

PRESS RELEASE (2022/01/21)

生物の神経回路に学ぶ超省エネ IoT 制御技術を確立

～限られた電力制限下での IoT デバイスの活躍に期待～

ポイント

- ① IoT デバイスでは使用できる電力量に厳しい制限がある
- ② スパイク信号で動作する神経回路を模倣した、新しい超省エネ IoT 制御技術を確立した
- ③ 厳しい電力制限下でも高度な制御が行える IoT デバイスの実現が期待される

概要

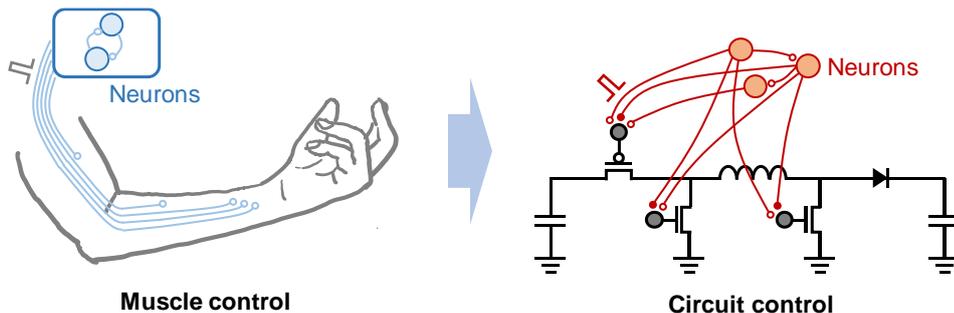
モノのインターネット (IoT) **[用語 1]**では、最末端に配置されたデバイスで外部の情報をセンシングし、無線で送信しなければなりません。しかしそのような最末端デバイスへの電源供給は難しく、使用できる電力は、かつてないほど厳しく制限されます。従来技術では「クロック」**[用語 2]**と呼ばれる一定周波数の信号を用いて回路全体を制御していましたが、必要な時に必要な場所だけ回路を動作させることはできず、消費電力に無駄がありました。

これに対して生物の神経回路では、個々の神経細胞 (ニューロン) がスパイク信号**[用語 3]**を利用することで必要な時に必要な場所だけ動作しています。本研究ではこれに倣い、クロックの代わりにニューロン回路**[用語 4]**を用いて IoT デバイスを超省エネで電子制御する技術を確立しました。

九州大学大学院システム情報科学研究所の矢嶋起彬准教授の研究グループは、独自に設計したニューロン回路を用いて、局所的に電子回路のタイミングを制御する仕組みを開発しました。余分な機能を省きタイミング制御だけに特化することで、世界最小の消費電力 (1.2pW) で動作するニューロン回路を実現しました。このニューロン回路の応用例として、IoT デバイスの標準機能である直流電圧変換**[用語 5]**を 1nW 程度の超低消費電力で実現できることを実証しました。

ニューロン回路を用いた電子制御は、センサ・無線・電源供給など IoT デバイスで必要とされる様々な機能に応用可能です。これらを数 nW の超低消費電力で電子制御できれば、環境発電**[用語 6]**によって半永久的に動作する小型 IoT デバイスを実現することができます。

本研究成果はイギリスの雑誌「Scientific Reports」に 2022 年 1 月 21 日 (金) (日本時間) に掲載されます。



(参考図)ニューロン回路による電子制御

ニューロン回路を使って無駄なく IoT デバイスを電子制御する仕組み。

【研究の背景と経緯】

モノのインターネット (IoT) では、最末端に配置されたデバイスで外部の情報をセンシングし、無線で送信しなければなりません。しかしそのような最末端デバイスへの電源供給は難しく、使用できる電力は、かつてないほど厳しく制限されます。実際、末端デバイスほど人がアクセスしにくい場所に設置されることが多く、また数も多くなるため、電池交換が現実的ではありません。そこでデバイスの設置場所の光・熱・振動から自力で発電する環境発電が有望視されていますが、得られる電力にはムラがあり、さらにデバイスが小型化するほど発電電力は小さくなります。従って将来的には $1\mu\text{W}$ 未満の電力で超省エネに電子制御する技術が求められます。しかし従来の方法ではこの電力制限を満たすことは容易ではありません。というのも従来の電子制御では「クロック」と呼ばれる一定周波数の信号を用いて回路全体の動作タイミングを制御していましたが、この方法では必要な時に必要な場所だけ回路を動作させることはできず、消費電力に無駄があるためです。

これに対して生物の神経回路では、個々の神経細胞（ニューロン）がスパイク信号によって局所的にタイミング信号を生成することで、必要な時に必要な場所だけ動作しています。これによって優れた低消費電力性を実現し、生物の限られたリソースの中でも高度な制御を実現しています。本研究ではこの神経回路の方法を参考に、ニューロン回路を用いて超省エネに電子制御する技術を確立しました（参考図）。

【研究の内容と成果】

九州大学大学院システム情報科学研究所の矢嶋起彬准教授の研究グループは、独自に設計したニューロン回路を用いて、超省エネで電子制御する技術を開発しました。過去にもニューロンの動作を模倣した回路は世界中で設計されてきましたが、ここではタイミング制御に特化して余分な機能を徹底排除することによって、 1.2pW という世界最小の消費電力で動作するニューロン回路を実現しました。

このニューロン回路は所定のタイミングでスパイク信号を出力します。このスパイク信号を、図1のようにメモリ回路と合わせて使用することで、任意のタイミング情報を持つパルスまたはスパイク形状のデジタルパターンを生成することができます。これを従来のデジタル回路で使われていたクロックの代わりに用いることで、必要な時に必要な場所だけ回路を動作させる、超省エネな電子制御の枠組みを構築しました。

さらにこのニューロン回路の応用例として、IoT デバイスの標準機能である直流電圧変換を 1nW 程度の超低消費電力で実現できることを実証しました。これは従来の電圧変換回路に比べておよそ2桁低く、電力制限が厳しいIoT デバイスに最適な制御方法だといえます。

【今後の展開】

今回開発したニューロン回路による電子制御は、IoT デバイスで必要とされる様々な機能に応用可能です。例えばセンサ制御、無線制御、電源制御などが、その応用例として考えられます。今後、本技術を従来のアナログ・デジタル技術と適材適所に利用することで、限られた電力制限下でも高度な制御・機能が実現できるようになります。IoT デバイスは現実世界から情報空間への入り口であり、本技術によって入り口の機能が強化されることで、今後の情報化社会に広く貢献するものと期待しています。

【参考図】

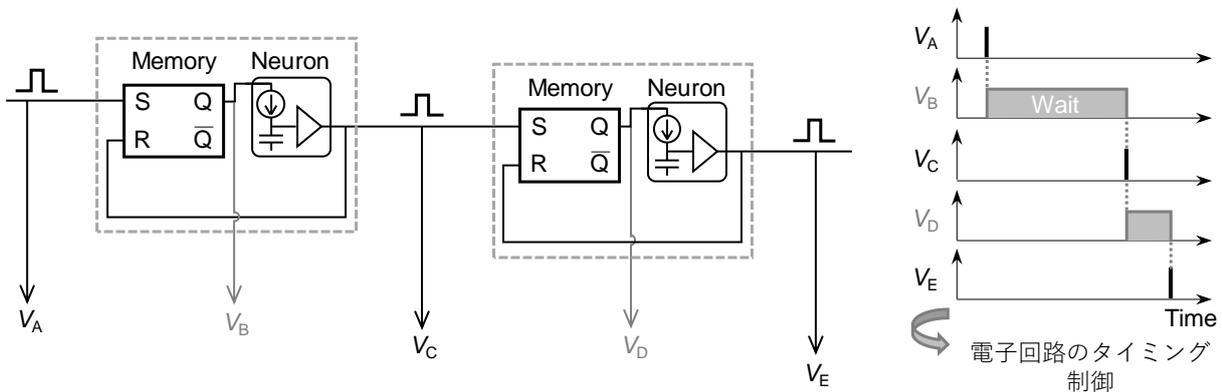


図1 ニューロン回路によるデジタルパターン生成

ニューロン回路とメモリ回路を組み合わせて、パルスまたはスパイク形状の任意のデジタルパターンを超低消費電力に生成します。このデジタルパターンを用いることで、デジタル回路を好きな時に好きな場所だけ動作させることができ、優れた低消費電力性が得られます。尚、図中 V_A 、 V_C 、 V_E はスパイク形状の信号、 V_B 、 V_D はパルス形状の信号を表しています。メモリ回路はセトリセットラッチ回路を使用しており、S (Set) と R (Reset) が入力端子、Q が出力端子です。

【用語解説】

【用語 1】 モノのインターネット (IoT) : 我々の生活空間・インフラ・工場等、現実世界における様々な「モノ」に、センサや無線等の電子機能が搭載され、情報空間への入り口として機能するようになった世界。

【用語 2】 クロック : 数 kHz~数 GHz の一定周波数で繰り返される 2 値 (0/1) の電圧波形。この電圧が立ち上がる (立ち下がる) タイミングを利用して回路全体を動作させることで、今日の電子回路は高速かつ高い信頼性で動作することができる。

【用語 3】 スパイク信号 : 生物の神経細胞 (ニューロン) が出力する短いパルス状の電圧信号。この電圧信号を神経細胞間でやりとりすることで、神経回路は動作している。神経回路内では、スパイク信号のタイミングまたは頻度によって、情報が伝達されていると考えられている。

【用語 4】 ニューロン回路 : 生物の神経細胞 (ニューロン) を模倣した電子回路。ニューロンは、細胞膜による電荷蓄積と、イオンチャネルのフィードバックによって動作するが、それぞれの機能を電子回路で模倣することで、ニューロンの振る舞いを電子回路上で実現することができる。

【用語 5】 直流電圧変換 : ある電圧値で蓄積された電気的エネルギーを異なる電圧値の電気的エネルギーに変換すること。例えば、一般的に発電で得られる電圧と、電子回路の電源電圧は異なるため、発電で得られた電力を電子回路の電源として利用するには直流電圧変換が必要となる。

【用語 6】 環境発電 : デバイスが設置された環境に存在する光、熱、振動などの微小エネルギーから数 μW ~数 mW の電力を発電し、デバイス自身が動作するための電源とする技術。ボタン電池に代わる IoT デバイスの電源として有望視されている。

【謝辞】

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業 CREST (JPMJCR21Q2, JPMJCR19K2)、ロツテ財団の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌：Scientific Reports

タイトル：Ultra-low-power switching circuits based on a binary pattern generator with spiking neurons

著者名：Takeaki Yajima

D O I : 10.1038/s41598-022-04982-w

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学 大学院システム情報科学研究所 准教授 矢嶋 赳彬 (ヤジマ タケアキ)

TEL : 092-802-3759 FAX : 092-802-3759

Mail : yajima[at]ed.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報室

TEL : 092-802-2130 FAX : 092-802-2139

Mail : koho[at]jimu.kyushu-u.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

TEL : 03-5214-8404 FAX : 03-5214-8432

Mail : jstkoho[at]jst.go.jp

<JST事業に関すること>

科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ

嶋林 ゆう子 (シマバヤシ ユウコ)

TEL : 03-3512-3531 FAX : 03-3222-2066

Mail : crest[at]jst.go.jp