



THE VIRTUAL REALITY SOCIETY OF JAPAN

リアルタイムとスローモーションを共存させるインタフェース

The Interface that Enables to Coexist Real-Time and Slow-Motion

村本剛毅¹⁾, 齊藤寛人²⁾, 脇坂崇平²⁾, 笠原俊一²⁾³⁾, 稲見昌彦²⁾

Goki MURAMOTO, Hiroto SAITO, Sohei WAKISAKA, Shunichi KASAHARA, and Masahiko INAMI

1) 東京大学 理科一類 (〒 153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1, goki-muramoto@g.ecc.u-tokyo.ac.jp)

2) 東京大学 先端科学技術研究センター (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

3) ソニーコンピュータサイエンス研究所 (〒 141-0022 東京都品川区東五反田 3-14-13)

概要: リアルタイムかつスローモーションの体験を実現する手法を提案する。具体的には、入力映像を特定の長さ毎に2つ分割し、それぞれを1/2倍速にしたものを両眼に分けて提示し、それらを異なるタイミングでリアルタイムの映像に戻すことで、連続的なスローモーションを維持しつつ、実時間との乖離が広がらない映像提示環境を構築した。実験により、提案手法によって被験者が連続性のあるスローモーション体験を得たことが示唆された。

キーワード: 時間知覚, 両眼視野闘争, 拡張現実

1. はじめに

リアルタイムとスローモーションは本来両立しがたい時間の流れ方である。ここではシンプルに、リアルタイム映像をキャプチャし、スロー映像に編集してディスプレイ上で再生する場合を考えてみよう。開始時はリアルタイムと同時刻の映像であったとしても、時間がたつにつれてリアルタイムから乖離した時刻の映像となる(図1)。この乖離を解消するためには、どこかのタイミングでスロー映像の時刻をリアルタイム映像のものにリセットする必要があるが、そうすると乖離していた時間差の分の映像はディスプレイに提示されることなく失われる。

本研究は、この一見矛盾した「リアルタイムかつスローモーション」という状況を実現する手段を構築することを試みた。過去にもヒトの時間感覚を編集する拡張現実感に関する研究は多くなされているが、異なる時間の流れ方の両立に注目した例は少ない。本研究の具体的な提案は、以下の処理を行うインターフェイス Real-time Slow-motion lens (RS-lens) を実空間と体験者の間に構築することである。

- リアルタイム映像を特定の長さ毎に分割する(以降、この長さを S-D: Segment-Duration と呼ぶ)。
- その分割した映像を n 個のフレームに交互に割り当て、それぞれを 1/n 倍の再生速度の映像に引き伸ばしてタイミングをずらしつつ非同期に提示する。
- 提示には、(1) ディスプレイ内に各フレームを空間配置する、(2) フレームをアルファブレンドを用いて重ね合わせる、等の手法を用いる(実装による)。
- 各フレームでは、割り当てられた区間の分割映像の再生が終わると同時に次の区間の分割映像を再生する。

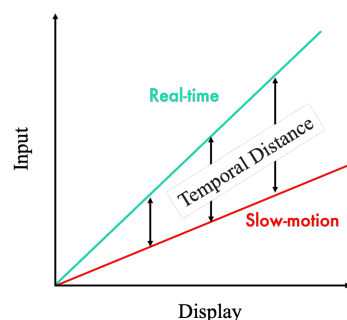


図 1: スローモーションの映像が実時間から乖離する様子。

各フレームの映像は非同期的にリアルタイムと同時刻に戻るようになるため、ある程度の映像の連続性を保った上で、リアルタイムと S-D 以上の時間的乖離が生じないスローモーション映像体験を提供できる可能性があると考えた。

フレームの提示手法はいくつかのバリエーションが考えられるが、本研究では、両眼視野の統合を利用した。具体的にはキャプチャした映像を2つに分け、1/2倍速に引き伸ばし、左右の目にそれぞれ提示する手法(以降、これを両眼統合型 RS-lens と呼ぶ)を採用した。この手法では、同一ディスプレイ上に複数の像を提示する方法に比べ、より実空間での視野に近い体験を展開できる可能性がある。本論文ではまず実装の詳細を紹介する。次に心理実験により、両眼統合型 RS-lens を用いた条件と単一のスロー映像を S-D 毎にリアルタイムに戻す条件とで、映像をスローモーションとして認知する度合い(以降、スロー感と呼ぶ)と連続的な映像体験と感ずる度合い(以降、連続感と呼ぶ)の評価がどのように異なるかを検証する。

2. 関連研究

2.1 時間知覚への人為的介入

数秒スケールの時間知覚については、未解明ではあるものの、これまで数多くの神経メカニズムモデルが提唱されており [1][2]、さらにはなんらかの手段で人為的介入を行うことによって時間知覚に変容を生じさせる試みも行われている。例えば、単位時間あたりの提示する刺激の数を増加させることや [3][4]、眼球運動を早めることで [5]、体感する時間が伸長することが知られている。本研究でも時間知覚への介入を試みるという点では同じであるが、実空間と体験者の間にインターフェイス (lens) を挟むことによって実現する、というアプローチをとる。

2.2 両眼視野闘争

左右の目それぞれで異なるイメージを見た場合、それらのイメージが知覚上時間的・空間的に排他的にせめぎ合う。この現象は両眼視野闘争と呼ばれ、19世紀ごろからさかんに研究されている [6][7][8]。ただし左右の目に提示されるイメージによっては (例えば映像内事物の配置がわずかに異なる等)、どのようなせめぎ合いが起きているかを意識することは難しい。本研究では、以下に記述するように、両眼にわずかに異なる時刻の映像を提示する。映像内の事物に急激な時間変化が伴わない限りは、微小な視野闘争が映像全域で生じつつも、ある程度連続性のある映像体験が成立することになる。

3. 提案手法

本研究では、連続性のあるスローモーションの映像体験をリアルタイムと乖離しない状態で提供するインタフェースとして、第1章で述べたようなRS-lensを提案する。特に本論文では、キャプチャした映像を2つに分け、それぞれを1/2倍速に引き伸ばし、左右の目に同時に提示する両眼統合型RS-lensを構築する。

両眼統合型RS-lensでは体験者はカメラ付きのヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着し、キャプチャされた入力映像に図2に示したような編集を行った映像を観察する。この編集のアルゴリズムにおいて、左右それぞれのディスプレイに提示される映像は、設定したS-Dの分割映像の再生が終わる毎にリアルタイムの時刻の映像に切り替わるが、そのタイミングにおいて、もう一方のディスプレイにはS-Dの中央にあたる映像が再生されることとなる。この一方の映像が不連続になるタイミングにおいて、もう一方が常に連続性を保っているという設計によって、体験者は左右の映像を互いに補完しあって解釈し、片方の映像では不連続と感じてしまうS-Dであっても、ある程度の連続感を高められる可能性があると考えた。

また、提案手法の設計において、S-Dの長さが重要なパラメータの一つとなっていると考えられる。なぜならば、片方の映像について考えた場合、S-Dは大きいほどスロー映像が提示される時間が長くなるため、スロー感が高くなるが、リアルタイムの時刻に切り替わった際も時間差が大き

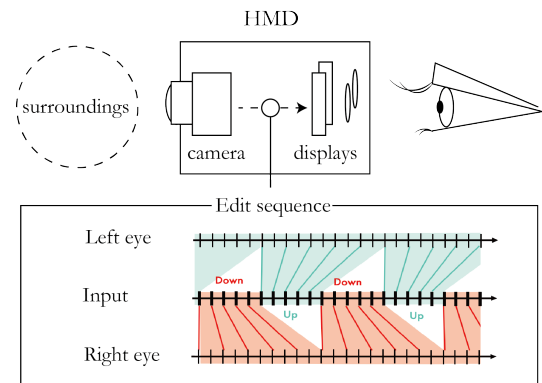


図2: 両眼統合型RS-lensにおける編集のアルゴリズム。カメラによる入力映像をS-D毎に2つに分割し、それぞれを1/2倍速にしたものを左右の目それぞれに対応した2つのディスプレイに分けて提示する。

くなるため、連続感が低くなるというトレードオフがあると考えられるためである (図3)。提案手法の有効に働く上では、単一の映像においては不連続と認知されるS-Dにおいて提案手法を適用することで、そのS-Dにおけるスロー感を保ったまま、前述のアルゴリズムによって連続感を高めることができる環境が望ましい。そこで後述する実験では、まず単一の映像において不連続と認知されるS-Dの閾値を検証する (実験1)。その後、求めた閾値を基に単一の映像では不連続として判断されると予想されるS-Dに対して、提案手法を適用することで連続性を保ったスロー映像体験として認知されやすくなるかを評価する (実験2)。

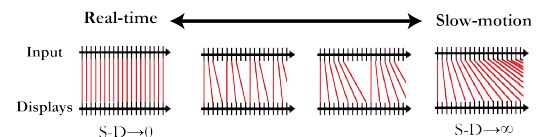


図3: 単一映像のS-Dによる変化。S-Dが大きくなるにつれてスロー映像の提示時間は長くなるが、実時間との乖離も大きくなる。→「スロー感」と「連続感」のトレードオフ。

4. 実験1: S-Dと連続感の関係の検証

提案手法と評価に先駆けて、比較対象となる単一のスロー映像をS-D毎にリアルタイムに戻す条件 (以降、これを単一映像と呼ぶ) において、不連続の映像と認知されるS-Dの閾値を調べた。被験者は18歳から20歳 (中央値19歳) までの9名 (男性6名・女性3名) で、全員右利きであった。

4.1 タスクデザイン

実験では、被験者はデバイスごしに自身の利き腕を動かして観察した。ここで被験者の視覚対象として被験者自身の手の運動を選定した理由は、リアルタイムの速度における連続的な映像の手がかりとして、体性感覚による自己運動感覚を利用するためであった。単一映像では、両眼統合型RS-lensにおいて右目側のディスプレイに提示する映像を、左右両方のディスプレイに提示する。タスク中のS-D

は被験者の操作によって連続的に調整可能であり、被験者には自らが映像に連続感を感じる閾値に S-D を調整させた。

4.2 手続き

実験は以下のような手続きを 1 試行とし、1 分間の休憩挟みながら、1 被験者あたり 10 試行を繰り返し実施した。

1. 初期値として設定された S-D での利き手の運動の観察を開始する。
2. 手の運動を観察しながら、もう一方の手でスライダーを動かして、S-D を連続感を感じる閾値に調整する。
3. 被験者が S-D を閾値に調整したと申告すると同時に試行を終了する。

各試行開始時の S-D の初期値には 0ms と 400ms (明らかに不連続と感じられると予想される値) の 2 つを交互に設定した。また、実験終了後に 10 試行分の試行終了時の S-D の平均値を計算し、それをその被験者の閾値として記録した。

4.3 結果

S-D の閾値の被験者間の平均値は約 136ms (SD = 24.9) であった。

5. 実験 2 : 両眼統合型 RS-lens の主観評価

実験 1 で得た連続感を感じる閾値以上の S-D において、提案手法を使用することによるスロー感と連続感への効果を主観評価によって調査した。被験者は 19 歳から 20 歳 (中央値 20 歳) までの 7 名 (男性 5 名・女性 2 名) で、全員右利きであった。

5.1 タスクデザイン

実験 1 の結果から得た不連続と感じる閾値の平均 136ms よりも大きい S-D として 200ms を選定し、これに両眼統合型 RS-lens 適用することで、スロー感と連続感にどのような変化が生じるかを評価する。各試行の映像体験では、実験 1 と同様に自身の利き手の運動を観察した。被験者には、以下の 3 つ提示条件 (図 4) における映像を体験させ、その後各条件におけるスロー感と連続感を主観的に評価させた。

(A) S-D が 200ms の両眼統合型 RS-lens

(B) S-D が 200ms の単一映像

(C) S-D が 100ms の単一映像

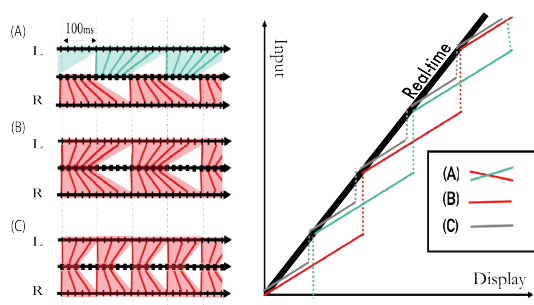


図 4: 本実験で比較する 3 つの提示条件。

条件 (A) は提案手法であり、条件 (B)・(C) は提案手法を評価するための比較条件である。条件 (C) では、実験 1 で得

た閾値よりも小さい S-D として 100ms を設定しており、被験者による評価は、連続感が高く、スロー感は低くなると予想した。反対に条件 (B) では、連続感は低く、スロー感

は高くなると予想した。主観評価は S-D が 0ms と 300ms の単一映像に対するスロー感と連続感をそれぞれ極値として設定し、7 段階の数値として回答させることで行った (i.e., S-D = 0ms: スロー感 1, 連続感 7. S-D = 300ms: スロー感 7, 連続感 1)。

5.2 手続き

実験は 1 被験者あたり計 12 試行 (3 条件×4 セッション) を試行ごとに 1 分間の休憩挟みながら繰り返し実施された。提示条件の順序は各セッション毎にランダムに決定された。各試行は以下のような手続きであった。

1. 2 つの基準刺激をそれぞれ 30 秒間観察する。
2. 3 種類の提示条件のいずれかを 1 分間観察する。
3. スロー感と連続感を 7 段階の数値で評価する。

実験終了後、各試行で被験者が評価した数値の提示条件毎の平均値を計算し、その被験者の各提示条件に対して評価したスロー感と連続感のスコアとして記録した。また、実験についての感想についてのインタビューを実施した。

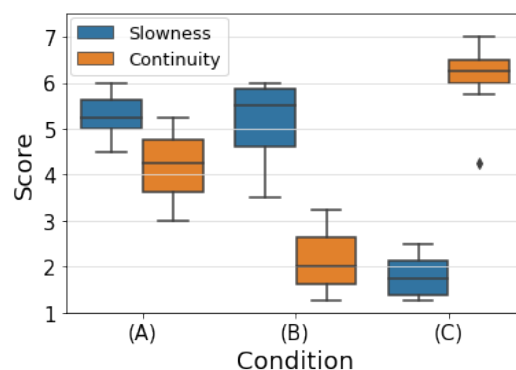


図 5: 実験 2 における主観評価の結果。

5.3 結果と考察

図 5 にスロー感と連続感の評価の集計結果を示した。各条件におけるスコアの分布の中央値に注目すると、条件 (B) においては、7 段階のスコアの中心にあたる 4 と比較して、スロー感については高く (5.50)、連続感については低かった (2.00)。反対に、条件 (C) においては、スロー感についてはスコアが低く (1.75)、連続感については高かった (6.25)。一方で、条件 (A) においては、スロー感と連続感の双方のスコアの中央値が 4 よりも高かった (スロー感: 5.25, 連続感: 4.25)。この結果は、提案手法を用いた条件 (A) においては、被験者が一定水準以上の評価をしたことを示唆する。

インタビューのコメントでは、被験者の多くが、条件 (A) について「像が一つである」と答えた。この結果は、条件 (A) においては、時間的なズレのある映像が左右に提示されることで、瞬間的には両眼で結像できない映像が提示さ

れていたと考えられるが、多くの被験者が2つの像としてではなく、1つの像として解釈したことを示唆する。

また、3人の被験者が、「疲れる」「違和感がある」コメントしたが、同時に徐々に緩和されたと回答した。提案手法使用時の「疲れ」や「馴れ」についても今後検証したい。

実験中の手の運動の種類によってスロー感や連続感に差があるとの意見があった。本研究の実験では、リアルタイムの速度の手がかりとして、体性感覚を利用するために、被験者の手の運動を観察対象として採用したが、運動に制限を設けておらず、試行間で運動が異なることが結果に影響した可能性がある。例えば、手を左右に振るなどの周期性のある運動をする場合と、そうでない場合とでは、時間的に編集された映像に対する印象が異なる可能性がある。また、被験者の随意運動を使ったことによる別の制約として、視覚と体性感覚間の感覚統合や、運動予測と視覚的結果の統合などが本実験における評価に影響を与えた可能性がある。

6. 今後の展望

RS-lens の構造を両眼統合型に展開した理由の1つは、分割した2つの映像の結合をヒトの視覚統合に委ねることで、1つの時間的に繋がりのある映像として解釈されないかという狙いがあったためであった。提案手法では連続感が高く評価されることや、一つの映像として解釈されやすかったという結果から、視覚統合におけるヒトの認知特性が映像の解釈に影響を与えた可能性があるかと著者らは考えている。例えば、仮説の1つとして、知覚した視覚情報を即時的に解釈するのではなく、ある程度の時間幅を持って保持し、時間的な連続性が保たれるように再配置された上で認知されている可能性があるのではないかと著者らは考えている。現段階では、どのような認知メカニズムがあるかは解明できていないが、今後詳細に明らかにしたい。

本論文では、分割した映像を両眼に提示した例を取り上げたが、分割した映像を同一画面上で空間的に展開するような構成も実現可能である(図6)。このバージョンでは、フレームの数を2つ以上にでき、より再生速度をより遅くできる点や、一瞬の映像の中に複数の像が存在する漫画のような運動表現を提示可能な点など、本論文の手法には見られない効果を生む可能性がある。



図6: RS-lens の実装例 (プロトタイプ)。左: 空間展開型。右: 重ね合わせ型

加えて、RS-lens の基本システムは、環境と自己の間にインタフェース (lens) を挟める状況であれば、視覚以外のモダリティでも実現可能であり、聴覚版については現在す

で予備的な実験を進めている。今後は、各モダリティでの RS-lens の体験とそのメカニズムを研究しつつ、クロスモダルな関係についても検証していきたい。

また、本手法を「通常「再生」の概念である時間的編集 (スローモーション, 逆再生, 早送り, etc.) を、リアルタイムの物理的現実の視覚体験に導入する」という新たな身体拡張のフレームワークへと展開していくことも、著者らの展望である。

7. おわりに

本研究では、リアルタイムとスローモーションを共存させる映像提示手法として RS-lens を提案した、特に本論文では、入力映像を 200ms の長さ (S-D) で分割し、両眼に分けてスロー映像を提示する両眼統合型 RS-lens を制作し、提案デバイスを使用した際の主観的なスロー感と連続感に関する評価実験を実施した。実験の結果、提案手法を使用した際には、被験者がスロー感と連続感の双方を高く評価する傾向がみられた。この結果は、提案手法によってリアルタイムと一定時間以上の乖離が生じない連続性のあるスローモーション体験を体験者に提供できる可能性を示唆する。ただし、提案手法が体験者の認知にもたらす効果を詳細に明らかにするためには、今後さらなる追加検証を行う必要がある。

参考文献

- [1] C. Douglas Creelman. Human discrimination of auditory duration. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 34, No. 5, pp. 582–593, 1962.
- [2] Sundeep Teki, Manon Grube, and Timothy D Griffiths. A unified model of time perception accounts for duration-based and beat-based timing mechanisms. *Frontiers in integrative neuroscience*, Vol. 5, p. 90, 2012.
- [3] Paul Fraisse. *The psychology of time*. 1963.
- [4] Howard C Rachlin. Scaling subjective velocity, distance, and duration. *Perception & Psychophysics*, Vol. 1, No. 1, pp. 77–82, 1966.
- [5] M Concetta Morrone, John Ross, and David Burr. Saccadic eye movements cause compression of time as well as space. *Nature neuroscience*, Vol. 8, No. 7, pp. 950–954, 2005.
- [6] Charles Wheatstone. On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision. *The Optometric weekly*, Vol. 53, pp. 2311–2315, 1962.
- [7] Nikos K Logothetis, David A Leopold, and David L Sheinberg. What is rivalling during binocular rivalry? *Nature*, Vol. 380, No. 6575, pp. 621–624, 1996.
- [8] Ilona Kovács, Thomas V. Papatomas, Ming Yang, and Ákos Fehér. When the brain changes its mind: Interocular grouping during binocular rivalry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 93, No. 26, pp. 15508–15511, 1996.