報端末のタッチパネルにおけるアイズフリーな片手かな文字入力システム", 第20回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2012), 日本ソフトウェア科学会, 古牧温泉 青森屋, 青森県三沢市, pp.133-138, 2012年12月6-8日

㉔ 加茂浩之, 田中二郎  
"Interlock surfaces: 動的構成が可能な複数情報端末の入出力連携", 第20回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2012), 日本ソフトウェア科学会, 古牧温泉 青森屋, 青森県三沢市, pp.207-208, 2012年12月6-8日

㉕ E. Davaasuren, 田中二郎  
"装着型携帯端末による大画面ジェスチャインタラクシオンの提案", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02012)シンポジウム, pp. 634-645, 山代温泉 ホテル百万石, 石川県加賀市, 2012年7月4-6日

㉖ 金子将大, 田中二郎

"拡張現実感を利用した仮想的なディスプレイによる作業の支援", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02012)シンポジウム, pp.433-441, 山代温泉 ホテル百万石, 石川県加賀市, 2012年7月4-6日

㉗ 坂本侑一郎, 吉川拓人, 大江龍人, 志築文太郎, 福本雅朗, 田中二郎  
"WrinkleSurface: しわを作って入力できる柔らかいマルチタッチインタフェース" 第19回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2011), 日本ソフトウェア科学会, pp.7-12, 宮津ロイヤルホテル, 京都府宮津市, 2011年12月1-3日

㉘ 土佐伸一郎, 田中二郎  
"SmARt Projection: モバイル端末内データを共有するための情報提示システム", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02011)シンポジウム, pp.565-575, 宮津ロイヤルホテル, 京都府宮津市, 2011年7月6-8日

㉙ 加茂浩之, 田中二郎  
"ウェアラブル拡張現実感による情報端末の仮想化", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02011)シンポジウム, pp.1223-1233, 宮津ロイヤルホテル, 京都府宮津市, 2011年7月6-8日

〔その他〕  
ホームページ等

<http://www.iplab.cs.tsukuba.ac.jp/paper/s-j.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者  
田中 二郎 (TANAKA JIRO)  
筑波大学・システム情報系・教授  
研究者番号: 20251043

(2) 研究分担者  
高橋 伸 (TAKAHASHI SHIN)  
筑波大学・システム情報系・准教授  
研究者番号: 00272691

志築 文太郎 (SHIZUKI BUNTARO)  
筑波大学・システム情報系・准教授  
研究者番号: 20323280

三末 和男 (MISUE KAZUO)  
筑波大学・システム情報工学系・准教授  
研究者番号: 50375424