

## OFF2F 実行のための擬似不揮発性メモリの構築

高杉 頌† 佐藤 将也‡ 谷口 秀夫‡  
 † 岡山大学工学部 ‡ 岡山大学大学院自然科学研究科

### 1 はじめに

従来に比べアクセス速度が速い不揮発性メモリ (Non-Volatile Memory : 以降, NV メモリ) が登場している。しかし, 揮発性メモリと比べると, NV メモリはアクセス速度が低速であり, 少容量かつ高価格である。このため, 実メモリが全て NV メモリの構成ではなく, 揮発性メモリと NV メモリが共存する構成のプロセッサ環境 (以降, 混載環境) が主流になると考えられる。混載環境を前提に新たな実行ファイル形式 (OFF2F: Object File Format consisting of 2 Files) が提案されている [1]。しかし, 現在のところ混載環境は身近に存在しない。

そこで, 本稿では, OFF2F の効果を検証する支援環境として, 揮発性メモリのみで構成される既存計算機を用いて, 擬似 NV メモリを構築する方式を述べる。

### 2 OFF2F

実行ファイルは, 4つの内容 (ヘッダ部, テキスト部, データ部, 関係情報部) から構成されている。a.out 形式などの実行プログラムでは, これらは1つのファイルに格納されている。これに対し, OFF2F は, テキスト部とそれ以外を別ファイルにする形式である。具体的には, ヘッダ部, データ部, および関係情報部を1つのファイルとし, テキスト部のみを別ファイルとする。

OFF2F の実行ファイルを実行する時のマッピングの様子を図1に示す。NV メモリの読み出しは速く, 書き込みは遅い。そこで, OFF2F を用いて, 読み出しのみ行われるテキスト部を NV メモリ上に格納し, 仮想記憶を利用してそのまま仮想空間にマッピングする。これにより, 外部記憶装置から主記憶への読み出しを削減し, プログラム実行を高速化する。

### 3 擬似不揮発性メモリ

#### 3.1 要求

擬似 NV メモリ構築への要求を以下に示す。

(要求1) バイト単位アクセスできること  
 NV メモリと同様に, 擬似 NV メモリはバイト単位でアクセスできる必要がある。

(要求2) シャットダウン時に NV メモリの内容が失われない特性を再現すること

NV メモリは不揮発性であるため, 計算機をシャットダウンした際にメモリの内容が失われない特性を持つ。この特性を擬似 NV メモリで再現する必要がある。

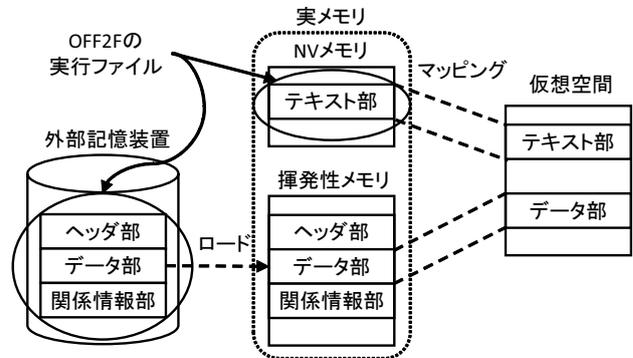


図1 OFF2F 実行ファイル実行時のマッピング

(要求3) 擬似 NV メモリ上にテキスト部を配置して仮想空間にマッピングできること

OFF2F では, テキスト部を NV メモリ上に配置する。また, OFF2F の実行ファイルを実行したときのテキスト部に対するページ例外処理では, NV メモリ上のページを仮想空間にマッピングする。このため, 擬似 NV メモリ上に OFF2F のテキスト部を配置し, マッピングできる必要がある。

#### 3.2 対処

各要求を満足する各対処を以下に述べる。

(対処1) 擬似 NV メモリとして, 実メモリの一部を使用する。これにより, (要求1) を満足できる。カーネルが使用する実メモリの大きさは, カーネルの起動パラメータにより設定できる。そこで, 実メモリの一部をカーネルが使用しない領域 (以降, OS 管理外領域) とし, この領域を擬似 NV メモリとして使用する。

(対処2) (対処1) により, カーネルが使用する実メモリの大きさは制限され, OS 管理外領域は初期化処理に使用されない。また, この領域の内容は電源を供給していれば再起動時に失われることはない。ただし, 計算機の再起動時, OS 管理外領域も含めメモリの内容を初期化し上書きする可能性があり, その範囲に応じた対処が必要である。対処として, 初期化され上書きされるメモリ領域を使用しない方式が考えられる。

(対処3) 擬似 NV メモリにテキスト部を配置するためには, 擬似 NV メモリにアクセスできるテキスト部といった情報を格納できる必要がある。しかし, (対処1) により, 擬似 NV メモリは OS 管理外領域であるため, 既存のインタフェースを用いてアクセスできない。そこで, 擬似 NV メモリへアクセスできる機能を実現する。この機能については4章で述べる。この機能を利用

Construction of Pseudo Non-Volatile Memory for OFF2F Execution.

Sho Takasugi†, Masaya Sato‡, Hideo Taniguchi‡

†Faculty of Engineering, Okayama University

‡Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

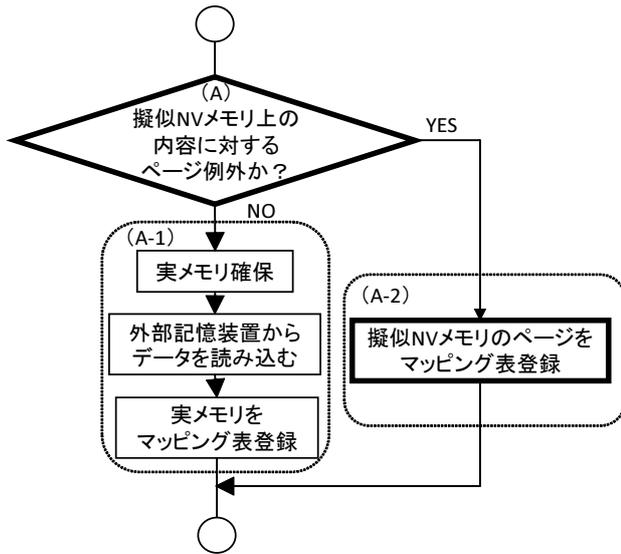


図2 ページ例外処理の流れ

用して外部記憶装置から擬似 NV メモリへ実行ファイルを複写することで、テキスト部を擬似 NV メモリに配置する。

### 3.3 ページ例外処理の流れ

擬似 NV メモリを利用したページ例外処理の流れを図2に示し、以下に説明する。

- (A) 擬似 NV メモリ上の内容に対するページ例外であるか否かを判定する。
- (A-1) 擬似 NV メモリ上の内容に対するページ例外ではない場合、既存の要求時ページング処理を行う。
- (A-2) 擬似 NV メモリ上の内容に対するページ例外である場合、擬似 NV メモリ上を探索し、対応する実アドレスをマッピングする。

なお、擬似 NV メモリ上の内容に対するページ例外であるか否かは、ページ例外の発生した仮想アドレスの内容を格納している外部記憶装置のブロック番号をもとに判別する。ブロック番号が擬似 NV メモリに複写した範囲内であれば、擬似 NV メモリ上の内容に対するページ例外である。

## 4 擬似不揮発性メモリアccess機能

### 4.1 実現方式

仮想記憶機構では、仮想アドレス空間に実メモリをマッピングすることで実メモリへアクセスできる。また、実メモリ空間はページに分割されページ単位で管理され、実メモリへのアクセスはページ単位で行われる。

上記と同様の方式を用いて擬似 NV メモリへのアクセスを実現する。つまり、擬似 NV メモリの領域をページ単位に分割し、仮想空間にマッピングする。具体的には、擬似 NV メモリの領域をページ単位に分割する処理として、カーネル内の既存処理を利用して改変し実現する。また、擬似 NV メモリのページを任意の仮

表1 擬似 NV メモリアccess可能にするシステムコール

形式	<code>int nvm_mapping(paddr, vaddr, pages)</code>
引数	<code>unsigned long long paddr</code> : アクセス可能にする擬似 NV メモリの先頭実アドレス <code>unsigned long long vaddr</code> : マッピング先の仮想アドレス <code>unsigned int pages</code> : 追加するページ数
戻り値	成功: 1 失敗: 0
機能	呼出元プロセスの仮想アドレス <code>vaddr</code> と擬似 NV メモリの実アドレス <code>paddr</code> を <code>pages</code> 分対応付け、 <code>vaddr</code> から擬似 NV メモリへのアクセスを可能にする。

想アドレスにマッピングする処理は、既存処理をそのまま利用する。

### 4.2 nvm\_mapping() システムコール

擬似 NV メモリアccess機能を提供する `nvm_mapping()` システムコールの形式を表1に示す。`nvm_mapping()` システムコールは、引数として OS 管理外領域である擬似 NV メモリの実アドレス、およびマッピングしたい仮想アドレスを指定する。どちらもページ境界のアドレスである。

最初に、OS が管理する全ページを保持するカーネル内変数を `pages` だけ増やした後、擬似 NV メモリの実アドレスを先頭とする `pages` 分のページをカーネル内の既存のページキューに追加する。次に、ページを引数として与えられた仮想アドレスにマッピングする。これらの処理により、プロセスは引数として与えた仮想アドレスで擬似 NV メモリにアクセスできる。なお、1 ページが 4KB の環境で、本システムコールを FreeBSD 11.0-RELEASE に作成した。

## 5 おわりに

実行ファイル形式 OFF2F の効果を検証する支援環境として、揮発性メモリのみで構成される既存計算機を用いて擬似 NV メモリを構築する方式を述べた。この方式は、擬似 NV メモリとして揮発性メモリの一部を利用する。具体的には、カーネルが使用する実メモリの大きさを制限し、カーネルが使用しない領域を NV メモリとして擬似するものである。また、擬似 NV メモリの領域をページ単位に分割し、仮想空間にマッピングする機能を提供するシステムコールにより、擬似 NV メモリにアクセスできる機能を述べた。

残された課題として、外部記憶装置の内容を擬似 NV メモリへ複写する機能の実現がある。

謝辞 本研究の一部は、JSPS KAKENHI 18K11244、および共同研究(株式会社富士通研究所)による。

### 参考文献

- [1] 谷口 秀夫: 揮発/不揮発メモリ混載環境を支援する仮想記憶機構向け実行ファイル形式: OFF2F の提案, コンピュータシステム・シンポジウム論文集, Vol.2017, pp.35-40 (2017.12).