

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-152001

(P2017-152001A)

(43) 公開日 平成29年8月31日(2017.8.31)

(51) Int.Cl.		F I				テーマコード (参考)
G06F 12/08	(2016.01)	G06F 12/08	507 J			5B033
G06F 9/32	(2006.01)	G06F 12/08	511 E			5B205
G06F 9/34	(2006.01)	G06F 9/32	330 A			
G06F 9/30	(2006.01)	G06F 9/34	350 A			
G06F 9/355	(2006.01)	G06F 9/30	310 A			

審査請求 有 請求項の数 7 O L 外国語出願 (全 34 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2017-56153 (P2017-56153)	(71) 出願人	595020643
(22) 出願日	平成29年3月22日 (2017. 3. 22)		クアルコム・インコーポレイテッド
(62) 分割の表示	特願2015-552807 (P2015-552807) の分割		QUALCOMM INCORPORATED
原出願日	平成26年1月10日 (2014. 1. 10)		アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92
(31) 優先権主張番号	13/741, 917		121-1714、サン・ディエゴ、モア
(32) 優先日	平成25年1月15日 (2013. 1. 15)		ハウス・ドライブ 5775
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100108855
			弁理士 蔵田 昌俊
		(74) 代理人	100109830
			弁理士 福原 淑弘
		(74) 代理人	100158805
			弁理士 井関 守三
		(74) 代理人	100112807
			弁理士 岡田 貴志

最終頁に続く

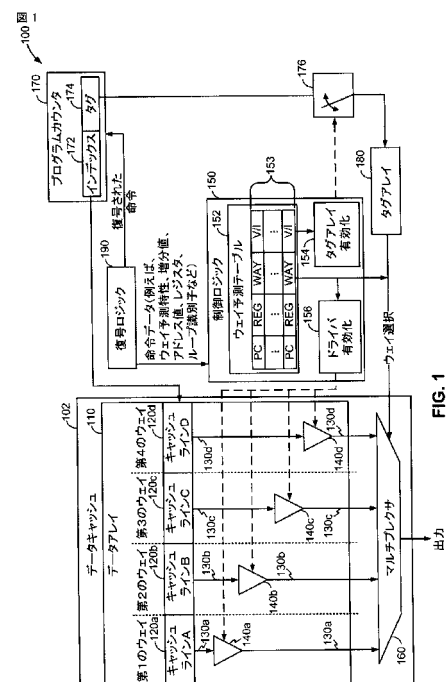
(54) 【発明の名称】 データキャッシュウェイ予測

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】データキャッシュにおいて命令によりアクセスされるウェイを予測する方法を提供する。

【解決手段】方法は、命令の1つまたは複数のウェイ予測特性を識別することを含む。方法は、データキャッシュのウェイを識別する命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、1つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、テーブルを選択的に読み取ることも含む。方法は、命令に基づいたデータキャッシュの次のアクセスがウェイにアクセスするかどうかの予測を行うことをさらに含む。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

命令の 1 つまたは複数のウェイ予測特性を識別することと、

データキャッシュのウェイを識別する前記命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、前記 1 つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、前記テーブルを選択的に読み取ることと、

前記命令に基づいた前記データキャッシュの次のアクセスが前記ウェイにアクセスするかどうかの予測を行うこととを備える方法。

【請求項 2】

前記 1 つまたは複数のウェイ予測特性が、前記命令のアドレス指定モード、前記命令の命令タイプ、前記命令がループに含まれるかどうかの指示、またはこれらの組合せを備える、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 3】

前記命令の前記アドレス指定モードが自動増分アドレス指定モードであるか、またはベースプラスオフセットアドレス指定モードであるかを決定することをさらに備える、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記命令の前記アドレス指定モードが前記自動増分アドレス指定モードを備えるという決定にตอบสนองして、前記データキャッシュの特定のウェイを識別するために前記エントリの予測されるウェイフィールドを設定すること、ここにおいて、前記予測されるウェイフィールドは、前記エントリの生成時に設定される、をさらに備える、請求項 3 に記載の方法。

20

【請求項 5】

前記命令の前記アドレス指定モードが前記ベースプラスオフセットアドレス指定モードを備えるという決定にตอบสนองして、前記データキャッシュの特定のウェイを識別するために前記エントリの予測されるウェイフィールドを設定すること、ここにおいて、前記エントリは、前記命令の第 1 の実行に関して生成され、および、ここにおいて、前記予測されるウェイフィールドは、前記第 1 の実行に続く前記命令の第 2 の実行に基づいて設定される、をさらに備える、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 6】

前記命令の前記命令タイプがロードタイプであるか、またはストアタイプであるかを決定することをさらに備える、請求項 2 に記載の方法。

30

【請求項 7】

前記命令が特定のループに含まれるという前記指示にตอบสนองして、前記テーブルが選択的に読み取られる、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 8】

前記テーブルが前記エントリを含むかどうかを決定することと、

前記エントリがウェイ予測を提供するために有効であるかどうかを決定することと、

前記エントリが有効な予測されるウェイを示すと決定したことに応答して、前記予測されるウェイを前記エントリから取り出し、前記データキャッシュの前記予測されるウェイを選択的に駆動することとをさらに備える、請求項 1 に記載の方法。

40

【請求項 9】

レジスタロケーションのデータを修正した特定の命令を識別することと、

前記テーブル内の特定のエントリが前記レジスタロケーションに対応するレジスタ識別子を含むかどうかを決定することと、

前記特定のエントリが前記特定の命令に対応するかどうかを決定することと、

前記特定のエントリが前記特定の命令に対応しないときに、前記特定のエントリを除去するかまたは無効にすることとをさらに備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

命令の 1 つまたは複数のウェイ予測特性を識別するように構成された復号ロジックと、

50

前記復号ロジックに結合され、

データキャッシュのウェイを識別する前記命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、前記１つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、前記テーブルを選択的に読み取ることと、

前記命令に基づいた前記データキャッシュの次のアクセスが前記ウェイにアクセスするかどうかの予測を行うことと

を行うように構成された制御ロジックとを備えるプロセッサ。

【請求項 11】

複数のラインドライバと、ここにおいて、前記複数のラインドライバのうちの少なくとも１つのラインドライバは、前記予測に基づいて選択的に有効化または無効化される、

10

前記命令に基づいてタグルックアップ動作を行うように構成されたタグアレイと、

前記複数のラインドライバに応答し、前記タグアレイまたは前記制御ロジックから受信されたウェイ選択信号に応答するマルチプレクサと、

前記タグルックアップ動作を選択的に有効化または無効化するように構成されたスイッチとをさらに備える、請求項 10 に記載のプロセッサ。

【請求項 12】

前記命令が増分値とアドレスとに関連付けられ、前記制御ロジックが、

前記増分値を前記アドレスに追加することによって、前記命令の増分されたアドレスを決定し、

前記増分されたアドレスが、前記データキャッシュの、前記アドレスと同じキャッシュラインにあるかどうかを決定するようにさらに構成される、請求項 11 に記載のプロセッサ。

20

【請求項 13】

前記制御ロジックが、

前記増分されたアドレスが前記同じキャッシュラインにあるという決定に基づいて、前記タグルックアップ動作を選択的に無効化し、

前記タグルックアップ動作が無効化されるときに、ウェイ選択信号を前記マルチプレクサに与えるようにさらに構成される、請求項 11 に記載のプロセッサ。

【請求項 14】

前記制御ロジックが、前記エントリを除去するか、または、前記増分されたアドレスが前記アドレスに関連付けられたキャッシュラインとは異なるキャッシュラインに関連付けられるという決定に基づいて、前記テーブルの前記エントリが無効であることを示すようにさらに構成される、請求項 12 に記載のプロセッサ。

30

【請求項 15】

命令の１つまたは複数のウェイ予測特性を識別するための手段と、

データキャッシュのウェイを識別する前記命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、前記１つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、前記テーブルを選択的に読み取るための手段と、

前記命令に基づいた前記データキャッシュの次のアクセスが前記ウェイにアクセスするかどうかの予測を行うための手段とを備える装置。

40

【請求項 16】

前記命令を復号するための手段と、ここにおいて、前記命令は、レジスタ識別子を含み、予測可能な次のアドレスを有する、

前記ウェイに基づいてデータキャッシュラインを選択的に駆動するための手段とをさらに備える、請求項 15 に記載の装置。

【請求項 17】

前記テーブル内の特定のエントリが、１つまたは複数のビットの値に基づいて、予測されるウェイを示し、前記１つまたは複数のビットが、複数のドライバのうちの各ドライバを選択的に有効化または無効化するために、マスクとして前記複数のドライバに適用される、請求項 15 に記載の装置。

50

【請求項 18】

プロセッサによって実行されると、前記プロセッサに、
命令の 1 つまたは複数のウェイ予測特性を識別させ、
データキャッシュのウェイを識別する前記命令に関連付けられたテーブルのエントリを
識別するために、前記 1 つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、前記テー
ブルを選択的に読み取らせ、
前記命令に基づいた前記データキャッシュの次のアクセスが前記ウェイにアクセスする
かどうかの予測を行わせる命令を備える非一時的コンピュータ可読媒体。

【請求項 19】

前記プロセッサによって実行されると、前記プロセッサに、
前記命令に関連付けられた増分値を識別させ、
前記命令の実行中にアクセスされた前記データキャッシュの特定のウェイを識別させ、
増分されたアドレス値を決定するために、前記増分値を前記命令に関連付けられたアド
レス値に追加させ、
前記増分されたアドレス値が前記特定のウェイに関連付けられるかどうかを決定させる
命令を備える、請求項 18 に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

【請求項 20】

前記プロセッサによって実行されると、前記プロセッサに、前記エントリを前記テー
ブル内にポピュレートさせる命令、ここにおいて、前記テーブル内の各エントリは、プログ
ラムカウンタ識別子と、レジスタ識別子と、予測されるウェイ識別子とを含む、をさらに
備える、請求項 18 に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

【請求項 21】

前記命令が 1 つまたは複数の命令のループに含まれるという決定が行われた後に、前記
エントリが生成される、請求項 18 に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

【請求項 22】

前記プロセッサによって実行されると、前記プロセッサに、
複数のレジスタロケーションを監視させ、
前記複数のレジスタロケーションのうちの特定のレジスタロケーションにおけるデータ
が修正されるかどうかを決定させ、
特定のエントリが前記特定のレジスタロケーションに対応するレジスタ識別子を含むか
どうかを決定するために、前記テーブルを読み取らせる命令をさらに備える、請求項 18
に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

【請求項 23】

命令の第 1 の実行中に増分値を識別することと、
前記命令に基づいて、前記第 1 の実行中にアクセスされたデータキャッシュのウェイを
識別することと、
第 1 の増分されたアドレス値を決定するために、前記増分値を前記命令に関連付けられ
たアドレス値に追加することと、
前記第 1 の増分されたアドレス値が前記データキャッシュの前記ウェイにあるかどうか
を決定することと、
前記第 1 の増分されたアドレスが前記データキャッシュの前記ウェイにあると決定した
ことに応答して、前記命令に対応するエントリをテーブル内にポピュレートすることとを
備える方法。

【請求項 24】

前記テーブル内の各エントリが、プログラムカウンタ識別子、レジスタ識別子、予測さ
れるウェイ識別子、有効性ビット、またはそれらの組合せを含む、請求項 23 に記載の方
法。

【請求項 25】

前記命令が自動増分命令を備えるか、またはベースプラスオフセット命令を備えるかを
決定することをさらに備える、請求項 23 に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 26】

前記エントリが、前記アクセスされたデータキャッシュの前記ウェイを識別し、前記エントリが前記命令の前記第 1 の実行とともにポピュレートされ、前記命令の第 2 の実行中に、

前記エントリを前記テーブルから読み取ることと、

第 2 の増分されたアドレス値を計算することと、

前記第 2 の実行中に前記ウェイをウェイ予測として適用することとを行うことをさらに備える、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 27】

前記ウェイを適用することが、

前記ウェイを前記エントリのウェイフィールドから取り出すことと、

前記取り出されたウェイに対応する前記データキャッシュのドライバを選択的に有効化することとを備える、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 28】

前記命令の後続の実行の増分されたアドレス値が前記ウェイとは異なるウェイにあると決定したことに応答して、前記テーブルを更新すること、ここにおいて、前記命令の前記後続の実行は、前記第 1 の実行の後である、をさらに備える、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 29】

前記エントリを除去するか、または、前記増分されたアドレスが前記アドレスに関連付けられたキャッシュラインとは異なるキャッシュラインに関連付けられるという決定に基づいて、前記テーブルの前記エントリが無効であることを示すことをさらに備える、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 30】

レジスタロケーションのデータを修正した特定の命令を識別することと、

特定のエントリが前記レジスタロケーションに対応するレジスタ識別子を含むかどうかを決定するために、前記テーブルを読み取ることと、

前記特定のエントリが前記特定の命令に対応するかどうかを決定することと、

前記特定のエントリが前記特定の命令に対応しないときに、前記特定のエントリを除去するかまたは無効にすることとをさらに備える、請求項 23 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】**【優先権の主張】****【0001】**

[0001] 本出願は、その内容全体が参照により組み込まれる、2013 年 1 月 15 日に
出願された、「DATA CACHE WAY PREDICTION」という名称の米国非仮特許出願第 13 / 741, 917 号の優先権を主張する。

【技術分野】**【0002】**

[0002] 本開示は一般に、データキャッシュメモリシステムを対象とする。

【背景技術】**【0003】**

[0003] 技術の進歩により、コンピューティングデバイスは、より小型でより強力になった。例えば、現在、小型で軽量の、ユーザが容易に持ち運べるポータブルワイヤレス電話、携帯情報端末 (PDA)、およびページングデバイスなどのワイヤレスコンピューティングデバイスを含む様々なポータブルパーソナルコンピューティングデバイスが存在する。より具体的には、セルラー電話およびインターネットプロトコル (IP) 電話などのポータブルワイヤレス電話は、ワイヤレスネットワークを介して音声およびデータパケットを通信できる。さらに、多くのそのようなワイヤレス電話は、その中に組み込まれた他のタイプのデバイスを含む。例えば、ワイヤレス電話は、デジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルレコーダ、オーディオファイルプレーヤを含むこともできる。また、そのようなワイヤレス電話はウェブブラウザアプリケーションなどの複数のソフト

10

20

30

40

50

ウェアアプリケーションを含む複数の実行可能命令を処理できるプロセッサを含み、インターネットにアクセスするために使用され得る。従って、これらのワイヤレス電話はかなりのコンピューティング能力を包含できる。

【 0 0 0 4 】

[0004] プロセッサのデータキャッシュ(data cache)にアクセスすることは、かなりの量の電力を消費する。データキャッシュは従来、各々が複数のキャッシュライン(例えば、記憶ロケーション)を含む、複数のセットを有するデータアレイを含む。データキャッシュは従来、各々がデータキャッシュの少なくとも1つのキャッシュライン(例えば、キャッシュブロック)に対応するドライバを含む、複数のウェイも含む。データキャッシュに記憶されたデータにアクセスするための命令に回答して、全てのドライバは、マルチプレクサに対して(複数のデータラインを介して)データアレイの特定のセットのウェイ(ways)を駆動するように有効化される(enabled)(例えば、アクティブ化される(activated))。

10

【 0 0 0 5 】

[0005] 全てのドライバが有効化されるのと並行して(例えば、同時に)、データアレイ内の特定のキャッシュラインを識別するために、タグルックアップ動作(tag lookup operation)が行われる。タグルックアップ動作の結果に基づいて、(単一のキャッシュラインに対応する)単一のドライバを介して与えられるデータが出力として選択される。セットのための全てのウェイを駆動し、タグルックアップ動作を行うことは、電力を消費させ、命令に基づいて単一のキャッシュラインのみからのデータが出力されることを考慮すると、電力の非効率性をもたらす。

20

【 0 0 0 6 】

[0006] プロセッサの命令キャッシュにアクセスすることに関して、同様の電力消費問題が存在する。命令キャッシュへのアクセスはしばしば予測可能であり、駆動されるべき命令キャッシュの特定のウェイを識別するために、複数の命令の予測可能なシーケンスを利用する予測方法が使用され得る。しかしながら、データキャッシュにアクセスすることはより複雑であり、命令キャッシュにアクセスすることよりも予測可能ではない。従って、命令キャッシュアクセスのために使用される予測技法は、データキャッシュアクセスを予測するのに適応可能ではない場合がある。加えて、予測技法がデータキャッシュに適用された場合、アクセスされるべきウェイの各誤予測(misprediction)(例えば、不正確な予測(incorrect prediction)を行うこと)により、パフォーマンスペナルティ(例えば、処理の遅延)およびエネルギーペナルティが生じる可能性がある。

30

【 発明の概要 】

【 0 0 0 7 】

[0007] プロセッサのデータキャッシュのためのウェイ予測技法は、命令のために駆動されるべきデータキャッシュのウェイ(例えば、1つまたは複数のキャッシュラインに関連付けられたウェイ)を追跡(例えば、監視(monitor))し、予測するために、予測テーブル(例えば、ウェイ予測テーブル)を利用する。特定の実施形態では、予測されるウェイは、命令の前の実行(prior execution)に基づく(例えば、命令の前の実行時に駆動されたのと同じウェイ)。プロセッサによって実行される各命令に対して、制御ロジックは、予測されるウェイを識別するための予測テーブルをポピュレート(populate)し、維持し、および/または利用する各命令の実行を監視し、追跡できる。例えば、データキャッシュの制御ロジックは、予測テーブルを使用して、特定の命令と、その特定の命令についてアクセスされるウェイと、その特定の命令によって修正されたレジスタファイルのベースレジスタロケーション(base register location)とを示す(例えば、識別する)プログラムカウンタ(PC)識別子に基づいて1つまたは複数の命令の実行を追跡できる。

40

【 0 0 0 8 】

[0008] 1つまたは複数のウェイ予測特性(例えば、命令のアドレス指定モード(addressing mode)、命令の命令タイプ、命令がループに含まれるという指示など)を有する命令が実行されるとき、制御ロジックは、予測されるウェイが識別され得るかどうかを決定

50

するために予測テーブルを読み取ることができる。例えば、ウェイ予測特性は、特性（例えば、モード、命令タイプ、ループ内の位置など）または命令が予測可能な次のアドレス（例えば、命令の次の実行に基づいて取り出された有効アドレスが同じキャッシュラインから（例えば、同じウェイを介して）入手可能であることを示す予測可能なアクセスパターン）を有し得ることを示す命令の構成要素（例えば、オペコード、オペランド、ビット値など）であり得る。制御ロジックは、命令に対応するエントリが予測テーブル内に存在するかどうかを決定できる。特定の実施形態では、１つまたは複数のウェイ予測特性は、自動増分アドレス指定モード(auto-increment addressing mode)またはベースプラスオフセットアドレス指定モード(base plus offset addressing mode)など、モード（例えば、アドレス指定モード）を備え得る。予測されるウェイは、ループの前の反復(prior iteration)中の命令の前の実行など、命令の前の実行中に以前にアクセスされたウェイであり得る。 10

【 0 0 0 9 】

[0009] 予測テーブルが命令のための予測されるウェイを示すとき、制御ロジックは、予測されるウェイに対応するドライバを選択的に有効化する（例えば、オンにする）ことができ、予測されるウェイ以外のウェイに対応する１つまたは複数の他のドライバを選択的に無効化する(disable)（例えば、オフにする）ことができる。予測テーブルが命令のための予測されるウェイを示すとき、制御ロジックは、（例えば、スイッチを使用して）タグアレイのタグルックアップ動作を選択的に無効化することもできる。１つまたは複数のドライバを選択的に無効化するおよび／またはタグルックアップ動作を選択的に無効化することによって、プロセッサによって電力節約が実現される。 20

【 0 0 1 0 】

[0010] 特定の実施形態では、方法は、命令の１つまたは複数のウェイ予測特性を識別することを含む。方法は、データキャッシュのウェイを識別する命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、１つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、テーブルを選択的に読み取ることも含む。方法は、命令に基づいたデータキャッシュの次のアクセスがウェイにアクセスするかどうかの予測を行うことをさらに含む。

【 0 0 1 1 】

[0011] 別の特定の実施形態では、プロセッサは、命令の１つまたは複数のウェイ予測特性を識別するように構成された復号ロジックを含む。プロセッサは、復号ロジックに結合された制御ロジックも含む。制御ロジックは、データキャッシュのウェイを識別する命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、１つまたは複数のウェイ予測特性に基づいて、テーブルを選択的に読み取るように構成される。制御ロジックは、命令に基づいたデータキャッシュの次のアクセスがウェイにアクセスするかどうかの予測を行うようにさらに構成される。 30

【 0 0 1 2 】

[0012] さらに特定の実施形態では、装置は、命令の１つまたは複数のウェイ予測特性を識別するための手段を含む。装置は、データキャッシュのウェイを識別する命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、１つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、テーブルを選択的に読み取るための手段も含む。装置は、命令に基づいたデータキャッシュの次のアクセスがウェイにアクセスするかどうかの予測を行うための手段をさらに含む。 40

【 0 0 1 3 】

[0013] 別の特定の実施形態では、非一時的コンピュータ可読媒体は、プロセッサによって実行されると、プロセッサに、命令の１つまたは複数のウェイ予測特性を識別させる命令を含む。非一時的コンピュータ可読媒体は、プロセッサに、データキャッシュのウェイを識別する命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、１つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、テーブルを選択的に読み取らせる命令をさらに含む。非一時的コンピュータ可読媒体は、プロセッサに、命令に基づいたデータキャッシュの次のアクセスがウェイにアクセスするかどうかの予測を行わせる命令をさらに含む 50

。

【 0 0 1 4 】

[0014] 別の特定の実施形態では、方法は、命令の第 1 の実行中に増分値(increment value)を識別することと、命令に基づいて、第 1 の実行中にアクセスされたデータキャッシュのウェイを識別することとを含む。方法は、第 1 の増分されたアドレス値を決定するために、増分値を命令に関連付けられたアドレス値(address value)に追加することをさらに含む。方法は、第 1 の増分されたアドレス値がデータキャッシュのウェイにあるかどうかを決定することを含む。方法は、第 1 の増分されたアドレスがデータキャッシュのウェイにあると決定したことに応答して、命令に対応するエントリをテーブル内にポピュレートすることをさらに含む。

10

【 0 0 1 5 】

[0015] 開示される実施形態によって提供される 1 つの特定の利点は、(例えば、命令タイプ、命令アドレス指定モード、ループ中にある命令の識別情報、またはそれらの組合せに基づいて) 1 つまたは複数の命令のための予測テーブルを維持するウェイ予測技法である。ウェイ予測テーブルは、ウェイ予測に基づいて、1 つまたは複数のドライバを選択的に有効化および/または無効化するために利用され得る。1 つまたは複数のドライバを選択的に有効化および/または無効化することによって、データキャッシュのデータアクセス中に電力節約が実現され得る。加えて、ウェイ予測テーブル内の各エントリに関連付けられたレジスタロケーションを監視し、追跡し、記憶することによって、エントリに対応する命令以外の命令がそのレジスタロケーションにおいてデータ(例えば、コンテンツ)を修正したときに生じる可能性がある潜在的な誤予測が回避され得る。さらなる電力上の利点は、エントリ(例えば、ウェイ予測)が有効であると確認された後でタグルックアップ動作を選択的に無効化することによって実現され得る。

20

【 0 0 1 6 】

[0016] 本開示の他の態様、利点、および特徴は、以下のセクション、すなわち、図面の簡単な説明と、発明を実施するための形態と、特許請求の範囲とを含む、本出願の検討の後に明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 7 】

【図 1】データキャッシュのためのウェイ予測を利用するプロセッサシステムの要素の第 1 の例示的な実施形態の図である。

30

【図 2】データキャッシュのためのウェイ予測を行う方法の第 1 の例示的な実施形態の流れ図である。

【図 3】データキャッシュのためのウェイ予測を行う方法の第 2 の例示的な実施形態の流れ図である。

【図 4】ウェイ予測のために使用されるデータキャッシュのデータアレイおよびループ中の命令を含むプログラムコードの例示的な実施形態のブロック図である。

【図 5】データキャッシュのためのウェイ予測を行う方法の第 3 の例示的な実施形態の流れ図である。

【図 6】データキャッシュと、ウェイ予測を行うためのロジックとを含むワイヤレス通信デバイスの特定の実施形態のブロック図である。

40

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 8 】

詳細な説明

[0023] 図 1 は、ウェイ予測テーブル 152 を利用するプロセッサシステム 100 の要素の第 1 の特定の実施形態を示す。プロセッサシステム 100 は、データキャッシュ 102、制御ロジック 150、プログラムカウンタ 170、タグアレイ 180、および復号ロジック 190 を含む。データキャッシュ 102 は、複数のキャッシュライン 120 a ~ d を含むデータアレイ 110 を含む。特定の実施形態では、データキャッシュ 102 がセットアソシアティブデータキャッシュを備える。

50

【 0 0 1 9 】

[0024] プロセッサシステム 1 0 0 は、プログラム中に含まれる命令（例えば、一連の命令）を実行する（例えば、処理する）ように構成される。プログラムは、一連の命令が 1 回または複数回実行される、1 つのループ、または複数のループを含み得る。プログラムは、命令が予測可能な次のアドレス（例えば、実行されるべき次の命令の有効アドレスが同じキャッシュラインから（例えば、同じウェイを介して）入手可能になることを示す予測可能なアクセスパターン）を有し得るという指示である、1 つまたは複数のウェイ予測特性（例えば、命令のアドレス指定モード、命令の命令タイプ、命令がループに含まれるという指示など）を有する命令など、1 つまたは複数の命令を含み得る。例えば、命令のアドレス指定モードは、データキャッシュ（例えば、データキャッシュ 1 0 2）のデータアレイのキャッシュラインの動作を生じさせる、自動増分アドレス指定モードおよび / またはベースプラスオフセットアドレス指定モードを含み得る。自動増分アドレス指定モードを使用する命令（例えば、自動増分命令）は、レジスタファイル（図示せず）のレジスタロケーション（例えば、ベースレジスタ）を識別することができ、レジスタロケーションにおいて記憶されたコンテンツ（例えば、アドレスデータ）を増分量（例えば、1 または 2 などの整数値）だけ修正する（例えば、増分する）ことができる。ベースプラスオフセットアドレス指定モードを使用する命令（例えば、ベースプラスオフセット命令 (base plus offset instruction)）は、命令の各実行中にレジスタロケーション（例えば、ベースレジスタロケーション）にアクセスすることができ、命令の各連続する実行によってベースレジスタロケーションにおけるデータにオフセットを追加できる。

10

20

【 0 0 2 0 】

[0025] 自動増分アドレス指定モードおよび / またはベースプラスオフセットアドレス指定モードを使用する命令がループの一部として実行される（例えば、数回実行される）とき、命令は各々、命令の次の実行に基づいて取り出される有効アドレスがデータアレイ 1 1 0 の同じキャッシュライン 1 2 0 a ~ d（例えば、同じウェイ）から入手可能であることを示す予測可能なアクセスパターンを含み得る。従って、命令の実行中に（例えば、ループの 1 つまたは複数の反復中に）、自動増分アドレス指定モードまたはベースプラスオフセットアドレス指定モードを使用する命令についてアクセスされるデータキャッシュ 1 0 2 の特定のウェイが識別され得る。自動増分アドレス指定モードまたはベースプラスオフセットアドレス指定モードを使用する命令は同じレジスタ上で動作するので、ポスト増分されたまたはオフセットされたアドレスが、データキャッシュ 1 0 2 の、命令の前の実行 (previous execution) と同じキャッシュライン（例えば、同じウェイ）にアクセスできることを決定する（例えば、確認する）ことが可能であり得る。従って、プロセッサシステム 1 0 0 は、1 つまたは複数の命令のためのウェイアクセスを予測するために、以下で説明するように予測テーブル 1 5 2 を生成し、維持し、使用できる。

30

【 0 0 2 1 】

[0026] データキャッシュ 1 0 2 は、データアレイ 1 1 0 と、マルチプレクサ 1 6 0 とを含み得る。データキャッシュ 1 0 2 は、最近使用されたまたは頻繁に使用されるデータを（キャッシュラインに）記憶するように構成され得る。データキャッシュ 1 0 2 に記憶されたデータは、メインメモリ（図示せず）などの別のロケーションからアクセスされるデータよりも迅速にアクセスされ得る。特定の実施形態では、データキャッシュ 1 0 2 は、4 ウェイセットアソシアティブキャッシュなどのセットアソシアティブキャッシュである。追加または代替として、データキャッシュ 1 0 2 は、制御ロジック 1 5 0、プログラムカウンタ 1 7 0、タグアレイ 1 8 0、復号ロジック 1 9 0、またはそれらの組合せを含み得る。

40

【 0 0 2 2 】

[0027] データアレイ 1 1 0 は、（プロセッサシステム 1 0 0 によって実行される）命令の実行中にアクセスされ得る。命令は、プログラム（例えば、一連の命令）に含まれてもよく、プログラムのループ（例えば、ソフトウェアループ）に含まれてもよく含まれなくてもよい。データアレイ 1 1 0 は、図 1 に示すように、各々が第 1 のウェイ、第 2 のウ

50

エイ、第3のウェイ、および第4のウェイなどの複数のウェイ（例えば、列）を含む複数のセット（例えば、行）を含む。ウェイの各々は、データキャッシュ102の列内の複数のキャッシュラインに関連付けられ得、データキャッシュ102の各セットの対応するキャッシュライン120a～d（例えば、単一のキャッシュライン）に関連付けられ得る。複数のウェイは、プログラムの実行中にアクセスされ得る。複数のウェイのうちの各ウェイは、ドライバ140a～d（例えば、ラインドライバ）と、データレイ110の列内の複数のキャッシュライン（例えば、記憶ロケーション）に対応するデータライン130a～dとを含み得る。例えば、第1のウェイはキャッシュラインA 120aに関連付けられ得、第1のドライバ140aと第1のデータライン130aとを含み、第2のウェイはキャッシュラインB 120bに関連付けられ得、第2のドライバ140bと第2のデータライン130bとを含み、第3のウェイはキャッシュラインC 120cに関連付けられ得、第3のドライバ140cと第3のデータライン130cとを含み、第4のウェイはキャッシュラインD 120dに関連付けられ得、第4のドライバ140dと第4のデータライン130dとを含む。

【0023】

[0028] 各ドライバ140a～dは、対応するデータライン130a～dを介してデータレイ110から読み取られ（例えば、駆動され）、マルチプレクサ160に与えられるべき、対応するキャッシュライン120a～d（例えば、対応するキャッシュブロック）に記憶されたデータを有効化できる。キャッシュライン120a～dの特定のキャッシュラインに記憶されたコンテンツは、複数のバイト（例えば、32バイトまたは64バイト）を含み得る。特定の実施形態では、特定のキャッシュラインは、順次アドレス指定されたメモリロケーションのブロックに対応し得る。例えば、特定のキャッシュラインは、8つの順次アドレス指定されたメモリロケーション（例えば、8つの4バイトセグメント）のブロックに対応し得る。

【0024】

[0029] 復号ロジック190は、プロセッサシステム100によって実行されるべき1つまたは複数の命令（例えば、一連の命令）を受信し得る。復号ロジック190は、1つまたは複数の命令のうちの特定の命令を復号し、（インデックス部分172、タグ部分174、またはそれらの組合せを含む）復号された命令をプログラムカウンタ170に与えるように構成されたデコーダを含み得る。復号ロジック190はまた、特定の命令に関連付けられた命令データを、データを送るか、または1つもしくは複数の制御レジスタを修正することなどによって、制御ロジック150に与えるように構成され得る。例えば、命令データは、復号された命令（例えば、インデックス部分172および/またはタグ部分174）、1つまたは複数のウェイ予測特性、特定の命令の命令タイプ（例えば、ロードタイプ(load type)、ストアタイプ(store type)など）、特定の命令のモード（例えば、アドレス指定モード）、特定の命令に関連付けられたレジスタファイル（図示せず）の1つまたは複数のレジスタロケーション、特定の命令に関連付けられた増分値（および/またはオフセット値）、特定の命令に関連付けられたアドレス値、特定の命令がループ（例えば、ソフトウェアループ）を開始するかどうか、ループを終了するかどうか、またはループに含まれるかどうか、あるいはこれらの組合せを含み得る。1つまたは複数のウェイ予測特性は、特定の命令が予測可能な次のアドレス（例えば、実行されるべき次の命令のための有効アドレスが同じキャッシュラインから（例えば、同じウェイを介して）入手可能であることを示す予測可能なアクセスパターン）を有することを示し得る。例えば、1つまたは複数のウェイ予測特性は、特定の命令の特性（例えば、アドレス指定モード、命令タイプ、ループ内の位置など）、特定の命令の構成要素（例えば、オペコード、オペランド、ビット値、増分値、レジスタ値など）、またはそれらの組合せを備え得る。特定の命令のアドレス指定モードは、自動増分アドレス指定モードまたはベースプラスオフセットアドレス指定モードを含み得る。特定の命令の命令タイプは、ロードタイプまたはストアタイプを含み得る。

【0025】

10

20

30

40

50

[0030] プログラムカウンタ 170 は、復号ロジック 190 から取り出された復号された命令に基づいて、実行されるべき命令を識別し得る。プログラムカウンタ 170 は、命令の実行中にデータキャッシュ 102 にアクセスするために使用され得る、インデックス部分 172（例えば、セットインデックス部分）と、タグ部分 174 とを含み得る。命令が実行されるたびに、プログラムカウンタ 170 は、実行されるべき次の命令を識別するために調整され（例えば、増分され）得る。

【0026】

[0031] 制御ロジック 150 は、ウェイ予測テーブル 152 と、タグアレイ有効化 154 と、ドライバ有効化 156 とを含み得る。制御ロジック 150 は、以下でさらに説明するように、復号ロジック 190 から命令データを受信し、命令データの少なくとも一部分に基づいて、ウェイ予測テーブル 152 にアクセスするように構成され得る。例えば、制御ロジック 150 は、復号ロジック 190 から受信された 1 つまたは複数のウェイ予測特性に基づいて、ウェイ予測テーブル 152 に選択的にアクセスし得る。

10

【0027】

[0032] ウェイ予測テーブル 152 は、各々が 1 つまたは複数のフィールドを含む、1 つまたは複数のエントリ 153 を含み得る。各エントリ 153 は、異なる命令に対応し、プログラムカウンタ（PC）フィールド、予測されるウェイ（WAY）フィールド、レジスタロケーション識別子（REG）フィールド、有効／無効フィールド（V/I）、またはそれらの組合せを含み得る。特定のエントリについて、PC フィールドは、プロセッサシステム 100 によって実行される対応する命令を識別し得る。WAY フィールド（例えば、予測されるウェイフィールド）は、対応する命令が最後に実行されたときに以前にアクセスされた（データアレイ 110 の）ウェイ（例えば、アクセスされた「最後のウェイ」）を識別する値（例えば、ウェイフィールド識別子）を含み得る。REG フィールドは、対応する命令が最後に実行されたときに修正されたレジスタファイル（図示せず）のレジスタロケーションを識別し得る。例えば、レジスタロケーションは、ポスト増分動作の一部として命令の実行に基づいて修正された命令のベースレジスタロケーションであり得る。V/I フィールドは、WAY フィールドの値が有効であるか、または無効であるかを識別し得る。例えば、V/I フィールドは、WAY フィールドの値が予測されるウェイとして使用され得るかどうかを示し得る。代替および／または追加として、V/I フィールドは、エントリが有効であるか、または無効であるかを示し得る。ウェイ予測テーブル 152 はプロセッサシステム 100 のプロセッサコアにおいて維持され（例えば、記憶され）得るおよび／またはデータキャッシュ 102 のプリフェッチテーブルに含まれ得るもしくははそれに関連付けられ得る。特定の実施形態では、ウェイ予測テーブル 152 中の各エントリは、プログラムカウンタ識別子（例えば、PC フィールド）と、特定のレジスタロケーション識別子（例えば、REG フィールド）と、特定の予測されるウェイ識別子（例えば、WAY フィールド）とを含む。

20

30

【0028】

[0033] 制御ロジック 150 は、復号ロジック 190 によって与えられる命令データ（例えば、実行されるべき命令に対応する命令データ）にアクセスするように構成され得る。1 つまたは複数のウェイ予測特性など、命令データの少なくとも一部分に基づいて、制御ロジック 150 は、ウェイ予測テーブル 152 が命令に対応するエントリを含むかどうかを決定し得る。例えば、制御ロジック 150 は、命令の命令タイプがロードタイプまたはストアタイプであるという指示を受信したことに応答して、ウェイ予測テーブル 152 を選択的に読み取り得る。特定の実施形態では、制御ロジック 150 は、命令タイプがロードタイプまたはストアタイプでない限り、ウェイ予測テーブルを読み取らない。制御ロジック 150 は、ウェイ予測テーブル 152 の PC フィールドに基づいて、ウェイ予測テーブル 152 が命令に対応するエントリ 153 を含むかどうかを決定し得る。別の特定の実施形態では、制御ロジック 150 は、命令のアドレス指定モードが自動増分アドレス指定モードまたはベースプラスオフセットアドレス指定モードであるという指示を受信したことに応答して、ウェイ予測テーブル 152 を選択的に読み取る。別の特定の実施形態で

40

50

は、制御ロジック 150 は、命令がループに含まれるという指示を受信したことに応答して、ウェイ予測テーブル 152 を選択的に読み取る。

【0029】

[0034] ウェイ予測テーブル 152 が命令に対応するエントリ 153 を含まないという決定に基づいて、および、命令がウェイ予測が有用である（例えば、自動増分アドレスモードを有する）1 つまたは複数のウェイ予測特性に関連付けられるという決定に基づいて、制御ロジック 150 はウェイ予測テーブル 152 中の命令に関連付けられた新しいエントリ 153 を生成（例えば、ポピュレート (populate)）し得る。制御ロジック 150 は、命令に含まれる（例えば、それによって識別される）レジスタロケーションと、命令に基づいてアクセスされるデータレイ 110 のウェイとを識別し得る。制御ロジック 150 は、識別されたレジスタロケーションと識別されたウェイとに基づいて、それぞれ、新しいエントリ 153 の WAY フィールドと REG フィールドとをポピュレートし得る。従って、次回（例えば、ループの次の反復中に）命令が実行されると、制御ロジック 150 は、WAY フィールドに基づいて、命令の前の実行中にアクセスされたウェイを識別し得る。特に、エントリが生成されるとき、WAY フィールドの値は、エントリを生成させた命令の実行に基づいてアクセスされたウェイを示すように設定され得る。REG フィールドは、本明細書でさらに説明するように、ウェイ予測テーブル 152 を維持するために制御ロジック 150 によって使用され得る。

【0030】

[0035] 制御ロジック 150 はまた、命令の後続の（例えば、次の）実行が、エントリを生成させた命令の実行と同じウェイにアクセスするかどうかを予測し得る。例えば、図 1 に関してさらに詳細に説明するように、制御ロジック 150 は、命令の次の実行が、自動増分アドレス指定モード命令またはベースプラスオフセットアドレス指定モード命令などによる実行と同じキャッシュライン、従って同じウェイにアクセスするかどうかを予測する（例えば、確認する (verify)）ための算術演算を行い得る。増分されたアドレスが命令の実行中にアクセスされた同じキャッシュラインにないという決定（例えば、予測 (prediction)）が行われると、制御ロジック 150 は、命令の後続の実行中に使用されるべき予測されるウェイを示すために WAY フィールドの値が信頼され得ないことを示すように、新しいエントリの V/I フィールド（例えば、有効性ビット (validity bit)）を無効として設定し得る。増分されたアドレスが命令の実行中にアクセスされた同じキャッシュラインにある（例えば、命令の実行がキャッシュライン A 120a にアクセスした、また、増分されたアドレスに関連付けられた値がキャッシュライン A 120a にある）という決定（例えば、予測）が行われると、制御ロジック 150 は、WAY フィールドの値が命令の後続の実行中に使用されるべき予測されるウェイを示すことを示すように、新しいエントリの V/I フィールド（例えば、有効性ビット）を有効に設定し得る。

【0031】

[0036] 制御ロジック 150 は、実行されるべき命令のためのウェイを予測するために、ウェイ予測テーブル 152 を使用し得る。制御ロジック 150 は、各エントリ 153 の PC フィールドに基づいて命令に対応するウェイ予測テーブル 152 のエントリ 153 を識別するために、ウェイ予測テーブル 152 を選択的に読み取り得る。制御ロジック 150 が対応するエントリ 153 を識別するとき、エントリ 153 が有効として示される場合、制御ロジック 150 は、WAY フィールドの値をドライバ有効化 156 に与える（または利用可能にする）ことによって、エントリ 153 の WAY フィールドの値をウェイ予測として使用することができ、V/I フィールドの値をタグアレイ有効化 154 に与える（または利用可能にする）ことができる。

【0032】

[0037] ドライバ有効化 156 は、ウェイ予測テーブル 152 で識別された予測されるウェイに基づいて、ドライバ 140a ~ d のうちの 1 つまたは複数を選択的にアクティブ化する（例えば、オンにする）または非アクティブ化する (deactivate)（例えば、オフにする）ように構成され得る。特定の実施形態では、ドライバ有効化 156 に与えられる W

W A Yフィールドの値がヌル値（例えば、ゼロ値）であるとき、ドライバ有効化 1 5 6 は、全てのドライバ 1 4 0 a ~ d を有効化する。別の特定の実施形態では、エントリ 1 5 3 の W A Yフィールドの値がウェイ予測として使用され得ることをエントリ 1 5 3 の V / Iフィールドの値が示すとき、ドライバ有効化 1 5 6 は、識別された（例えば、対応する）エントリ 1 5 3 からの予測されるウェイを使用し得る。加えて、ドライバ有効化 1 5 6 は、W A Yフィールドによって示される予測されるウェイではない 1 つまたは複数のウェイの少なくとも 1 つのドライバ 1 4 0 a ~ d を選択的に無効化し得る。特定の実施形態では、W A Yフィールドは、予測されるウェイを示す 1 つまたは複数のビット（例えば、ビットマスク）を含み得、ドライバ有効化 1 5 6 は、複数のドライバ 1 4 0 a ~ d のうちの各ドライバを選択的に有効化または無効化するために、そのビットマスクを複数のドライバ 1 4 0 a ~ d に適用し得る。

10

【 0 0 3 3 】

[0038] タグアレイ有効化 1 5 4 は、命令に基づいて選択されるべきウェイ（例えば、キャッシュライン 1 2 0 a ~ d ）を識別するために、スイッチ 1 7 6 （または他の機構）を介して、タグアレイ 1 8 0 におけるタグルックアップ動作を選択的にアクティブ化する（例えば、有効化する）または非アクティブ化する（例えば、無効化する）ように構成され得る。W A Yフィールドの値がウェイ予測として使用され得ることを V / Iフィールドの値が示すとタグ有効化部分 1 5 4 が決定すると、タグ有効化部分 1 5 4 は、スイッチ 1 7 6 の動作を介して、タグルックアップ動作を選択的に無効化し得る。W A Yフィールドの値がウェイ予測として使用され得ないことを V / Iフィールドの値が示すとき、タグアレイ有効化 1 5 4 は、ドライバ 1 4 0 a ~ d が有効化されるのと並行して（例えば、同時に）タグルックアップ動作が行われるように、スイッチ 1 7 6 を選択的に有効化し得る。

20

【 0 0 3 4 】

[0039] ドライバ有効化 1 5 6 に与えられる W A Yフィールドの値とタグアレイ有効化 1 5 4 に与えられる V / Iフィールドの値の複数の組合せは、ドライバ有効化 1 5 6 および / またはタグアレイ有効化 1 5 4 の動作を指示するように与えられ得る。例えば、W A Yフィールドの値は、ドライバ有効化 1 5 6 に、W A Yフィールドの値に関係なく、全てのドライバ 1 4 0 a ~ d をアクティブ化させる（例えば、オンにさせる）ヌル値（例えば、ゼロ値）であってもよく、この場合、タグアレイ有効化 1 5 4 はスイッチ 1 7 6 を選択的に有効化するか、または選択的に無効化し得る。別の例として、W A Yフィールドの値がウェイ予測として信頼され得ないことを V / Iフィールドの値が示すとき、ドライバ有効化 1 5 6 は全てのドライバ 1 4 0 a ~ d をオンにし得、タグアレイ有効化 1 5 4 はスイッチ 1 7 6 を選択的に有効化し得る。さらなる例として、W A Yフィールドの値がウェイ予測として信頼され（例えば、使用され）得ることを V / Iフィールドの値が示すとき、ドライバ有効化 1 5 6 は複数のドライバ 1 4 0 a ~ d のうちの単一のラインドライバをアクティブ化し（例えば、オンにし）得、タグアレイ有効化 1 5 4 はスイッチ 1 7 6 を選択的に有効化するか、または選択的に無効化し得る。代替または追加として、タグアレイ有効化 1 5 4 は、レジスタファイルが追跡されている（例えば、監視されている）かどうか、W A Yフィールドの値と V / Iフィールドの値とを与えるエントリに対応する命令が（例えば、制御ロジック 1 5 0 において受信された命令データに基づいて）ループに含まれるものとして識別されるかどうか、またはこれらの組合せに基づいて、スイッチ 1 7 6 を選択的に有効化または無効化し得る。

30

40

【 0 0 3 5 】

[0040] 制御ロジック 1 5 0、または制御ロジック 1 5 0 に結合された他のロジックは、任意の命令がウェイ予測テーブル 1 5 2 で識別されたレジスタロケーションにおけるデータを修正する（例えば、変更する）かどうかを追跡する（例えば、監視する）追跡ロジックを含み得る。追跡ロジックは、修正されたレジスタロケーションの値を識別し、レジスタロケーションの識別情報を制御ロジック 1 5 0 に与え得る。制御ロジック 1 5 0 は、特定のエントリ 1 5 3 がレジスタロケーションに対応する値を有する R E Gフィールドを含むかどうかを決定するために、ウェイ予測テーブル 1 5 2 を読み取り得る。特定のエン

50

トリ 1 5 3 がそのような R E G フィールドを含むという決定に基づいて、制御ロジック 1 5 0 は、特定のエントリ 1 5 3 の P C フィールドがレジスタロケーションを修正した特定の命令に対応するかどうかを決定し得、特定のエントリ 1 5 3 が特定の命令に対応しないとき、制御ロジック 1 5 0 は、特定のエントリの W A Y フィールドの値がウェイ予測として信頼され（例えば、ザ使用され）得ないことを示すように、特定のエントリ 1 5 3 の V / I フィールドの値（例えば、無効）を設定し得るか、または特定のエントリ 1 5 3 を除去し（例えば、削除し）得る。

【 0 0 3 6 】

[0041] プロセッサシステム 1 0 0 の動作中に、復号ロジック 1 9 0 および / または制御ロジック 1 5 0 は、ウェイ予測テーブル 1 5 2 が実行されるべき命令に対応するエントリを含むかどうかを決定し得る。ウェイ予測テーブル 1 5 2 がエントリを含まないとき、制御ロジック 1 5 0 はウェイ予測テーブル 1 5 2 中で新しいエントリを生成し得る。ウェイ予測テーブル 1 5 2 がエントリを含むとき、制御ロジック 1 5 0 はエントリの 1 つまたは複数のフィールドの 1 つまたは複数の値を識別し得る。エントリが有効でない（例えば、エントリがウェイ予測のために使用され得ない）ことを 1 つまたは複数のフィールドが示すとき、制御ロジック 1 5 0 は、データアレイ 1 1 0 の複数のドライバ 1 4 0 a ~ d のうちの全てを有効化し、マルチプレクサ 1 6 0 ベースのタグアレイ 1 8 0 の出力に与えられるべきウェイ選択信号を有効化し得る。エントリが有効であることを 1 つまたは複数のフィールドが示すとき、制御ロジック 1 5 0 は、複数のドライバ 1 4 0 a ~ d のうちの 1 つまたは複数を選択的に有効化および / または無効化し、マルチプレクサ 1 6 0 による選択を制御するために、エントリの W A Y フィールドの値を使用し得る。制御ロジック 1 5 0 は、増分されたアドレスが W A Y フィールドによって示されるウェイとは異なるウェイに対応するキャッシュラインにアクセスする可能性があるという予測に基づいて、または、ウェイ予測テーブル 1 5 2 で識別されたレジスタロケーションに対する修正を識別することに基づいて、ウェイ予測テーブル 1 5 2 の 1 つまたは複数のエントリを更新し得る。プロセッサシステム 1 0 0 の動作の一例については、図 4 を参照しながら後述する。

【 0 0 3 7 】

[0042] プロセッサシステム 1 0 0 によって実行される命令のためのウェイ予測テーブル 1 5 2 を維持することによって、データキャッシュ 1 0 2 のデータアレイ 1 1 0 の 1 つまたは複数のドライバ 1 4 0 a ~ d は、ウェイ予測に基づいて選択的に無効化され得、データキャッシュ 1 0 2 のデータアクセス中に電力上の利点の実現され得る。加えて、各エントリ 1 5 3 に関連付けられたレジスタロケーション（例えば、R E G フィールド）を追跡し、記憶することによって、制御ロジック 1 5 0 は、エントリに対応する命令以外の命令がウェイ予測テーブル 1 5 2 中の任意のエントリの R E G フィールドによって識別された特定のレジスタロケーションにおけるデータを修正するときの、潜在的な誤予測を回避し得る。さらなる電力上の利点は、タグルックアップ動作を選択的に無効化することによって実現され得る。

【 0 0 3 8 】

[0043] 図 2 を参照すると、データキャッシュに関連付けられたウェイ予測を行う方法 2 0 0 の第 1 の例示的な実施形態の流れ図が示されている。例えば、データキャッシュは図 1 のデータキャッシュ 1 0 2 を含み得る。特定の実施形態では、方法 2 0 0 は図 1 の制御ロジック 1 5 0 によって行われ得る。

【 0 0 3 9 】

[0044] 2 0 2 において、増分値は命令の第 1 の実行中に識別される。増分値は、自動増分アドレス指定モードを使用する命令に関連付けられ得る。増分値は、図 1 の復号ロジック 1 9 0 などの復号ロジックによって決定され（例えば、識別され）得る。増分値は、復号ロジックから図 1 の制御ロジック 1 5 0 などの制御ロジックに与えられる命令データに含まれ得る。制御ロジックは、命令データを受信し、増分値を識別し得る。制御ロジックはまた、命令が、命令が予測可能なアクセスパターンを有し得ることを示す 1 つまたは複数のウェイ予測特性に関連付けられているかどうかを決定し得る。特定の実施形態では

、制御ロジックは、命令が1つまたは複数のウェイ予測特性に関連付けられているという決定を行った後に、命令の増分値を識別する。

【0040】

[0045] 204において、命令の第1の実行中に命令に基づいてアクセスされたデータキャッシュのウェイが識別される。例えば、データキャッシュは図1のデータキャッシュ102であり得る。制御ロジックは、命令の第1の実行中にアクセスされたウェイを識別し得る。

【0041】

[0046] 206において、増分値は、増分されたアドレス値を決定するために、命令に関連付けられたアドレス値に追加される。制御ロジックは、増分されたアドレスを決定するために、増分値を命令に関連付けられたアドレス値に追加し得る。特定の実施形態では、アドレス値は命令によって識別されたレジスタロケーションにおいて記憶されるアドレス値であり得る。レジスタロケーションは、復号ロジックによって与えられる命令データに基づいて、制御ロジックによって識別され得る。

【0042】

[0047] 208において、増分されたアドレス値がデータキャッシュのウェイにあるかどうかの決定が行われる。制御ロジックは、命令の後続の（例えば、次の）実行が命令の実行（すなわち、第1の実行）と同じウェイにアクセスすると予測されるかどうかを決定し得る。

【0043】

[0048] 210において、命令に対応するエントリはテーブル内にポピュレートされる。エントリは、増分されたアドレスがデータキャッシュのウェイにあると決定したことに応答して、テーブル内にポピュレートされ得る。制御ロジックは、命令に対応するエントリを図1のウェイ予測テーブル152などのウェイ予測テーブル内にポピュレート（例えば、生成(generate)）し得る。特定の実施形態では、テーブル内におけるエントリの生成（例えば、ポピュレーション）は、エントリが生成される（例えば、ポピュレートされる）前に満たされている、命令に関連付けられた1つまたは複数の条件（例えば、自動増分アドレス指定モード、命令のタイプ、ループ中にある命令）が条件となる。制御ロジックは、エントリが命令（例えば、PCフィールド値）、命令の第1の実行中にアクセスされたデータキャッシュのウェイ（例えば、WAYフィールド値）、レジスタロケーション（例えば、REGフィールド値）、命令の後続の（例えば、次の）実行が同じキャッシュラインにアクセスすると予測されるかどうか（例えば、V/Iフィールド値）、またはこれらの組合せを識別するように、エントリの1つまたは複数のフィールドをポピュレートし得る。

【0044】

[0049] 命令のためのエントリをウェイ予測テーブル内に生成（例えば、ポピュレート）することによって、命令に基づいてアクセスされたウェイが記録され、追跡され得る。記録されたウェイは、データキャッシュのデータアクセス中に電力上の利点を実現するようにデータキャッシュの1つまたは複数のドライバを選択的に有効化および/または無効化する（例えば、全てのドライバよりも少ないドライバがオンにされる）ために、命令の1つまたは複数の後続の実行中に制御ロジックによってウェイ予測として使用され得る。

【0045】

[0050] 図3を参照すると、データキャッシュに関連付けられたウェイ予測を行う方法300の第2の例示的な実施形態の流れ図が示されている。例えば、データキャッシュは図1のデータキャッシュ102を含み得る。特定の実施形態では、方法300は図1の制御ロジック150によって行われ得る。

【0046】

[0051] 302において、命令のアドレス指定モードが識別される。特定の実施形態では、命令のアドレス指定モードは自動増分アドレス指定モードとして識別される。自動増分アドレス指定モードを有する命令は、増分値と、命令に関連付けられたアドレスを記憶

10

20

30

40

50

するレジスタロケーションとを識別し得る。アドレス指定モードは、復号ロジック 190 などの復号ロジックから受信された命令データに基づいて、図 1 の制御ロジック 150 などの制御ロジックによって決定（例えば、識別）され得る。加えて、命令に関連付けられたタイプ（例えば、命令タイプ）が決定され得る。例えば、タイプはロードタイプまたはストアタイプであると決定され得る。タイプは制御ロジックによって決定（例えば、識別）され得る。

【0047】

[0052] 304において、データキャッシュのウェイを識別する命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、命令の識別情報に基づいて、テーブルが読み取られる。制御ロジックは、テーブルがデータキャッシュのウェイを識別する命令に関連付けられたエントリを含むかどうかを決定し得る。例えば、制御ロジックは、テーブルにアクセスし、命令に基づいてテーブルからエントリを読み取り得る。テーブルは、図 1 のウェイ予測テーブル 152 を含み得る。テーブルがエントリを含むという決定が行われると、制御ロジックは、エントリに関連付けられた V / エフィードに含まれる有効性ビットの値に基づいて、エントリが有効として識別されるか、または無効として識別されるかを決定し得る。V / エフィードはエントリに含まれるか、またはテーブルとは異なるレジスタロケーションもしくはバッファにおいて記憶され得る。有効性ビットの値は、命令のためのウェイ予測を提供するためにエントリまたはエントリの一部分（例えば、少なくとも 1 つのフィールド）が有効であるかどうかを決定するために、制御ロジックを有効化し得る。エントリに基づいて、制御ロジックは、データキャッシュの 1 つまたは複数のドライバを選択的に有効化および / または無効化する（例えば、全てのドライバよりも少ないドライバがオンにされる）ために、エントリに含まれるウェイ予測を使用し得る。データキャッシュの 1 つまたは複数のドライバを選択的に無効化することによって、データキャッシュのデータアクセス中に電力上の利点が実現される。

【0048】

[0053] 306において、命令に基づいたデータキャッシュの次のアクセスが同じウェイにアクセスするかどうかの予測が行われる。例えば、制御ロジックは、命令に基づいたデータキャッシュの次のアクセスがエントリによって識別されたウェイにアクセスするかどうかを予測し得る。制御ロジックは、増分されたアドレスを決定するために、命令に関連付けられた増分値を、命令に関連付けられたレジスタロケーションの（例えば、レジスタロケーションにおいて記憶された）アドレスに追加することによって、および、増分されたアドレスがデータアレイの、そのアドレスと同じキャッシュラインにあるかどうかを決定することによって、予測を行い得る。

【0049】

[0054] データキャッシュの次のアクセスがウェイにアクセスしないという予測が行われると、処理は 308 に進み、テーブル内のエントリが無効にされるかまたは削除される（例えば、除去される）。例えば、制御ロジックは、エントリを除去するか、または、増分されたアドレスがアドレス（例えば、増分されたアドレスを生成するために増分されたアドレス）を含むキャッシュラインとは異なるデータキャッシュのキャッシュラインにあるという決定に基づいて、テーブルのエントリが無効であることを示すことができる。代替として、データキャッシュの次のアクセスがウェイにアクセスするという予測が行われると、処理は 310 に進み、テーブル内のエントリが維持される。例えば、制御ロジックは、増分されたアドレスがデータアレイの、アドレスと同じキャッシュラインにあるという決定（例えば、予測）に基づいてウェイ予測を提供するために、テーブルのエントリを有効として維持し得る。制御ロジック、または制御ロジック以外のロジックは、レジスタロケーションを含むレジスタファイルを監視（例えば、追跡）し得る。レジスタファイルを監視（例えば、追跡）した結果として、制御ロジックは、レジスタロケーションのコンテンツが変更されたことに応答して、エントリを無効にするか、または削除できる。レジスタロケーションのコンテンツは別の命令によって変更され得る。

【0050】

10

20

30

40

50

[0055] テーブルにアクセスすることによって、命令に基づいてアクセスされたデータキャッシュの前のウェイは、命令の実行のためのウェイ予測として使用され得る。加えて、制御ロジックは、命令の後続の（例えば、次の）実行が命令の実行と同じキャッシュラインにアクセスするかどうかを決定（例えば、予測）し得る。後続の実行が同じキャッシュラインにアクセスするかどうかの決定に基づいて、制御ロジックは、エントリを除去する、エントリの1つまたは複数のフィールドを更新する、および/またはエントリの1つまたは複数のフィールドを維持できる。テーブルのエントリを更新および維持することによって、テーブルは、1つまたは複数のウェイ予測を行い、誤予測を回避するために使用され、信頼され得る。

【0051】

10

[0056] 図4を参照すると、データキャッシュの行400の特定の例示的な実施形態が示されている。例えば、データキャッシュは図1のデータキャッシュ102を含み得る。行400は、各々がキャッシュライン境界410~414によって分離された、第1のキャッシュラインA 402と、第2のキャッシュラインB 404と、第3のキャッシュラインC 406と、第4のキャッシュラインD 408とを含み得る。例えば、4つのキャッシュライン402~408は、図1のキャッシュライン120a~dに対応し得る。4つの代表的なキャッシュラインA~Dが示されているが、行400は4つよりも多いキャッシュラインまたは4つよりも少ないキャッシュラインを含み得ることを理解されたい。キャッシュライン402~408の各々は、複数のセグメントを含み得る。例えば、第1のキャッシュラインA 402は、第1のセグメント402aと、第2のセグメント402bと、第3のセグメント402cと、第4のセグメント402dとを含む。特定の実施形態では、各キャッシュライン402~408は、同じ数のセグメントを含む。キャッシュライン402~408の各々は、対応するウェイに関連付けられ得る。

20

【0052】

[0057] 行400の動作および使用法を例示するために、代表的なプログラムループ（例えば、ループコード430）を含む代表的なコンピュータ命令の例示的な実施形態が図4に示されている。命令は、ループトップ識別子440で始まるループコード430を含む。ループは、3つの命令442、444、および446を含む。ループは、終了ループ指示子448で終了する。簡略化された例を与えるために、プログラムループの全ての態様が示されているとは限らない。例えば、簡潔にするために、ループ反復の数およびループ終了条件は省略されている。

30

【0053】

[0058] 第1の命令442は、自動増分アドレス指定モードを含む例示的なロードタイプ命令（例えば、ポスト増分ロード）である。特定の実施形態では、第1の命令442は、メモリアドレスを記憶し、メモリアドレスに対応するコンテンツ（例えば、データ）をデータキャッシュからレジスタロケーションR1にロードするためにレジスタロケーションR9中のメモリアドレスを使用する、レジスタロケーションR9にアクセスするメモリ書込み命令である。レジスタファイル（図示せず）は、複数のレジスタロケーションを含み得る。レジスタロケーションR9によって識別されたコンテンツがレジスタロケーションR1にロードされた後、レジスタロケーションR9のメモリアドレスの値は2だけ自動増分される（例えば、2のポスト増分）。従って、第1の命令442は、2の増分値を有し、ベースレジスタR9上で動作するものと見なされ得る。レジスタロケーションR9のコンテンツをレジスタロケーションR1にロードするために、データキャッシュの特定のキャッシュラインにアクセスされ得る。特定のキャッシュラインは、データアレイの特定のウェイと特定のドライバとに関連付けられる。

40

【0054】

[0059] 第2の命令444は、代表的な演算命令である。特定の実施形態では、第2の命令444は、（対応する第1のコンテンツ（例えば、データ）を有する）第1のメモリアドレスを記憶するレジスタロケーションR4と、（対応する第2のコンテンツを有する）第2のメモリアドレスを記憶するレジスタロケーションR5とを識別する加算命令であ

50

る。レジスタロケーション R 4 の第 1 のメモリアドレスに対応する第 1 のコンテンツおよびレジスタロケーション R 5 の第 2 のメモリアドレスに対応する第 2 のコンテンツは一緒に加算され得、その合計は、第 2 の命令 4 4 4 に基づいて、レジスタロケーション R 9 に記憶された第 3 のメモリアドレスに対応するコンテンツ（例えば、データ）として記憶され得る。

【 0 0 5 5 】

[0060] 第 3 の命令 4 4 6 は、自動増分アドレス指定モードを含む別のロードタイプ命令を含み得る。例えば、第 3 の命令 4 4 6 の実行は、メモリアドレスを記憶し、メモリアドレスに対応するコンテンツ（例えば、データ）をデータキャッシュからレジスタロケーション R 2 にロードするためにレジスタロケーション R 1 0 中のメモリアドレスを使用する、レジスタロケーション R 1 0（例えば、第 3 の命令 4 4 6 のベースレジスタ）にアクセスし得る。コンテンツがレジスタロケーション R 2 にロードされた後、レジスタロケーション R 1 0 のメモリアドレスの値は 1 だけ増分され得る（例えば、1 のポスト増分）。

【 0 0 5 6 】

[0061] ループコード 4 3 0 を実行することは、1 回または複数回（例えば、1 つまたは複数の反復）命令 4 4 2、4 4 4、および 4 4 6 を実行することを含む。ループコード 4 3 0 の第 1 の反復中に、第 1 の命令 4 4 2 が実行される。第 1 の命令 4 4 2 は、自動増分アドレス指定モードなどの 1 つまたは複数のウェイ予測特性を含むので、制御ロジック（図示せず）はウェイ予測テーブル内に第 1 の命令 4 4 2 に対応するエントリを生成し得る。例えば、図 1 の制御ロジック 1 5 0、または図示されていない他の制御ロジックは、ウェイ予測テーブル 1 5 2 中でエントリを生成し得る。特定の実施形態では、制御ロジックは、ウェイ予測が第 1 の命令 4 4 2 に対応するエントリを含まないと決定した後で、ウェイ予測テーブル内にエントリを生成し得る。

【 0 0 5 7 】

[0062] 第 1 の命令 4 4 2 は自動増分アドレス指定モードを含むので、制御ロジックは 2 の増分値を識別し得る。2 の増分値はキャッシュライン 4 0 2 ~ 4 0 8 のサイズ（例えば、4 のサイズ）よりも小さいので、制御ロジックは、アクセスされる次のウェイは同じキャッシュラインに対応する（例えば、同じキャッシュライン内にとどまる）であろうと予測し得る。次の反復（例えば、第 1 の命令 4 4 2 の次の実行）中に同じウェイにアクセスされるという予測に基づいて、ウェイは第 1 の命令 4 4 2 の次の実行のためのウェイ予測として識別され得る。

【 0 0 5 8 】

[0063] 例示すると、4 5 0 において、ループコード 4 3 0 の第 1 の反復中に、レジスタロケーション R 9 のコンテンツは、第 3 のキャッシュライン C 4 0 6 の第 1 の（順次）セグメント 4 0 6 a を指し得る。例えば、第 3 のキャッシュライン C 4 0 6 は、第 1 のセグメント 4 0 6 a、第 2 のセグメント 4 0 6 b、第 3 のセグメント 4 0 6 c、および第 4 のセグメント 4 0 6 d などの、4 つのセグメントを備え得る。従って、4 5 2 において、レジスタロケーション R 9 のコンテンツを 2 の増分値だけ増分することは、レジスタロケーション R 9 のコンテンツが第 3 のキャッシュライン C 4 0 6 の第 3 の（順次）セグメント 4 0 6 c を指すことになる。従って、第 1 の命令 4 4 2 のためのウェイ予測は、ループコード 4 3 0 の第 1 の反復中に、第 1 の命令 4 4 2 の実行中に使用される（第 3 のキャッシュライン C 4 0 6 に対応する）ウェイを識別することになる。従って、図 1 に関して説明したように、第 1 の命令 4 4 2 のための新しいエントリは、制御ロジック 1 5 0 によってウェイ予測テーブル 1 5 2 に追加される。例えば、特定のエントリは、以下のフィールド、すなわち、P C = 0 x 1 0 1 4 8（例えば、第 1 の命令 4 4 2 に対応する）、W A Y = 3、R E G = R 9、および V / I = 有効（例えば、「1」のデータ値）のうちの 1 つまたは複数を含むように生成され得る。

【 0 0 5 9 】

[0064] 制御ロジックは、命令の後続の実行が同じキャッシュラインにアクセスするという決定に基づいて、エントリの V / I フィールドの（例えば、有効を示すための）有効

10

20

30

40

50

性ビットを設定し得る。別の実施形態では、新しいエントリのW A Yフィールドは、後続の実行が同じキャッシュラインにアクセスするという決定（例えば、予測）が行われたときにアクセスされるウェイを識別するためだけにポピュレートされ得る。後続の実行が同じキャッシュラインにアクセスしないという予測が行われると、制御ロジックは新しいエントリのW A Yフィールドをヌル値（例えば、ゼロ値）に設定し得る。別の特定の実施形態では、後続の実行が同じキャッシュラインにアクセスするという予測が行われると、ウェイ予測テーブル内にエントリが生成されるだけである。

【 0 0 6 0 】

[0065] 命令に基づいた新しいエントリの生成は、識別されている1つまたは複数の追加のウェイ予測特性（例えば、命令データに基づいて、図1の制御ロジック150によって行われている1つまたは複数の追加の決定）をさらに条件とする（例えば、それらの特性に基づく）場合がある。例えば、命令が自動増分アドレス指定モードおよび/またはベースプラスオフセットアドレス指定モードに関連付けられると、新しいエントリが生成される（例えば、ポピュレートされる）だけであり得る。別の例として、命令がループに含まれると、新しいエントリが生成される（例えば、ポピュレートされる）だけであり得る。特に、命令がループ中の命令の第1のインスタンスであるとき、新しいエントリが生成され得る。特定の実施形態では、命令がループに含まれないとき、エントリは生成されない。

【 0 0 6 1 】

[0066] 命令がベースプラスオフセットアドレス指定モードを使用するとき、制御ロジック150は、命令の後続の実行が命令の第1の実行に基づいて同じキャッシュラインにアクセスするかどうかの予測を行うように動作可能でない場合がある。例えば、自動増分アドレス指定モードとは異なり、ベースプラスオフセットアドレス指定モードを実行することは、命令の各連続する実行（例えば、ループの各連続する反復）中に、アドレスロケーションを所定の値（例えば、定数）だけ増分することができない。ベースプラスオフセットアドレス指定モードを使用する命令のストライド（例えば、オフセット）を決定するために、命令の少なくとも2回の実行が必要とされ得る。従って、命令がベースプラスオフセットアドレス指定モードを使用するとき、命令の第1の実行中に新しいエントリが生成され得るが、命令の第2の実行（例えば、最初の実行の後の次の実行）までW A Yフィールドの値が予測されるウェイとして使用され得ることを示すように、新しいエントリのV / Iフィールドの値を設定することができない場合がある。代替実施形態では、命令がベースプラスオフセットアドレス指定モードを使用するとき、エントリは、命令の第1の実行に基づいてウェイ予測テーブル152中で生成され得ない。むしろ、命令の第1の実行に基づいて、命令に関連付けられた潜在的な新しいエントリについて、P Cフィールドに関連付けられた値およびW A Yフィールドに関連付けられた値が識別され得、P Cフィールドに関連付けられた値およびW A Yフィールドに関連付けられた値は、ウェイ予測テーブル152とは異なるロケーション（および/または構造）中で維持され得る。例えば、ロケーションは、制御ロジック150などの制御ロジックに関連付けられたバッファまたはレジスタを含み得る。ベースプラスオフセットアドレス指定モードを使用する命令に関連付けられたエントリは、第1の実行に続く命令の実行に基づいて生成され得る。

【 0 0 6 2 】

[0067] 特定の実施形態では、制御ロジック150、または他の制御ロジックは、ウェイ予測テーブル152などのウェイ予測テーブル内でレジスタとして識別される（例えば、R E Gフィールドで識別される）レジスタファイル（図示せず）の各レジスタロケーションを追跡する追跡ロジックを含み得る。特定の実施形態では、制御ロジック150、または他の制御ロジックは、有効なエントリの対応するR E Gフィールドで識別されるレジスタファイルのレジスタロケーションのみを追跡する。例えば、レジスタロケーションR9が第1の命令442によって使用されたので、また、レジスタロケーションR9がウェイ予測テーブル152に追加されたエントリに関連付けられたので、追跡ロジックはレジスタロケーションR9の値を修正する任意の命令を監視する。特定の例示的な例では、第

10

20

30

40

50

2の命令444はレジスタロケーションR9の値を変更(例えば、修正)する。従って、追跡ロジックは、第2の命令444などの1つまたは複数の命令を監視し、レジスタロケーションR9の値が第2の命令444によって変更されたことを検出したことに応答して、第1の命令442に対応するウェイ予測テーブル152中のエントリを無効にする(例えば、V/Iフィールドを無効に設定する)か、または削除する(例えば、除去する)ことができる。従って、第1の命令442の後続の実行(例えば、次の実行)後に、ウェイ予測テーブル152は、それによってウェイ予測が行われ得る、第1の命令442に関連付けられた有効なエントリ(または任意のエントリ)を含まないことになる。

【0063】

[0068] ループコード430を続行すると、第3の命令446は自動増分アドレス指定モードを含み得る。制御ロジックは、1の増分値と、第3の命令446のレジスタロケーションR10(例えば、ベースレジスタ)とを識別し得る。420において、ループコード430の第1の反復中に、レジスタロケーションR10のコンテンツは、第1のキャッシュラインA402の第1の(順次)セグメント402aを指し得る。422において、1の増分値は第1のキャッシュラインA402のサイズ(例えば、第1のキャッシュラインA402は4のサイズを含む)よりも小さいので、制御ロジックは、次のウェイが第2の(順次)セグメント402bにおいて同じキャッシュライン402内にとどまるであろうと予測し得る。同じウェイにアクセスされるという予測に基づいて、ウェイは第3の命令446の次の実行のためのウェイ予測として識別され得る。従って、図1に関して説明したように、第3の命令446のための新しいエントリは、制御ロジック150によってウェイ予測テーブル152に追加される。ループの第1の反復は、終了ループ指示子448で終了する。

【0064】

[0069] ループコード430の第2の反復中に、第1の命令442は再度実行される。制御ロジック150は、第1の命令442に対応する有効なエントリについてウェイ予測テーブル152を検索し得る。ループコード430の第1の反復中に、エントリがウェイ予測テーブル152内で生成され、記憶されているので、ウェイ予測テーブル152は、第1の命令442に対応するプログラムカウンタ値に関連付けられたPCフィールド値を含むエントリを有する。しかしながら、追跡ロジックがエントリを無効にしたので、第1の命令442に基づいたウェイ予測テーブル152ルックアップ(例えば、ウェイ予測テーブル152のエントリの読み取り)の結果は無効なエントリの指示となる。無効なエントリは、制御ロジック150がウェイ予測テーブル152中のエントリによって示されるWAYフィールドの値(例えば、ウェイ予測)を単に信頼することができないことを示すことになる。従って、制御ロジック150は、レジスタロケーションR9に記憶されたメモリアドレスに基づいたタグアレイ180の検索(例えば、タグルックアップ動作)を選択的にアクティブ化(例えば、有効化)することになる。

【0065】

[0070] 特定の実施形態では、制御ロジックは、ウェイ予測テーブル152中のエントリによって示されるWAYフィールドの値を使用すると同時に(例えば、並行して)、タグルックアップ動作を有効化する。タグルックアップ動作を同時に有効化することは、WAYフィールドの値に基づいた誤予測(例えば、誤ったウェイを予測すること)が生じるかどうかを制御ロジックが決定することを可能にする。別の実施形態では、制御ロジックは全てのウェイのドライバを同時に(例えば、並行して)有効化し、従って、無効なエントリのWAYフィールドの値を信頼した結果として誤予測によるパフォーマンスペナルティが生じないことを確実にするために、タグルックアップ動作を有効化する。

【0066】

[0071] ループコード430による実行を続けると、第2の命令444に対応する加算演算が再び実行され、次いで、処理は第3の命令446を実行するために進む。第3の命令446は自動増分アドレス指定モードを含むので、制御ロジック150はウェイ予測テーブル152にアクセスし(例えば、ウェイ予測テーブル152を読み取り)、(レジス

タロケーション R 1 0 に対応する) 第 3 の命令 4 4 6 に関連付けられた以前に記憶されたエントリを識別する。この場合、第 3 の命令 4 4 6 に関連付けられたエントリは有効であり、制御ロジック 1 5 0 はウェイ選択信号を生成し、(その他のウェイのいずれもアクティブ化することなく) 選択される(例えば、予測される)ウェイをアクティブ化するための信号をドライバ有効化 1 5 6 から生成し得る。このようにして、第 3 の命令 4 4 6 の第 2 の実行に關与するループコード 4 3 0 の第 2 の反復は、ループコード 4 3 0 中の第 3 の命令 4 4 6 の第 1 の実行中に使用された(以前にアクセスされた第 1 のキャッシュライン A 4 0 2 に対応する)以前に記憶されたウェイを有利に選択する。従って、以前に記憶されたウェイはウェイ予測として使用され得、制御ロジック 1 5 0 は、ウェイ予測に基づいて、図 1 の複数のドライバ 1 4 0 a ~ d などの複数のドライバのうちの単一のドライバを有効化(例えば、選択的に有効化)し得る。(例えば、全ての複数のドライバ 1 4 0 a ~ d よりも少ない)単一のドライバを選択的に有効化することによって、図 1 のデータキャッシュ 1 0 2 などのデータキャッシュのデータアクセス中に電力上の利点が実現され得る。

【0067】

[0072] 4 2 2 において、ループコード 4 3 0 の第 2 の反復中に、レジスタロケーション R 1 0 のコンテンツは第 1 のキャッシュライン A 4 0 2 の第 2 の(順次)セグメント 4 0 2 b を指し得る。制御ロジックは、4 2 4 において、レジスタロケーション R 1 0 のコンテンツは、1 の増分値だけ増分されると、ループコード 4 3 0 の第 3 の反復中に、レジスタロケーション R 1 0 のコンテンツが第 1 のキャッシュライン A 4 0 2 の第 3 の(順次)セグメント 4 0 2 c を指すことになると計算することによって、第 3 の命令 4 4 6 に関連付けられた次のウェイが同じキャッシュライン 4 0 2 内にとどまるであろうと予測し得る。ループコード 4 3 0 の第 3 の反復中の第 3 の命令 4 4 6 の予測されるウェイは第 1 のキャッシュライン A 4 0 2 内にとどまるので、第 3 の命令 4 4 6 に関連付けられたエントリの WAY フィールドの値は同じまま(例えば、第 1 のキャッシュライン A 4 0 2 に対応するウェイ)であり得、第 3 の命令 4 4 6 に関連付けられたエントリは有効であり得る。終了ループ指示子 4 4 8 の処理(例えば、実行)は、ループコード 4 3 0 の第 2 の反復を終了する。

【0068】

[0073] ループコード 4 3 0 は、上記で説明したような追加の反復によって処理され続け得る。例えば、ループコード 4 3 0 は、第 3 の反復と第 4 の反復とを経ることができる。4 2 4 において、ループコード 4 3 0 の第 3 の反復における第 3 の命令 4 4 6 の実行中に、レジスタロケーション R 1 0 は第 1 のキャッシュライン A 4 0 2 の第 3 の(順次)セグメント 4 0 2 c を指し得る。4 2 6 において、ループコード 4 3 0 の第 4 の反復における第 3 の命令 4 4 6 の実行中に、レジスタロケーション R 1 0 は第 1 のキャッシュライン A 4 0 2 の第 4 の(順次)セグメント 4 0 2 d を指し得る。ループコード 4 3 0 の第 4 の反復における第 3 の命令 4 4 6 の実行中に、制御ロジックは、4 2 8 において、レジスタロケーション R 1 0 のコンテンツは、1 の増分値だけ増分されると、レジスタロケーション R 1 0 のコンテンツが第 2 のキャッシュライン B 4 0 4 を指すことになると計算することによって、第 3 の命令 4 4 6 に関連付けられた次のウェイが(例えば、ループコード 4 3 0 の第 5 の反復中に)同じキャッシュライン A 4 0 2 内にとどまらない(例えば、境界 4 1 0 を越えて横断する)であろうと予測し得る。(第 3 の命令 4 4 6 の次の実行に関連付けられた)第 3 の命令 4 4 6 の予測されるアドレスが第 1 のキャッシュライン A 4 0 2 の外にあるので、制御ロジックはエントリのウェイ予測を無効にするか、または第 3 の命令 4 4 6 に関連付けられたエントリをウェイ予測テーブルから削除し得る。制御ロジックがエントリを無効にすると、ループコード 4 3 0 の第 5 の反復中に、エントリは新しい(有効な)ウェイ予測で更新され得る。代替として、制御ロジックがエントリを削除すると、第 5 の反復中に、新しいエントリが生成され得る。

【0069】

[0074] 1 つまたは複数の命令のためのエントリをウェイ予測テーブル内に生成(例え

ば、ポピュレート)し、維持することによって、プロセッサシステムは、データキャッシュについてウェイ予測(例えば、ウェイ予測技法)を実施する(例えば、行う)ように有効化され得る。データキャッシュについてウェイ予測を行うことは、プロセッサシステムがデータキャッシュのいくつかのデータアクセス中に電力上の利点を実現することを可能にする。例えば、ウェイ予測技法は、1つまたは複数の命令がループの一部として実行される(例えば、数回実行される)予測可能なアクセスパターンを有するときに利用され得る。そのような命令は、自動増分アドレス指定モードまたはベースプラスオフセットアドレス指定モードを使用する命令を含み得る。

【0070】

[0075] 図5を参照すると、データキャッシュに関連付けられたウェイ予測を行う方法500の第3の例示的な実施形態の流れ図が示されている。例えば、データキャッシュは図1のデータキャッシュ102を含み得る。特定の実施形態では、方法500は図1の制御ロジック150によって行われ得る。

【0071】

[0076] 502において、命令の1つまたは複数のウェイ予測特性が識別される。1つまたは複数のウェイ予測特性は、命令のアドレス指定モード、命令の命令タイプ、命令がループに含まれるかどうかの指示、またはこれらの組合せを含み得る。例えば、1つまたは複数のウェイ予測特性は、図1の制御ロジック150などの制御ロジックによって、または図1の復号ロジック190などの復号ロジックによって識別され得る。特定の実施形態では、命令のアドレス指定モードが自動増分アドレス指定モードであるか、またはベースプラスオフセットアドレス指定モードであるかの決定が行われる。別の特定の実施形態では、命令の命令タイプがロードタイプであるか、またはストアタイプであるかの決定が行われる。別の特定の実施形態では、命令が1つまたは複数の命令のループに含まれるかどうかの決定が行われる。復号ロジックは、命令タイプ、アドレス指定モード、または命令がループに含まれるかどうかの指示を制御ロジックに与え得る。

【0072】

[0077] 504において、データキャッシュのウェイを識別する命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、1つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、テーブルが選択的に読み取られる。制御ロジックは、テーブルが命令に対応するエントリを含むかどうかを決定するために、テーブルを読み取り得る。例えば、図1の制御ロジック150は、ウェイ予測テーブル152を選択的に読み取り得る。テーブル内の対応するエントリは、エントリ(例えば、エントリのWAYフィールドの値)に含まれる1つまたは複数のビットの値に基づいて、ウェイ(例えば、予測されるウェイ)を示し得る。1つまたは複数のビットは、複数のドライバのうちの各ドライバを選択的に有効化または無効化するために、マスクとして複数のドライバに適用され得る。制御ロジックはまた、エントリが有効であるかどうかを決定し得る。特定の実施形態では、予測されるウェイは、命令の前の実行に基づいた、以前にアクセスされたウェイと同じウェイである。例えば、制御ロジックは、予測されるウェイを識別してテーブルから取り出し、エントリが有効であるときに1つまたは複数のドライバを選択的に有効化および/または無効化できる。ドライバ140a~dなどの1つまたは複数のドライバは、図1のデータキャッシュ102などのデータキャッシュに含まれ得る。

【0073】

[0078] 506において、命令に基づいたデータキャッシュの次のアクセスがウェイにアクセスするかどうかの予測が行われる。例えば、制御ロジックは、命令の次の実行が実行と同じキャッシュラインおよび従って同じウェイにアクセスするかどうかを予測する(例えば、確認する)ための算術演算を行い得る。増分されたアドレスが命令の実行中にアクセスされた同じキャッシュラインにないという決定(例えば、予測)が行われると、エントリのV/Iフィールド(例えば、有効性ビット)は、WAYフィールドの値が無効であり、命令の後続の実行中に使用されるべき予測されるウェイを示すために信頼され得ないことを示すように設定され得る。増分されたアドレスが同じキャッシュラインにあると

10

20

30

40

50

いう決定が行われると、エントリのV/Iフィールドは、WAYフィールドの値が有効であり、信頼され得ることを示すように設定され得る。

【0074】

[0079] テーブルにアクセスすることによって、命令に基づいてアクセスされたデータキャッシュの前のウェイは、命令の実行のためのウェイ予測として使用され得る。以前に記憶されたウェイはウェイ予測として使用され得、1つまたは複数のドライバは、ウェイ予測に基づいて、選択的に無効化され（例えば、オフにされ）得る。1つまたは複数のドライバを選択的に無効化することによって、全てのドライバよりも少ないドライバがアクティブ化され（例えば、オンにされ）、データキャッシュのデータアクセス中に電力上の利点が実現され得る。

10

【0075】

[0080] 図2の方法200、図3の方法300、図5の方法500、またはそれらの任意の組合せは、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）デバイス、特定用途向け集積回路（ASIC）、中央処理装置（CPU）などの処理ユニット、デジタル信号プロセッサ（DSP）、コントローラ、別のハードウェアデバイス、ファームウェアデバイス、またはそれらの任意の組合せによって実装されるか、または他の方法で行われ得る。一例として、図2の方法200、図3の方法300、図5の方法500、またはそれらの任意の組合せのうちのいずれかの少なくとも一部分は、図6に関して説明するように、メモリ632に記憶された命令を実行するプロセッサ610によって実装され得る。

【0076】

20

[0081] 図6は、マルチビットウェイ予測マスクを利用するキャッシュメモリシステムを含むデバイス600（例えば、通信デバイス）の特定の実施形態のブロック図である。デバイス600はワイヤレス電子デバイスであり得、メモリ632に結合されたデジタル信号プロセッサ（DSP）などのプロセッサ610を含み得る。

【0077】

[0082] プロセッサ610は、メモリ632に記憶されたソフトウェア660（例えば、1つまたは複数の命令のプログラム）を実行するように構成され得る。プロセッサ610は、データキャッシュ680と制御ロジック686とを含み得る。例えば、データキャッシュ680は図1のデータキャッシュ102を含むか、またはそれに対応し得、制御ロジック686は図1の制御ロジック150を含むか、またはそれに対応し得る。データキャッシュ680は、データアレイ682とタグアレイ684とを含み得る。データアレイ682およびタグアレイ684はそれぞれ、図1のデータアレイ110およびタグアレイ180に対応し得る。データアレイ682は、図1のラインドライバ140a~dなどの複数のラインドライバを含み得る。制御ロジック686は、ウェイ予測テーブル688を含み得る。ウェイ予測テーブル688は、図1のウェイ予測テーブル152を含むか、またはそれに対応し得る。例示的な例では、プロセッサ610は、図1のプロセッサシステム100またはその構成要素を含むか、またはそれに対応し、図1~図5の実施形態のいずれかまたはそれらの任意の組合せに従って動作する。

30

【0078】

[0083] 特定の実施形態では、プロセッサ610は、プロセッサ610などのコンピュータに、図2の方法200、図3の方法300、図5の方法500、またはそれらの任意の組合せのうちのいずれかの少なくとも一部分を行わせるように実行可能である、メモリ632などの非一時的コンピュータ可読媒体に記憶されたコンピュータ実行可能命令660を実行するように構成され得る。例えば、コンピュータ実行可能命令660は、プロセッサ610に、命令の1つまたは複数のウェイ予測特性を識別させるように実行可能であり得る。コンピュータ実行可能命令660は、プロセッサ610に、データキャッシュのウェイを識別する命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、1つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、テーブルを選択的に読み取らせるようにさらに実行可能であり得る。コンピュータ実行可能命令660は、プロセッサ610に、命令に基づいたデータキャッシュの次のアクセスがウェイにアクセスするかどうかの予測

40

50

を行わせるようにさらに実行可能であり得る。

【0079】

[0084] カメラインターフェース668はプロセッサ610に結合され、また、ビデオカメラ670などのカメラに結合される。ディスプレイコントローラ626は、プロセッサ610とディスプレイデバイス628とに結合される。コーダ/デコーダ(コーデック)634もプロセッサ610に結合され得る。スピーカ636およびマイクロフォン638はコーデック634に結合され得る。ワイヤレスインターフェース640は、アンテナ642とワイヤレスインターフェース640とを介して受信されたワイヤレスデータがプロセッサ610に与えられ得るように、プロセッサ610とアンテナ642とに結合され得る。特定の実施形態では、プロセッサ610、ディスプレイコントローラ626、メモリ632、コーデック634、ワイヤレスインターフェース640、およびカメラインターフェース668は、システムインパッケージまたはシステムオンチップデバイス622に含まれる。特定の実施形態では、入力デバイス630および電源644はシステムオンチップデバイス622に結合される。さらに、特定の実施形態では、図6に示すように、ディスプレイデバイス628、入力デバイス630、スピーカ636、マイクロフォン638、ワイヤレスアンテナ642、ビデオカメラ670、および電源644は、システムオンチップデバイス622の外部にある。ただし、ディスプレイデバイス628、入力デバイス630、スピーカ636、マイクロフォン638、ワイヤレスアンテナ642、ビデオカメラ670、および電源644の各々は、インターフェースまたはコントローラなどのシステムオンチップデバイス622の構成要素に結合され得る。

10

20

【0080】

[0085] 説明される実施形態のうちの1つまたは複数とともに、命令の1つまたは複数のウェイ予測特性を識別するための手段を含む装置が開示される。識別するための手段は、図1の制御ロジック150、復号ロジック190、図6のプロセッサ610、制御ロジック686、1つまたは複数のウェイ予測特性を識別するように構成された1つまたは複数の他のデバイスもしくは回路、あるいはそれらの任意の組合せを含み得る。

【0081】

[0086] 装置は、データキャッシュのウェイを識別する命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、1つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、テーブルを選択的に読み取るための手段も含み得る。テーブルを選択的に読み取るための手段は、図1の制御ロジック150、図6の制御ロジック686、テーブルを選択的に読み取るように構成された1つまたは複数の他のデバイスもしくは回路、あるいはそれらの任意の組合せを含み得る。

30

【0082】

[0087] 装置は、命令に基づいたデータキャッシュの次のアクセスがウェイにアクセスするかどうかの予測を行うための手段も含み得る。予測を行うための手段は、図1の制御ロジック150、図6の制御ロジック686、予測を行うように構成された1つまたは複数の他のデバイスもしくは回路、あるいはそれらの任意の組合せを含み得る。

【0083】

[0088] 装置は、命令を復号するための手段も含み得、命令はレジスタ識別子を含み、予測可能な次のアドレスを有する。復号するための手段は、図1の復号ロジック190、図6のプロセッサ610、実行されるべき命令を復号するように構成された1つまたは複数の他のデバイスもしくは回路、あるいはそれらの任意の組合せを含み得る。

40

【0084】

[0089] 装置は、ウェイに基づいてデータキャッシュラインを選択的に駆動するための手段も含み得る。データキャッシュラインを選択的に駆動するための手段は、図1のラインドライバ140a~c、図6のデータアレイ682、データキャッシュラインを選択的に駆動するように構成された1つまたは複数の他のデバイスもしくは回路、あるいはそれらの任意の組合せを含み得る。

【0085】

50

【0090】 開示される実施形態のうちの1つまたは複数は、携帯電話、セルラー電話、衛星電話、コンピュータ、セッットップボックス、エンターテインメントユニット、ナビゲーションデバイス、通信デバイス、携帯情報端末（PDA）、固定ロケーションデータユニット、モバイルロケーションデータユニット、タブレット、ポータブルコンピュータ、デスクトップコンピュータ、モニタ、コンピュータモニタ、テレビジョン、チューナ、ラジオ、衛星ラジオ、音楽プレーヤ、デジタル音楽プレーヤ、ポータブル音楽プレーヤ、ビデオプレーヤ、デジタルビデオプレーヤ、デジタルビデオディスク（DVD）プレーヤ、ポータブルデジタルビデオプレーヤ、またはそれらの任意の組合せを含み得る、デバイス600などのシステムまたは装置で実装され得る。別の例示的な、非限定的な例として、システムまたは装置は、携帯電話、ハンドヘルドパーソナル通信システム（PCS）ユニット、携帯情報端末などのポータブルデータユニット、全地球測位システム（GPS）対応デバイス、ナビゲーションデバイス、メータ読取り機器などの固定ロケーションデータユニット、またはデータもしくはコンピュータ命令を記憶するかもしくは取り出す任意の他のデバイスなど、リモートユニット、あるいはそれらの任意の組合せを含み得る。

10

【0086】

【0091】 図1～図6のうちの1つまたは複数は、本開示の教示によるシステム、装置、および/または方法を示し得るが、本開示は、これらの示されたシステム、装置、および/または方法に限定されない。本開示の実施形態は、プロセッサとメモリとを含む集積回路を含む任意のデバイスにおいて適切に使用され得る。

20

【0087】

【0092】 本明細書で開示する実施形態に関して説明する様々な例示的な論理ブロック、構成、モジュール、回路、およびアルゴリズムステップは、電子ハードウェア、プロセッサによって実行されるコンピュータソフトウェア、またはそれらの組合せとして実装され得ることを、当業者はさらに諒解されよう。様々な例示的な構成要素、ブロック、構成、モジュール、回路、およびステップについて、上記では概して、それらの機能に関して説明した。そのような機能がハードウェアとして実装されるか、プロセッサ実行可能命令として実装されるかは、特定の適用例および全体的なシステムに課された設計制約に依存する。当業者は、説明された機能を特定の適用例ごとに様々な方法で実装し得るが、そのような実装の決定は、本開示の範囲からの逸脱を生じるものと解釈されるべきではない。

30

【0088】

【0093】 本明細書で開示する実施形態に関して説明する方法またはアルゴリズムのステップは、ハードウェアで直接、プロセッサによって実行されるソフトウェアモジュールで、またはこれら2つの組合せで具現化され得る。ソフトウェアモジュールは、ランダムアクセスメモリ（RAM）、フラッシュメモリ、読取り専用メモリ（ROM）、プログラマブル読取り専用メモリ（PROM）、消去可能プログラマブル読取り専用メモリ（EPROM）、電気消去可能プログラマブル読取り専用メモリ（EEPROM（登録商標））、レジスタ、ハードディスク、リムーバブルディスク、コンパクトディスク読取り専用メモリ（CD-ROM）、または当技術分野で知られている任意の他の形態の非一時的記憶媒体中に存在し得る。例示的な記憶媒体は、プロセッサが記憶媒体から情報を読み取り、記憶媒体に情報を書き込むことができるように、プロセッサに結合される。代替として、記憶媒体はプロセッサと一体化され得る。プロセッサおよび記憶媒体は、特定用途向け集積回路（ASIC）中に存在し得る。ASICは、コンピューティングデバイスまたはユーザ端末中に存在し得る。代替として、プロセッサおよび記憶媒体は、コンピューティングデバイスまたはユーザ端末中に個別構成要素として存在し得る。

40

【0089】

【0094】 開示される実施形態の上記の説明は、当業者が開示される実施形態を作成または使用することを可能にするように与えられる。これらの実施形態への様々な修正は当業者には容易に明らかになり、本明細書で定義された原理は本開示の範囲から逸脱することなく他の実施形態に適用され得る。従って、本開示は、本明細書に示した実施形態に限定されるものではなく、以下の特許請求の範囲によって定義される原理および新規の特徴と

50

合致することが可能な最も広い範囲が与えられるべきものである。

【図 1】

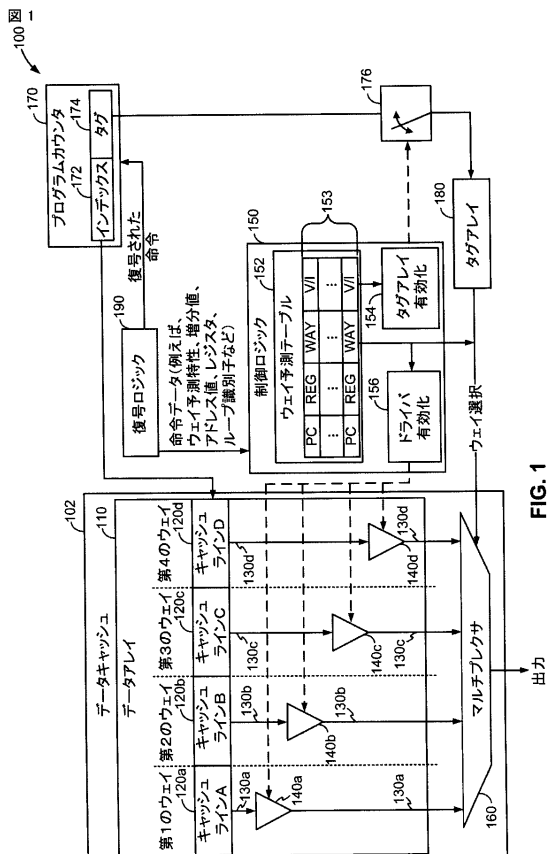


FIG. 1

【図 2】

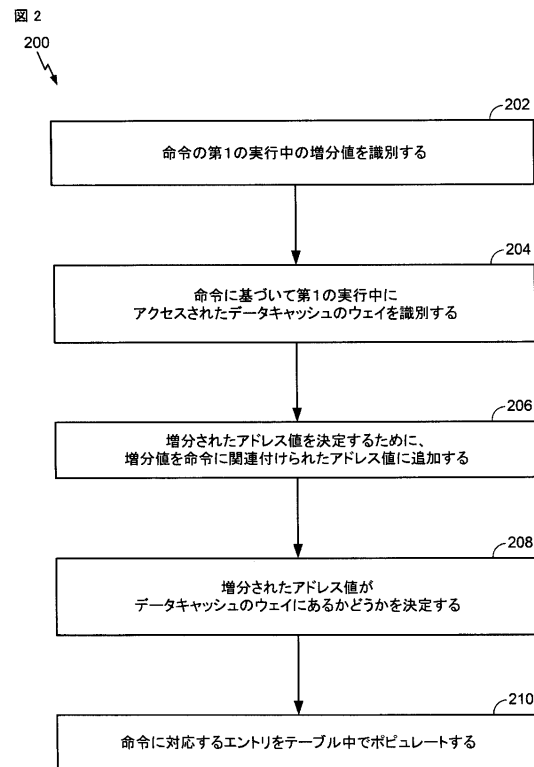


FIG. 2

【図 3】

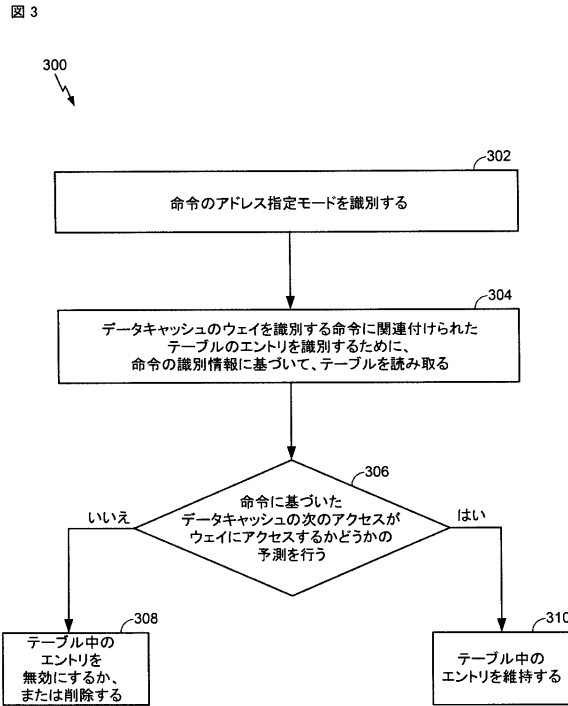


FIG. 3

【図 4】

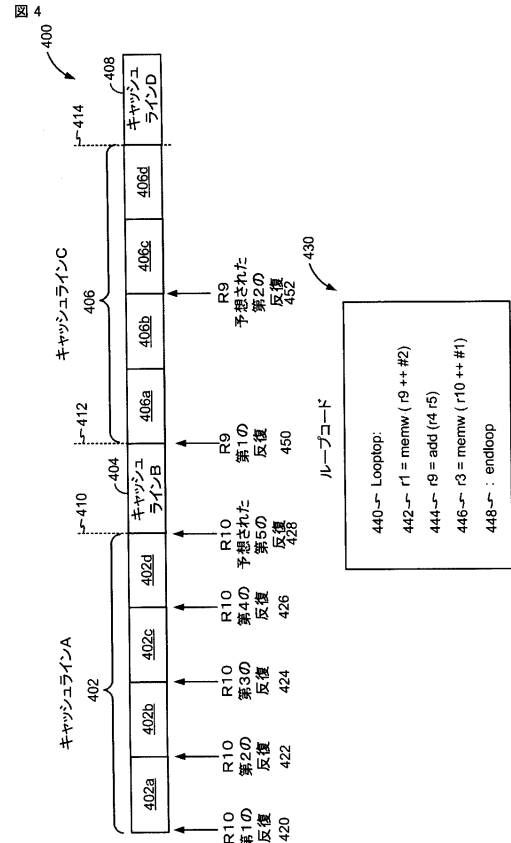


FIG. 4

【図 5】

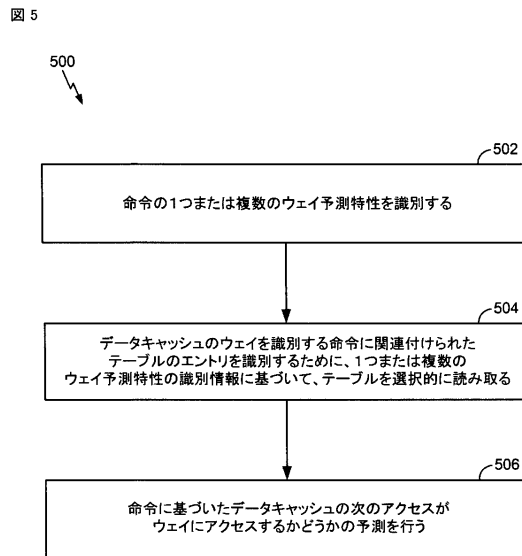


FIG. 5

【図 6】

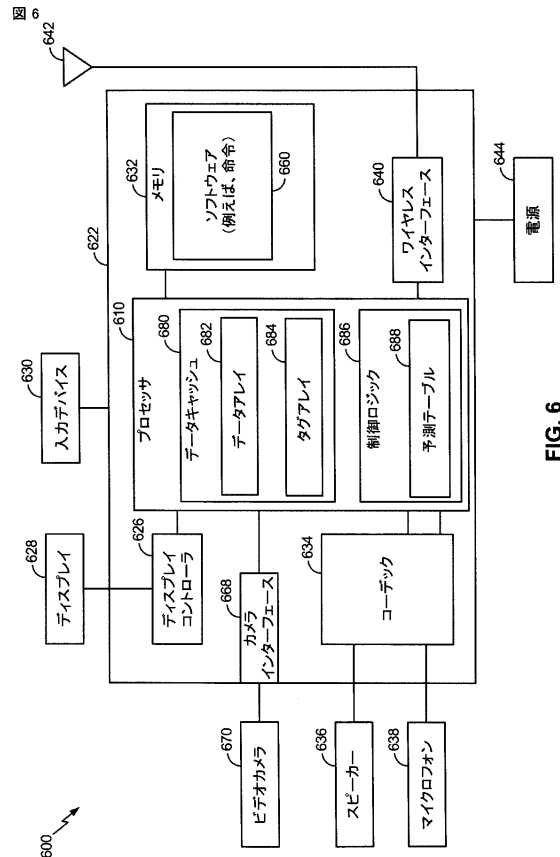


FIG. 6

【手続補正書】

【提出日】平成29年4月21日(2017.4.21)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

命令の第 1 の実行中に増分値を識別することと、

前記命令に基づいて、前記第 1 の実行中にアクセスされたデータキャッシュのウェイを識別することと、

第 1 の増分されたアドレス値を決定するために、前記増分値を前記命令に関連付けられたアドレス値に追加することと、

前記第 1 の増分されたアドレス値が前記データキャッシュの前記ウェイにあるかどうかを決定することと、

ウェイ予測特性を有する前記命令を条件とし、かつ、前記第 1 の増分されたアドレスが前記データキャッシュの前記ウェイにあると決定したことに応答して、前記命令に対応するエントリをテーブル内にポピュレートすることと

を備える方法。

【請求項 2】

前記テーブル内の各エントリが、プログラムカウンタ識別子、レジスタ識別子、予測されるウェイ識別子、有効性ビット、またはそれらの組合せを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記命令が自動増分命令を備えるか、またはベースプラスオフセット命令を備えるかを決定することをさらに備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記エントリが、前記アクセスされたデータキャッシュの前記ウェイを識別し、前記エントリが前記命令の前記第 1 の実行とともにポピュレートされ、

前記命令の第 2 の実行中に、特定の命令が特定のウェイ予測特性を有する前記命令である場合、

前記テーブルからの前記エントリの第 1 の読み取りを行うことと、

第 2 の増分されたアドレス値を計算することと、

前記ウェイを前記エントリのウェイフィールドから取り出すことと、

前記取り出されたウェイに対応する前記データキャッシュのドライバを選択的に有効化することと

前記特定の命令が前記特定のウェイ予測特性を有さない場合、前記第 1 の読み取りを行わずに前記特定の命令を実行することと

をさらに備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記命令の後続の実行の増分されたアドレス値が前記ウェイとは異なるウェイにあると決定したことに応答して、前記テーブルを更新すること、ここにおいて、前記命令の前記後続の実行は、前記第 1 の実行の後である、をさらに備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記エントリを除去するか、または、前記増分されたアドレスが前記アドレスに関連付けられたキャッシュラインとは異なるキャッシュラインに関連付けられるという決定に基づいて、前記テーブルの前記エントリが無効であることを示すことをさらに備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

レジスタロケーションのデータを修正した特定の命令を識別することと、
特定のエントリが前記レジスタロケーションに対応するレジスタ識別子を含むかどうか
を決定するために、前記テーブルを読み取ることと、
前記特定のエントリが前記特定の命令に対応するかどうかを決定することと、
前記特定のエントリが前記特定の命令に対応しないときに、前記特定のエントリを除去
するかまたは無効にすることと
をさらに備える、請求項 1 に記載の方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0089

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0089】

[0094] 開示される実施形態の上記の説明は、当業者が開示される実施形態を作成または使用することを可能にするように与えられる。これらの実施形態への様々な修正は当業者には容易に明らかになり、本明細書で定義された原理は本開示の範囲から逸脱することなく他の実施形態に適用され得る。従って、本開示は、本明細書に示した実施形態に限定されるものではなく、以下の特許請求の範囲によって定義される原理および新規の特徴と合致することが可能な最も広い範囲が与えられるべきものである。

以下に、出願当初の特許請求の範囲に記載された発明を付記する。

[C 1]

命令の 1 つまたは複数のウェイ予測特性を識別することと、
データキャッシュのウェイを識別する前記命令に関連付けられたテーブルのエントリを
識別するために、前記 1 つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、前記テ
ーブルを選択的に読み取ることと、
前記命令に基づいた前記データキャッシュの次のアクセスが前記ウェイにアクセスする
かどうかの予測を行うこととを備える方法。

[C 2]

前記 1 つまたは複数のウェイ予測特性が、前記命令のアドレス指定モード、前記命令の
命令タイプ、前記命令がループに含まれるかどうかの指示、またはこれらの組合せを備え
る、C 1 に記載の方法。

[C 3]

前記命令の前記アドレス指定モードが自動増分アドレス指定モードであるか、またはベ
ースプラスオフセットアドレス指定モードであるかを決定することをさらに備える、C 2
に記載の方法。

[C 4]

前記命令の前記アドレス指定モードが前記自動増分アドレス指定モードを備えるという
決定に回答して、前記データキャッシュの特定のウェイを識別するために前記エントリの
予測されるウェイフィールドを設定すること、ここにおいて、前記予測されるウェイフ
ィールドは、前記エントリの生成時に設定される、をさらに備える、C 3 に記載の方法。

[C 5]

前記命令の前記アドレス指定モードが前記ベースプラスオフセットアドレス指定モード
を備えるという決定に回答して、前記データキャッシュの特定のウェイを識別するために
前記エントリの予測されるウェイフィールドを設定すること、ここにおいて、前記エン
トリは、前記命令の第 1 の実行に関して生成され、および、ここにおいて、前記予測される
ウェイフィールドは、前記第 1 の実行に続く前記命令の第 2 の実行に基づいて設定される
、をさらに備える、C 3 に記載の方法。

[C 6]

前記命令の前記命令タイプがロードタイプであるか、またはストアタイプであるかを決
定することをさらに備える、C 2 に記載の方法。

[C 7]

前記命令が特定のループに含まれるという前記指示に応答して、前記テーブルが選択的に読み取られる、C 2 に記載の方法。

[C 8]

前記テーブルが前記エントリを含むかどうかを決定することと、
前記エントリがウェイ予測を提供するために有効であるかどうかを決定することと、
前記エントリが有効な予測されるウェイを示すと決定したことに応答して、前記予測されるウェイを前記エントリから取り出し、前記データキャッシュの前記予測されるウェイを選択的に駆動することとをさらに備える、C 1 に記載の方法。

[C 9]

レジスタロケーションのデータを修正した特定の命令を識別することと、
前記テーブル内の特定のエントリが前記レジスタロケーションに対応するレジスタ識別子を含むかどうかを決定することと、
前記特定のエントリが前記特定の命令に対応するかどうかを決定することと、
前記特定のエントリが前記特定の命令に対応しないときに、前記特定のエントリを除去するかまたは無効にすることとをさらに備える、C 1 に記載の方法。

[C 10]

命令の1つまたは複数のウェイ予測特性を識別するように構成された復号ロジックと、
前記復号ロジックに結合され、
データキャッシュのウェイを識別する前記命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、前記1つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、前記テーブルを選択的に読み取ることと、
前記命令に基づいた前記データキャッシュの次のアクセスが前記ウェイにアクセスするかどうかの予測を行うことと
を行うように構成された制御ロジックとを備えるプロセッサ。

[C 11]

複数のラインドライバと、ここにおいて、前記複数のラインドライバのうちの少なくとも1つのラインドライバは、前記予測に基づいて選択的に有効化または無効化される、
前記命令に基づいてタグルックアップ動作を行うように構成されたタグアレイと、
前記複数のラインドライバに応答し、前記タグアレイまたは前記制御ロジックから受信されたウェイ選択信号に応答するマルチプレクサと、
前記タグルックアップ動作を選択的に有効化または無効化するように構成されたスイッチとをさらに備える、C 10 に記載のプロセッサ。

[C 12]

前記命令が増分値とアドレスとに関連付けられ、前記制御ロジックが、
前記増分値を前記アドレスに追加することによって、前記命令の増分されたアドレスを決定し、
前記増分されたアドレスが、前記データキャッシュの、前記アドレスと同じキャッシュラインにあるかどうかを決定するようにさらに構成される、C 11 に記載のプロセッサ。

[C 13]

前記制御ロジックが、
前記増分されたアドレスが前記同じキャッシュラインにあるという決定に基づいて、前記タグルックアップ動作を選択的に無効化し、
前記タグルックアップ動作が無効化されるときに、ウェイ選択信号を前記マルチプレクサに与えるようにさらに構成される、C 11 に記載のプロセッサ。

[C 14]

前記制御ロジックが、前記エントリを除去するか、または、前記増分されたアドレスが前記アドレスに関連付けられたキャッシュラインとは異なるキャッシュラインに関連付けられるという決定に基づいて、前記テーブルの前記エントリが無効であることを示すようにさらに構成される、C 12 に記載のプロセッサ。

[C 1 5]

命令の1つまたは複数のウェイ予測特性を識別するための手段と、
データキャッシュのウェイを識別する前記命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、前記1つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、前記テーブルを選択的に読み取るための手段と、
前記命令に基づいた前記データキャッシュの次のアクセスが前記ウェイにアクセスするかどうかの予測を行うための手段とを備える装置。

[C 1 6]

前記命令を復号するための手段と、ここにおいて、前記命令は、レジスタ識別子を含み、予測可能な次のアドレスを有する、
前記ウェイに基づいてデータキャッシュラインを選択的に駆動するための手段とをさらに備える、C 1 5 に記載の装置。

[C 1 7]

前記テーブル内の特定のエントリが、1つまたは複数のビットの値に基づいて、予測されるウェイを示し、前記1つまたは複数のビットが、複数のドライバのうちの各ドライバを選択的に有効化または無効化するために、マスクとして前記複数のドライバに適用される、C 1 5 に記載の装置。

[C 1 8]

プロセッサによって実行されると、前記プロセッサに、
命令の1つまたは複数のウェイ予測特性を識別させ、
データキャッシュのウェイを識別する前記命令に関連付けられたテーブルのエントリを識別するために、前記1つまたは複数のウェイ予測特性の識別情報に基づいて、前記テーブルを選択的に読み取らせ、
前記命令に基づいた前記データキャッシュの次のアクセスが前記ウェイにアクセスするかどうかの予測を行わせる命令を備える非一時的コンピュータ可読媒体。

[C 1 9]

前記プロセッサによって実行されると、前記プロセッサに、
前記命令に関連付けられた増分値を識別させ、
前記命令の実行中にアクセスされた前記データキャッシュの特定のウェイを識別させ、増分されたアドレス値を決定するために、前記増分値を前記命令に関連付けられたアドレス値に追加させ、
前記増分されたアドレス値が前記特定のウェイに関連付けられるかどうかを決定させる命令を備える、C 1 8 に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

[C 2 0]

前記プロセッサによって実行されると、前記プロセッサに、前記エントリを前記テーブル内にポピュレートさせる命令、ここにおいて、前記テーブル内の各エントリは、プログラムカウンタ識別子と、レジスタ識別子と、予測されるウェイ識別子とを含む、をさらに備える、C 1 8 に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

[C 2 1]

前記命令が1つまたは複数の命令のループに含まれるという決定が行われた後に、前記エントリが生成される、C 1 8 に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

[C 2 2]

前記プロセッサによって実行されると、前記プロセッサに、
複数のレジスタロケーションを監視させ、
前記複数のレジスタロケーションのうちの特定のレジスタロケーションにおけるデータが修正されるかどうかを決定させ、
特定のエントリが前記特定のレジスタロケーションに対応するレジスタ識別子を含むかどうかを決定するために、前記テーブルを読み取らせる命令をさらに備える、C 1 8 に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

[C 2 3]

命令の第 1 の実行中に増分値を識別することと、

前記命令に基づいて、前記第 1 の実行中にアクセスされたデータキャッシュのウェイを識別することと、

第 1 の増分されたアドレス値を決定するために、前記増分値を前記命令に関連付けられたアドレス値に追加することと、

前記第 1 の増分されたアドレス値が前記データキャッシュの前記ウェイにあるかどうかを決定することと、

前記第 1 の増分されたアドレスが前記データキャッシュの前記ウェイにあると決定したことに応答して、前記命令に対応するエントリをテーブル内にポピュレートすることとを備える方法。

[C 2 4]

前記テーブル内の各エントリが、プログラムカウンタ識別子、レジスタ識別子、予測されるウェイ識別子、有効性ビット、またはそれらの組合せを含む、C 2 3 に記載の方法。

[C 2 5]

前記命令が自動増分命令を備えるか、またはベースプラスオフセット命令を備えるかを決定することをさらに備える、C 2 3 に記載の方法。

[C 2 6]

前記エントリが、前記アクセスされたデータキャッシュの前記ウェイを識別し、前記エントリが前記命令の前記第 1 の実行とともにポピュレートされ、前記命令の第 2 の実行中に、

前記エントリを前記テーブルから読み取ることと、

第 2 の増分されたアドレス値を計算することと、

前記第 2 の実行中に前記ウェイをウェイ予測として適用することとを行うことをさらに備える、C 2 3 に記載の方法。

[C 2 7]

前記ウェイを適用することが、

前記ウェイを前記エントリのウェイフィールドから取り出すことと、

前記取り出されたウェイに対応する前記データキャッシュのドライバを選択的に有効化することとを備える、C 2 6 に記載の方法。

[C 2 8]

前記命令の後続の実行の増分されたアドレス値が前記ウェイとは異なるウェイにあると決定したことに応答して、前記テーブルを更新すること、ここにおいて、前記命令の前記後続の実行は、前記第 1 の実行の後である、をさらに備える、C 2 3 に記載の方法。

[C 2 9]

前記エントリを除去するか、または、前記増分されたアドレスが前記アドレスに関連付けられたキャッシュラインとは異なるキャッシュラインに関連付けられるという決定に基づいて、前記テーブルの前記エントリが無効であることを示すことをさらに備える、C 2 3 に記載の方法。

[C 3 0]

レジスタロケーションのデータを修正した特定の命令を識別することと、

特定のエントリが前記レジスタロケーションに対応するレジスタ識別子を含むかどうかを決定するために、前記テーブルを読み取ることと、

前記特定のエントリが前記特定の命令に対応するかどうかを決定することと、

前記特定のエントリが前記特定の命令に対応しないときに、前記特定のエントリを除去するかまたは無効にすることとをさらに備える、C 2 3 に記載の方法。

フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
	G 0 6 F 9/30	3 5 0 B
	G 0 6 F 9/36	3 2 0

(72)発明者 ピーター・ジー．・サッソーネ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 9 2 1 2 1 - 1 7 1 4、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 5 7 7 5

(72)発明者 スレシュ・ケー．・ベンクマハンティ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 9 2 1 2 1 - 1 7 1 4、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 5 7 7 5

(72)発明者 ルシアン・コドレスク
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 9 2 1 2 1 - 1 7 1 4、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 5 7 7 5

F ターム(参考) 5B033 AA04 BA00 BE01 CA11 DA01 DB00
5B205 JJ05 MM03 NN66 TT02

【外国語明細書】
2017152001000001.pdf