

マウスおよびスタイラスによるストローク入力を 周辺視野領域への動き提示で制御する試み

加藤 恭一郎¹ 福地 健太郎¹

概要: マウスやスタイラスによる PC 画面上でのストローク入力は、ユーザの手癖や技量によって思い通りに動かせないことがある。ここで、ストローク入力をする際にユーザは視覚情報も手がかりの一つとしてその動きを制御していると仮定し、PC 画面上でユーザの周辺視野領域にあたる部分に動きパターンを提示することにより、ストローク入力の軌道を変化させることができないかを実験した。実験の結果、マウス操作の場合にカーソルを消した状態では周辺視野刺激の影響が確認された。この手法の応用として、指先での微細な操作の精度を向上させる手法を提案する。

1. はじめに

人間の指先は微細な作業ができるポテンシャルを持っている。微細作業をする際には目で対象を捉えながらの作業が不可欠だが、指先の繊細さに比べると人間の視覚は決して十分な解像度を持っていない。このことは、微細作業時には拡大鏡や顕微鏡などによって対象を拡大すると作業がしやすくなることからわかる。つまり、何がしかの手段で視覚の精度を向上させることにより、指先による微細作業の精度を發揮することができるようになる。

拡大鏡や顕微鏡などの手段は歴史があり信頼性も高いが、視野内で拡大された領域とそれ以外の通常視野との間に歪みが生じてしまい、また対象物の全体像を把握することはできなくなる、という問題がある。そこで我々は、対象物を拡大するかわりに、指先の微細な動きを間接的に利用者に伝えることにより、この問題を解決することを狙い、研究を進めている。現在、周辺視野領域に指先の動きの方向とその量を拡大したものを提示することにより微細作業を支援することを試みている。周辺視野領域は空間解像度に劣るが、動きの感覚に優れている。そこで、中心視野は通常の視界を保ち、そこへ周辺視野への動き提示を組み合わせることで、視界をあまり妨げることなく微細作業の精度を向上させることができるのではないかと仮説し、予備実験を進めている。

今回、まず周辺視野への動き提示によって指先の動きに影響を与えることができるかを検証する予備実験を実施した。液晶ペンタブレットを用いて、スタイラス操作とマウス

操作を対象に、線を描く指示を被験者には与え、周辺視野へ手の動きを拡大したものを画面上の周辺部に提示した。その結果、スタイラス操作やマウスカーソルが見えている状態でのマウス操作に対してはほとんど影響は見られなかったが、マウスカーソルが見えていない状態での操作に対しては、動き提示による影響が見られた。この結果より、動きが目視できない程度の細かい動きについては、周辺視野への動き提示により精度を向上させることができる可能性が示された。

2. 背景

人間の指先の感覚は非常に鋭敏であることが知られている。例えば鏡面加工の熟練工は指先の感覚で $1\mu\text{m}$ 以下の凹凸を感じることも可能という。さらに手に軍手を装着すると、さらに微細な凹凸を感じるができる場合があり、菊植らはこの原理を応用し、指先の感覚を増感することを可能にする素材を開発した。菊植らはコンタクトレンズが視力を強化することになぞらえ、開発した素材を触覚コンタクトレンズと名付けている [6]。指先の感覚の鋭さだけでなく、その制御の精度についても訓練次第で微細な動きを人間が可能とすることは知られている。職人の手先は言うに及ばず、例えばゲーマー向けには繊細な操作を可能とするマウスが市販されており、中にはトラッキング解像度が 6,000dpi (一般的な用途向けのマウスでは 500~1000dpi 程度) にまで達するものも販売されている*1。

微細作業は実物体を対象とした作業だけでなく、コンピュータ画面上での作業についても関係する。近年はディ

¹ 明治大学
Meiji University

*1 手をあまり大きく動かさずにマウスカーソルを動かすために高解像度設定を好むゲーマー向け。

ディスプレイの高解像度化が進み、400dpi 超のディスプレイが携帯端末やタブレット PC 用に普及し、ノート PC やデスクトップ PC でも採用が進みつつある。こうした状況では、従来のコンピュータ画面ではドット単位の操作も目視で可能であったが、人間の網膜解像度に匹敵するコンピュータ画面上では非常に困難である。

3. 関連研究

指先の微細な動きをコンピュータの入力装置に応用するという考え方は古くから研究が進められている。近年はタッチパネルをそなえた携帯端末やタブレット PC が普及しているが、タッチパネルの入力解像度は画面解像度と比べると粗く、指先の繊細さを活かしていない。Beraldらはタッチ操作はどれほど細かい操作まで可能であるかを調査しており、並進方向で 150dpi 程度の解像度で人間はタッチ操作を制御できることを示している [2]。

周辺視野への動き提示により人間の行動に影響を及ぼす手法としては、岡野らはヘッドマウントディスプレイ (HMD) 方式を採用し、LED マトリクスを用いて周辺視野へ動き提示をすることにより速度感覚の増強を図っている [8]。古川らは、歩きながら見ると白黒の縞模様が横に流れて見える装置をレンチキュラレンズを用いて開発し、歩行誘導への応用を検証している [5]。検証実験により、提案装置を用いることで歩行者の動きを並進運動方向に誘導できることが判明している。

対象の全体を表示すると細部の情報が見えなくなり、注目している部分のみ拡大表示すると全体情報が失われるという問題を“Focus+Context”問題と呼ぶ。Furnasらは魚眼レンズのように、注目している中心部分を拡大し、周辺部は連続性を保ちつつ歪めて表示することで、両方の情報を一つの画面に押し込む手法として“Fisheye View”を提案している [3]。その後、画像を歪めて注目部の拡大と全体像の把握を両立させる手法は様々に提案されている [4]。

周辺視野は解像度の認識に劣るという特徴を利用した提案としては、Baudisch らの“Focus+Context Display”がある [1]。これは注目部分には高解像度のディスプレイを利用し、周辺部分には解像度の劣るプロジェクタを使用して映像を投影するシステムで、画面全体を高解像度にするることによる設置コストや計算コストの増大を抑えつつ、大画面による臨場感や全体像の把握のしやすさを提供することを狙っている。Focus+Context Display はディスプレイ周辺にスクリーンを設置する必要があるが、ディスプレイ周辺に置かれたものの三次元ボリュームを計測して利用者からは歪みなく見えるように投影することを可能にしたシステムとして、IllumiRoom がある [7]。

4. 研究概要

本研究では、注目部分の拡大表示ではなく、通常視野を

できるだけ妨げたり歪めたりせずに、指先での微細作業の精度を向上させることを目指している。その一環として今回は、周辺視野を利用する手法を提案する。

周辺視野は解像度が中心視野に比べて低く、色覚の感度も低いため、おおまかにしかものを見ていない。一方で動きに対する感度は高く、自分の身体の動きや態勢を把握し、また中心視野外での他のものの動きに注意を払っている。そこで本研究では、この周辺視野部分に、指先の動きを増幅した信号を提示することにより、自分の指先がどの方向にどれくらい動いたかを視覚的に把握できる仕組みを考えた。

今回想定している環境は、机上での実物体あるいはコンピュータ画面を対象とした微細作業である。ここで、机上の周縁部にノイズパターンを投影し、指先やマウス操作の動きを捉えて、その動きの方向に、量を増幅してノイズパターンを動かす。利用者の目からは、中心視野では通常と同じく作業対象を捉えているが、周辺視野ではノイズパターンの動きを捉えることとなる。利用者にとっては、自分の指先がどの方向にどれくらい動いたかを、中心視野解像度を超えた領域で把握することができ、裸眼による目視ではできない微細作業を支援することを狙っている。

5. 実験概要

周辺視野へノイズパターンで動きを提示することで、指先の動きを感覚的に把握することができ、それを操作精度の向上に役立てられるかどうかはまだわかっていない。そこで今回は指先の動きに影響を及ぼす効果があるかどうかを明らかにすることに的を絞り、実験を実施した。

具体的には、被験者にはコンピュータ画面上でマウスおよびペンタブレットでの操作を行ってもらい、作業内容は、指示に従って画面上で線を描くというものである。その際、画面上の周縁部でノイズパターンを提示し、マウスやペンの動きを増幅して表示する (図 1)。この際に、動き提示のパターンを様々に変えながら、被験者が描いた線の軌跡に影響があるかどうかを調べる。要求する作業は微細作業という程のものではないが、まずは動き提示の効果を調べるのが本実験の狙いである。

5.1 実験条件

実験には、Wacom 社製 Cintiq 22HD を使用した。画面解像度は Full HD で、画面中央には作業領域として 500×500 ピクセル (実寸で 124mm×124mm) の白い正方形を示している。この中でマウスおよびペン操作を被験者は行う。

図 2 に使用したノイズパターンを示す。使用ツールは GIMP 2.6 で、ソリッドノイズを使用した。空間周波数を低めに設定し、周辺視野で動きが追いやすようにした。

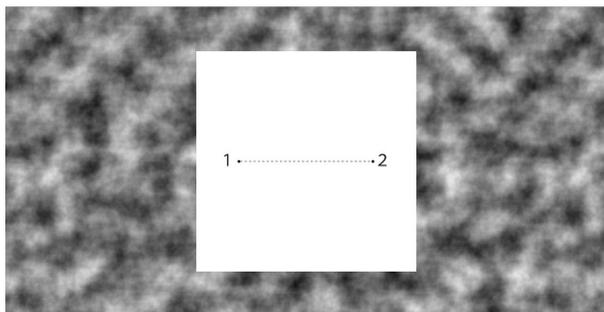


図 1 評価実験の画面。中央に 500 ピクセル四方の作業領域があり、その中に二つの点が表示されている。被験者はこの二つの点の間を線で結ぶことが求められる。

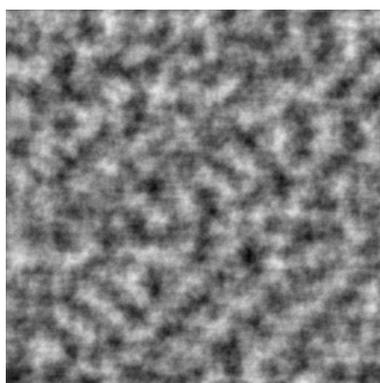


図 2 動き提示に使用したノイズパターン。

5.2 動き提示のパターン

動き提示には、以下の 5 種類を用意した (表 1)。動きの拡大率は一律に 5 倍としている。つまり、マウスを画面上 1 ピクセル分動かすと、パターンは 5 ピクセル分動く。

表 1 動き提示のパターン

逆方向	手の動きとは逆方向にパターンを動かす。手から見た周囲の動きを可視化したものと捉えることができる。
順方向	手の動いた方向と同じ方向にパターンを動かす。手の動きをそのまま拡大して可視化したもの。
ばね逆方向	逆方向と同様だが、手の動きから少し遅れて動く。初期微動をキャンセルする。
ばね順方向	ばね逆方向の向きを順方向にしたもの。
斜め	手の進行方向に直交する方向にもあわせて斜めに動く。動きパターン提示に外乱効果があるかどうかを試すことを目的としている。

また、被験者に描かせる線は次の 7 種類を用意した (表 2)。タスクがどのように画面に提示されたかについては、図 1 を参照のこと。

6. 評価実験 1: マウス (カーソルあり条件) およびペンタブレット

6.1 実験条件

この評価実験では、マウスカーソルを表示した状態での

表 2 タスク種類

1	横線ガイドあり	左から右へ 300 ピクセル (75mm) の直線を引く。破線でガイドラインが示されている。
2	横線ガイドなし	左から右へ 300 ピクセル (75mm) の直線を引く。ガイドラインは示されない。
3	縦線ガイドあり	上から下へ 300 ピクセル (75mm) の直線を引く。ガイドラインあり。
4	縦線ガイドなし	上から下へ 300 ピクセル (75mm) の直線を引く。ガイドラインなし。
5	斜め線 1	左下から右上へ斜め 45 度 300 ピクセル (75mm) の直線を引く。ガイドラインあり。
6	斜め線 2	左上から右下へ斜め 45 度 300 ピクセル (75mm) の直線を引く。ガイドラインあり。
7	円	直径 300 ピクセル (75mm) の円を描く。ガイドラインあり。

操作、およびペン操作を、7 種類の各タスクに対し、5 パターンの動き提示に加えて動きを提示しない条件下で操作させた。被験者は椅子に座らせ、テーブル上に載せた液晶ペンタブレットを、頭部位置は固定せずに好きな姿勢で使用させた。被験者は大学生および大学院生 15 名 (内女性 2 名) で、マウスおよびペンタブレットの使用経験については、全員がマウスを日常的に使用しているが、ペンタブレットは Nintendo DS を愛用していた 1 名を除いて日常的な使用はしていないと回答した。

被験者は 2 グループにわけ、片方のグループはまずマウス操作で実験し、次に 3 分間の休憩の後にペン操作に切り替えて実験した。もう片方のグループはペン操作・マウス操作の順に実験した。実験の前には 1~2 分程度練習時間を設け、動き提示がある状態でマウス操作やペン操作に慣れてもらうためにキャンバスに自由に線を描かせた。

各セッションでは、動き提示パターンの順番はランダムとした。各パターン毎に 7 種類のタスクを行わせるが、タスクの順番は固定とした。タスクの順番は表 2 に示している。

図 4 に、画面に示されたガイドラインと、そこに重ねられた被験者による操作の軌跡の例を示す。各タスクにおける操作の精度は、ガイドラインからの軌跡のずれをピクセル数で計算した。

6.2 実験結果

図 4 は、マウス操作時の誤差の平均を算出したものである。なお、軌跡を目視で確認したところ、一部の結果において極端にガイドラインから外れた操作をしたデータがあったため、これらは取り除いて算出している。同様に、図 5 はペン操作時の誤差の平均を算出したものを示している。ペン操作においても軌跡の目視確認により、異常軌跡

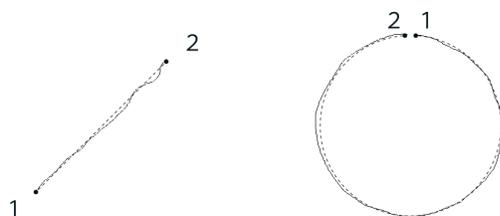


図 3 評価実験 1 で得られた軌跡の例。

を取り除いて算出している。

マウス操作・ペン操作とも共通して、分散が大きく有意差をはっきりと認める事は難しいが、マウス操作の斜め線タスクに対し、逆方向の動き提示パターンで、動き提示なし条件に比べて改善が見られる (t 検定で $p < 0.1$)。一方で、逆方向の動き提示パターンは横線ガイドラインあり条件で精度悪化の傾向がある。また斜めの動きパターンは総じて精度悪化の傾向が強い。ペン操作においては、横線ガイドラインあり条件において、逆方向の動きパターンの場合に悪化している ($p < 0.05$)。

6.3 考察

評価実験 1 の条件下では総じて結果に一貫性がなく、動きパターン間で明確な傾向を見ることはできなかった。この一つの要因として被験者は、マウスの場合はカーソルを、ペン操作の場合はペン先を、それぞれ目視できるため、自分の手の動きのフィードバックを中心視野で直接得られており相対的に動き提示の効果が小さくなり検出できなかった可能性がある。本研究の元々の狙いは、目視では確認できない微妙な操作に対する動きの拡大提示の影響を調べることにあるため、こうした直接的フィードバックが得られない状況下でも実験する必要がある。

そこで、次の評価実験では、中心視野でのフィードバックを無くし、周辺視野での動き提示だけしか視覚の手がかりがない状態で動き提示の効果を測定する。

7. 評価実験 2: マウス (カーソルなし条件)

7.1 実験条件

評価実験 2 では、実験 1 と同様のタスクをマウス操作で行わせるが、マウスカーソルおよび描いた軌跡を画面に表示しない状態で操作させる点が異なる。これにより、被験者は自分の手の動きを中心視野で得ることはできず、周縁部の動き提示からのみフィードバックを得ることとなる。

動き提示のパターンは、実験 2 では順方向と逆方向の 2 種類に減らし、またタスクは横線・縦線・斜線 (左上から右下) の 3 種類とした。被験者は大学生および大学院生 6 名で (すべて男) で実施した。

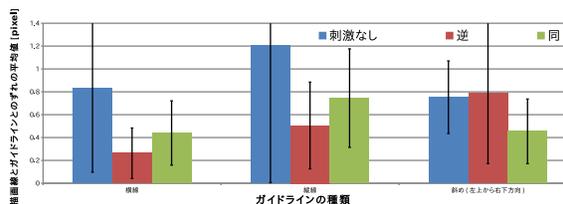


図 6 評価実験 2: ガイドラインからの誤差

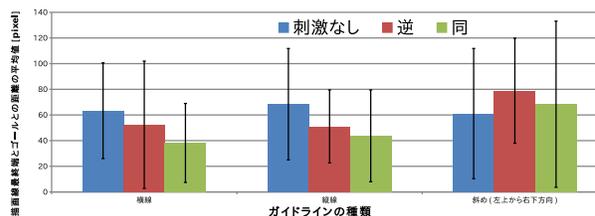


図 7 評価実験 2: 操作終了時のゴールまでの距離

7.2 実験結果

実験結果を図 6 と図 7 に示す。

図 6 には評価実験 1 と同じく、ガイドラインからの誤差を示している。横線ガイドラインあり条件において、逆方向の動きパターンを提示した場合有意に精度が改善されることがわかった ($p < 0.1$)。

図 7 には、被験者が線を描き終わったとしたところから実際の目標点までの残り距離をピクセルで示した。平均の残り距離は動き提示があるときに減少する傾向はあるが、 t 検定では有意差は認められなかった。

7.3 考察

評価実験 1 に比べると評価実験 2 では動き提示をした場合の精度改善の傾向が見てとれる。ガイドラインからの誤差を見た場合、縦線および横線を描かせた場合に精度が向上しているが、斜め線では改善が見られない。この説明としては手の動かしやすさの差に加え、ノイズパターンの動きから手の動きを読み解くのに、縦または横方向にだけ動かしている場合はそれと直交する方向への動き (すなわちずれを生じる方向) が起きているかどうかを判断しやすいのに対し、斜めに動いている場合はそれが判別しにくいのではないかと我々は考えている。

操作終了時の残り距離については、カーソルを動かす際に単に方向だけでなく、どれくらいマウスカーソルを動かしたかどうかを被験者が把握できているかどうかを調べることを目的としている。結果より、縦線および横線を描かせたときの改善傾向が見られるが、さらなる実験を必要とする。

8. 議論

周辺視野に対する動き提示がマウスおよびペン操作に影響を及ぼすという仮説に対しては、マウスカーソルが見え

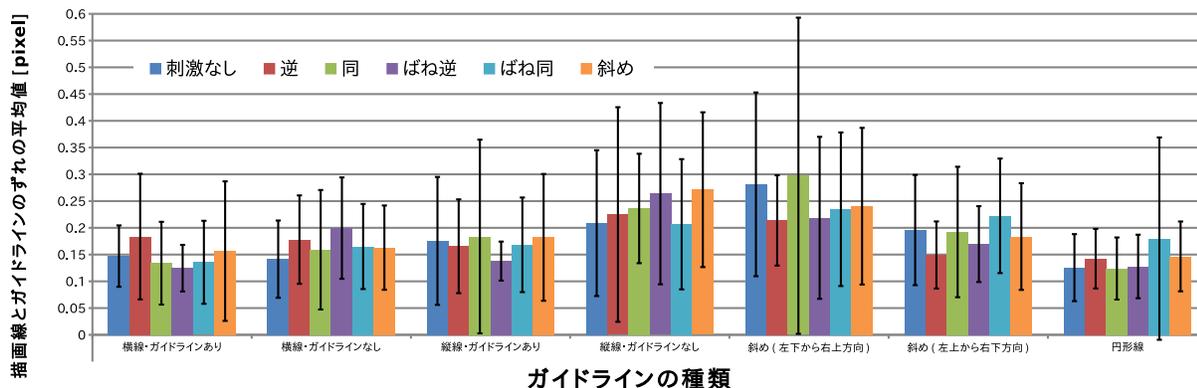


図 4 評価実験 1:マウス操作時 (カーソル表示あり) の結果

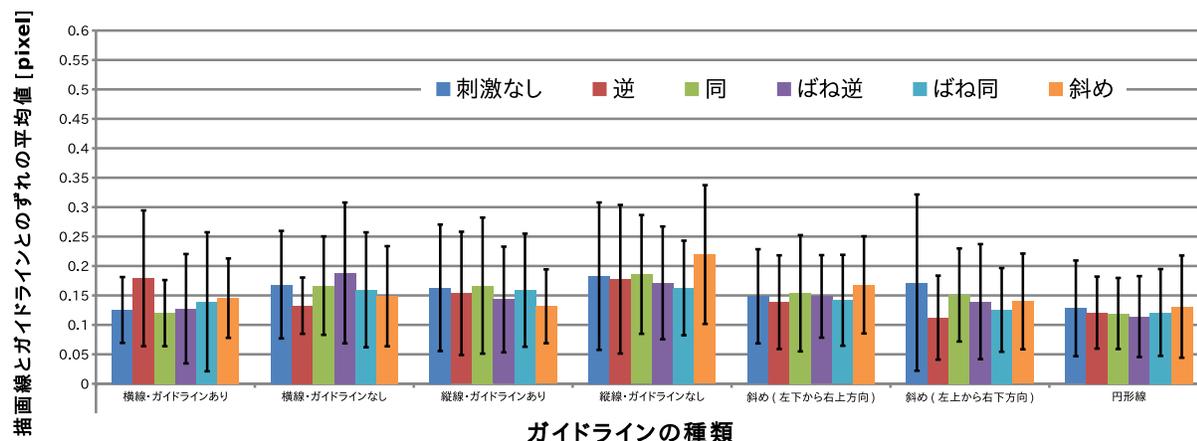


図 5 評価実験 1:ペンタブレット操作時の結果

ず視覚的手掛かりが動き提示以外に得られない場合には、影響を及ぼすという結論を導くことができる。同条件下では精度改善の割合が2倍以上あり、中心視野でフィードバックが得られないような場合にも動き提示を視覚の手がかりに手の動きを調整できることが示されている。動いた量の把握も動き提示によって改善される可能性が示されており、動き提示によって操作の精度向上は期待できる。

一方で、マウスカーソルあり時やペン操作時については明確な効果を見出すことはできなかった。特にペン操作の場合に顕著で、動きパターンの違いによる影響はほとんど見られない。自分の手やペン先が見えている状況では、中心視野でその動きの方向や量を目視できるため、周辺視野での動き提示が影響を及ぼせなかったと見られる。中心視野でも捉えきれない微細な動きに対し影響を与えられるかどうかについては、ペンや指先の微細な動きを検出できる装置を利用して、さらに実験を進める必要がある。

今回の実験では、動きパターン間の差については明確な差は現われなかったが、評価実験2の結果からは、横線および縦線の描画においては、逆方向の動き提示の方が順方向よりも精度がより向上する可能性が示唆されている。一方で、斜め線の描画においてはこの関係が逆転している。タスクの内容によって傾向が異なる点には注意を向ける必

要がある。

周辺視野への動き提示によって、歩行誘導のように大きな身体の動きに対してだけでなく、指先での細かい作業に対しても誘導効果が得られることが今回の実験によって示された。これにより、例えばハンダづけや絵つけなどの細かい作業であったり、タッチパネル操作やペン操作に対して視覚的手がかりを与えることで精度向上を図ることが考えられる。あるいはシステム側からあえて実際の手の動きと少し異なる動きを提示することで、利用者の操作を誘導することも考えられる。例えば指先やペン先をボタンの中央に誘導してボタン操作を確実に行わせたり、移動量を錯覚させることで見かけの移動量を実際より少ないと思わせ、作業の疲労感を軽減させるなどの応用が考えられる。

9. まとめ

本研究では、微細作業を行なう際の指先の精度と目の解像度との間に存在するギャップを埋めるべく、周辺視野に対して指先の動きをフィードバックすることで視覚的手がかりを与え、作業精度を向上させるための手法を提案した。評価実験では周辺視野への動き刺激提示が手の動きに与える影響を評価し、中心視野で自分の手の動きを捉えることができない条件下において、周辺視野への動き提示の手法

が精度向上に寄与することを示した。

今後の課題として、実際に微細作業にどのような影響を与えうるかを調査するために、実際の指先の微細動作を検出できるような実験環境を整え、中心視野では捉えきれない微細な動きに対する効果を測定する必要がある。また、直線描画以外の複雑な作業に対する影響について調査する。

参考文献

- [1] Baudisch, P., Good, N. and Steward, P.: Focus Plus Context Screens: Combining Display Technology with Visualization Techniques, *Proceedings of UIST '01*, pp. 31–40 (2001).
- [2] Bérard, F. and Rochet-Capellan, A.: Measuring the linear and rotational user precision in touch pointing, *Proceedings of ITS 2012*, New York, NY, USA, ACM, pp. 183–192, DOI: 10.1145/2396636.2396664 (2012).
- [3] Furnas, G. W.: Generalized Fisheye Views, *Proceedings of CHI'86*, pp. 16–23 (1986).
- [4] Furnas, G. W.: A Fisheye Follow-up: Further Reflections on Focus + Context, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '06*, New York, NY, USA, ACM, pp. 999–1008, DOI: 10.1145/1124772.1124921 (2006).
- [5] Furukawa, M., Yoshikawa, H., Hachisu, T., Fukushima, S. and Kajimoto, H.: “Vection field” for pedestrian traffic control, *Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference, AH '11*, New York, NY, USA, ACM, pp. 19:1–19:8, DOI: 10.1145/1959826.1959845 (2011).
- [6] Kikuuwe, R., Sano, A., Mochiyama, H., Takesue, N., Tsunekawa, K., Suzuki, S. and Fujimoto, H.: The Tactile Contact Lens, *Proceedings of IEEE Sensors 2004*, Vol. 2, pp. 535–538, DOI: 10.1109/ICSENS.2004.1426219 (2004).
- [7] Research, M.: IllumiRoom: Peripheral Projected Illusions for Interactive Experiences, <http://research.microsoft.com/en-us/projects/illumiroom/>.
- [8] 岡野 裕, 雑賀慶彦, 橋本悠希, 野嶋琢也, 梶本裕之: 速度感覚増強のための周辺視野への刺激提示手法の検討, 情報処理学会研究報告. HCI, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告, Vol. 2008, No. 11, pp. 145–150 (2008).