HandyScope：引き出しジェスチャによる遠隔地操作手法

栗原 拓郎　三田 裕策　大西 主紗　吉川 拓人　志築 文太郎
田中 二郎

大型のマルチタッチテーブルトップでは，その大きさのため操作が困難な領域が存在する．この領域を操作する場合，ユーザはその領域に手が届く位置まで移動することを求められる．そこで我々は遠隔地操作手法である HandyScope を示す．HandyScope では，ユーザは手元から遠隔地を操作することができる．また，ユーザは手元と遠隔地の間にてオブジェクトを移動させることができる．加えて，HandyScope の起動，操作には我々が考案した引き出しジェスチャを用いるため，複数のユーザが同時に，従来のマルチタッチ操作と競合することなく素速くポインティングを行うことができる．我々は HandyScope の性能を測るために従来のタッチ操作と比較実験を行い，遠隔地を選択する場合 HandyScope は有用であることを確かめた．

A large multi-touch tabletop has remote areas that the users can not reach by their hands. This forces users to walk around the tabletop. In this paper, we present a novel remote control technique which we call HandyScope. This technique allows users to manipulate those remote areas. Moreover, users can transfer an object between a nearby area and a remote areas using the widget. In addition, users use pull-out, our own bimanual multi-touch gesture, both to invoke HandyScope, and to determine appropriate control-display ratio to point remote areas. This gesture allows multiple users to simultaneously manipulate remote areas without conflict with other touch gestures. To evaluate the performance of HandyScope, we compared HandyScope with direct touch operation. The results show that HandyScope is significantly faster in selection.

1 はじめに

大型のマルチタッチテーブルトップを使用する際，ユーザはテーブルトップの周りに立ち，その位置からタッチ操作を行う．一方，手の届かない領域 (遠隔地) に対してユーザがタッチ操作を行うことは困難であり，ユーザはその領域に手が届く位置に移動する必要がある．

そこで我々は遠隔地操作手法である HandyScope を示す．HandyScope では，ユーザは 2 個の円形のウィジェットを用いて遠隔地を操作することができる．2 個の円形のウィジェットとは，ユーザが遠隔地へ送り操作範囲を決定するサークル (scope) と手元において操作するためのサークル (handler) である．scope 内の領域は handler にも表示され，ユーザは handler に表示された領域を操作することにより遠隔地を操作することができる．また，ウィジェットを経由することにより，ユーザは手元と遠隔地の間にてオブジェクトを移動させることができる．加えて，本手法では Control-Display(CD) 比を動的に変更できるため，ユーザは素速く目標領域まで scope を移動させること (ポインティング) ができる．

本手法では，本手法の起動及び scope の位置を決定するために，我々の考案する両手を用いた引き出しジェスチャ [21] を使用する．引き出しジェスチャでは，ユーザは別のデバイスを使用せずに，タッチ操作

HandyScope: A Remote Control Technique using Pull-out Gesture.

Takuro Kuribara, Yusaku Mita, Kazusa Onishi, Takuto Yoshikawa, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka, 筑波大学, University of Tsukuba.

コンピュータソフトウェア, Vol.31, No.3 (2014), pp.284–293.
[研究論文] 2014 年 1 月 31 日受付.

のみにて使用することができる．また，引き出しジェスチャは従来のマルチタッチ操作と競合しないため，複数ユーザが同時に使用できる．テーブルトップでは複数ユーザが同時に作業することも多く，本手法はその際にも有用である．

2 関連研究

大型ディスプレイにおいて遠隔地を選択する手法として，ポインティングデバイスを用いる手法[14][6]，ジェスチャを用いる手法[19]，視線を用いる手法[8]が存在する．一方本手法では，テーブルトップを対象に，両手を用いた引き出しジェスチャによりユーザはポインティングを行う．そこで本節では，テーブルトップにおけるポインティング手法，及び両手を用いた操作手法について述べる．

2.1 テーブルトップにおけるポインティング手法

テーブルトップ環境における遠隔地ポインティング手法について多くの研究がなされている．Parker らは，スタイラスの先端の影を用いてポインティングを行う手法を示した[15]．また Banerjee らは片手の指を指す動作によってポインティングを行う手法を示した[3]．これらの研究は，ポインティング手法を実現するために追加のデバイスが必要となる．また，マルチタッチテーブルトップ環境における仮想マウスを提案した研究もある[5][13]．これらの研究では手の接触形状を認識するマルチタッチテーブルトップが必要である．一方，我々の手法では追加のデバイスを必要とせず，また手の接触形状を認識する必要がないため，複数のタッチ点を検出可能なマルチタッチテーブルトップのみにより実現できる．

I-Grabber[1]はマルチタッチインタラクションにより操作するウィジェットである．両手を用いたポインティングを採用している点において我々の手法と同様であるが，我々の手法では CD 比を動的に変更でき，かつポインティング開始からポインティング先の決定までを一連のジェスチャにて行うことができる．そのため，ユーザは素速く正確にポインティングできる．

2.2 両手を用いた操作手法

両手を用いた操作手法は 3 次元操作[16][20]やモデリング[2][10]，精密なポインティング[7]等，多くの研究がなされている．これらの研究と異なり，我々は遠隔地をポインティングするために両手を使用する．

両手を用いて遠隔地をポインティングする手法として，Malik らは大画面を対象として画像処理を用いた両手によるポインティング手法を示した[12]．また，所らは 2 つの加速度センサを用いた両手によるポインティング手法を示した[17]．これらの研究と異なり，我々の手法ではテーブルトップを対象に，タッチを用いた両手によるポインティングを行う．

3 HandyScope

本節では，HandyScope を用いたインタラクションを述べる．

3.1 起動及び操作方法

HandyScope の起動及び操作方法を図 1 に示す．ユーザは最初に非利き手の 2 本の指 (base-fingers) をテーブルトップ上に置く (図 1a)．次に，利き手の 1 本の指 (pull-finger) により base-fingers の間 (base-segment) を横切る操作を行う (図 1b) と，handler が pull-finger を中心とした位置に表示される．同時に，base-segment の中点と pull-finger の間 (vector-pulled) の半直線上に scope が表示される．ユーザが vector-pulled を変更すると，その変更に応じて scope の位置が変更される．図 1c に HandyScope を用いた操作の様子を示す．HandyScope は base-fingers をテーブルトップから離すことにより終了される．

3.2 scope の位置の決定

base-segment が生成されてから i フレーム後における scope の位置 P_i は以下の式により決定される．

$$\begin{aligned} P_i &= G_0 + \sum_{j}^{i} k_j \Delta V_j, \\ \Delta V_i &= V_i - V_{i-1}, \\ k_i &= \alpha \times \frac{|S_i|}{|S_0|}. \end{aligned} \tag{1}$$

ここで G_0，G_i は図 2 に示すように base-segment

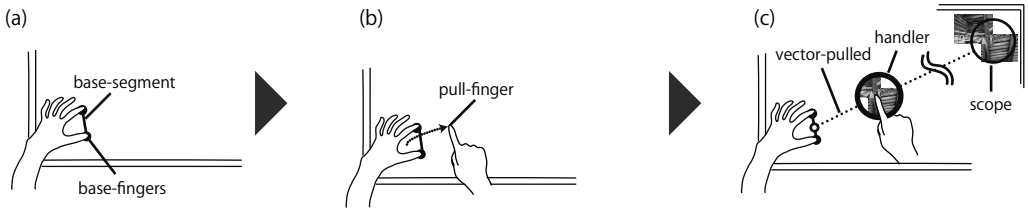


図 1　HandyScope の起動及び操作方法．a)2 本の指を置く，b)1 本の指にて 2 本の指の間を横切ることにより起動，c)HandyScope の操作．

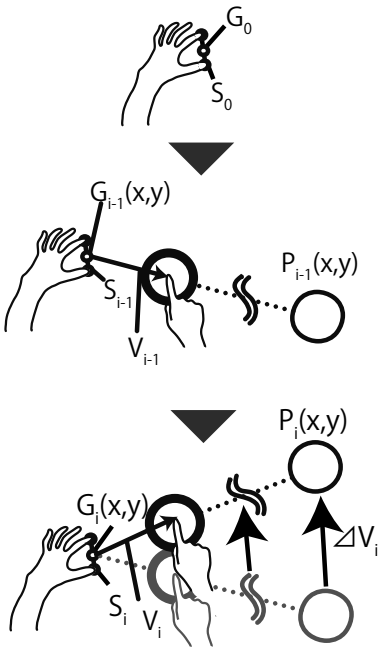


図 2　サークルの位置．

の中心であり，G_0 は base-segment が生成された時の中心，G_i は base-segment が生成されてから i フレーム後の base-segment の中心である．また，S_i は base-segment の長さであり，V_i は G_i から pull-finger までの vector-pulled である．また，式 1 における α は定数であり，k_i は CD 比を表す．base-segment を拡大すると CD 比を表す k_i が大きくなり，逆もまた同様である．すなわち，利き手もしくは非利き手を移動させることにより V を変化させると，その変位である ΔV_i に基づき，scope の位置が変化する．

3.3　CD 比の動的な変更

CD 比は式 1 にも示されるように base-segment の長さにより変更される．図 3 に CD 比と base-segment の長さの関係を示す．ユーザは CD 比の変更を行いながらポインティングを行うことができるため，大きな CD 比による大まかな移動と小さな CD 比による細かい移動を動的に切り替えて操作することができる．例えば，図 4 に示すように，遠隔地の小さなオブジェクトを選択する際，大きな CD 比により素早く scope を移動させ，小さな CD 比により微調整を行うことができる．

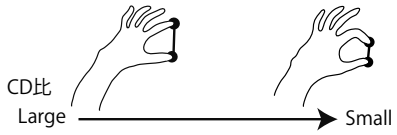


図 3　CD 比と base-segment の長さの関係．

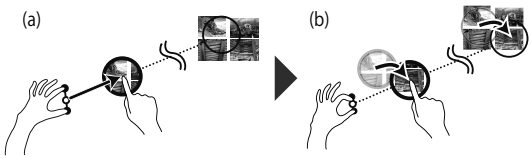


図 4　CD 比の動的な変更による scope の操作．a) 大まかな移動によるポインティング先の決定．b) 細かな移動による精密なポインティング先の決定．

3.4　サークルを経由した遠隔地の操作

図 5 に示すように，handler 内には scope 内の領域が表示される．また，handler 内での操作は全て scope 内に適用される．図 5a に遠隔地のオブジェクトを拡大縮小している様子を，図 5b にオブジェクトを回転している様子を示す．遠隔地に対する操作を全て handler 上にて行うことができるため，ユーザは自身が遠隔地に移動して操作することや，遠隔地のオ

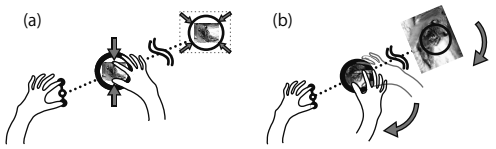


図 5 遠隔地のオブジェクトの操作．**a)** オブジェクトの拡大縮小，**b)** オブジェクトの回転．

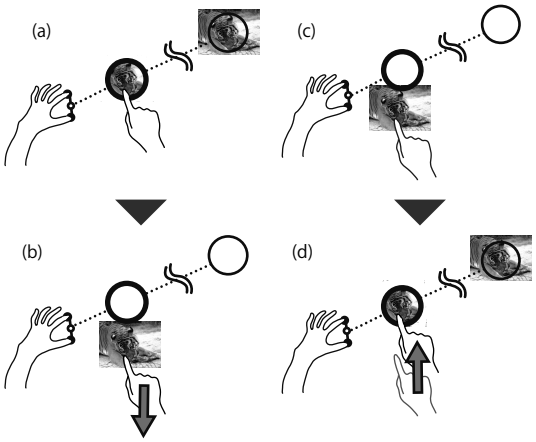


図 6 サークル間のオブジェクトの移動．**a → b)** 遠隔地から手元にオブジェクトを移動，**c → d)** 手元から遠隔地にオブジェクトを移動．

ブジェクトを手元に移動させることなく，遠隔地のオブジェクトを操作することができる．

3.5 サークル間のオブジェクトの移動

handler 内のオブジェクトをタッチしてサークル外までドラッグ操作を行うと，遠隔地のオブジェクトが手元に移動する．移動している様子を図 6a,b に示す．同様に，図 6c,d に示すように手元にあるオブジェクトを handler 内にドラッグすることにより遠隔地にオブジェクトを移動させることができる．これにより，遠隔地と手元の間においてオブジェクトの移動を素早く行うことができる．

3.6 サークルの再移動

HandyScope の起動時は pull-finger を中心としてサークルが表示されるが，一度 pull-finger をテーブルトップから離すと，handler 内に対する操作は scope 内に対する操作として扱われる．そのため，図 7a に示すように再度サークルを移動させる場合には

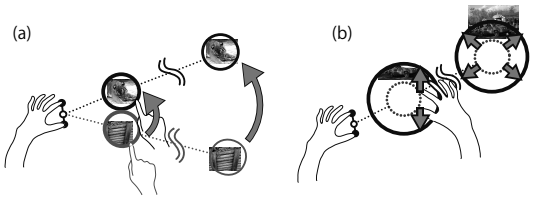


図 7 サークル自体への操作．**a)** サークルの再移動，**b)** サークルの大きさの変更．

handler の中央ではなく，枠をドラッグする．これにより，scope の位置を移動することができる．

3.7 サークルの大きさの変更

handler の枠をピンチ操作することにより．サークルの大きさを変更することができる．図 7b にサークルの大きさを変更している様子を示す．これにより，遠隔地の大きなオブジェクトを操作することができる．

3.8 HandyScope のメリット

HandyScope では，ユーザは非利き手の 2 本の指により CD 比を変更し，この 2 本の指の中心点と利き手の指の間の相対位置によりポインティング先を決定する．ポインティング先には scope を，手元には handler を表示し，ユーザはこのサークルを介して遠隔地に対するインタラクションを行う．これにより Frisbee[11] 及び Dynamic Portals[18] と同様に遠隔地を手元から操作することが可能になる．また，Frisbee では予め遠隔地を指定する必要があり，Dynamic Portals では操作対象としたい遠隔地の指定に他者の協力を必要とするが，HandyScope では，ユーザは自身の操作のみにて任意の位置から起動し，動的な CD 比の変更を用いて操作対象としたい遠隔地を素速く決定することができる．

4 実験

HandyScope の性能を調査するために比較実験 (被験者内計画) を行った．比較実験では HandyScope(HandyScope 条件) 及び従来の直接タッチ (タッチ条件) の性能を，テーブルトップ上の典型的な操作である選択，回転，拡大縮小の 3 種類のタ

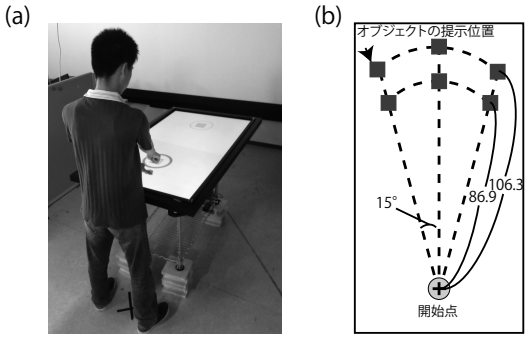


図 8　実験環境．a) 実験の様子，b) 開始点及び提示位置．

スクにおいて比較した．

4.1　被験者及び実験環境

被験者は HandyScope を使用したことの無い 10 名 (20 歳から 24 歳の大学生及び大学院生) であり，右利き 9 名，左利き 1 名であった．実験環境を図 8 に示す．実験に用いたテーブルトップは，画面サイズが 147cm × 80cm の 60 インチディスプレイ (パイオニア社, PDP-607CMX[†1]) に PQLab 社のマルチタッチフレーム (PQ Lab，Multi-Touch G^3 [†2]) を装着することによりマルチタッチ機能を付したものである．なお，テーブルトップに関する幾つかの研究 [4] [9] [22] において，テーブルトップの高さを 91cm から 105cm としていたため，本実験ではテーブルトップの高さをその範囲内である 93cm とした．また，CD 比を変更することなくテーブルトップの端までポインティング可能となるように式 1 における α を 12 とした．

4.2　実験手順

被験者には，選択タスク，回転タスク，拡大縮小タスクをこの順に課した．タスクは，テーブルトップ上でのポインティング手法を提案した研究 [3] に倣ったタスクである．各タスク前には，本番と同じタスクを本番の 1/4 の量だけ練習タスクとして課した．各タスクを行う際には，操作条件間の順序効果の打ち消しを狙い，被験者を HandyScope 条件を先に行う者とタッチ条件を先に行う者の 2 組に分けた．被験者には全てのタスクを終了した後にアンケートに回答して貰った．被験者 1 人あたりの実験時間は約 1 時間半であった．なお，拘束時間に対する謝礼として 1640 円を実験後に被験者に渡した．

4.3　選択タスク

被験者には様々な位置に表示されるオブジェクトを選択して貰った．

まず，被験者は各試行の開始前にテーブルトップの短辺の中心 (すなわち図 8a 中の被験者の足元の床に，黒色のビニールテープにて示されている場所) に立つ．この状態から，テーブルトップ上のいずれかの提示位置に表示されるオブジェクトを選択する．なお，各試行の開始前に開始点及びオブジェクトは表示されている．テーブルトップ上に表示される開始点及びオブジェクトの提示位置を図 8b に示す．

HandyScope 条件では，被験者は開始点上において HandyScope を起動させることにより試行を開始する．次にオブジェクトに scope を合わせ，オブジェクトをタップする．オブジェクトがタップされると 1 回の試行が終了し，フィードバックとしてビープ音が発生する．タッチ条件では，被験者は開始点をタップすることにより試行を開始する．次に表示されたオブジェクトに手が届く位置まで移動して，オブジェクトをタップする

本実験における独立変数は，開始点からオブジェクトまでの距離 (86.9，106.3cm)，開始点からオブジェクトまでの角度 (−15，0，15 度)，オブジェクトの大きさ (3.9，5.8，7.7cm)，操作条件 (HandyScope，直接タッチ) である．被験者は各独立変数の組み合わせにおいて試行を 3 回ずつ，合計 108 試行 ($2\times3\times3\times2\times3$) を行った．また，操作条件以外の試行の順序はランダムであった．

実験結果

両操作条件における 1 試行の所要時間を図 9 左に示す．HandyScope 条件では所要時間は 1715ms，タッチ条件では 1943ms であった．被験者毎の所要時間において対応のある t 検定を行った結果，HandyScope 条件における操作が有意に速かった ($t(9) = 2.72$, $p = .011 < .05$).

†1 http://pioneer.jp/biz/karte/PDP-607CMX.html
†2 http://multitouch.com/product.html

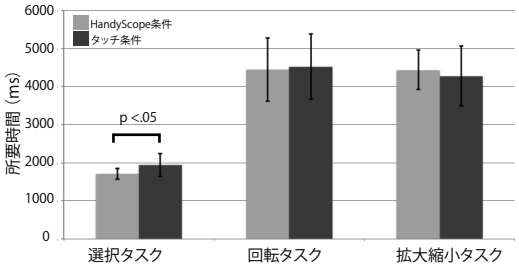


図 9 各タスク毎の 1 試行の所要時間.

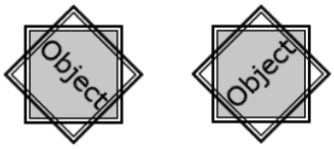


図 10 回転タスクにおけるドックとオブジェクト.

4.4 回転タスク

被験者には様々な提示位置に様々な角度にて表示されるオブジェクトを回転させて，目標 (ドック) に合わせて貰った．ドックの表示位置をオブジェクトと同位置，表示角度をオブジェクトと異なる角度とした．開始点及び提示位置，試行の開始方法は選択タスクと同じである．被験者に提示されるドック (灰色の正方形) とオブジェクト (『Object』というラベルが書かれた正方形) を図 10 に示す．

HandyScope 条件では，被験者は HandyScope を使用してオブジェクトを回転させてドックに合わせる．オブジェクトとドックの角度が等しく (誤差 ± 5 度以内) なるとオブジェクトの縁が赤色になる．この状態において操作を終了すると 1 回の試行が終了し，フィードバックとしてビープ音が鳴る．タッチ条件では，表示されたオブジェクトに手が届く位置まで移動して操作を行う．

本実験における独立変数は，開始点からドックまでの距離 (86.9，106.3cm)，開始点からドックまでの角度 (−15，0，15 度)，ドックの大きさ (5.8，7.7cm)，回転角度 (−45，45 度)，操作条件 (HandyScope，直接タッチ) である．被験者は各独立変数の組み合わせにおいて試行を 2 回ずつ，合計 96 試行 ($2 \times 3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$) を行った．また，操作条件以外の試行の順序はランダムであった．

実験結果

両操作条件における 1 試行の所要時間を図 9 中央に示す．HandyScope 条件では所要時間は 4444ms，タッチ操作では所要時間は 4520ms であった．被験者毎の所要時間において対応のある t 検定を行った結果，操作手法による所要時間に有意差はなかった ($t(9) = .267$, $p = .397 > .05$).

4.5 拡大縮小タスク

被験者には提示位置に表示されるオブジェクトを拡大縮小させて，ドックに合わせて貰った．ドックはオブジェクトと同位置に異なる大きさで表示される．開始点及び提示位置，試行の開始方法は選択タスクと同じである．被験者に提示されるドックとオブジェクトを図 11 に示す．

HandyScope 条件では，被験者は HandyScope を使用してオブジェクトを拡大縮小してドックに合わせる．オブジェクトとドックの大きさが等しく (誤差 ± 4.8mm 未満) なるとオブジェクトの縁が赤色になる．この状態において操作を終了すると 1 回の試行が終了し，フィードバックとしてビープ音が鳴る．タッチ条件では，表示されたオブジェクトに手が届く位置まで移動して操作を行う．

本実験における独立変数は，開始点からドックまでの距離 (86.9，106.3cm)，開始点からドックまでの角度 (−15，0，15 度)，ドックの大きさ (5.8，7.7cm)，ドックに対するオブジェクトの拡大・縮小 (1.5 倍，0.67 倍)，操作条件 (HandyScope，直接タッチ) である．被験者は各独立変数の組み合わせにおいて試行を 2 回ずつ，合計 96 試行 ($2 \times 3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$) を行った．また，操作条件以外の試行の順序はランダムであった．

図 11 拡大タスクにおけるドックとオブジェクト.

実験結果

両操作条件における 1 試行の所要時間を図 9 右に示す．HandyScope 条件では所要時間は 4438ms，タッチ条件では所要時間は 4278ms であった．被験者毎の所要時間において対応のある t 検定を行った結果，操作条件間における所要時間に有意差はなかった ($t(9) = -.935$, $p = .187 > .05$).

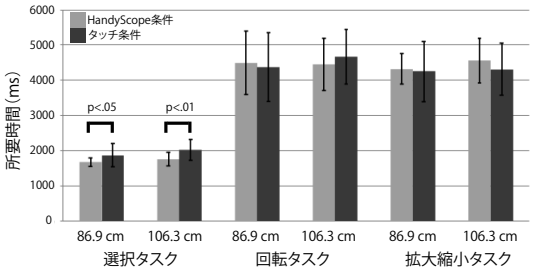


図 12　各距離毎の 1 試行の所要時間.

4.6　実験結果の考察

上述のように，選択タスクにおいては HandyScope を使用した操作が有意に速く，回転タスク及び拡大縮小タスクにおいては有意差が現れなかった．この結果より遠隔地を選択する場合，HandyScope は有用であると言える．

一方，回転及び拡大縮小タスクにおいて操作条件間に有意差が見られなかった原因として，HandyScope の再起動に時間がかかることが挙げられる．実験において，被験者がオブジェクトをドックに合わせたつもりで HandyScope を終了したが，実際には合っていないため試行が終了せず，再度 HandyScope を起動してポインティングを行う様子が見られた．直接タッチ操作ではユーザがオブジェクト付近に移動して入力を行うため，再度入力を行う際に時間がかからないが，HandyScope は一度終了してしまうとポインティングを再び行う必要がある．これにより，HandyScope による回転及び拡大縮小タスクに時間がかかったと考える．

また，HandyScope は遠隔地を操作することを想定して設計されているため，より遠くの位置に対する操作では直接タッチに比べて所要時間がより短くなることが予想される．HandyScope が遠距離の操作に対して有用な手法であることを確認するため，それぞれのタスクにおけるオブジェクトまでの距離毎の所要時間を用いて，操作条件における距離による特性を調べた．この結果を図 12 に示す．また，距離に依存した所要時間の変化を確かめるため，各タスクごとに手法及び距離の 2 要因の分散分析を行った．選択タスクにおいては，手法及び距離による主効果が見られた ($t(19) = 2.72$, $p = .023 < .05$($t(19) = 5.10$, $p = .007 < .01$)．また，交互作用における単純主効果については，距離が 86.9cm の場合の有意確率は $p = .040 < .05$($t(39) = 2.22$) であったのに対し，距離が 106.3cm の場合の有意確率は $p = .007 < .01$($t(39) = 3.04$) であった．すなわち 106.3cm における信頼度が 86.9cm における信頼度より高いため，HandyScope の性能が距離の増加に応じて高くなる可能性が示された．また，回転及び拡大縮小タスクにおいては，有意な差が見られなかった．これは本実験における直接タッチ操作に要するユーザの移動が 2，3 歩と短かったためであると考えられる．したがってオブジェクトまでの距離がより遠くなれば，HandyScope を用いた場合の所要時間が直接タッチを用いた場合に比べて有意に短くなると考えられる．

また，本実験では HandyScope の初期の CD 比を，容易にポインティング可能となるように設定したため，CD 比の変更を行う被験者はほぼ見られなかった．このため，CD 比の動的な変更について評価を得るためには，改めて詳細な調査を行う必要がある．

4.7　アンケート結果とその考察

それぞれのタスクにおける，HandyScope とタッチ操作のどちらの手法が好みであったかのアンケート結果を図 13 に示す．

選択タスクにおいては全ての被験者が HandyScope が好みであると答えた．また，拡大縮小タスクにおいては 8 人の被験者が HandyScope が好みであると答えた．この内全ての被験者がその理由として，タッチ操作ではオブジェクトに手が届く位置まで移動する必要があるが，HandyScope はその場にて操作を行うことができるためと答えた．

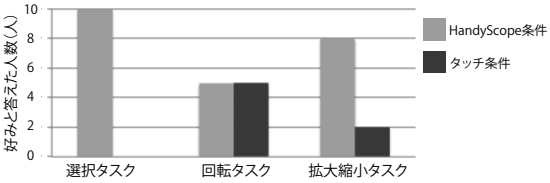


図 13　手法の好みのアンケート結果.

回転タスクにおいては好みが別れた．2 名の被験者は回転操作に両手を用いることができるため，タッチ操作のほうが好みであると答えた．また，別の 2 名の被験者は base-fingers を常にテーブルトップ上に接触させることが大変であったと答えた．別の被験者 1 名は試行の失敗時における HandyScope の再起動は手間であると答えた．

拡大縮小タスクにおいてタッチ操作が好みと答えた被験者 2 名は，その理由として常に base-fingers をテーブルトップ上に接触させることが大変であったと答えた．

そのため，今後は base-fingers をタッチパネル上から離しても遠隔地の操作を続けられるように，サークルを固定させる機能を実装する．

5　議論

本節では複数人での使用及び，引き出し方向について議論する．

5.1　複数人での使用

HandyScope は引き出しジェスチャにより操作を行うため，複数のユーザが同時に使用しても従来のマルチタッチ操作と競合しない．これを確かめるために，著者らは 4 節と同様の環境にて，協力して散らばった写真を並べるタスクを行った．タスクを行っている様子を図 14 に示す．このタスクでは大きさ，位置，角度がランダムになった 20 枚の写真を表示し，それを 2 人が協力して並べる操作を 5 回行った．タスク中，著者らは移動せず，手の届かない領域は全て HandyScope を使用して操作した．

このタスクの結果，HandyScope を誤って起動することは無かった．よって HandyScope は従来のマルチタッチ操作と競合しにくいと言える．

図 14　2 人のユーザによる協調作業.

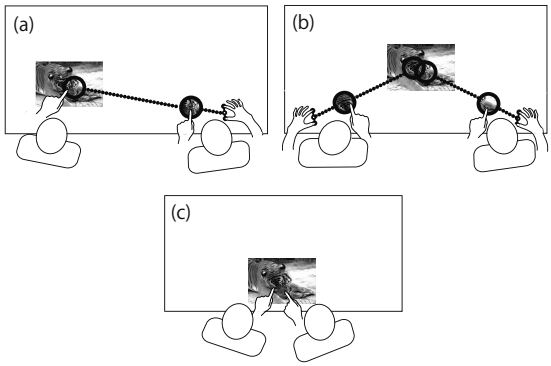


図 15　a，b) 複数人にて HandyScope を使用した際に起こりうる状態，この際の操作は，c) 複数人にて同一箇所を共同して操作する場合と同様.

なお，今回の実験では見られなかったが，複数人にて HandyScope を使用した際，図 15a に示すように他人の Scope が手元に来る場合や，図 15b に示すように複数人の Scope が重なる場合が起こりうる．これれらの場合には，複数人にて図 15c に示すように同一箇所を共同して操作する場合と同様に操作が行えると考えられる．

今後は被験者実験により，これらについて詳細に調査する予定である．

5.2　引き出し方向

引き出しジェスチャは図 16 に示すように 2 種類の引き出し方向が考えられる．そこでどちらの引き出し方向が HandyScope に適しているかを調べるために，4.3 節に挙げた選択タスクを著者らが行った．その結果，図 16b の引き出し方向による操作が図 16a の引き出し方向による操作よりも所要時間が短くなった．

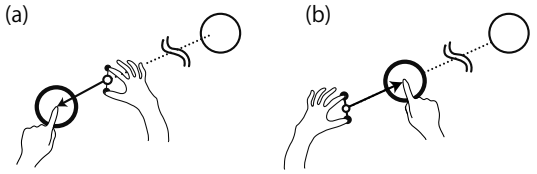


図 16 引き出し方向.

所要時間に違いが生じた理由として，図 16a の引き出し方向では handler と scope 間の視線の移動距離が大きくなり，ポインティングが困難になることが考えられる．このため，HandyScope の引き出し方向を図 16b の方向に決定した．今後は被験者実験を行い，この妥当性を評価する予定である．

6 まとめ

我々は新たな遠隔地操作手法として HandyScope を示した．HandyScope を用いることにより，ユーザは 2 種類の円形のウィジェットを用いて遠隔地を素早くポインティングできる．ポインティング後は，遠隔地の直接操作や遠隔地と手元間におけるオブジェクトの移動が可能である．

評価実験の結果，遠隔地を選択する場合 HandyScope は有用であることを確かめた．また，アンケートから HandyScope がユーザに好まれることを確認した．今後は，base-fingers をテーブルトップから離しても遠隔地の操作を続けられるように，サークルを固定させる機能を実装する．また，CD 比を動的に変更できることの詳細な評価や，オブジェクトの移動について評価を行う．さらに，複数のディスプレイを連携させた際や，大型壁面タッチディスプレイに本手法を適用させた際の有用性についても調査していきたい．

参考文献

[1] Abednego, M., Lee, J.H., Moon,W. and Park, J.-H.: I-Grabber: Expanding physical reach in a large-display tabletop environment through the use of a virtual grabber, in *Proc. ITS '09*, pp. 61–64.

[2] Balakrishnan,R., Fitzmaurice,G., Kurtenbach,G. and Buxton.W.: Digital tape drawing, in *Proc. UIST '99*, pp. 161–169.

[3] Banerjee, A., Burstyn, J., Girouard, A. and Vertegaal,R.: Pointable: An in-air pointing technique to manipulate out-of-reach targets on tabletops, in *Proc. ITS '11*, pp. 11–20.

[4] Banovic,N., Li,F. C.Y., Dearman,D., Yatani,K. and Truong,K.N.: Design of unimanual multi-finger pie menu interaction, in *Proc. ITS '11*, pp. 120–129.

[5] Bartindale,T., Harrison,C., Olivier,P. and Hudson, S.E.: SurfaceMouse: Supplementing multi-touch interaction with a virtual mouse, in *Proc. TEI '11*, pp. 293–296.

[6] Baudisch, P., Sinclair,M. and Wilson,A. Soap: A pointing device that works in mid-air, in *Proc. UIST '06*, pp. 43–46.

[7] Benko,H., Wilson,A.D. and Baudisch,P.: Precise selection techniques for multi-touch screens, in *Proc. CHI '06*, pp. 1263–1272.

[8] Bolt,R.A.: Gaze-orchestrated dynamic windows, *SIGGRAPH Comput. Graph.*, Vol.15,No.3(1981), pp. 109–119.

[9] Furumi, G., Sakamoto, D. and Igarashi, T.: SnapRail: A tabletop user interface widget for addressing occlusion by physical objects, in *Proc. ITS '12*, pp. 193–196.

[10] Grossman,T., Balakrishnan,R., Kurtenbach,G., Fitzmaurice,G., Khan, A. and Buxton, B.: Creating principal 3D curves with digital tape drawing, in *Proc. CHI '02*, pp. 121–128.

[11] Khan,A., Fitzmaurice,G., Almeida,D., Burtnyk,N. and Kurtenbach,G.: A remote control interface for large displays, in *Proc. UIST '04*, pp. 127–136.

[12] Malik,S., Ranjan,A. and Balakrishnan,R.: Interacting with large displays from a distance with vision-tracked multi-finger gestural input, in *Proc. UIST '05*, pp. 43–52.

[13] Matejka, J., Grossman, T., Lo, J. and Fitzmaurice, G.: The design and evaluation of multi-finger mouse emulation techniques. in *Proc CHI '09*, pp. 1073–1082.

[14] Myers, B. A., Bhatnagar, R., Nichols, J., Peck, C.H., Kong, D., Miller, R. and Long, A.C.: Interacting at a distance: Measuring the performance of laser pointers and other devices, in *Proc. CHI '02*, pp. 33–40.

[15] Parker, J.K., Mandryk, R.L. and Inkpen, K.M.: TractorBeam: Seamless integration of local and remote pointing for tabletop displays, in *Proc. GI '05*, pp. 33–40.

[16] Song,P., Goh,W.B., Hutama,W., Fu,C.W. and Liu,X.: A handle bar metaphor for virtual object manipulation with mid-air interaction, in *Proc. CHI '12*, pp. 1297–1306.

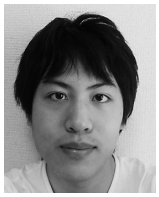
[17] Tokoro,Y., Terada,T. and Tsukamoto,M.: A pointing method using two accelerometers for wearable computing, in *Proc. SAC '09*, pp. 136–141.

[18] Voelker,S., Weiss,M., Wacharamanotham,C. and Borchers,J.: Dynamic Portals: A lightweight metaphor for fast object transfer on interactive sur-

faces, in *Proc. ITS '11*, pp. 158–161.
[19] Vogel,D. and Balakrishnan,R.: Distant freehand pointing and clicking on very large, high resolution displays, in *Proc. UIST '05*, pp. 33–42.
[20] Wang,R., Paris,S. and Popović,J.: 6d hands: Markerless hand-tracking for computer aided design, in *Proc. UIST '11*, pp. 549–558.
[21] Yoshikawa,T., Shizuki,B. and Tanaka,J.: Handy-Widgets: Local widgets pulled-out from hands, in *Proc. ITS '12*, pp 197–200.
[22] Zhang,H., Yang,X.D., Ens,B., Liang,H.N., Boulanger,P. and Irani,P.: See Me, See You: A lightweight method for discriminating user touches on tabletop displays, in *Proc. CHI '12*, pp. 2327–2336.

栗原拓郎

2013 年筑波大学情報学群情報メディア創成学類卒．同大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻博士前期課程在学中．公共空間におけるインタラクションに関する研究に興味を持つ．ACM，情報処理学会各会員．



三田裕策

2013 年筑波大学情報学群情報メディア創成学類卒．2014 年同大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻博士前期課程修了．ヒューマンインタフェースに関する研究に興味を持つ．

大西主紗

2014 年筑波大学情報学情報科学類卒．同大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻博士前期課程在学中．ヒューマンインタフェースに関する研究に興味を持つ．情報処理学会会員．

吉川拓人

2011 年筑波大学情報学情報科学類卒．2013 年同大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻博士前期課程在修了．タッチインタラクション及び GUI に関する研究に興味を持つ．

志築文太郎

1994 年東京工業大学理学部情報学科卒業．2000 年同大学大学院情報理工学研究科数理・計算科学専攻博士課程単位取得退学．博士 (理学)．現在，筑波大学大学院システム情報系准教授．ヒューマンインタフェースに関する研究に興味を持つ．日本ソフトウェア科学会，ACM，IEEE Computer Society，電子情報通信学会，ヒューマンインタフェース学会各会員．

田中二郎

1975 年東京大学理学部卒業．1977 年同大学大学院理学系研究科修士課程修了．1984 年 Dept. of Computer Science, University of Utah 博士課程修了．PhD. in Computer Science．1985 年から 1988 年に (財) 新世代コンピュータ技術開発機構にてロジックプログラミングの研究開発に従事．1993 年から筑波大学に勤務．現在，大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻長，システム情報系情報工学域長．ヒューマンインタフェース全般，プログラミング言語の設計や実装，未来の情報環境の構築に興味を持つ．ACM，IEEE，情報処理学会，電子情報通信学会，人工知能学会各会員．