



識別子連携分散フォーマットに基づく 多感覚の経験共有プラットフォームの基礎検討

東治臣¹⁾, 朱宇凡¹⁾, Brophy Jack¹⁾, Rasa Ismael¹⁾, 森田迅亮¹⁾, 堀江 新¹⁾, 吉田貴寿¹⁾, 南澤孝太¹⁾
Haruomi HIGASHI, Yufan ZHU, Brophy JACK, Rasa ISMAEL, Jinsuke MORITA, Arata HORIE, Takatoshi
YOSHIDA, Kouta MINAMIZAWA

1) 慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科 (〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, kouta@kmd.keio.ac.jp)

概要: 視聴触覚など多感覚の記録・保存・再生は重要であるが、スマートフォンによる動画撮影など従来のデジタル機器を用いた経験共有は視聴覚が中心であり、触覚を含む多感覚の記録・保存・再生を一体管理する仕組みの普及には至っていない。本研究では異なる機器が生成する映像・音響・触覚の記録データを識別子で束ねたフォーマットで分散保存し、識別子を用いてデータを参照することで同期再生できるプラットフォームの基礎検討を行った。実装例として小型筐体の経験共有ボックスを試作して、本プラットフォームを用いた多感覚の経験共有の可能性を示す。

キーワード: 多感覚モダリティ, 分散フォーマット, 経験共有プラットフォーム

1. はじめに

人間が自身の経験を他者と共有する営みは、洞窟壁画や口承に始まり、紙媒体の手紙や写真、映画へと発展してきた。近年はスマートフォンとソーシャルメディアの普及により、視覚・聴覚情報を含む写真や動画を誰もが即時に世界へ発信できる。しかし、現行メディアは基本的に 2 感覚（視覚・聴覚）に限定されており、「その場に居合わせた」ときに生じる触覚、固有感覚（身体位置・運動感覚）、更には空間的な温度や圧力といった体性感覚を伴った経験は、依然として共有が難しい。

このような体験の多感覚化に向けて、様々な装着型や環境型の触覚インターフェース（Haptocloner[1]、FEEL TECH Wear[2]、HaptoRoom[3]）が提案されており、家族の思い出の記録、無形文化財の継承、遠隔医療、職人技術の教育など幅広い応用が期待される。より没入感の高い触覚体験に向けては複数の異なるデバイスを同時に利用することが望ましいと考えられるが、異種デバイスが生成する多様なデータを統合的に「記録・保存・再生」できるプラットフォームは実現していない。これは統合的なシステムを構築する上でのプロトコルの整備や多感覚データのフォーマットの定義と普及が遅れていることが一因であると考えられる。

本研究では、映像・音響・触覚・振動データを単一の識別子（Experience ID）で紐づけて、データをローカル及びクラウドに分散保存しつつ、高速に同期再生する「識別子連携分散フォーマット」を提案する。リファレンス実装として小型筐体の Experience Sharing Box（ESB）と統合ソフトウェア Experium Platform（Experium は Experience と Museum の造語）を開発した。ESB を用いることで様々な場所で多感覚の思い出を識別子に紐づけて記録して、分

散的に保存して、再度、識別子を用いることで多感覚の思い出を同期して再生することができる。本研究では、応用例として親子参加型ユースケース（腕相撲、ボールすくい、おもちゃで遊ぶ）を実施することで、多感覚の経験共有プラットフォームの可能性を示した。

2. 動作原理

本セクションではシステム概要と動作原理について述べる。

2.1 ハードウェア概要

ESB では、Apple 社が開発した Apple Vision Pro を Spatial Display として導入し、視聴覚データの記録と再生を行う。Spatial Display は一辺 60cm の立方体筐体内に記録時と再生時で同一のワールド座標系を維持するために固定設置されている。触覚・力覚情報の記録および再生には、株式会社 commissure が開発した 2 種類のデバイス、SenseFuse と FeelFuse をそれぞれ Haptic Memory Glove の記録・再生デバイスとして導入している。SenseFuse は、FMG (Force Myography) に基づき、前腕周囲に等間隔で配置された 16 チャンネルの FSR センサと 2 チャンネルの指先加速度センサを搭載し、前腕の筋活動を CSV 形式で、指先の振動情報を WAV 形式で記録する。

一方、FeelFuse は、4 つのモーターによる皮膚せん断刺激と 2 チャンネルの指先振動アクチュエータを備え、前腕の筋活動データは線形マッピングによってモーターの回転角へと変換され、回転式皮膚せん断刺激として提示される。また、指先の加速度データは振動子を通じて振動触覚刺激として再生される。これらの Haptic Memory Glove は制御 PC と接続され、ネットワークを介して通信と制御が行われる。

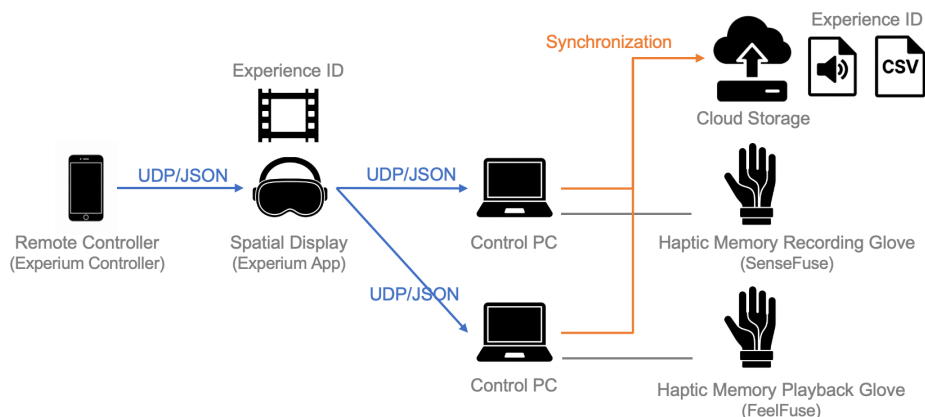


図 1: 識別子連携分散フォーマットに基づく多感覚の経験共有プラットフォーム。多感覚データは識別子 (Experience ID) に紐づけられて、Spatial Display 内のローカルストレージやクラウドストレージに分散的に保存される。

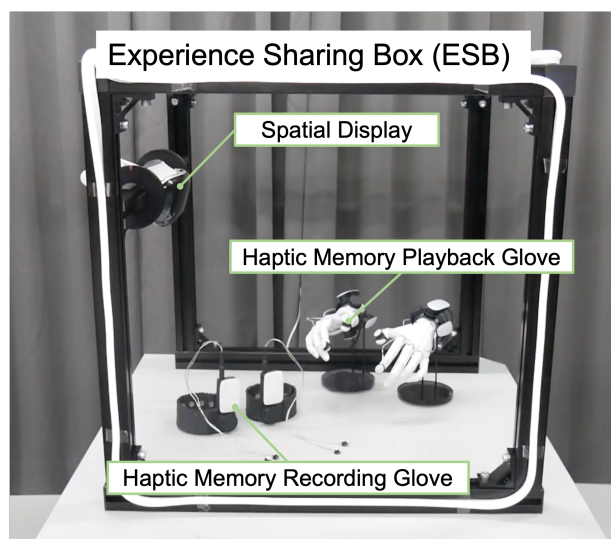


図 2: ESB のデバイス構成

2.2 ソフトウェア概要

Spatial Display には、Experium アプリケーションがインストールされており、デバイス登録、Experience ID 発行、経験共有を行うための「記録・保存・再生」を一元的に制御することができる。被験者は Experium の UI から録画の開始と停止、再生の開始と一時停止と停止を操作することができ、操作に応じて UDP で JSON メッセージがブロードキャストされて各デバイスを同期させて制御することができる。また、被験者は Spatial Display 内の Experium を UI から操作して「記録・保存・再生」を行うが、Spatial Display の視線追跡インタフェースに慣れたり個人ごとの視線やハンドキャプチャのキャリブレーションなどの設定の不便さがあるため、第三者が Experium を外部からリモート制御して「記録・保存・再生」を行うための Experium Controller アプリケーションも用意している。これにより、操作に不慣れな人でも Spatial Display を装着して、戸惑うことなく多感覚の記録を行うことができる。

2.2.1 ユーザーインターフェース

Experience ID に紐づけた記録の開始と停止、再生の開始と一時停止と停止を行うことができる。また、多感覚データを記録や再生するための複数の異なるデバイスをネットワーク経由で通信するための設定を行うことができる。

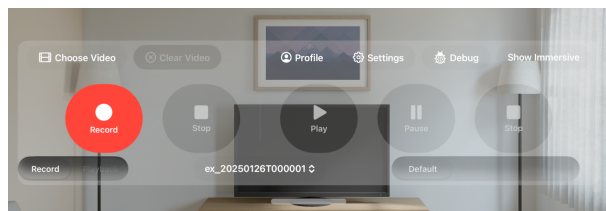


図 3: Experium のユーザーインターフェース

2.2.2 異種デバイスの登録と通信プロトコル

Experium からネットワーク経由で UDP/JSON メッセージを送信する異種デバイスを登録することができる。デバイスの登録情報としては、デバイス名、IP アドレス、ポート番号を設定する。同期が有効な異種デバイスに対して UDP/JSON メッセージを同期して一斉に送信する。

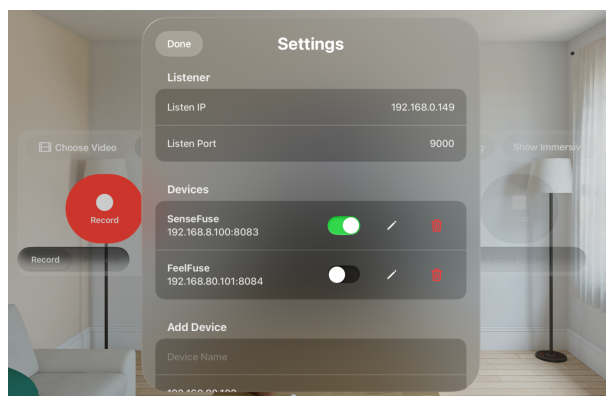


図 4: 異種デバイスの登録例



図 5: UDP/JSON メッセージの例。Experium からユニークな Experience ID に紐づけて異種デバイスに対して記録の開始・停止、再生の開始・一時停止・停止のコマンドを送信する。

3. 識別子連携分散フォーマット

従来は MPEG-4 Part14 (MP4) や ISO/IEC 14496-12 に代表されるファイル内多重化や Matroska (MKF) のようにコンテナ階層で複数トラックを束ねる手法が一般的である。また、マルチメディア符号化の標準化として JPEG/MPEG ワーキンググループの WG7 (MPEG Coding of 3D Graphics and Haptics) では、点群や触覚データなどの 3 次元表現を行うメディアコーデックの標準化を進めている。これらは多感覚データを「ひとつのファイルにまとめる」ことで管理や取り回し（コピー/移動/複製）が容易になるという利点がある。しかし、個人の思い出の保存に関して、スマートフォンのローカルストレージや SNS のクラウド領域など、思い出のメディアは分散して保存されており、今後の触覚・力覚・環境センサなどの多様なデバイスが別個のフォーマットでデータを生成することが予想される。一極集中型コンテナのような方式では、巨大ファイルの転送コスト、個別ストレージのアクセス権管理、将来的に追加される道モダリティの格納拡張への対応といった課題が顕在化することが考えられる。

本研究では「ファイルを集める」のではなく「識別子で束ねる」アプローチを採用した識別子連携分散フォーマット (ID-Linked Distributed Format, ILDF) を提案する。ILDF では多感覚の思い出となる体験ごとにユニークな識別子 (Experience ID) の紐づけを行い管理を行う。また、将来的に Experience ID や関連する情報を拡張できるように JSON 形式で定義を行う。識別子連携分散フォーマットを用いた Experium Platform の設計を行うことで、ストレージの場所や転送経路を固定することなく「識別子を知っていれば体験を再構成できる」柔軟性を確保することができる。コンテンツをまとめ直す手間を排しつつ、将来の新たなモダリティの追加にも JSON スキーマ拡張や異種デバイス登録を行うことで柔軟に対応することができる。

今回の多感覚データの保存に関しては、視覚と聴覚データは空間ビデオ (ステレオ MV-HEVC) として Spatial Dis-

play のローカルストレージにデータを保存される。また、Haptic Memory Recording Glove によって記録された触覚データ (WAV ファイル) と力覚データ (CSV ファイル) はクラウドストレージに保存される。再生時に被験者は Spatial Display を用いて Experium の UI から思い出を選択して再生することができるが、多感覚データの中では空間ビデオのデータサイズが大きいため、Spatial Display のローカルストレージに空間ビデオは保存することで、応答性の高いレスポンスで多感覚データの再生を実現している。

4. 応用例

本セクションでは事前動作検証と応用例に関して述べる。

4.1 事前動作検証

ESB を用いて記録した腕相撲のユースケースを例として取得した視覚・聴覚データに対して、触覚データの感覚のタイミングが合っているかの事前の動作確認を行った。

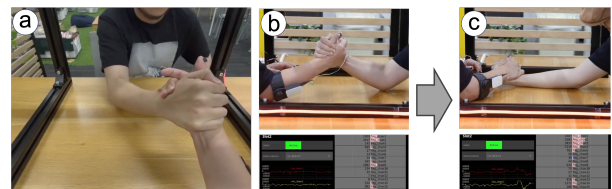


図 6: 異種デバイス間の UDP/JSON メッセージによる多感覚データ同期検証:(a) 視覚・聴覚データ。(b) 視覚・聴覚データと触覚データの反応確認。(c) 視覚・聴覚データの映像に合わせて触覚データの値も大きく変化しており同期が取れていることがわかる。

4.2 応用ユースケース例

ESB を用いた身体性を伴う経験の共有の応用例として、父親と子どもが日中に家で遊んだ体験を ESB を用いて記録・保存して、夕方に仕事が終わって帰宅した母親が再生する経験共有の可能性を示した。

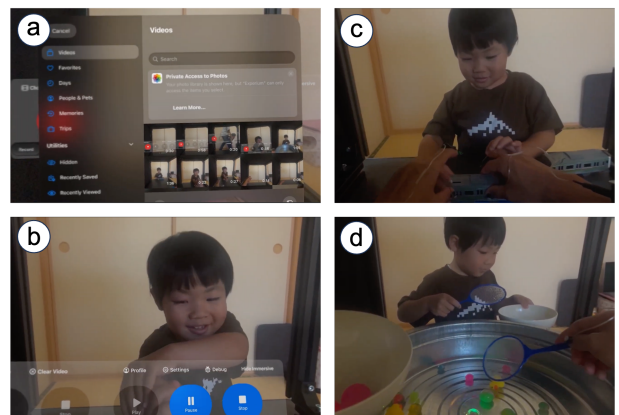


図 7: 思い出を母親が再生するシーン:(a)ESB で保存した思い出をリストから選択する。(b) 腕相撲の思い出を再生している。(c) 電車のおもちゃで遊んだ思い出を再生している。(d) ボールすくいの思い出を再生している。

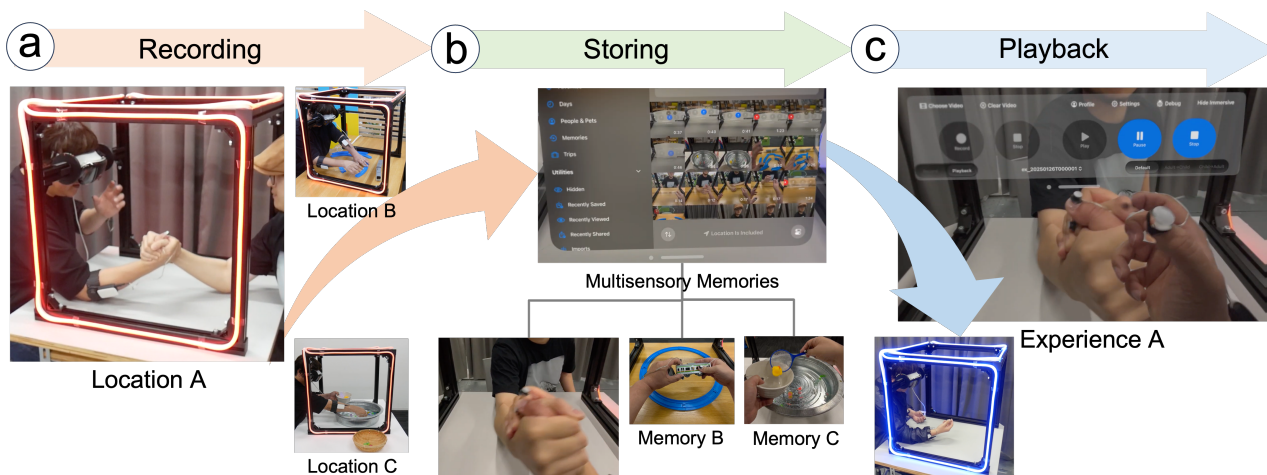


図 8: ESB を用いた経験共有の全体像 (a) 任意の場所で経験を記録する。(b) 識別子に紐づけられて経験が保存される。(c) 任意の識別子を選択して経験を再生する。

経験共有を体験した被験者の母親から「特に違和感なく思い出を体験することができた」とフィードバックを得た。

5. 考察と展望

本研究により、識別子連係分散フォーマットに基づく多感覚の経験共有プラットフォームの基礎検討を行った。Experium Platform に異種デバイスを追加して、視覚・聴覚・触覚のデータを識別子で束ねたフォーマットで分散的に記録・保存して、識別子を用いて同期再生を行えるプラットフォームを構築した。また、実装例として ESB を用いた親子の多感覚の思い出を記録・保存・再生するユースケースによる検証を行った。経験共有を行うためにセンサの発展により様々な多感覚データが取得できるようになり、異種デバイスを接続できるようになると、様々なフォーマットでのデータの記録方式が増えてくることが想定される。Experium Platform は識別子を起点に分散的に記録・保存されたデータを同期を取って再生できる仕組みを構築したことで、未知のモダリティも含めて後付で異種デバイスを登録して多感覚データを扱うことができる柔軟性の可能性を示すことができた。

また、ESB を用いた親子参加型のユースケースを通して、父親と子どもの多感覚の思い出を、母親が異なる時間軸で体験した際に、違和感なく経験共有を行うことができる可能性を示した。

今後の展望としては、より多くの被験者に ESB を体験してもらい違和感なく経験共有が行えるかの評価を行ってきたい。また、ESB の形状をスケールアップして部屋サイズなどに拡張していくことで、より広い空間での経験共有を実現するための実装例の検討を行っていきたい。システムや技術的な観点からは、多感覚データを扱うプロトコルやフォーマットに関しては継続的な精緻化が必要である。

謝辞 本研究は JST ムーンショット研究開発プログラム (JP-MJMS2013) および JST ACT-X (JPMJAX23KK) の支援を受けたものである。また、株式会社 commissure より、

Haptic Glove (SenseFuse/FeelFuse) に関する技術的なアドバイス提供を受けている。

参考文献

- [1] Yasutoshi Makino, Yoshikazu Furuyama, and Hiroyuki Shinoda. Haptocloner (haptic-optical clone): Mid-air haptic-optical human-human interaction with perfect synchronization. In *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Spatial User Interaction, SUI '15*, p. 139, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [2] Rodan Umehara, Harunobu Taguchi, Arata Horie, Yusuke Kamiyama, Shin Sakamoto, Hironori Ishikawa, and Kouta Minamizawa. Feeltech wear: Enhancing mixed reality experience with wrist to finger haptic attribution. In *ACM SIGGRAPH 2024 Emerging Technologies, SIGGRAPH '24*, p. 1-2, New York, NY, USA, July 2024. Association for Computing Machinery.
- [3] Kiryu Tsujita, Takatoshi Yoshida, Kohei Kobayashi, Arata Horie, Nobuhisa Hanamitsu, and Kouta Minamizawa. Haptoroom: Using vibrotactile floor interfaces to enable reconfigurable haptic interaction onto any furniture surfaces. In *ACM SIGGRAPH 2024 Emerging Technologies, SIGGRAPH '24*, p. 1-2, New York, NY, USA, July 2024. Association for Computing Machinery.