

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26730101

研究課題名(和文) 複数の自律移動デジタルテーブルの連携による快適な協調作業空間の動的生成

研究課題名(英文) Dynamic creation of efficient workspace using multiple moving tabletops

研究代表者

高嶋 和毅 (Takashima, Kazuki)

東北大学・電気通信研究所・助教

研究者番号：60533461

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ユーザの作業状態などに応じて複数の自律移動型デジタルテーブルを用いて作業空間を動的にかつ物理的に最適化するシステムを検討してきた。本研究では、まず、複数台のタッチ入力可能な自走式デジタルテーブルを試作し、それらの移動制御技術を開発した。そして、複数台の自走式デジタルテーブルを連携移動、結合、分離することで様々なタスク(単独、協調作業等)をサポートできる動的な作業空間形成システムを構築し、その有効性をユーザスタディを通して示した。

研究成果の概要(英文)：This study explores moving interactive tabletop interface which is actuated according to users demand or social needs based on situational awareness technology. This study presents the (1) design and implementation of a set of moving interactive tabletop prototypes and (2) discuss a technique that augments its visual content in order to provide animation to tabletop users. (3) This study discusses the results of a user study assessing how people perceive table movements, how these movements affect their interaction in collaborative scenarios, and how synchronized movements of multiple tabletops (e.g., gathering together to create a larger interactive surface) impacts collaborative tasks. The findings confirm that the visual augmentation of its tabletop content was helpful in providing animation to users, and that tabletop movement had significant effects on people's spatial behaviors during interaction, effects that peaked in collaborative scenarios with multiple moving tabletops.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：ディスプレイ ロボット 協調作業 センサ

1. 研究開始当初の背景

オフィスや公共空間における仕事や作業のほとんどは、会議テーブルや PC テーブルなどの上でなされる。一般的なテーブルは、平面という特徴から周囲に人を集める効果があるため、複数人による協調作業や会話場の生成に大きく関わるものである。そのため、多くの知的協調作業において、テーブルを中心とした快適な空間づくりは極めて重要な課題であり、作業の生産性や質だけではなく、ストレスなどユーザの精神健康にも影響を与えるものである。実際に、多くのオフィスや公共空間では、快適性、遮蔽性、人の動線、作業連結性などさまざまな要因をもとにテーブル配置を設計している。しかし、作業面や場を生成するという特徴があるにも関わらず、これまでのテーブルは固定配置されることが多く、作業遂行上、人数の増減や人の立ち位置などに空間的な変化がある協調作業に対してうまく対応できず、ユーザの動き等を制限するなどして、グループによる高度で柔軟な創作活動を阻害する要因となっていた。

テーブル面をマルチタッチディスプレイ等としたインタラクティブデジタルテーブルは近年急速に普及しつつあるが、これについても従来のテーブルと同様に、会話や作業における固定的な共有場を提供するにすぎず、動的に変化する周囲の空間を柔軟にかつ快適に保つ能力は持たなかった。

2. 研究の目的

本研究では、申請者がこれまで取り組んできた、自走式デジタルテーブルを応用し、複数の自律型デジタルテーブルを協調的に連携して動かすことで、空間内での人々の行動、物理的な作業面や人の動線等に刺激を与え、テーブルという作業面を中心にして快適な協調作業空間を動的に生成できるシステムを実現する。予め決められた空間演出の方針や作業目的、またはセンサ等で認識されるその場の状況に応じて、適切なタイミングで、空間を構成する複数のデジタルテーブルが自動的に結合したり、分離したり、または特定の位置に移動したりすることで、協調作業空間を再構成する。手動ではなく、自動的に再構成されることで、ユーザらは空間演出の主旨に沿って自然に行動することができる他、作業に適した空間を負荷なく得ることができる。

3. 研究の方法

(1) 自律型デジタルテーブルと移動制御アルゴリズムの開発

複数台の自走式デジタルテーブルを低予算にて制作するために、既存の技術や製品を工夫して利用する。本研究では家庭用掃除機ロ

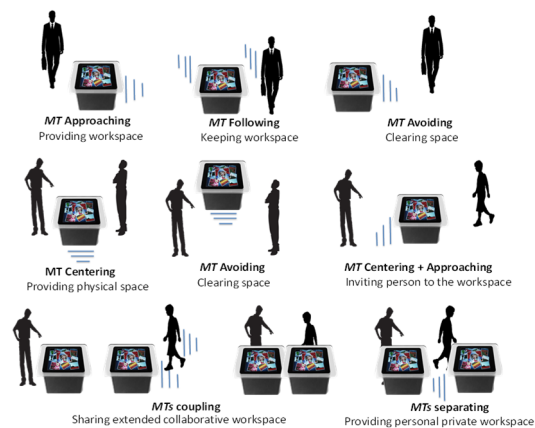


図 1. 自律移動テーブルによる動的作業空間の例

ボットである Roomba およびその制御 API を利用する。外部センサ（ロボット空間の周囲のセンシング）を併用することで、安全かつ効果的な速度での複数台自走式デジタルテーブルの移動制御方法を確立する。

(2) テーブルの移動と連動した視覚デジタルコンテンツの利用方法の確立

テーブル上のディスプレイにはユーザの作業に関連する情報を提示することができるが、移動の合図などをこのディスプレイ装置を利用して行う方法を考案する。これにより、自走式テーブルの社会性を高めるだけでなく、安全な運用が期待できる。

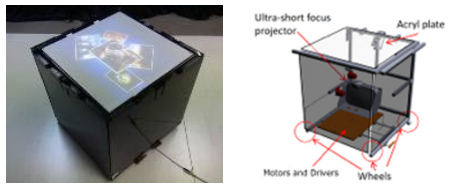
(3) 複数の自律型テーブルによる快適な作業空間の動的生成システムの実現

複数台（二台以上）の自律型デジタルテーブルを連携利用することでグループ創作活動空間などの動的な会話場を演出する。場の目的や会話状況に基いて、テーブルを移動、固定、複数台結合、分離などを自律的にかつ安全に行う。これらの代表的な例を図 1 に示す。テーブル面は作業面や筆記用具等を置く面として機能しているため、ユーザは滑らかにテーブルに連動して空間を移動し、人数に応じた大きな作業空間（面）、多くの人と接点を持つ空間、プライバシーが確保された空間、効率的に議論を進めることができる空間（特定のメンバを集める等）などを動的に生成する。会話場の目的に応じて、空間の出来やユーザの行動を検証し、静的テーブル環境と比較して快適性がどのように変化したかを探る。

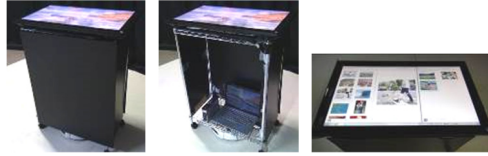
4. 研究成果

(1) 自律移動型デジタルテーブルの開発

本研究においては、図 2 に示すように、4 人用と 1 人用の異なるサイズのテーブルを試作し、異なる利用可能性を議論した。なお、本研



(a) 大型（四人用）



(b) 小型（個人用，スタンドアローン）

図 2. 自律移動型デジタルテーブルの試作機

究では、これらを MovemenTable と名付け、学会発表などでもこの名称を用いてきた。いずれの自走式デジタルテーブルも二輪による移動制御が可能であり、安全にかつ効果的な速度での運用が可能である。大型のデジタルテーブルでは、コーヒータブル程度の大きさであり、内部のプロジェクタを稼働させるための電源ケーブルが必要であるなど、一部未熟な点もあったが、複数人による協調作業環境をシミュレートしやすかった。小型テーブルでは、テーブル面はすべてマルチタッチが可能な高解像度ディスプレイであり、またバッテリーが搭載されていたため、多くのアプリケーションを可能とした。以降の研究においては、大型、小型を使い分けたが、サイズの効果を議論しない場合やテーブル上の映像へのインタラクションを必要とするものは、小型の自走式デジタルテーブルを用いた。

また、単一または複数台の自走式デジタルテーブルの移動制御方法を確立した。ここでは、テーブルにセンサを内蔵させるのではなく、既存の研究設備を活用し、外部のトラッキングシステムを併用し、テーブルを自律的に任意の場所に精度高く移動できる技術を開発した。

(2) テーブルの移動と連動した視覚デジタルコンテンツの利用方法の確立

提案する自走式デジタルテーブル上では、通常人々が何らかのコンテンツ閲覧や操作することを想定している。そのため、空間の動的生成タイミング、つまりデジタルテーブルの移動のタイミングをユーザの安全を考慮して、事前にユーザに伝える必要がある。ロボットの移動の合図はこれまでロボットの分野で様々な検討されているが、本研究では、テーブルトップディスプレイを持つという利点を活かして、ユーザが閲覧しているテーブルトップコンテンツをアニメーションさせることで、移動の意図を表現することとした。ユーザはそのコンテンツに注意を向けている

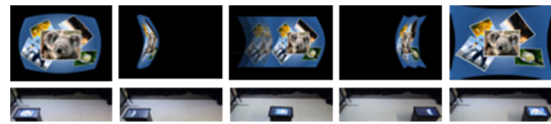


図 3. テーブル移動とテーブルトップコンテンツアニメーション

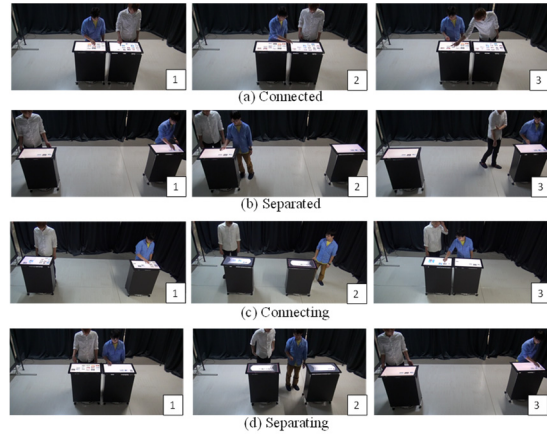


図 4. 二台の移動デジタルテーブルによる協調作業空間の制御

可能性が高く、これは音などに比べて自然な意図伝達が可能と思われること、また、アニメーションにより様々な表現可能性があることからこれを実施した。図 3 にそのアニメーションの一例を示す。

このアニメーションの効果を、ユーザスタディによって検証した結果、アニメーション付加条件では、アニメーション無しの条件と比べて、より自走式デジタルテーブルの移動の意図および移動方向を移動前に予測することができ、また社会的な動き（例えば、追従する、避ける動作など）を表現できることが確認された。

(3) 複数の自律型テーブルによる快適な作業空間の動的生成システムの検討

1 と 2 で開発したテーブル、制御アルゴリズムおよびテーブルトップコンテンツアニメーションを用いて、自走式デジタルテーブルを移動、結合、分離することで、作業空間を動的に形成するアプリケーションを構築した。その概要を図 4 に示す。この図では、二人が単独および協調作業をする際にどのように自走式デジタルテーブルがユーザの空間を快適にできるかを比較検証した条件を示している。Connected, Separated はベースライン条件であり、テーブルは静的配置されて移動しない。二人のユーザが結合された大きなテーブルで作業するか、または離れたテーブルでそれぞれ作業する標準的な作業空間である。一方、Connecting と Separating では、ある条件においてテーブルが自動的に結合、または分離

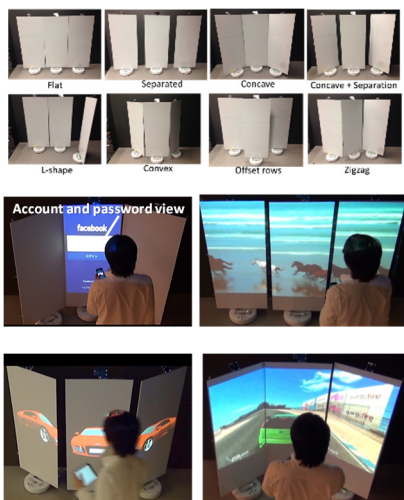


図5. 複数台のロボット型ディスプレイによる動的空間設計の例

する条件であり、これにより協調作業またはプライベート作業を誘発できるか、人々の空間行動をどのように変化させることができるか、さらには、空間認知にどのように影響するか、などをビデオ観察やアンケート収集によって検証した。その結果、自走式デジタルテーブルを用いた方法により、動的性のある多様なタスクに対応できる作業空間を構築できること、またそれを通して、ユーザの快適性や空間的行動を大きく改善できる可能性を示した。その他、単一テーブルの利用より複数台利用の効果が大きいことなどを確認した。

(4) 複数自律型ディスプレイに関する検討

本研究期間内には、ロボット型ディスプレイを用いて、動的作業空間を動的に形成する方法を検討するにあたり様々な可能性を模索してきた。本研究の主なテーマである自走式テーブルトップディスプレイに加えて、複数台の鉛直スクリーンによる動的に変形可能なディスプレイ装置についても検討した。図5に示すように、デジタルテーブルがもつ水平面ではなく鉛直面を持つスクリーンの形状を変化させることで様々な作業スタイル、作業コンテンツに対応できる可能性を示した。この検討結果は、テーブルの台数を増やし、より多様で大規模な動的作業空間を検討する際に重要な知見を提供すると期待できる。

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1件)

1. 高嶋 和毅, 会田 直浩, 横山 ひとみ, 北村 喜文, TransformTable: 人の空間配置を動的に変化させる自律変形デジタルテーブル, 情報処理学会論文誌, Vol.

56, No. 4, 1237-1247, 2015年4月(査読有り).

[学会発表] (計6件)

1. 大山 貴史, 浅利 勇佑, 高嶋 和毅, エフッド シャーリン, グリーンバーグ ソール, 北村 喜文, 自律移動・変形する壁型ディスプレイの設計と評価, インタラクション2016 論文集, pp.62-71, 2016年3月2日, 科学技術館(東京都), (査読付き国内会議).
2. Yusuke Asari, Kazuki Takashima, and Yoshifumi Kitamura, TransformTable, SIGGRAPH Asia 2015 Emerging Technologies, No. 25, November 2, 2015, 神戸国際会議場(兵庫県), (査読付きデモンストレーション, 採択率約20%)
3. Kazuki Takashima, Yusuke Asari, Hitomi Yokoyama, Ehud Sharlin, and Yoshifumi Kitamura, MovementTable: The Design of Moving Interactive Tabletops, In Proceedings of Human-Computer Interaction - INTERACT 2015, pp. 296-314, September 14, 2015, Bamberg (Germany), (査読付き国際会議).
4. 浅利 勇佑, 坂本 登, 高嶋 和毅, 横山ひとみ, エフッド シャーリン, 北村 喜文, 自律移動型インタラクティブデジタルテーブルの設計と評価, インタラクション2015, pp. 54-63, 2015年3月5日, 日本科学未来館(東京都), (査読付き国内会議)
5. ステラ セオ, 高嶋 和毅, ジム ヤング, 北村 喜文, Alerting Users by Animating Content on a Transforming Tabletop Interface, ヒューマンインタフェースシンポジウム2014, pp. 101-104, 2014年9月9日, 京都工芸繊維大学(京都府), (査読なし).

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高嶋 和毅 (TAKASHIMA, KAZUKI)
 東北大学・電気通信研究所・助教
 研究者番号: 60533461