

コラボレーションの定量・定性分析を接続する IoT システムの一検討

山口 隼平^{†1} 大島 律子^{†2} 大島 純^{†3} 木崎 一廣^{†4} 藤橋 卓也^{†5} 猿渡 俊介^{†6} 渡辺 尚^{†7}
大阪大学 静岡大学 静岡大学 大阪大学 大阪大学 大阪大学 大阪大学

概要

学習科学の分野では、協調学習と呼ばれる他者と協調 (コラボレーション) しながら創造的な問題解決に取り組む能力を育む学習形態が研究対象として注目されている。これまで学習科学の分野で実施されてきた協調学習の定性分析をサポートするための手法として、近年では協調学習の定量分析を実現する Internet of Things (IoT) システムが提案されている。しかしながら、定量分析で得られる情報と定性分析で得られる情報を正確に接続するうえでデバイス間の時刻同期誤差が課題となる。本稿では、協調学習の定量分析に向けてセンサデータを収集する名刺型センサ、協調学習の定性分析に向けて学習映像を記録するカメラデバイス、両デバイスの時刻同期を実現して定量・定性分析を正確に接続するセンサデバイスからなる IoT システムを提案する。実機を用いた同期精度の評価から、各デバイスのサンプリングレートやフレームレートに基づく許容誤差以内の時刻同期を満たすこと、デバイスを長時間稼働させた場合でも同期性能が安定することが推察された。

1. はじめに

協調学習とは、他者と協調 (コラボレーション) しながら創造的な問題解決に取り組む能力を育む学習である。他の学習者と協調しながら問題解決に取り組むことで、他の学習者から新たな知識を吸収したり学習者間の社会的関係を調整する能力を会得したりすることができる。協調学習におけるグループの知識進展や学習者個人の貢献の様相を明らかにするために、学習科学の分野では映像データに基づいた学習活動の定性分析がなされてきた [1, 2]。具体的には、学習現場にビデオカメラを設置して視線やボディランゲージ、表情、発話、筆記といった学習者のふるまいを記録・観

察することで正確かつ詳細な学習分析を実現している [3]。

近年、協調学習の定性分析における記録・観察の対象を高速かつ容易に抽出するための手法として協調学習の定量分析を実現する Internet of Things (IoT) システムが開発されている [4, 5, 6, 7, 8, 9]。たとえば文献 [7] では、小型カメラを用いて視線やボディランゲージといった学習者の視覚情報に加えて、生体信号センサを用いて心拍や呼吸数といった学習者の非視覚情報を抽出する IoT システムが開発されている。文献 [4, 5, 6, 8, 9] では、名刺型センサを用いて学習者の対面や学習フェーズ、発話者、学習者の活動量といったマルチモーダルな情報を抽出する IoT システムが開発されている。定性分析の利点である正確かつ詳細な学習分析に定量分析の利点である高速かつ容易な学習分析を融合することで新たな学習法則の理解に寄与することが期待される [10]。

しかしながら、定量分析で得られる情報を定性分析で得られる情報と正確に接続するにはデバイス間の時刻同期誤差が課題となる。具体的には、定量分析で用いられる IoT センサ群と定性分析で用いられるビデオカメラのクロックがずれることで得られる時系列データの整合性がとれず分析結果が意味をなさないものになってしまう。既存研究 [4, 5, 6, 7, 8, 9] においても、定量分析で用いられる IoT センサ群で時刻同期を実現する研究が一部なされている一方で、IoT センサ群を用いて得られたセンサデータと定性分析で用いられる映像データとの同期をとる仕組みは実現されていない。正確な定性分析を実現するうえで映像データに求められる時刻同期精度としてはフレームレートの 10 分の 1 以下が望ましい。たとえば、ビデオカメラのフレームレートが 1s である場合には 100 ms 以下の精度で他のデバイスと同期することが求められる。

2. 提案手法

デバイス間の時刻同期誤差に関する課題を解決する手法として、本稿では協調学習の定量分析と定性分析を正確に接続することを目的とした IoT システムを提案する。提案システムは、学習活動のセンサデータを記録する Sensor-based Regulation Profiler Badge (SRP Badge)、学習活動の映像を記録する Sensor-based Regulation Profiler Video

A Preliminary Study on an IoT System to Connect Quantitative and Qualitative Collaboration Analysis

^{†1} SHUNPEI YAMAGUCHI, Osaka University

^{†2} RITSUKO OSHIMA, Shizuoka University

^{†3} JUN OSHIMA, Shizuoka University

^{†4} KAZUHIRO KIZAKI, Osaka University

^{†5} TAKUYA FUJIHASHI, Osaka University

^{†6} SHUNSUKE SARUWATARI, Osaka University

^{†7} TAKASHI WATANABE, Osaka University

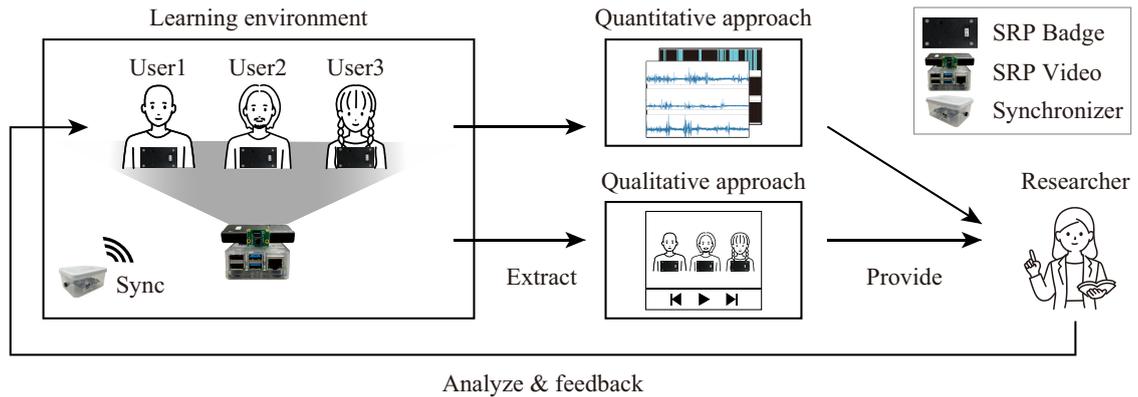


図1 提案IoTシステムを用いた協調学習分析の全体像

(SRP Video), 定期的に同期パケットを送信することで両デバイスの時刻同期を図る Sensor-based Regulation Profiler Synchronizer (SRP Synchronizer) からなる。SRP Badge は、学習者の胸元に装着することを想定した名刺型センサである。SRP Video は、学習環境に設置することを想定した小型のカメラデバイスである。SRP Synchronizer は、同期パケットを全デバイスに対して定期的に送信して各デバイスに受信・転送させることでデバイス間の時刻同期を実現する。図1に、提案システムを用いた協調学習分析の全体像を示す。提案システムを用いた協調学習分析は以下の順序で実施される。

1. 学習者に SRP Badge を装着
2. 学習環境に SRP Video および SRP Synchronizer を設置
3. 学習者による協調学習を実施
4. 学習者および学習環境から SRP Badge, SRP Video, SRP Synchronizer を回収
5. SRP Badge からセンサデータを抽出・可視化
6. SRP Video から映像データを抽出
7. 得られたデータを用いて学習科学の研究者が協調学習を定量的かつ定性的に分析
8. 分析結果を学習現場にフィードバック

2.1. Sensor-based Regulation Profiler Badge

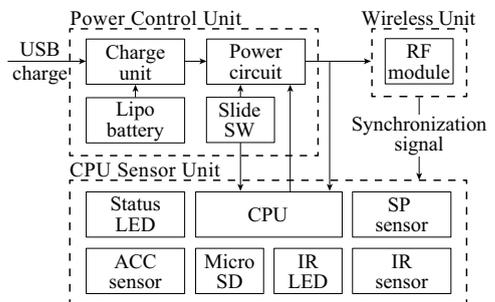
図2(a)および(b)にSRP Badgeの概観およびブロック図を示す。本バッジは、電源制御部・CPUセンサ部・無線部からなる。

電源制御部では、センサノードを動かすためにリチウムイオン電池が搭載されている。リチウムイオン電池から電源スイッチと Micro Controller Unit (MCU) に電源が供給されている。バッジの連続稼働時間は24時間である。

CPUセンサ部では、STMicroelectronics社の



(a) 概観



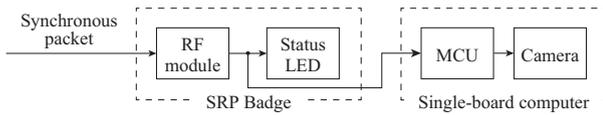
(b) ブロック図

図2 Sensor-based Regulation Profiler Badge

STM32L476RGT6 を MCU として、TDK 社の音圧センサである INMP510 (SP sensor), ANALOG DEVICES 社の加速度センサである ADXL362 (ACC sensor), OptoSupply 社の赤外線 LED である OSI5LAS1C1A (IR LED), KODENSHI CORP. の赤外線受光器である PIC79603 (IR sensor) が搭載されている。音圧センサは 100 Hz 12 bit, 加速度センサは 100 Hz 3 軸 12 bit, 赤外線センサは高々 30 Hz でサンプリングする。各センサデータは SRP Badge のスロットに差し込まれた microSD カードにバイナリで保存される。得られたセンサデータを学習分析プログラム [8] にかけること学習者の対面や学習フェー



(a) 概観



(b) ブロック図

図3 Sensor-based Regulation Profiler Video

ズ、発話者、学習者の活動量といった定量分析結果を得ることができる。

無線部では、Texas Instruments 社の無線モジュールである CC2650 が搭載されている。無線モジュール上では、SRP Badge 間の高精度時刻同期を実現する同時送信型フラッシングプラットフォーム UNISONet [11] が動作している。SRP Badge 間の時刻同期において親機に相当する SRP Synchronizer から 1s ごとに送信される同期信号を各バッジの無線モジュールが受信・転送することでバッジ間の時刻同期を実現する。

2.2. Sensor-based Regulation Profiler Video

図 3 (a) および (b) に SRP Video の概観およびブロック図を示す。SRP Video は、節で述べた SRP Badge とカメラ搭載のシングルボードコンピュータ (SBC) からなる。図 (a) に示す通り、SBC の上に有線接続した SRP Badge が搭載されている。本稿では、カメラを搭載した SBC として Raspberry Pi Camera V2 をフラットケーブルで接続した Raspberry Pi 4 Model B を用いている。Raspberry Pi の動作をソフトウェアで制御するにあたって Python 3.9 を用いている。SRP Synchronizer から 1s ごとに送信される同期信号を受信するためのデバイスとして SRP Badge を用いる。SRP Badge は、無線モジュールで同期信号を受信するとバッジ本体に搭載された LED を即座に点灯させる。SRP Badge の無線モジュールから LED に点灯を指示する電気信号を同期信号とみなして SBC 上の汎用入出力 (GPIO) に有線で引き込む。SBC は、GPIO で電気信号を受信した直後に MCU を介して接続されたカメラへ撮影を指示する。カメラは最終的に SRP Synchronizer から SRP Badge および SBC を介して転送された同期信号に基づいて 1s ごとに映像を記録する。各撮影処理後に 1ms のス



図4 Sensor-based Regulation Profiler Synchronizer

リープを実行することで Python の処理時間安定化を図っている。

2.3. Sensor-based Regulation Profiler Synchronizer

図 4 に SRP Synchronizer の概観を示す。SRP Synchronizer は、節および節で述べた SRP Badge および SRP Video 間の時刻同期を実現するための同期パケットを各デバイスに対して定期的を送信する。同期パケットは IEEE 802.15.4 の規格に基づいた信号で 1s ごとに無線送信される。SRP Synchronizer から SRP Badge および SRP Video への片方向通信を通じて、SRP Synchronizer から定期送信される同期パケットを各デバイスが受信・処理することで SRP Synchronizer とのクロックのずれを認識して各デバイスがセンサデータに付与するタイムスタンプを補正する。

3. デバイスの処理時間および安定性の評価

SRP Video を構成する SRP Badge の同期精度は、1 時間連続で稼働させた場合でも処理時間のばらつきが $\pm 30 \mu\text{s}$ で安定することが示されている [4]。本稿では、SRP Badge から同期信号を受信して撮影処理を終えるまでに Raspberry Pi が要する処理時間の安定性を評価した。より正確な時間計測を目的として、Raspberry Pi の GPIO に STMicroelectronics 社の SBC である STM32F446 を繋いで処理時間の計測を行った。具体的には、SRP Badge の同期信号を Raspberry Pi が受信した直後から Raspberry Pi のカメラが撮影処理を終了するまでの時間に Raspberry Pi の GPIO ピンから STM32F446 に電気信号を出力することで処理時間を計測した。STM32F446 は $100 \mu\text{s}$ ごとに電気信号の有無を検知することで高精度な処理時間計測を行った。2.3 節で述べたとおり、SRP Video による撮影頻度は同期信号の受信頻度に合わせて 1s とした。毎秒の撮影を 1 時間継続して得られる計測時間の最大・最小・平均・範囲を算出して処理時間の安定性を評価した。

図 5 に SRP Video の撮影処理に要する時間を示す。図 5

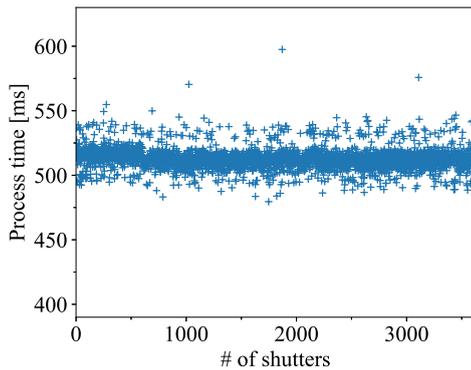


図5 SRP Video の撮影処理に要する時間

の横軸は撮影されたシャッタ数を、縦軸は各撮影の処理時間 (s) を表している。各撮影の処理時間の最大、最小、平均、範囲はそれぞれ 597.5 ms, 479.5 ms, 512.7 ms, 118.0 ms となった。現状の SRP Video におけるフレームレートが 1 fps であること、フレームレートの 10 分の 1 の同期精度が要求されることを考慮すると、撮影処理時間の誤差範囲である 118.0 ms は本稿の許容誤差である 100 ms を満たさない。一方で、撮影処理がイメージセンサによる記録および JPEG ファイルへの現像処理から構成されること、撮影処理時間の誤差として現像処理はデータ上影響を及ぼさないことを考慮すると、撮影処理時間の誤差範囲はより小さく許容誤差を下回る可能性が示唆される。

4. 結論

本稿では、協調学習の定量分析に向けてセンサデータを収集する SRP Badge, 協調学習の定性分析に向けて学習映像を記録する SRP Video, 両デバイスの時刻同期を実現して定量・定性分析を正確に接続する SRP Synchronizer から構成される IoT システムを提案した。実機を用いた同期精度の評価から、各デバイスのサンプリングレートやフレームレートに基づく許容誤差以内の時刻同期を満たすこと、デバイスを長時間稼働させた場合でも同期性能が安定することが推察された。

今後の取り組みとして、SRP Video で収集した映像データの時刻同期誤差を厳密に計測するために撮影処理に要する時間をより細かいスケールで観察することがあげられる。具体的には、撮影処理の構成プロセスであるイメージセンサによる記録および JPEG ファイルへの現像処理の時間計測をプロセスごとに行うことで撮影処理の同期誤差に影響するイメージセンサによる記録のぶれを明らかにする。また、映像を用いた定性分析で求められる SRP Video のフレーム

レートを明らかにすると同時にフレームレートを上げた場合に増大する同期誤差の評価と同期誤差を抑制する手法の提案があげられる。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 (JP19H01714, JP22J20391) および JST さきがけ (JPMJPR2032) の支援の下で行った。

参考文献

- [1] Haller, C. R., Gallagher, V. J., Weldon, T. L. and Felder, R. M.: Dynamics of Peer Education in Cooperative Learning Workgroups, *Journal of Engineering Education*, Vol. 89, No. 3, pp. 286–293 (2000).
- [2] Barron, B.: When Smart Groups Fail, *Journal of the Learning Sciences*, Vol. 12, No. 3, pp. 307–359 (2003).
- [3] Ochoa, X.: Multimodal Learning Analytics, *The Handbook of Learning Analytics* (Lang, C., Siemens, G., Wise, A. and Gašević, D., eds.), Society for Learning Analytics Research, pp. 129–141 (2017).
- [4] 山口隼平, 大和多修介, 大島律子, 大島 純, 藤橋卓也, 猿渡俊介, 渡辺 尚: コラボレーションを抽出するためのセンサネットワーク実現に向けた時刻同期精度に関する検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, pp. 1–1 (2019).
- [5] Yamaguchi, S., Ohtawa, S., Oshima, R., Oshima, J., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: Collaborative Learning Analysis Using Business Card-Type Sensors, *International Conference on Quantitative Ethnography*, pp. 319–333 (2021).
- [6] Yamaguchi, S., Oshima, R., Oshima, J., Shiina, R., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: Speaker Identification for Business-Card-Type Sensors, *IEEE Open Journal of the Computer Society*, Vol. 2, pp. 216–226 (2021).
- [7] Ouhachi, H., Spikol, D. and Vogel, B.: MBOX: Designing a Flexible IoT Multimodal Learning Analytics System, *2021 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pp. 122–126 (2021).
- [8] Yamaguchi, S., Ohtawa, S., Oshima, R., Oshima, J., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: An IoT System with Business Card-Type Sensors for Collaborative Learning Analysis, *Journal of Information Processing*, Vol. 30, No. 3, pp. 13–24 (2022).
- [9] Yamaguchi, S., Nagano, M., Ohira, S., Oshima, R., Oshima, J., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: Web Services for Collaboration Analysis With IoT Badges, *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 121318–121328 (2022).
- [10] David Williamson Shaffer: *Quantitative Ethnography*, Cathcart Press (2017).
- [11] Suzuki, M., Liao, C.-H., Ohara, S., Jinno, K. and Morikawa, H.: Wireless-Transparent Sensing, *International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks*, pp. 66–77 (2017).