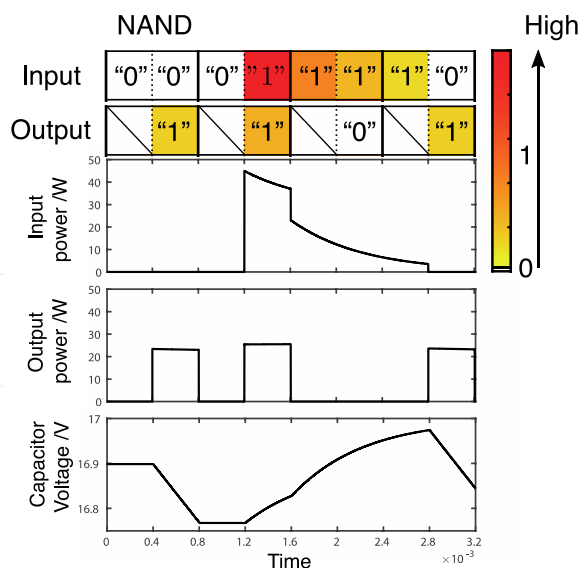
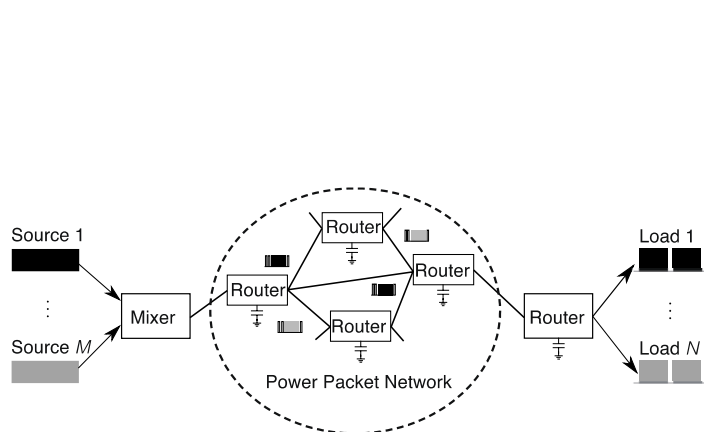


電力パケットのパワープロセッシング

—デジタル化・量子化された電力の論理処理と誤り訂正を可能に—

概要

電力パケットとは、電力を伝送するペイロードと宛先等を含む情報タグから構成される電力の単位です。本研究では、電力パケットを物理的に実現し、蓄積・転送する技術を開発してきました。今回、京都大学大学院工学研究科 引原隆士 教授、持山志宇 同助教、稲垣翔太 同修士課程学生（研究当時、現：トヨタ自動車）らのグループは、電力パケットによりデジタル化・量子化された電力を、ネットワーク上で論理演算処理でき、伝送の要求に対する伝送量の未充足分を、誤り訂正として処理できるアルゴリズムとハードウェアを発表しました。電力をパケット化して目的の負荷まで伝送する際に、開発した回路はネットワークノードであるルータ内で、電力を論理演算処理します。このとき実行する演算は、電力パケットのタグの情報によって書き換えが可能です。また、負荷に電力を供給するノードにおいて負荷の電力要求を充足する電力パケットが足りない場合に、要求電力と受電電力の差を誤り訂正としてネットワーク内で最適に補償するプロセッシングを実現します。今後は電力パケット伝送系の実証フェーズに入ります。本成果は、2021 年 7 月 21 日（現地時刻、日本時間：7 月 22 日）に英国の国際学術誌 Royal Society Open Science にオンライン掲載されました。



1. 背景

電気エネルギーの時間変化は電力と呼ばれ、電気電子工学の重要な物理量です。電力は回路理論（キルヒホッフの法則）では連続する物理量として扱われています。一方、同様に信号の時間変化として扱われていた通信は、今では情報理論により記号（例えば“0”と“1”）の系列を伝える問題と等価であり、デジタルで処理されています。通信ネットワークは、メッセージを「パケット」と呼ぶ単位に分割して離散的に伝送するパケット交換方式を採用しています。電気電子工学の技術的発展の歴史を考えると、電力も情報と同様にパケット化し、デジタルで処理することは必然と考えられます。

本研究グループの一連の研究で実証してきた電力パケットは、電力パルスと宛先等を表す情報タグから構成される電力の単位です。電力パケットの概念は、1990年代に電力自由化の議論を受けて、複雑な電力フローを管理するための技術として提案されましたが、当時の要素技術では物理的に実現することができませんでした。パワーエレクトロニクス¹⁾技術と、SiC, GaN²⁾などのワイドバンドギャップ半導体素子³⁾の利用が可能となったことで、新しいシステムの創生に寄与し始めています。本プロジェクトもこのスイッチング技術の発展に合わせて、電力のパケット化を実現する技術を世界に先駆けて開発してきたもので、電力パルスに情報タグを電圧波形として直接付与して物理的に電力のパケット化を実現し、情報タグに基づき電力パケットを蓄積・転送する電力ルータを開発してきました。

2. 研究手法・成果

本論文は、その電力パケットに関わる技術をさらに論理層にまで展開し、ネットワークを構成するルータにおいて通信の情報と同様に論理処理できる回路を開発し、電力パケットを負荷の要求に合わせて処理する「パワープロセッシング」を可能とする技術を開発したものです。さらに、何らかの理由で電力パケットの到達に遅延が生じたり、欠損が生じても、一定時間の要求電力をチェックサム⁴⁾とみなした誤り訂正が電力パケットの論理演算処理の組み換えにより可能になることを、数値計算と実験結果で示しています。

以上の結果は、電力という物理量がパケットによるデジタル化によってネットワーク内で需要に合わせて論理処理が可能になり、電源から負荷への連続的な電力の流れを維持する物理的な接続から開放されます。すなわち、情報の論理と電力の物理を論理層で論理処理と誤り訂正により一体化させることができ、cyber-physicalのインターフェース技術を分散したネットワークの機能として与えることができるようになりました。

3. 波及効果、今後の予定

本研究の成果は、電力のパケット化に関する一連の研究の集大成として、従来のアナログ回路に基づく電力伝送を、電力の物理量のレベルまで論理処理でき、その処理アルゴリズムをデジタル化でき、電力をデジタル処理できることを示したものです。これにより、現在、唯一のアナログ回路として維持されている電力伝送回路がデジタル回路の一部として組み入れられることになります。さらに、同時同量を求め

る電力供給において、通信と同様に伝送後に誤り訂正できるため、時間の制約と回路構成に伴う空間的な制約を受けずに、自由度の高い電力供給が可能になります。今後、本技術が従来の電気回路の制約を外し、自由度の高いシステム設計に寄与することを期待しています。

4. 研究プロジェクトについて

本研究の一部は、OPERA (JST)、および科研費（基盤(B) 20H02151）の支援を受けました。

<用語解説>

1) パワーエレクトロニクス

電気回路において電圧、電流を半導体スイッチ素子で断続し、平均的に電圧、電流の振幅、位相、周波数等を変換する技術。

2) SiC、GaN

いずれも、ワイドバンドギャップ半導体材料として知られ、昨今これらを用いた半導体素子が開発されている。特に、高温特性、高耐圧、高速特性に優れ、低損失のスイッチを実現するパワーデバイス材料として脚光を浴びている。

3) ワイドバンドギャップ半導体素子

禁制帯幅が広い半導体をワイドギャップ半導体と呼ぶ。この半導体は、絶縁破壊電界強度や飽和ドリフト速度が高い特徴があり、従来の Si 半導体デバイスの特性の理論限界を大きく越える高性能デバイスに実現が可能であることから、実用化が進められている。

4) チェックサム

チェックサムとは、記号列の各記号に割り付けられた値の総計を利用して、受け取った記号列の誤りを検知する符号の一種をいう。

<研究者のコメント>

本技術はできてしまえば当たり前の技術です。しかし、そのためには多くの周辺技術が高度化しなければ実現できなかったものです。今後の展開を期待しています。



稲垣翔太



持山志宇



引原隆士

<論文タイトルと著者>

タイトル： Electric Power Processing Using Logic Operation and Error Correction
(論理処理と誤り訂正を用いたパワープロセッシング)

著者： Shota Inagaki, Shiu Mochiyama, and Takashi Hikihara

掲載誌： The Royal Society Open Science

DOI: 10.1098/rsos.202344

<参考図表>

図 1 電力パケット伝送システムの概念図

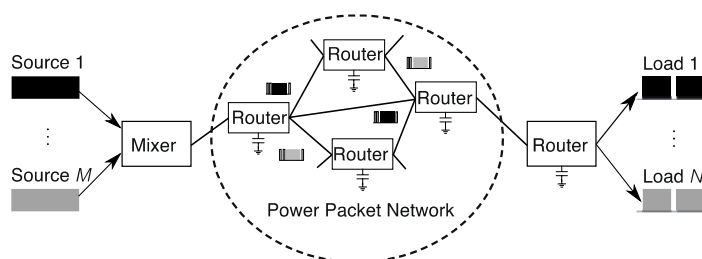


図 2 電力パケットによる電力の論理演算の例 (NAND)

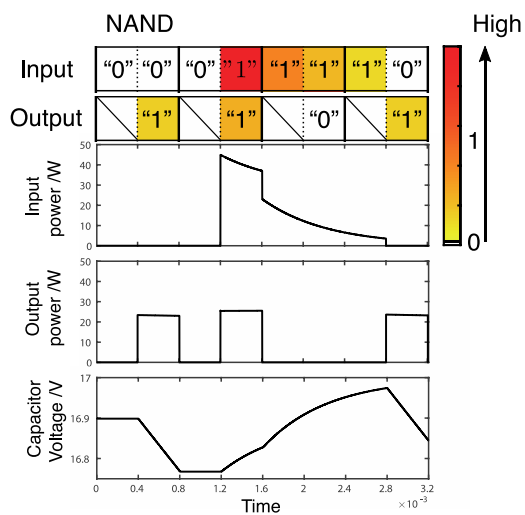


図 3 各種論理演算の実現

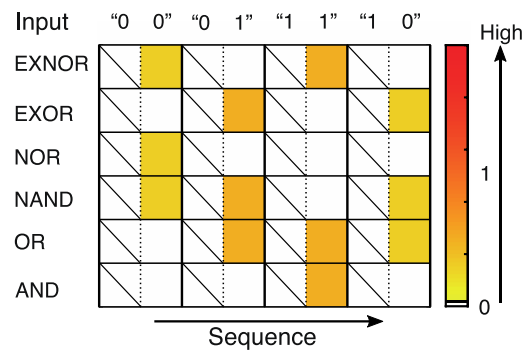


図 4 電力パケットの論理演算における誤り訂正のアルゴリズムの考え方

