

人の移動を通信媒介とする電子ペーパーサイネージのための圧電素子を用いた近接駆動方式の提案

秋葉 貴文* 湯村 翼*

概要. 電子ペーパーサイネージ (Electric Paper Signage : EPS) は、低消費電力で動作し、屋外でも高い視認性を実現できる表示基盤として注目されている。EPS の遠隔更新には制御用コンピュータの常時待機が必要である。電子ペーパーは画面の更新時のみ電力を消費する一方、無線モジュールの待機電力が無駄な消費を生む。本研究では、人の移動を通信媒介とし、圧電素子をトリガーとして EPS を復帰させる近接駆動方式を提案する。提案システムでは、EPS をスタンバイさせ、圧電素子に人が接触した圧力で発電し、EPS を復帰させる。近距離無線通信でモバイル端末と EPS の双方向にコンテンツを同期し、更新完了後はスタンバイへ移行する。プロトタイプを構築し、スタンバイからの復帰に必要な電圧を評価した。連続して小刻みな衝撃を与えた場合に安定した復帰が得られた一方、単発の大きな衝撃では復帰失敗することを確認した。

1 はじめに

デジタルサイネージは視認性や動画表現に優れる一方、常時駆動による電力消費と屋外での視認性が課題である。電子ペーパーサイネージ (Electric Paper Signage : EPS) [3] は低消費電力・高視認性・屋外設置の適応性を備え、太陽光電池と組み合わせた省電力運用が期待される [7]。一方で、遠隔からのコンテンツ更新には制御用コンピュータの常時通信待機が必要である。そのため、無線モジュールの待機電力が発生し、無駄な電力消費を生む。

我々は、これまでに EPS の待機電力を最小化する Normally-off Network EPS (NNEPS) を提案した [1]。NNEPS では、制御コンピュータを常時オフにすることで、従来の方式に比べ約 33% の待機電力削減を実現した。さらに、インターネットを介さずに EPS を更新する方法として、人の持つスマートフォンなどの端末にコンテンツを保存し、人の移動を通信媒介とする手法を提案した [6]。

人の移動を通信媒介として EPS のコンテンツ更新を行う場合、データ更新を実施するのは EPS の近くに人がいるときのみである。EPS の近くに人がいない場合には、コンテンツ更新の可能性はないため、その間に通信を待ち受けるための電力は無駄となる。本研究では、この課題を解決するため、EPS の省電力化を目的として、人の接近時に EPS をスタンバイ状態から復帰しコンテンツ更新を行う近接駆動機能を提案する。

2 提案システム

本研究は、通常時は EPS をスタンバイ状態とし、人の接近をトリガーとして起動状態へ移行させることで待機電力を最小化する近接駆動機能を提案する。

2.1 近接駆動機の概要

提案システムでは、EPS を通常時において無線通信および制御系を完全に停止させたスタンバイ状態に置く。近接駆動モジュールからの信号受信機能のみを有効化し、人が近接したタイミングを検出する。検出信号をトリガとして EPS をスタンバイ状態から復帰させ、コンテンツ更新処理を開始する。

2.2 近接駆動モジュールに求められる条件

スタンバイ状態からの復帰を近接駆動モジュールへの外部給電なしで実現するため、発電機能を備えた自励式モジュールを採用する。人の接近により駆動した時に発生する電力を用いて復帰信号を出力し、EPS 本体をスタンバイ状態から復帰させる。これにより、不要な待機電力をほぼゼロに抑えたスタンバイ状態からの復帰を可能とする。

3 プロトタイプ実装

本研究では、提案手法の有効性を確認するため、EPS とモバイル端末から構成されるプロトタイプを実装した (図 1)。EPS には、近接駆動モジュールとして圧電素子を搭載し、人の接近をトリガーとして、スタンバイ状態から復帰を行う。

3.1 全体構成

本システムは、EPS と近接駆動モジュール、モバイル端末から構成される。EPS はコンテンツの送受

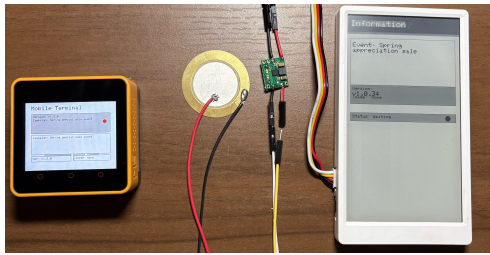


図 1. 電子ペーパーサイネージの近接駆動システムのプロトタイプ（左：モバイル端末，右：EPS）



図 2. EPS のノーマリーオフを実現する処理手順

信および表示を担当する。近接駆動モジュールは人の接近により駆動し、EPS をスタンバイ状態から復帰させる。モバイル端末は更新データの保持し、人の移動により通信媒介として機能する。

3.2 使用機材

M5Paper v1.1 [4] を用いて EPS を実装した。マイクロコンピュータに ESP32-D0WDQ6-V3, 4.7 インチ電子ペーパーディスプレイを搭載している。BLE 通信および Deep Sleep による低消費電力運用が可能である。Deep Sleep とは、ESP32 の省電力モードの一つであり、CPU や大部分の周辺機器を停止させることで極めて低い消費電力を実現する。この機能を活用し、EPS のスタンバイ状態を実現した。

モバイル端末には、M5Stack Core2 for AWS [5] を用いた。ESP32-D0WDQ6-V3 を搭載し、2 インチ TFT 液晶ディスプレイを備えており、BLE 通信も可能である。

また、近接駆動モジュールには、振動エネルギーを電力へ変換する圧電素子を採用した。出力電圧は、LTC3588[2] を用いて、安定化させ 3.3V 出力を得た。圧電素子を用いたエナジーハーベスティングにより得られる電力を復帰信号として用いることで、外部給電なしで EPS のスタンバイ状態からの復帰を実現した。

3.3 ノーマリーオフ

EPS のノーマリーオフを実現する処理手順を図 2 に示す。EPS は通常、スタンバイ状態である。近接駆動モジュールは、人の接近により圧電素子が発電し、EPS をスタンバイ状態から復帰させる。EPS をスタンバイ状態から復帰させる方法として、ESP32

の RTC 外部割込み機能を用いる。圧電素子からの出力電圧を LTC3588 を用いて 3.3V 出力に安定化させ、EXT1 割込みピンに接続する。電圧が一定値を超えたタイミングで EPS を復帰させる。これにより、外部給電なしで EPS のスタンバイ状態からの復帰を実現する。

復帰後、EPS は BLE を介してモバイル端末と接続し、コンテンツのバージョンを比較する。更新が必要な場合は、より新しいデータを採用することで同期を完了させる。終了後は、必要に応じて画面の更新処理を行う。EPS は通信完了後に一定時間が経過するとスタンバイ状態へ移行する。また、スタンバイ状態からの復帰後、一定時間内に通信が行われなかった場合もスタンバイ状態へ移行する。

4 評価実験

本研究では、EPS の近接駆動の条件を評価するために、Deep Sleep の復帰に必要な電圧を測定を行った。また、圧力の与え方による圧電素子の発電量についても簡易的な評価を実施した。

4.1 駆動に必要な電圧

Deep Sleep からの復帰に必要な電圧を評価するために、安定化電源を用いて ESP32 に印加する電圧を変化させ、復帰の可否を確認した。圧電素子に 1.7V を印加した場合、EPS は復帰しなかったが、1.8V 以上を印加した場合は復帰を確認した。

4.2 圧電素子の発電量

圧電素子により得られる発電量を把握するため、ESP32 の EXT1 ウェイクアップ端子を駆動する構成で評価を行った。実験では、圧電素子を指ではじく細かな衝撃と、足で踏む強い単発衝撃の 2 通りで駆動し、ESP32 の復帰可否を確認した。指で弾く方法では、複数回の小さな衝撃によってエネルギーが蓄積され、ESP32 は復帰に成功した。一方、強い単発衝撃では、復帰を確認できなかった。

4.3 考察

本研究で行った評価により、圧電素子が 1 つであっても、Deep Sleep の復帰に必要な電圧を発生可能であることを確認したが、複数回に渡り発電を行う必要があり、発電量は十分とは言えない結果となった。一度の接触で十分な電圧を発生させるためには、圧電素子を複数個並列接続するなど、発電量の増加を図る必要がある。また、圧電素子の発電量は、人の歩行速度や接触方法に依存するため、様々な条件下での評価も必要である。ユーザーへのフィードバックとして、近接駆動時に LED 点灯や振動を発生させることも検討したい。

参考文献

- [1] T. Akiba and T. Yumura. NNEPS: A Power-efficient e-Paper Signage System with Remote Content Updates. *International Journal on Advances in Networks and Services*, 18(1&2):1–11, 2025.
- [2] Analog Devices. LTC3588-1 Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply. <https://www.analog.com/en/products/ltc3588-1.html>, 2024.
- [3] A. Japan. E Paper Signage. <https://www.a-japan.co.jp/epd/eps.html>.
- [4] M5Stack. M5Paper v1.1 Documentation. https://docs.m5stack.com/ja/core/m5paper_v1.1, 2024. https://docs.m5stack.com/ja/core/m5paper_v1.1.
- [5] M5Stack. M5Stack Core2 for AWS Documentation. https://docs.m5stack.com/ja/core/core2_for_aws, 2024.
- [6] 秋葉貴文, 湯村翼. 電子ペーパーサイネージにおける人の移動を通信媒介とした情報配送手法の提案. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2025 論文集, 2025:312–315, 08 2025.
- [7] 新田健人, 長崎健, 戸田真志, 平田圭二, 松原仁. ノーマリーオフ知的バス停実運用を想定した消費電力実装評価. 研究報告組込みシステム (EMB), 2015(22):1–5, 2015.

未来ビジョン

本システムでは、人の移動を通信媒介とすることで、電子ペーパーサイネージ (EPS) の省電力運用を実現する近接駆動方式を提案した。人の携行するスマートフォンなどのモバイル端末と EPS が近接した際に、圧電素子を用いて EPS をスタンバイ状態から復帰させ、双方向にコンテンツを同期する。これにより、EPS の待機電力を最小化しつつ、コンテンツ更新を実現する。

本システムは以下のような応用が期待できる。まず、災害用表示端末としての活用が挙げられるスマートフォンに保存された避難情報を持ち歩き、電子ペーパーに近接した際にその情報を転送する方式は、スマホ間メッシュ通信と同様の考え方にに基づき、有効な情報伝達手段として期待できる。さらに、近接駆動機能により、システム全体を常時スリープ状態で維持しながらも動作可能とする設計が可能で

あるため、省電力かつ高視認性を有する表示端末として機能する。既存インフラが寸断されやすい災害時には、電力網や通信網に依存しない情報表示端末として、避難情報や地域支援情報の提供に寄与することが可能である。太陽電池やエナジーハーベスティングを活用することで自律的に稼働し、携行端末との直接通信を通じて最新情報を伝達する本技術は、インフラ不全時にも人々への確実な情報伝播を可能にする。

また、平常時においては、エンターテインメントや広告分野での応用も期待される。人の近接に応じてコンテンツを更新する省電力サイネージは、電源や通信環境が限定されるイベント会場や観光地などでも柔軟に展開できる。さらに、スマートフォンとの双方向通信を活用すれば、利用者ごとに最適化された情報配信が可能となり、新しいインタラクティブな広告体験を創出できる。