

ニューラルネットワークでフラッシュメモリの寿命を予測 ～ 出荷先の選別の自動化に期待～

学校法人 中央大学

概 要

中央大学 理工学部 教授 竹内 健のグループは、フラッシュメモリがデータを保持できる時間や、読み出し可能な回数といった「メモリの寿命」を、ニューラルネットワークによって出荷前に予測する技術を開発しました。スマートフォンやパソコン、クラウドデータセンターの SSD、ストレージなどに使われているフラッシュメモリですが、データを記憶する寿命に制約があり、しかも、メモリの寿命は実際に使ってみなければわからない、という問題があります。今回、ニューラルネットワークを用いて事前に(工場で出荷前に)、データを保持できる時間や読み出し可能な回数を予測することで、長いデータ保持が求められるアーカイブなどの市場や、頻繁に読み出しが行われる市場それぞれに、適したメモリを出荷する(選別する)ことが自動的に可能になると期待されます。

また、出荷後には、ニューラルネットワークを用いて、エラーしているメモリセルを検出することも可能になり、その結果エラーを訂正することも可能になるため、フラッシュメモリの耐久性の向上にも貢献します。本技術により、幅広い用途で要求される様々な寿命(信頼性)を的確に満たすことができるため、フラッシュメモリが更に多くの用途で使用され、フラッシュメモリの市場の拡大が期待されます。

本研究は、JST の委託事業である戦略的創造研究推進事業 チーム型研究(CREST)の研究領域「素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクス創成」の研究題目「デジタルデータの長期保管を実現する高信頼メモリシステム」において実施されたものです。

本研究成果は、2019年6月10日から6月14日に京都で開催された「IEEE Symposia on VLSI Technology」で発表されます。

【研究者】 竹内 健 中央大学理工学部 教授(電気電子情報通信工学科)

【発表(雑誌・学会)】

本研究成果は、2019年6月10日から6月14日に京都で開催される「IEEE Symposia on VLSI Technology」で発表されました。

論文名: Pre-shipment Data-retention/Read-disturb Lifetime Prediction & Aftermarket Cell Error Detection & Correction by Neural Network for 3D-TLC NAND Flash Memory

【研究内容】

1. 背景

フラッシュメモリ^{注1}はスマートフォンやパソコン、クラウドデータセンタ^{注2}の SSD^{注3}、ストレージなど様々な用途に使われていますが、用途によってメモリに求める信頼性(寿命)が異なります。例えばアーカイブのように、一度メモリにデータを書き込んだ後はさほど書き換え・読み出しが行われないデータ(コールドデータ)では、長期間のデータ保持が求められます。一方、SNS で人気の画像や動画データのように、頻繁に読み出しが行われるデータ(ホットデータ)もあります。ホットデータの場合は、読み出しディスタurb(読み出し時にメモリセルに弱い書き込みストレスが印加される)が問題となります。このように用途によって求められるフラッシュメモリの信頼性・寿命が異なるという問題があります。

2. 研究内容と成果

本研究では、フラッシュメモリがデータを保持できる時間や、読み出し可能な回数といった「メモリの寿命」をニューラルネットワークによって出荷前に予測することに成功しました。図1に記したようにニューラルネットワークを用いて、工場内(出荷前の状態)で、書き換え回数が1回の条件(ストレス前)から、書き換え回数が 2000 回(市場でストレスを受けた後)のエラー率(ECC Decoding Fail Rate, EDFR^{注4} ^{注5})を予測します。このエラー率の予測は、コールドデータではデータ保持時間の予測に相当し、ホットデータではリード可能な回数の予測に相当します。そして、「データ保持時間が長い」とニューラルネットワークが予測したフラッシュメモリのチップはコールドデータの保存に適しているため、長いデータ保持が求められるアーカイブなどの市場に出荷します。逆に、「読み出し可能な回数が多い」とニューラルネットワークが予測したフラッシュメモリのチップは、頻繁に読み出しが行われる市場それぞれに出荷する(選別する)ことが自動的に可能になります。図2にコールドデータ保持時間を予測(推論)するニューラルネットワークの例を、図3にデータ保持時間を予測した例を示します。

また、図4に示すように、出荷後には、ニューラルネットワークを用いて、エラーしているメモリセルを検出することも可能になります。エラーしたメモリセルのデータを反転することで、エラーを訂正することも可能になるため、フラッシュメモリの耐久性の向上にも貢献します。図5の実験結果によると、約9割の確率でエラーを検出することに成功しました。

3. 今後の展開

本技術により、幅広い用途で要求される様々な寿命(信頼性)を的確に満たすことができるため、フラッシュメモリが更に多くの用途で使用され、フラッシュメモリの市場の拡大が期待されます。また、本成果のメモリの寿命予測とエラーの検出(と訂正)は、ニューラルネットワークの大きな可能性を示すものであり、メモリの制御や歩留まりの改善等にニューラルネットワークが今後活用されることを示唆しています。ただし、本研究は実用化に向けて初歩的な検証を行ったにすぎません。今後の課

題としては、フラッシュメモリは大量に出荷されるために、チップの間でばらつきが生じます。実際にどの程度のばらつきが存在し、ニューラルネットワークの予測(推論)にどのような影響を及ぼすかは大量のメモリを測定して検証する必要があります。ただ、ニューラルネットワークの推論は対象に多少のエラーがあっても結果が変わらないため、メモリチップのばらつきに対してもロバストではないかと期待されます。

●本研究は、以下の委託事業によって実施されました。
 科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 チーム型研究 (CREST)
 研究領域「素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクスの創成」
 研究題目「デジタルデータの長期保管を実現する高信頼メモリシステム」
 Grant Number JPMJCR1532

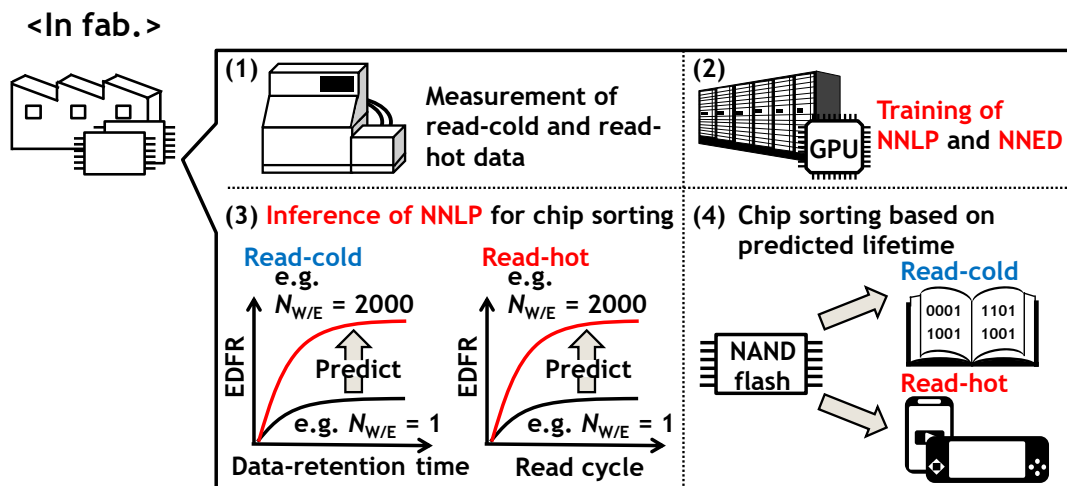


図1. ニューラルネットワークを用いたフラッシュメモリの寿命の予測。読み出しが行われなかったコールドデータに対してはデータ保持時間を予測し、頻繁に読み出しが行われるホットデータに対しては読み出し可能な回数を予測します。そして、それぞれの特性に向けた市場に自動的に出荷します。

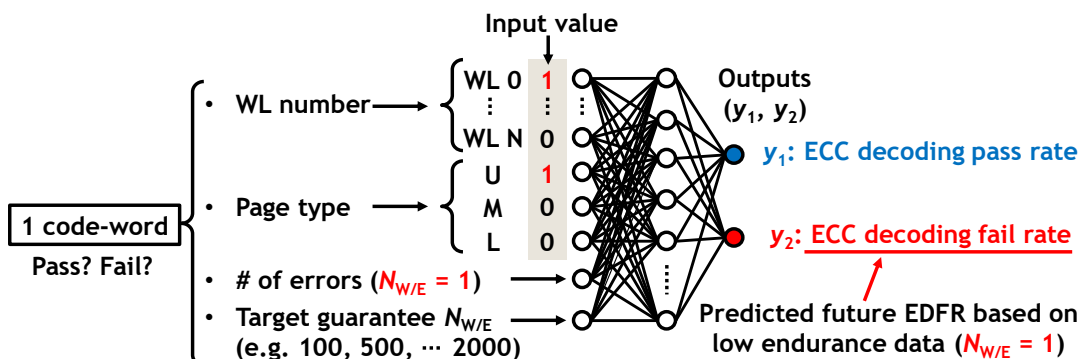


図2. フラッシュメモリの寿命予測を行うニューラルネットワークの例 (コールドデータの場合)。

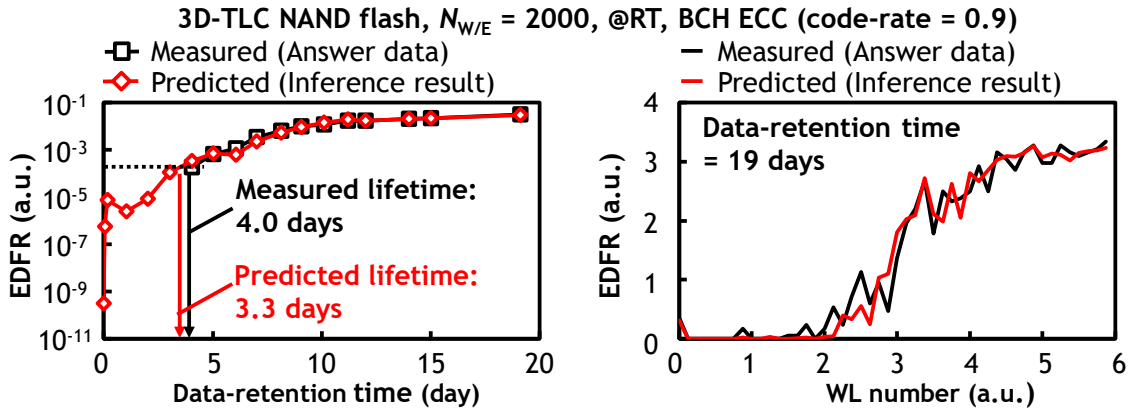


図3. ニューラルネットワークによる寿命予測の結果。(左図) エラー率 (EDNR) が精度よく予測されています。(右図) メモリセルブロック内のワード線ごとのエラー率 (EDNR) のばらつきも再現しています。

<In market>

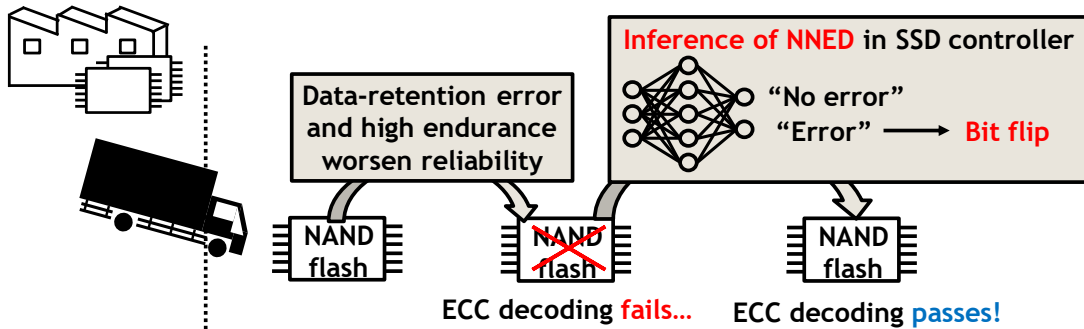


図4. ニューラルネットワークを用いたエラーの検出と訂正

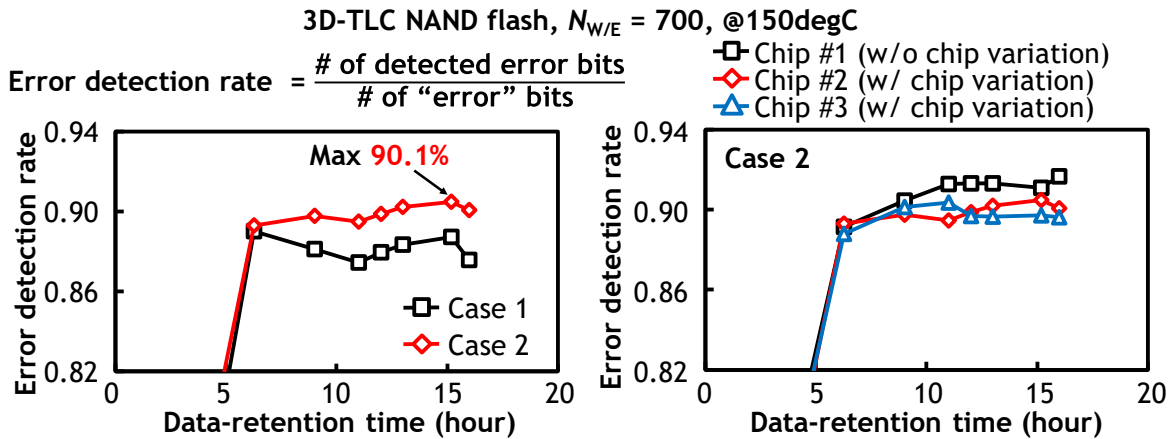


図5. ニューラルネットワークを用いたエラーの検出の実験結果。約9割のエラーを検出。

【お問い合わせ先】

<研究に関すること>

竹内 健 (タケウチ ケン)

中央大学理工学部 教授 (電気電子情報通信工学科)

TEL : 03-3817-7374

E-mail: takeuchi@takeuchi-lab.org

<広報に関すること>

加藤 裕幹 (カトウ ユウキ)

中央大学 研究支援室

TEL 03-3817-1602, FAX 03-3817-1677

E-mail: k-shien@tamajs.chuo-u.ac.jp

【用語解説】

注1)フラッシュメモリ

データの一括消去を特徴とする半導体記憶装置。電氣的にデータの読み書きが可能で、電源を切ってもデータが消えない。

注2)クラウドデータセンタ

SNS やインターネットを使ったサービスを行うためにサーバーやストレージ、ネットワーク機器などの IT 機器を設置・運用する施設。

注3)ソリッド・ステート・ドライブ(SSD)

記憶媒体としてフラッシュメモリを用いるドライブ装置で、ハードディスクの代替としてスマートフォン、パソコンやデータセンタのストレージなどとして広く利用されている。機械的に駆動する部品がないため、高速の読み書きが可能で、消費電力も少なく衝撃にも強い。このため、頻繁にアクセスされるプログラムやデータを保存する用途で、現在幅広く使われている。

注4)誤り訂正符号, Error Correcting Code(ECC)

記憶したデータ内に生じた誤りを検出および訂正するために用いられる符号。誤りが生じたデータから元のデータを誤り訂正符号によって復号することができる。

注5)ECC Decoding Fail Rate(EDFR)

誤り訂正符号の復号に失敗する確率。フラッシュメモリの信頼性を表し、EDFR の値が高いほど信頼性が低い。