

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

命令を実行するためのパイプラインを有するディジタルプロセッサにおいて使用する方法であって、

資源に書込みをする命令およびその資源から読取をする命令のためのパイプライン内で命令を監視すること；

前記資源に対して書込みをするそれぞれの命令に対して、書込み命令タイプおよび書込み命令追跡データを記憶すること；

前記資源から読取りをするそれぞれの命令に対して、読取り命令タイプを特定して、前記書込み命令タイプおよび前記読取り命令タイプに基づいて待ち時間値を生成すること；
および

前記待ち時間値および前記書込み命令追跡データに応答してある数のストールサイクルだけ、前記資源から読取りをする命令の実行をストールさせることを含む、前記方法。

【請求項 2】

書込み命令追跡データを記憶することが、該書込み命令追跡データを各クロックサイクル毎に更新することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

書込み命令追跡データを記憶することが、シフトレジスタに書込み命令追跡データを記憶することを含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

書込み命令追跡データを更新することが、該書込み命令追跡データをシフトレジスタ内でシフトさせることを含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

書込み命令追跡データを更新することが、シフトレジスタ内に完遂サイクル値を記憶し、該完遂サイクル値を前記シフトレジスタ内でシフトすることによって、前記完遂サイクル値を各クロックサイクル毎に更新することを含む、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

命令の実行をストールさせることが、書込み命令追跡データをシフトレジスタにロードして、待ち時間値の関数としてシフト量を決定し、前記書込み命令追跡データを前記シフトレジスタ内で前記シフト量だけシフトしてストールサイクル数を提供することを含む、
請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

シフト量を待ち時間データの関数として決定することが、前記待ち時間値のビット・バイ・ビット逆数に等しい値を有するシフト量を生成することを含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

命令の実行をストールさせることが、待ち時間値、書込み命令追跡データ、およびその他の潜在的ハザードを指示するデータに応じて前記命令をストールさせることを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

命令の実行をストールさせることが、ストールサイクル数とその他の潜在的ハザードを指示するデータの大きい方に応じて、あるサイクル数だけ前記命令の実行をストールさせることを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

書込み命令タイプの群を定義することをさらに含み、書込み命令タイプを記憶することが、前記書込み命令タイプの群から書込み命令タイプを選択することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

読取り命令タイプの群を定義することをさらに含み、読取り命令タイプを決定することが、前記読取り命令タイプの群から読取り命令タイプを選択することを含む、請求項 1 に

10

20

30

40

50

記載の方法。

【請求項 1 2】

命令を実行するためのパイプラインを有するディジタルプロセッサにおいて使用する装置であって、

前記資源に書込みをするそれぞれの命令に対して書込み命令タイプを供給し、かつ前記資源から読取りをするそれぞれの命令に対して、読取り命令タイプを供給するために、資源に書込みをする命令およびその資源から読取をする命令のためのパイプライン内で命令を監視する手段；

前記資源に対して書込みをするそれぞれの命令に対して、書込み命令追跡データを記憶する手段；

前記書込み命令タイプおよび前記読取り命令タイプに基づいて待ち時間値を生成する手段；および

前記待ち時間値および前記書込み命令追跡データに応答して、ある数のストールサイクルだけ、前記資源から読取りをする命令の実行をストールさせる手段を含む、前記装置。

【請求項 1 3】

書込み命令追跡データを記憶する手段が、該書込み命令追跡データを各クロックサイクル毎に更新する手段を含む、請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 1 4】

書込み命令追跡データを記憶する手段が、シフトレジスタを含む、請求項 1 3 に記載の装置。

【請求項 1 5】

書込み命令追跡データを更新する手段が、該書込み命令追跡データをシフトレジスタ内でシフトさせる手段を含む、請求項 1 4 に記載の装置。

【請求項 1 6】

書込み命令追跡データを記憶する手段が、シフトレジスタ内に完遂サイクル値を記憶するとともに、前記完遂サイクル値を各クロックサイクル毎に更新する、請求項 1 5 に記載の装置。

【請求項 1 7】

命令の実行をストールさせる手段が、書込み命令追跡データをシフトレジスタにロードして、待ち時間値の関数としてシフト量を決定し、前記書込み命令追跡データを前記シフトレジスタ内で前記シフト量だけシフトしてストールサイクル数を提供することを含む、請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 1 8】

命令の実行をストールさせる手段が、待ち時間値のビット・バイ・ビット逆数に等しい値を有するシフト量を決定する、請求項 1 7 に記載の装置。

【請求項 1 9】

命令の実行をストールさせる手段が、待ち時間値、書込み命令追跡データ、およびその他の潜在的ハザードを指示するデータに応じてサイクル数を表わすデータを生成する手段を含む、請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 2 0】

命令の実行をストールさせる手段が、ストールサイクル数とその他の潜在的ハザードを指示するデータの大きい方に応じて、あるサイクル数だけ前記命令の実行をストールさせる手段を含む、請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 2 1】

書込み命令タイプの群を定義する手段をさらに含み、書込み命令タイプを供給する手段が、前記書込み命令タイプの群から書込み命令タイプを選択する手段を含む、請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 2 2】

読取り命令タイプの群を定義する手段をさらに含み、読取り命令タイプを供給する手段が、前記読取り命令タイプの群から読取り命令タイプを選択する手段を含む、請求項 1 2

10

20

30

40

50

に記載の装置。

【請求項 2 3】

命令を実行するためのパイプラインを有するディジタルプロセッサにおいて使用する装置であって、

資源に書込みをするパイプライン内の命令を受け取り、前記資源に書込みをするそれぞれの命令に対する書込み命令タイプを供給し、かつ前記資源から読取りをするそれぞれの命令に対する読取命令タイプを供給する、復号器回路；

前記資源に書込みをするそれぞれの命令に対して書込み命令追跡データを記憶するための書込み追跡回路；

前記書込み命令タイプおよび前記読取り命令タイプに基づいて待ち時間値を供給する待ち時間回路；および

前記待ち時間値および前記書込み命令追跡データを受け取り、前記待ち時間値および前記書込み命令追跡データに応答して、前記資源から読取りをする命令の実行を、ある数のストールサイクルだけストールさせる信号を供給する、ストール信号回路を含む、前記装置。

【請求項 2 4】

書込み追跡回路が書込み命令追跡データを各クロックサイクル毎に更新する、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 2 5】

書込み追跡回路が、書込み命令追跡データを記憶するためのシフトレジスタを含む、請求項 2 4 に記載の装置。

【請求項 2 6】

書込み追跡回路が、書込み命令追跡データをシフトレジスタ内でシフトすることによって前記書込み命令追跡データを更新する、請求項 2 5 に記載の装置。

【請求項 2 7】

書込み追跡回路が、完遂サイクル値をシフトレジスタ内に記憶し、前記完遂サイクル値を前記シフトレジスタ内でシフトすることによって、前記完遂サイクル値を各クロックサイクル毎に更新する、請求項 2 6 に記載の装置。

【請求項 2 8】

ストール信号回路が、書込み命令追跡データを記憶するためのシフトレジスタを含み、前記ストール信号回路は、待ち時間値に基づいてあるシフト量だけ書込み命令追跡データをシフトする、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 2 9】

ストール信号回路が、待ち時間値のビット・バイ・ビット逆数に応じてシフト量を決定する、請求項 2 8 に記載の装置。

【請求項 3 0】

ストール信号回路が、待ち時間値、書込み命令追跡データ、およびその他の潜在的なハザードを指示するデータに応じてあるサイクル数を表わすデータを供給する、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 3 1】

ストール信号回路が、ストールサイクル数とその他の潜在的なハザードを指示するデータの内の大きい方に応じて、あるサイクル数を表わすデータを供給する、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 3 2】

待ち時間回路が、それぞれが書込み命令タイプ 読取り命令タイプペアに対応する待ち時間値を含む、複数の場所を有するルックアップ表を含む、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 3 3】

命令を実行するパイプラインを有するディジタルプロセッサにおいて使用する方法であって、

1 つまたは 2 つ以上の資源に書込みをする命令および 1 つまたは 2 つ以上の資源から読

10

20

30

40

50

取をする命令のためのパイプライン内で命令を監視すること；

1つまたは2つ以上の資源に対して書込みをするそれぞれの命令に対して、少なくとも1つの書込み命令タイプおよび書込み命令追跡データを記憶すること；

1つまたは2つ以上の資源から読取りをするそれぞれの命令に対して、少なくとも1つの読取り命令タイプを特定して、少なくとも1つの書込み命令タイプおよび少なくとも1つの読取り命令タイプに基づいて少なくとも1つの待ち時間値を生成すること；および

前記少なくとも1つの待ち時間値および前記書込み命令追跡データに応答して、ある数のストールサイクルだけ、1つまたは2つ以上の資源から読取りをする命令の実行をストールさせることを含む、前記方法。

【請求項34】

10

パイプライン化ディジタルプロセッサにおいて命令を実行する方法であって、
資源にアクセスする、書込み命令および読取り命令に対する待ち時間値を記憶すること

、
前記書込み命令がパイプライン化プロセッサ中を前進するときに、前記書込み命令のための完遂サイクル値を維持すること；および

前記読取り命令をストールさせるためのストール値を得るための、待ち時間値で完遂サイクル値を修正することを含む、前記方法。

【請求項35】

パイプライン化プロセッサにおいて命令を実行する方法であって、

資源に書込みをする命令およびその資源から読取をする命令に対して、パイプライン化プロセッサ内で命令を監視すること；

前記資源にアクセスするそれぞれの書込み命令に対して、保留書込み表内に書込み命令タイプおよび完遂サイクル値を記憶すること；

書込み命令がパイプライン化プロセッサを通過して前進するときに、完遂サイクル値を更新すること；

前記資源にアクセスするそれぞれの読取り命令に対して、前記書込み命令タイプおよび前記読取り命令タイプに基づいて待ち時間を決定すること；

前記待ち時間値によって完遂サイクル値を修正して、必要なストールサイクル数を提供すること；および

読取り命令を、必要なストールサイクル数だけストールさせることを含む、前記方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

発明の分野

本発明は、ディジタルプロセッサに関し、より具体的には、パイプライン化ディジタルプロセッサにおけるハザード検出および管理のための方法および装置に関する。

【0002】

発明の背景

多くのディジタルプロセッサはパイプラインを備える。パイプラインにおいては、命令を実行するのに使用されるハードウェアは、一連の段階に分割されている。例えば、1つの段階ではオペランドをフェッチし、第2の段階で算術演算を実施し、そして第3の段階で結果を記憶することができる。命令がパイプラインにロードされて、連続するクロックサイクルでパイプラインの連続する段階を通過する。

40

【0003】

パイプラインの1つの利点は、先行の命令が完了する前に、命令を開始できる（すなわち命令の復号を開始できる）ことである。したがって、いくつかの命令が異なる実行段階に同時に存在することができる。このアプローチは、一般に、「パイプライン化（pipelining）」と呼ばれる。例えば、前述の3段階パイプラインにおいては、第1の命令がフェッチオペランド段階に供給され、この命令がフェッチオペランド段階を出た後に、次の段階で処理されている間に、第2の命令をフェッチオペランド段階に供給することができる

50

。パイプライン化はスループットを改善し、それによってプロセッサの性能レベルを向上させる。

【0004】

しかしながら、先行の命令が完了する以前に、命令を開始することに関連する潜在的なハザードがある。1つのタイプのハザードは、ある命令が先行命令の結果を使用する場合におこる。そのような場合は、本明細書においては「リード・アフタ・ライト (RAW: read-after-write)」と呼ぶ。これらの従属性 (dependency) を検出して適切に管理することによって、データを記憶しそれにアクセスする順序が、パイプライン化なしで行われる順序と変わらないことを保証しなくてはならない。そうでないと、以下で述べるような誤りが発生することになる。

10

【0005】

以下の命令順序は、RAW従属性の例を示している。

$R0 = R1 * R2$

$R3 = R0 + R4$

この命令順序において、第1の命令はある値を計算して、その値をレジスタR0に書き込む (すなわち記憶する)。第2の命令は、R0の値を読み出してその値をR3の値を計算するのに使用する。このシーケンスをパイプライン化した場合には、第2の命令は、新規の値が記憶される以前にレジスタR0を読み出す可能性がある。その場合には、第2の命令は間違っただけの結果を使用し、誤った結果を生じさせる。したがって、第1の命令の結果が利用可能になるのに十分に長く、第2の命令をストール (stall) させるのが慣例である。

20

【0006】

上記の例は、データレジスタに対するRAW従属性を示しているが、RAW従属性は、それに限定はされないが、データレジスタ、アキュムレータ、条件コード (cc: condition code) レジスタ (例えば、1ビット幅レジスタ)、および/または記憶場所 (memory location) を含む、任意のタイプの資源について発生する可能性がある。そのような資源は、必須ではないが、実行パイプラインに内部に常駐することがある。

RAW従属性を検出して、結果が利用可能になるのに十分に長く命令をストールさせる方法は現在、存在している。1つのアプローチにおいては、各資源に対して状態ビットを維持し、各状態ビットが2つの可能な状態、「有効 (valid)」および「無効 (not valid)」を有する。資源に対する状態ビットは、その資源に書き込みする命令が検出されるときに、「無効」に設定される。状態ビットは、命令が完了するか、またはデータ (例えば、結果) が別の方法で利用可能になるときに、「有効」に設定される。資源から読み出しする命令は、その資源に対する状態ビットが「有効」状態に設定されるまで、ストールされる。ストールさせることは、誤った結果を回避するためには必要であるが、それは性能を低下させるのものであり、できる限り制限すべきである。

30

【0007】

結果が利用可能になるのに必要な時間の量は、プロセッサによって、または命令によっても変る可能性がある。データが利用可能な時期を判定して状態ビットを「有効」に設定するには、複雑な組み合わせ論理回路が必要なことが多い。

したがって、現行の方法および装置によって提供される性能のレベルにもかかわらず、パイプライン化デジタルプロセッサにおけるリードアフタライト従属性を管理するための改良型の方法および装置が必要とされている。

40

【0008】

発明の概要

本発明の一観点によれば、命令を実行するためのパイプラインを有するデジタルプロセッサにおいて使用するための方法が提供される。この方法は、資源に書き込みをする命令およびその資源から読取りをする命令のためのパイプライン内で命令を監視すること；前記資源に対して書き込みをするそれぞれの命令に対して、書き込み命令タイプ (write instruction type) および書き込み命令追跡データ (write instruction tracking data) を記憶すること；前記資源から読取りをするそれぞれの命令に対して、読取り命令タイプを特定

50

して、前記書込み命令タイプおよび前記読取り命令タイプに基づいて待ち時間値 (latency value) を生成すること；および前記待ち時間値および前記書込み命令追跡データに
 応答してある数のストールサイクルだけ、前記資源から読取りをする命令の実行をストール
 させることを含む。

【0009】

本発明の別の観点によれば、命令を実行するためのパイプラインを有するディジタルプ
 ロセッサにおいて使用するための装置が提供される。この装置は、前記資源に書込みをす
 るそれぞれの命令に対して書込み命令タイプを供給し、かつ前記資源から読取りをするそ
 れぞれの命令に対して、読取り命令タイプを供給するために、資源に書込みをする命令お
 よびその資源から読取をする命令のためのパイプライン内で命令を監視する手段；前記資
 源に対して書込みをするそれぞれの命令に対して、書込み命令追跡データを記憶する手段
 ；前記書込み命令タイプおよび前記読取り命令タイプに基づいて待ち時間値を生成する手
 段；および前記待ち時間値および前記書込み命令追跡データに
 応答して、ある数のストール
 サイクルだけ、前記資源から読取りをする命令の実行をストールさせる手段を含む。

10

【0010】

本発明の別の観点によれば、命令を実行するためのパイプラインを有するディジタルプ
 ロセッサにおいて使用するための装置が提供される。この装置は、資源に書込みをするパ
 イプライン内の命令を受け取り、前記資源に書込みをするそれぞれの命令に対する書込み
 命令タイプを供給し、かつ前記資源から読取りをするそれぞれの命令に対する読取命令タ
 イプを供給する、復号器回路；前記資源に書込みをするそれぞれの命令に対して書込み命
 令追跡データを記憶するための書込み追跡回路；前記書込み命令タイプおよび前記読取り
 命令タイプに基づいて待ち時間値を供給する待ち時間データ発生器回路 (latency data g
 enerator circuit)；および前記待ち時間値および前記書込み命令追跡データを受け取り、
 前記待ち時間値および前記書込み命令追跡データに
 応答して、前記資源から読取りをす
 る命令の実行を、ある数のストールサイクルだけストールさせる信号を供給する、ストール
 信号回路を含む。

20

【0011】

本発明の別の観点によれば、命令を実行するためのパイプラインを有するディジタルプ
 ロセッサにおいて使用するための方法が提供される。この方法は、1つまたは2つ以上の
 資源に書込みをする命令および1つまたは2つ以上の資源から読取をする命令のためのパ
 イプライン内で命令を監視すること；1つまたは2つ以上の資源に対して書込みをするそ
 れぞれの命令に対して、少なくとも1つの書込み命令タイプおよび書込み命令追跡デー
 タを記憶すること；1つまたは2つ以上の資源から読取りをするそれぞれの命令に対して、
 少なくとも1つの読取り命令タイプを特定して、前記少なくとも1つの書込み命令タイプ
 および前記少なくとも1つの読取り命令タイプに基づいて少なくとも1つの待ち時間値を
 生成すること；および前記少なくとも1つの待ち時間値および前記書込み命令追跡デー
 タに
 応答して、ある数のストールサイクルだけ、1つまたは2つ以上の資源から読取りをす
 る命令の実行をストールさせることを含む。

30

【0012】

本発明の1つまたは2つ以上の観点の1つまたは2つ以上の実施態様のいずれの潜在的
 効果にもかかわらず、本発明の任意の観点の任意の実施態様が従来技術の欠点に対処す
 るという絶対的な必要性がないことを理解すべきである。

40

【0013】

詳細な説明

図1は、本発明の一態様によるデータ従属性管理回路 (以下、データ従属性マネージャ
 またはDDM: Data Dependency Managerと記す) を使用するパイプライン30を有する
 ディジタルプロセッサの一例を示す。パイプライン30は、一連の段階、すなわちIF1
 、IF2、IFn、AC1、AC2、ACn、LS、EX0、EX1、EX2、EX3、
 EX4およびWBに分割されており、命令フェッチユニット32、命令復号ユニット33
 、データアドレス発生器(DAG)34、データロード/記憶ユニット36、データレジ

50

スタファイル 37、実行ユニット 38、および記憶ユニット 40を含む。パイプライン 30は、単一モノリシック集積回路として構成することができるが、それに限定されるものではない。

【0014】

動作に際しては、命令がパイプライン 30にロードされて、連続クロックサイクルでパイプライン中を進行する。特に、IF 1段階において、命令フェッチユニット 32によって、メモリから、または命令キャッシュから命令 42がフェッチされる。IF 2段階において、命令 42は、命令復号ユニット 33によって復号されて、DAG命令（すなわち、DAGを必要とする命令）として、または非DAG命令（すなわち、DAGを必要としない命令）として識別される。命令 42がDAG命令である場合には、DAG 3がアクセスしようとするデータのアドレスを発生して、それらのアドレスがロード/記憶ユニット 36に供給される。命令がDAG命令でない場合には、命令復号器 33は、復号された命令を出力し、それが最終的にロード/記憶ユニット 36および実行ユニット 38に到達する。

10

【0015】

LS段階において、DAG 34によって生成されるアドレス（および/またはオペランドのソースを識別する、その他の信号）が、ロード/記憶ユニット 36に供給されて、このユニットが、それに応じてデータをロードする。EX 0段階においては、そのようなデータがデータレジスタファイル 37に供給される。EX 1～EX 4段階においては、実行ユニット 38が、命令を受け取って、適当に実行する。WB段階においては、記憶ユニット 40が、実行ユニット 38からの結果（複数を含む）をメモリまたは別の指定資源に記憶し（書き込み）、それによって命令 42の実行を完了する。

20

【0016】

実行ユニット 38はn個の実行段階を有し、その内の4つ、EXU段階 38a、EXU段階 38b、EXU段階 38c、およびEXU段階 38dを示してある。それぞれの実行段階は、パイプラインの特定の段階と関連させることができる。例えば、EXU段階 38aはパイプライン段階 EX 1と関連し、EXU段階 38bはパイプライン段階 EX 2と関連させることができるなどである。この態様において、EXU段階 38aは、加算演算を実行し、EXU段階 38bは積算演算を実行し、EXU段階 38cはシフト動作を実行し、そしてEXU段階 38dは論理演算を実行する。その他の実行段階は、例えば、同じ、

30

【0017】

実行ユニット 38は、データ経路 46、48、50を含み、これらは、結果を1つの実行段階から次の実行段階へと移動させるのに使用される。これは、「転送（forwarding）」と呼ばれることもある。転送は、WB段階において実際に書き込まれる以前（すなわち、命令が完了する以前）に、命令の結果を利用可能にする。WB段階について以下に述べる。実際に、プロセッサは多くのそのようなデータ経路を含むことがある。図1の態様において、データ経路 46は、EXU段階 38aの出力を、EXU段階 38aの入力へとともに、データレジスタファイル 37の入力へと転送する。データ経路 48は、EXU段階 38bの出力を、EXU段階 38bの入力、EXU段階 38aおよびデータレジスタファイル 37へと転送する。データ経路 50は、EXU段階 38cの出力を、EXU段階 38c、EXU段階 38b、EXU段階 38aおよびデータレジスタファイル 37の入力に転送する。

40

【0018】

前述のように、RAW従属性を検出して、資源から読取りをする命令をストールさせて、先の書き込み命令によってデータが更新される以前に、その命令がその資源からデータの読取りをしないことを保証することが重要である。これを達成するために、パイプライン 30には、データ従属性マネージャ 60（以後はDDM 60と記す）が設けられている。DDM 60は、パイプライン 30内の命令を監視して、（a）1つまたは2つ以上の資源に書き込みをする保留中（pending）の命令、および（b）1つまたは2つ以上の資源から

50

読取りをする保留中の命令を識別する。DDM60は、信号線61で表わされた、信号線（複数を含む）から命令を受け取る。「資源から読取りをする命令」という語句は、（1）資源からデータを受け取る命令、および（2）転送によってデータを受け取る命令（すなわち、その資源のために生成されるが、その資源中にまた記憶されていないデータ）を含むことを意味するものである。以下では、1つまたは2つ以上の資源に書込みをする命令を、「書込み命令（write instruction）」と呼ぶことがある。また、1つまたは2つ以上の資源から読取りをする命令を、「読取り命令（read instruction）」と呼ぶことがある。命令によっては、（1）オペランドを読み取り、かつ（2）結果を書き込むことができるものもある。そのような命令は、読取り命令および書込み命令の両方として見なすことができる。

10

【0019】

DDM60が、保留中の読取り命令を検出すると、DDM60は、この命令をストールさせる必要があるかどうかを判定する。DDM60が判定を行う方法は、図2～4を参照して以下に述べる。読取り命令をストールさせる必要がある場合には、DDM60は、信号線66によって表わされる信号線（複数を含む）上に制御信号を生成し、それによって命令はパイプラインの主流の外へと進路を変えられて、バッファ70（例えば、レジスタのバンク、時にはスキッドバッファ（skid buffer）と呼ばれる）に中に入る。この命令は、適当なサイクル数の間、バッファ70内に残り、その後、命令はバッファ70を出て、パイプライン30を通過するコースを再開する。バッファ70は通常、先入れ先出し（すなわち、FIFO：first-in-first-out）であり、バッファ70中へと進路を変えられる最初の命令は、バッファ70から出る最初の命令でもあることを意味する。また、DDM60は、（上流命令を上流スキッドバッファ72に進路を変えることによって）上流命令をストールさせる制御信号68を生成して、バッファ70に記憶する必要のある命令数を制限することもできる。DDM60は、また、制御信号（図示せず）を生成して、追加の命令がパイプライン30にロードされるのを防止することができる。

20

【0020】

図1に示すDDM60は、DDM段階62およびDDM段階64を含む。DDM段階62は、パイプライン30のAC1段階に位置し、DDM段階64は、パイプライン30のAC2段階に位置する。DDM60をこれらの段階に配置することによって、LS段階（ロード／記憶段階）に先行して、読取り命令をストールさせることが可能になる。これによって、命令をストールさせることに伴うオーバーヘッドを取り扱うのが容易となる。例えば、読取り命令がLS段階後にストールされた場合には、ストールされた命令に関連するデータを記憶するのに追加のバッファが必要となる。このような利点にもかかわらず、DDM60をAC段階に配置すること、またはさらにロード／記憶段階の上流に配置することは、必要条件ではない。

30

【0021】

図2は、DDM60の一態様のブロック図である。このDDM60の態様は、DDM段階62およびDDM段階64を含む。段階62は、復号器110を含む。段階64は、保留書込み追跡ユニット（pending write tracking unit）112、待ち時間ユニット（latency unit）113、およびストール持続時間発生器（stall duration generator）114を含む。

40

動作に際して、命令は、信号線（複数を含む）61を介して復号器110に供給される。復号器が書込み命令を検出すると、復号器110は2つの信号、すなわち書込み資源信号（write resource signal）および書込みタイプ信号（write type signal）を生成する。書込み資源信号は、書込み命令によってそれに書き込まれる資源を指示する。書込みタイプ信号は、書込み命令のタイプまたはカテゴリを指示する。例えば、この態様においては、EXU段階38aを使用して資源に書き込まれる結果を生成する命令は、書込みタイプ1と呼ぶ。EXU段階38bを使用して資源のための結果を生成する命令は、書込みタイプ2と呼ぶ。EXU段階38cを使用して資源に対する結果を生成する命令は、書込みタイプ3と呼ぶ、などである。

50

【 0 0 2 2 】

書込みタイプ信号および書込み資源信号は、それぞれ信号線 1 1 6、1 1 7 を介して保留書込み追跡ユニット 1 1 2 へと供給される。書込み追跡ユニット 1 1 2 は、各資源に対して最後に検出された書込み命令の書込みタイプおよび実行状態を追跡する。この特定の態様においては、保留書込み追跡ユニット 1 1 2 が記憶するのは、各資源に対して 2 つのタイプの情報、すなわち (1) 各資源に対して最後に検出された書込み命令の書込みタイプ、および (2) その資源に対して最後に検出された書込み命令に対する書込み追跡データである。書込み追跡データは、(a) パイプライン内部での書込み命令の位置を特定する、(b) 書込み命令の書込み部分が完全かどうかを判定する、および (c) 書込み命令の書込み部分が完全になるまでに残留するサイクル数を求める、ことができる。この態様においては、書込み追跡データは、書込み命令の書込み部分を完了するのに必要なサイクル数 (本明細書においては、完遂サイクル (cycle-to-commit) を意味する) を表わす。書込み追跡データは、通常、命令がパイプラインを通過して前進するときに更新される。保留書込み追跡ユニット 1 1 2 の一態様について図 5 を参照して説明する。

【 0 0 2 3 】

復号器 1 0 0 が読取り命令を検出すると、復号器 1 1 0 は、読取り資源信号をよび読取りタイプ信号を生成する。読取り資源信号は、読取り命令によって読み取られることになる資源を指示する。読取りタイプ信号は、読取り命令の読取りタイプまたはカテゴリを指示する。例えば、この態様においては、資源を読み取って E X U 段階 3 8 a のためのオペランドを取得する命令は、読取りタイプ 1 と呼ばれる。資源を読み取って E X U 段階 3 8 b のオペランドを取得する命令は、読取りタイプ 2 と呼ばれる。資源を読み取って E X U 段階 3 8 c のオペランドを取得する命令は、読取りタイプ 3 と呼ばれる。

【 0 0 2 4 】

読取りタイプ信号は、信号線 1 1 8 を介して、以下に説明する待ち時間ユニット 1 1 3 に供給される。読取り資源信号は、信号線 1 1 9 を介して、保留書込み追跡ユニット 1 1 2 に供給される。保留書込み追跡ユニット 1 1 2 は、読取り資源に対する最後に検出された書込み命令に関する情報を提供することによって応答する。この特定の態様においては、保留書込み追跡ユニット 1 1 2 は、2 種類の信号、すなわち (1) 記憶書込みタイプ (stored write type) 信号、および (2) 書込み追跡 (write tracking) 信号を供給する。記憶書込みタイプ信号は、読取り命令において識別された資源に対して最後に検出された書込み命令の書込みタイプを指示する。書込み追跡信号は、読取り命令において識別される資源に対して最後に検出された書込み命令の書込み部分を完了するのに必要なサイクル数を指示する。書込み追跡信号は、信号線 1 2 1 上で、以下に説明する、ストール持続時間発生器 (stall duration generator) 1 1 4 に供給される。記憶書込みタイプ信号は、信号線 1 2 0 上で待ち時間ユニット 1 1 3 に供給されて、このユニットは、上述のように、信号線 1 1 8 上で読取りタイプ信号も受け取る。

【 0 0 2 5 】

この待ち時間ユニット 1 1 3 は、様々なタイプの書込み命令と様々なタイプの読取り命令との間の必要な待ち時間 (または遅延) を指示するデータを記憶する。例えば、この特定の態様においては、待ち時間ユニット 1 1 3 は、書込みタイプ 1 の書込み命令と読取りタイプ 1 の読取り命令の間の必要な遅延を指示するデータを記憶する。待ち時間ユニット 1 1 3 はまた、書込みタイプ 1 の書込み命令と読取りタイプ 2 の読取り命令との間の必要な遅延を指示するデータも記憶する。待ち時間ユニット 1 1 3 は、1 つまたは 2 つ以上のルックアップ表として実装することができる。待ち時間ユニット 1 1 3 の 1 つの態様について、図 3 を参照して次に述べる。

【 0 0 2 6 】

待ち時間ユニット 1 1 3 は、資源に対して最後に検出された書込み命令のタイプと、資源から読み取られる読取り命令のタイプとの間に必要な待ち時間を指示する待ち時間信号を出力する。待ち時間は、クロックサイクルまたはその他の任意適当な測度単位 (複数を含む) で表わすことができる。

待ち時間信号は、信号線 1 2 2 上でストール持続時間発生器 1 1 4 に供給されて、ストール持続時間発生器 1 1 4 は書込み追跡信号も受け取る。ストール持続時間発生器 1 1 4 は、読取り命令をストールさせるのに適当なサイクル数を決定することによって応答する。適当なストールサイクル数を指示する出力信号は信号線 6 6 上で供給される。ストール持続時間発生器の一態様について、図 7 A ~ 7 C を参照して以下に説明する。

【0027】

図 3 は、待ち時間ユニット 1 1 3 用のルックアップ表の一態様を示す。このルックアップ表は、n 個の書込みタイプ（すなわち、n 個のタイプの書込み命令）および m 個の読取りタイプ（すなわち、m 個のタイプの読取り命令）を収容する。この態様においては、書込みタイプ 1 は、（この態様においては加算演算を実行する）E X U 段階 3 8 a からの結果を生成する命令を意味する。書込みタイプ 2 は、（この態様においては積算演算を実行する）E X U 段階 3 8 b からの結果を生成する命令を意味する。書込みタイプ 3 は、（この態様においてはシフト動作を実行する）E X U 段階 3 8 c からの結果を生成する命令を意味する。書込みタイプ 4 は、（この態様においては、シフト動作を実行する）E X U 段階 3 8 d からの結果を生成する命令を意味する。同様に、読取りタイプ 1 は、そのオペランドが E X U 段階 3 8 a に供給されるべき命令を意味する。読取りタイプ 2 は、そのオペランドが E X U 段階 3 8 b に供給されるべき命令を意味する。読取りタイプ 3 は、そのオペランドが E X U 段階 3 8 c に供給されるべき命令を意味する。読取りタイプ 4 は、そのオペランドが E X U 段階 3 8 d に供給されるべき命令を意味する。

10

【0028】

ルックアップ表内の各値は、（本明細書においては、「書込みタイプ 読取りタイプ 組合せ」と呼ぶ）特定のタイプの書込み命令と特定のタイプの読取り命令との間の、（クロックサイクル数で表わした）必要な待ち時間を表わしている。例えば、書込みタイプ 1 と読取りタイプ 1 との間（すなわち、「書込みタイプ 1 読取りタイプ 1 組合せ」）の待ち時間は、1 クロックサイクルに等しい。書込みタイプ 1 と読取りタイプ 2 の間の待ち時間はゼロに等しい。書込みタイプ 1 と読取りタイプ 3 との間の待ち時間も、ゼロに等しく、書込みタイプ 1 と読取りタイプ 4 の間の待ち時間もゼロクロックサイクルに等しい。書込みタイプ 4 と読取りタイプ 1、2、および 3 の間の待ち時間は、すべて 7 クロックサイクルに等しい。

20

【0029】

この態様においては、ルックアップ表内の各場所は 3 ビットを含み、したがって 0 ~ 7 クロックサイクルの待ち時間を表わすことができる。異なるパイプラインアーキテクチャは、ルックアップ表内で異なるビット数を必要とするとともに、異なる待ち時間を必要とする可能性がある。この態様においては、表内の値は固定されており、したがってルックアップ表は、読取り専用メモリ（ROM）またはプログラマブル読取り専用メモリとして実装することが可能であるが、これは本発明の必要条件ではない。

30

【0030】

パイプライン 3 0（図 1）における、特定の書込みタイプ 読取りタイプ 組合せに対する待ち時間値を生成する 1 つの方法は、以下のとおりである。（書込み命令によって）書き込まれようとする結果が、その結果を（読取り命令に）供給すべきパイプライン段階の上流で生成される場合には、読取り命令をストールさせる必要は無く、待ち時間値はゼロに設定される。そうでない場合には、待ち時間値は、転送経路が、結果が生成されるパイプライン段階と、結果が供給されるパイプライン段階との間に設けられるかどうかによって決まる。転送経路が設けられる場合には、待ち時間値は、その転送経路を通過する遅延に等しく設定される。転送経路が設けられていない場合には、待ち時間値は、7 クロックサイクル（すなわち、レジスタの読取りとレジスタの書込みとの間のパイプライン段階数、これはこの態様においてはパイプラインの終了点で発生する）に設定され、その結果、読取り命令が、書込み命令の書込み部分を完了するのに十分に長くストールされる。特定の用途における待ち時間値は、パイプライン深さおよび構成に依存することが理解されるであろう。

40

50

【 0 0 3 1 】

上記の方法の実現例を以下に示す。ここで、データ経路 4 6、4 8、5 0 を通過する遅延は、以下の表 1 に示したとおりであると仮定する。

表 1

【 表 1 】

項目番号	データ経路	出力元	入力先	遅延 サイクル数
1	46	EXU 段階 38a	データ レジスタファイル	2
2	46	EXU 段階 38a	EXU 段階 38a	1
3	48	EXU 段階 38b	データ レジスタファイル	3
4	48	EXU 段階 38b	EXU 段階 38a	2
5	48	EXU 段階 38b	EXU 段階 38b	1
6	50	EXU 段階 38c	データ レジスタファイル	4
7	50	EXU 段階 38c	EXU 段階 38a	3
8	50	EXU 段階 38c	EXU 段階 38b	2
9	50	EXU 段階 38c	EXU 段階 38c	1

10

20

【 0 0 3 2 】

実施例 1：書込みタイプ 1 と読取りタイプ 1 の間の待ち時間

図 3 のルックアップ表が示すように、書込みタイプ 1 と読取りタイプ 1 の間の待ち時間は 1 クロックサイクルに等しい。その根拠は次のとおりである。（書込み命令によって）記憶すべき結果は、（読取り命令に従って）段階 3 8 a の出力において供給される。この結果は、段階 3 8 a の入力に供給されることになる。段階 3 8 a への入力が、段階 3 8 a の出力の上流であるので、待ち時間は、転送経路が設けられているかどうかによって決まる。この態様においては、段階 3 8 a の出力と段階 3 8 a の入力との間に転送経路が設けられており（データ経路 4 6 を参照）、その経路を通過する遅延は 1 クロックサイクルである（表 1 の項目 2 を参照）。

30

【 0 0 3 3 】

実施例 2：書込みタイプ 1 と読取りタイプ 2 の間の待ち時間

図 3 のルックアップ表は、書込みタイプ 1 と読取りタイプ 2 の間の待ち時間がゼロに等しいことを指示している。その根拠は次のとおりである。（書込み命令によって）記憶すべき結果は、段階 3 8 a の出力において提供される。この結果は、（読取り命令に従って）段階 3 8 b の入力に供給されるものである。結果は、供給すべき段階の上流で生成されるので、待ち時間はゼロに等しく設定される。

【 0 0 3 4 】

実施例 3：書込みタイプ 4 と読取りタイプ 1 の間の待ち時間

図 3 のルックアップ表は、書込みタイプ 4 と読取りタイプ 1 の間の待ち時間は 7 クロックサイクルに等しいことを示している。その根拠は次のとおりである。（書込み命令によって）記憶すべき結果は、段階 3 8 d の出力において提供される。この結果は、（読取り命令に従って）段階 3 8 a の入力に供給される。段階 3 8 a への入力は、段階 3 8 d の出力の上流であるので、待ち時間は、転送経路が設けられているかどうかによって決まる。この態様においては、段階 3 8 d とその他任意の段階との間に転送経路は設けられていない。したがって、待ち時間は 7 クロックサイクルに設定し（すなわち、レジスタの読取りとレジスタの書込みとの間のパイプライン段階の数、この態様においては、これはパイプラインの端部で発生する）、それによって読取り命令は、書込み命令の書込み部分を完了するのに十分長くストールされる。

40

50

【 0 0 3 5 】

図 4 は、図 2 の保留書込み追跡ユニット 1 1 2 の一態様を示す。この態様においては、保留書込み追跡ユニット 1 1 2 は、保留書込みタイプ表 1 4 0 および完遂サイクル表 (cycles-to-commit table) 1 4 2 を含む。保留書込みタイプ表 1 4 0 は、複数のマルチビットレジスタ 1 4 4₀ ~ 1 4 4_{k-1} およびマルチプレクサ 1 5 2 を含む。それぞれのレジスタ 1 4 4₀ ~ 1 4 4_{k-1} は、DDM 6 0 (図 1) によってサポートされる資源のそれぞれ 1 つに対応する。例えば、レジスタ 1 4 4₀ は、資源 0 に対応する。レジスタ 1 4 4_{k-1} は資源 k-1 に対応する。同様に、サイクル完遂表 1 4 2 は、複数のマルチビットレジスタ 1 4 6₀ ~ 1 4 6_{k-1} およびマルチプレクサ 1 6 2 を含む。レジスタ 1 4 6₀ ~ 1 4 6_{k-1} のそれぞれは、DDM 6 0 によってサポートされる資源の 1 つとそれぞれ対応する。例えば、レジスタ 1 4 6₀ は資源 0 に対応する。レジスタ 1 4 6_{k-1} は資源 k-1 に対応する。

10

【 0 0 3 6 】

復号器 1 1 0 (図 2) からの書込み資源信号は、レジスタ 1 4 4₀ ~ 1 4 4_{k-1} の入力と結合されて、復号器 1 1 0 からの書込みタイプ信号はレジスタ 1 4 4₀ ~ 1 4 4_{k-1} のデータ入力と結合される。書込み命令が検出されると、書き込もうとする資源に対応するマルチビットレジスタが、書込み資源信号によって選択されて、書込み命令の書込みタイプが選択されたレジスタに書き込まれる。

マルチビットレジスタ 1 4 4₀ ~ 1 4 4_{k-1} の出力は、マルチプレクサ 1 5 2 のそれぞれの入力に供給される。マルチプレクサ 1 5 2 は、信号線 1 2 0 上に書込みタイプ信号を供給する出力を有する。マルチプレクサ 1 5 2 は、信号線 1 1 9 上の読取り資源信号によって制御される。読取り命令が検出されると、マルチプレクサ 1 5 2 は、読み取るべき資源に対して最後に検出された書込み命令の書込みタイプを出力する。

20

【 0 0 3 7 】

復号器 1 1 0 (図 2) からの書込み資源信号は、レジスタ 1 4 6₀ ~ 1 4 6_{k-1} の制御入力と結合され、論理「1」がレジスタ 1 4 6₀ ~ 1 4 6_{k-1} のデータ出力に結合される。資源に対する書込み命令が検出されると、書込みをすべき資源に対応するマルチビットレジスタが、書込み資源信号によって選択されて、選択されたレジスタが、図 5 A に関して以下に述べるように、すべて 1 に初期化される。レジスタ 1 4 6₀ ~ 1 4 6_{k-1} の出力は、マルチプレクサ 1 6 2 のそれぞれの入力に供給される。マルチプレクサ 1 6 2 は、信号線 1 2 1 上に書込み追跡信号を供給する出力を有する。マルチプレクサ 1 6 2 は、信号線 1 1 9 上の読取り資源信号によって制御される。資源に対する読取り命令が検出されると、マルチプレクサ 1 6 2 は、読取りしようとする資源に対して最後に検出された書込み命令の書込み部分を完了するのに必要なサイクル数を出力する。

30

【 0 0 3 8 】

サイクル完遂表 1 4 2 におけるそれぞれのレジスタ 1 4 4₀ ~ 1 4 4_{k-1} は、好ましくはシフトレジスタである。図 5 A は、使用することのできるシフトレジスタの一態様を示す。この態様においては、シフトレジスタにおけるビット数は 7、すなわちレジスタの読取りとレジスタの書込みの間の段階数であり、これはこの態様ではパイプラインの端部において発生する。シフトレジスタ内の 1 の数は、保留書込み命令が結果を資源に書き込むまでに残っているサイクル数を指示する。DDM 6 0 が書込み命令を検出すると、関連するシフトレジスタのすべてのビットは 1 に設定される。各クロックサイクルについて、各レジスタ内の項目は、1 ビット右にシフトされる (0 が最左端ビットにシフトされる)。これによって、シフトレジスタ内の 1 の数が減少し、書込み命令がパイプラインの終端に 1 サイクル近づいたことを指示する。ビット列「1 1 1 1 1 1 1」は、書込み命令がパイプラインの終端に到達するのに 7 サイクルが必要であることを意味する (図 5 B を参照)。ビット列「0 0 0 0 0 0 0」は、書込み命令がパイプラインの終端に到達し、すでに保留中ではないことを示す (図 5 C 参照)。

40

【 0 0 3 9 】

図 6 は、完遂サイクル表 1 4 2 において使用されるシフトレジスタの一態様を示す。こ

50

の態様においては、各シフトレジスタは、 N 段階（シフトレジスタ内の1ビットに対して1つ）を含む、そのうちの7つ、すなわち 300_0 、 300_1 、 300_2 、 300_3 、 300_4 、 300_5 、 300_{N-1} を示してある。段階 $300_0 \sim 300_{N-1}$ のそれぞれは、マルチプレクサおよびラッチを含む。ラッチの出力は、全体としてCTC信号を形成する。各マルチプレクサのIN1入力は、論理ハイ信号（例えば、1）を受け取る。各マルチプレクサの制御入力は、書込み資源信号を受け取る。各マルチプレクサの出力は、それぞれの段階に対するラッチの入力に供給される。段階 300_{N-1} を除いて、各マルチプレクサのIN0入力は、CTC信号の第2最上位ビットに関連する段階のラッチの出力を受け取る。例えば、段階 300_0 のマルチプレクサの入力IN0は、段階 300_1 のラッチからの出力を受け取る。論理ロー信号（例えば、0）が、段階 300_{N-1} のマルチプレクサのIN0入力に供給される。

10

【0040】

シフトレジスタの動作は次のとおりである。書込み資源信号がアサートされると、段階 $300_0 \sim 300_{N-1}$ のそれぞれは、クロックがハイになるときに、1をロードする。書込み資源信号がアサートされない場合には、データは、クロックがハイになるときに、1ビットLSBの方向にシフトする。

図7Aは、図2のストール持続時間発生器114の一態様を示す。この態様においては、ストール持続時間発生器114は、シフトユニット170およびORゲート174a、174b、...、174nを含む。待ち時間信号は、シフトユニット170に供給されて、シフトユニットは、書込み追跡信号を待ち時間値の逆値に等しい量だけ右シフトさせる。シフトユニット170の出力における1の数は、必要なストールサイクル数または読取り書込みデータ従属性に対応するためのNOPsを指示する。この態様においては、データ従属性に対応するのに必要なストールサイクル数は、対応する読取り命令が検出されるとき、ルックアップ表からの待ち時間値から書込み命令が前進したサイクル数を引いた待ち時間値に等しい。

20

【0041】

シフトユニット170の出力は、ORゲート174a、174b、...、174nに供給され、これらのORゲートは、信号線66上で、その他のハザード信号を受け取り、RAW従属性のためのストールサイクルまたはNOPsの必要数、またはその他のハザードに対する必要なストールサイクル数のいずれか大きい方を指示することによって、マルチビット出力信号を提供する。この態様においては、マルチビット出力信号における1の数は、必要なストールサイクル数を指示する。しかしながら、ここで、本発明はこの形態に限定されないことを認識すべきである。

30

【0042】

図7Bは図7Aのシフトユニット170の一態様を示す。シフトユニット170は、8対1マルチプレクサ180を含み、8つの入力および出力結果のそれぞれは、7ビットである。マルチプレクサ180への入力は、書込み追跡信号(WT)、1ビット右シフトされた書込み追跡信号(WT>>1)、2ビット右シフトされた書込み追跡信号(WT>>2)、...、および7ビット右シフトされた書込み追跡信号(WT>>7)である。右シフトされた書込み追跡信号は、7ビット書込み追跡信号をマルチプレクサ180の入力に適当に配線することによって得られる。マルチプレクサ180への制御入力は、待ち時間値である。マルチプレクサ180は、7ビット出力結果を生成する。待ち時間値と出力結果との関係を、図7Cの表に示してある。上述のように、出力結果内の論理1の数は、必要なストールサイクル数を表わす。

40

【0043】

DDM60の一態様の動作例を図8A~8Fに示してある。特に、図8A~8Fは、DDM60（図1）の一態様に対する1つの特定の命令系列についての、パイプライン30の連続状態を示している。ここで、この例においては、パイプライン30（図1）のAC段階の数は、3であり、DDM60は、図1に示すように、AC1段階とAC2段階に位置していることに留意されたい。

50

【 0 0 4 4 】

図 8 A を参照すると、この図はパイプラインの第 1 の状態を示しており、命令系列は、（段階 A C 1 における）積算命令および（段階 I F n における）加算命令を含む。この命令系列は、積算命令がレジスタ R 0 に結果を書き込み、加算命令がそのレジスタ R 0 内のデータをオペランドとして使用することにおいて、R A W 従属性を表わす。D D M 6 0 は、積算命令がレジスタ R 0 に書き込みをすること、および積算命令が書き込みタイプ 2 であることを特定する。

【 0 0 4 5 】

図 8 B を参照すると、この図はパイプラインの第 2 の状態を示しており、積算命令は、A C 2 段階へと前進し、D D M 6 0 は R 0 用の完遂サイクルレジスタを上述のように「1 1 1 1 1 1」に設定する。加算命令は、A C 1 段階へと前進する。D D M は、加算命令がレジスタ R 0 から読み取ること、加算命令は読取りタイプ 1 であることを特定する。

【 0 0 4 6 】

図 8 C を参照すると、この図はパイプラインの第 3 の状態を示しており、積算命令は A C 3 段階に進み、D D M 6 0 は R 0 用の完遂サイクルレジスタを「0 1 1 1 1 1」に右シフトする。加算命令は A C 2 段階に進む。図 3 のルックアップ表は、書き込みタイプが 2 であり、読取りタイプ 1 である場合に、2 つのクロックサイクルの待ち時間が必要であることを指示する。したがって、この態様における必要なストールサイクル数は 1、すなわち待ち時間値から、対応する読取り命令が検出されるときに、書き込み命令が前進したサイクル数を引いたものである。

【 0 0 4 7 】

図 8 D を参照すると、この図はパイプラインの第 4 の状態を示しており、積算命令は L S 段階へと進む。加算命令は、A C 3 段階へと進み、1 ストールサイクルの間、スキッドバッファ（図 1）中へと進路を変えられる。

図 8 E を参照すると、この図はパイプラインの第 5 の状態を示しており、積算命令は、E X 0 段階へと進む。パイプラインに「N O P」が挿入されて、L S 段階まで前進する。ストールサイクル数は満了しているので、加算命令はスキッドバッファから出て、A C 3 段階への戻る。

図 8 F を参照すると、この図はパイプラインの第 6 の段階を示しており、積算命令は、E X 1 段階へと進む。「N O P」が E X 0 段階へと進む。加算命令は、L S 段階へと進む。3 つの命令すべての実行は、さらなるストールサイクルなしに進行する。

【 0 0 4 8 】

1 つの資源に書き込みをする書き込み命令と 1 つの資源から読取りをする読取り命令について、D D M 6 0 を説明したが、本発明はそれに限定されるものではない。

例えば、態様によっては、2 つ以上のオペランドを有する読取り命令を使用し、したがって 2 つ以上の資源から読取りが行われる。リード・アフタ・ライト（read-after-write）従属性が、いずれの資源についても発生する可能性がある。したがって、読取り命令を十分長くストールさせて、読取り命令の読取りがいずれのデータについても早すぎないことを保証するのが望ましい。

【 0 0 4 9 】

同様に、態様によっては、2 つ以上の資源に書き込みをする書き込み命令を使用するものがある。例えば、命令によっては、結果を生成して、次いでその結果を複数の資源に書き込むものがある。さらに、態様によっては、2 つ以上の書き込みタイプを有する書き込み命令を使用し、これは、結果が 2 つ以上の実行段階で生成されることを意味する。

例えば、命令によっては、複数の命令を開始して、複数の結果を生成し、それらの結果のそれぞれが、異なる資源に書き込まれるようにすることができる。結果の 1 つが E X U 段階 3 8 a によって生成され、その結果の別の 1 つが E X U 段階 3 8 b によって生成される場合には、この命令は、第 1 の結果に関しては書き込みタイプ 1、第 2 の結果に関しては書き込みタイプ 2 とみなすことができる。

【 0 0 5 0 】

10

20

30

40

50

同様に、読取り命令は、2つ以上の読取りタイプを有することがあり、これはその命令が2つ以上の実行段階からデータを読み取ることを意味する。例えば、ある命令は2つの資源を読み取ることができる。1つの資源からのデータが、EXU段階38aに供給され、第2の資源からのデータがEXU段階38bへ供給されると、その命令は、第1の資源に関しては読取りタイプ1であり、第2の資源に関しては読取りタイプ2であるとみなすことができる。

【0051】

図9は、DDM60(図1)の別の態様のブロック図である。この態様においては、DDM60は、(1)2つまでの資源に書込みをする書込み命令、および(2)2つまでの資源から読取りをする読取り命令を、収容する。このDDMの態様は、段階200および202を含む。第1の段階200は、復号器210を含む。第2の段階202は、保留書込み追跡ユニット212、待ち時間ユニット213およびストール持続時間発生器214を含む。

【0052】

動作に際しては、命令は信号線(複数を含む)61を介して復号器210に供給される。復号器が書込み命令を検出すると、復号器210は少なくとも2つの信号、すなわち(1)write resource₁信号、および(2)write type_{resource1}信号を生成する。write resource₁信号は、その書込み命令によって書き込まれるべき第1の資源を指示する。write type_{resource1}信号は、第1の資源に関する書込み命令の書込みタイプまたはカテゴリを指示する。復号器が、書込み命令が2つ以上の資源への書込みをすると判定した場合には、復号器210は、さらに2つの信号、すなわち(1)write resource₂信号、および(2)write type_{resource2}信号を生成する。write resource₂信号は、書込み命令によって書き込まれるべき第2の資源を指示する。write type_{resource2}信号は、第2の資源に関する書込み命令の書込みタイプまたはカテゴリを指示する。

【0053】

信号write type_{resource1}、write type_{resource2}、write resource₁、write resource₂は、信号線216、316、217、317をそれぞれ介して保留書込み追跡ユニット212に供給される。保留書込み追跡ユニット212は、各資源に対して最後に検出された書込み命令の、書込みタイプおよび実行/完了状態を追跡する。図2に示し上述した、保留書込み追跡ユニット112と同様に、保留書込み追跡ユニット212は、各資源に対して2つのタイプの情報、すなわち(1)その資源に対して最後に検出された書込み命令の書込みタイプ、および(2)その資源に対して検出された最後の書込み命令のための書込み追跡データ、を記憶する。書込み追跡データは、例えば、書込み命令の書込み部分を完了するのに必要なサイクル数を表わすことができる。書込み追跡データは、通常、命令がパイプラインを前進するにつれて、更新される。

【0054】

復号器210が読取り命令を検出すると、復号器210は少なくとも2つの信号、すなわち(1)read resource₁信号、および(2)read type_{resource1}信号を生成する。read resource₁信号は、その読取り命令によって読み取られるべき第1の資源を指示する。read type_{resource1}信号は、その第1の資源に対する読取り命令の読取りタイプまたはカテゴリを指示する。復号器210が、その読取り命令が2つ以上の資源から読取りをすると判定する場合には、復号器210はさらに2つの信号、すなわち(1)read resource₂信号、および(2)read type_{resource2}信号を生成する。read resource₂信号は、その読取り命令によって読み取るべき第2の資源を指示する。read type_{resource2}信号は、第2の資源に対する、読取り命令の読取りタイプまたはカテゴリを指示する。

【0055】

read type_{resource1}信号およびread type_{resource2}信号は、信号線218、318をそれぞれ介して、待ち時間ユニット213に供給される。read resource₁信号およびread resource₂信号は、信号線219、319を介して保留書込み追跡ユニット212に供給される。保留書込み追跡ユニット212は、その読取り命令によって読み取られるべき資源

10

20

30

40

50

(複数を含む)に対する、最後に検出された書込み命令に関する情報を提供することによって応答する。この特定の態様においては、保留書込み追跡ユニット212は、4つの信号、すなわち(1)stored write type_{resource1}信号、(2)write tracking_{resource1}信号、(3)stored write type_{resource2}信号、および(4)write tracking_{resource2}信号を供給する。stored write type_{resource1}信号は、読み取るべき第1の資源に対して、最後に検出された書込み命令の書込みタイプを指示する。

【0056】

write tracking_{resource1}信号は、その読取り命令によって読み取るべき第1の資源に対して最後に検出された書込み命令の書込み部分を完了するのに要するサイクル数を指示する。2つ以上の資源を読み取るべき場合には、stored write tracking_{resource2}信号は、読み取るべき第2の資源に対して、最後に検出された書込み命令の書込みタイプを指示する。write tracking_{resource2}信号は、その読取り命令によって読み取るべき第2の資源に対して最後に検出された書込み命令の書込み部分を完了するのに要するサイクル数を指示する。

10

【0057】

write tracking_{resource1}信号およびwrite tracking_{resource2}信号は、それぞれ信号線221、231上に供給されて、持続時間発生器214をストールさせる。stored write type_{resource1}信号およびstored write type_{resource2}信号は、それぞれ信号線220、320上で、待ち時間ユニット213に供給されて、この待ち時間ユニットは、上述のように、それぞれ信号線218、318上でread type_{resource1}信号およびread type_{resource2}信号も受け取る。

20

待ち時間ユニット213は、通常、様々なタイプの書込み命令と様々なタイプの読取り命令の間に必要となる、待ち時間(または遅延)を指示するデータを記憶する。待ち時間ユニット213は、1つまたは2つ以上のルックアップ表として実現することができる。

【0058】

待ち時間ユニット213は、少なくとも1種の信号、latency₁を出力し、この信号は、読み取るべき第1の資源に対する最後に検出された書込み命令のタイプと、第1の資源から読み取るべき読取り命令のタイプとの間に必要な待ち時間を指示する。読取り命令によって2つ以上の資源を読み取るべき場合には、待ち時間ユニットは、第2の信号、latency₂を出力し、この信号は、読み取るべき第2の資源に対して最後に検出された書込み命令のタイプと、第2の資源から読み取るべき読取り命令のタイプとの間に必要な待ち時間を指示する。

30

【0059】

latency₁、latency₂信号は、それぞれ信号線222、322上で、ストール持続時間発生器214に供給されて、この持続時間発生器214は、上述のように、それぞれ信号線221、321上でwrite tracking_{resource1}、write tracking_{resource2}信号も受け取る。ストール持続時間発生器214は、読取り命令をストールさせるのに適当なサイクル数を求めることによって応答する。適当なストールサイクル数を指示する出力信号が、信号線66上に供給される。

様々な態様を、図1のパイプライン30と関連する使用に対して提示したが、ここで認識すべきことは、本発明はそのようなパイプラインに限定はされないことである。例えば、パイプラインによっては、互いに直列ではない、積算、シフトおよび/または論理それぞれのユニットを有する。さらに、パイプライン30は、命令の系列を保存するが、その他のパイプラインはそうでないことがある。さらに、命令は、パイプライン30のすべての段階で作用を受ける必要はないことは明白である。

40

【0060】

ここで、特に断らない限りは、例えば「備える(comprise)」、「有する(has)」、「含む(include)」などの用語、およびそれらのすべての形態は、拡張可能であると考え、追加の要素および/または特徴を除外するものではないことに留意されたい。

また、特に断らない限りは、例えば、「~に応答して(in response to)」、「~に基

50

づいて (based on)」、「～の関数である (is a function of)」、および「～と関連して (in accordance with)」などの語句は、それぞれ「少なくとも～に応答して」、「少なくとも～に基づいて」、「少なくとも～の関数として」、および「少なくとも～と関連して」を意味し、例えば、2つ以上のもの、に応答する、に基づく、の関数である、または、と関連することを除外しない。

【0061】

様々な態様を示して説明したが、当業者であれば、それらの態様は例として提示したものにすぎず、本発明はそのような態様に限定されるものではないこと、および本発明の主旨と範囲から逸脱することなく様々な変更および修正を加えることができることを理解するであろう。したがって、本発明は、添付のクレームとその均等物によってのみ限定される。

10

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1A】本発明の一態様によるデータ従属性マネージャが使用されている、デジタルプロセッサパイプラインの概略図である。

【図1B】本発明の一態様によるデータ従属性マネージャが使用されている、デジタルプロセッサパイプラインの概略図である。

【図2】図1のデータ従属性マネージャの一態様を示すブロック図である。

【図3】図2のレーテンシユニットの一態様に使用されるルックアップ表を示す概略図である。

20

【図4】図2の保留書込み追跡ユニットの一態様を示す概略図である。

【図5A】図4Cの完遂サイクル表に使用するシフトレジスタフォーマットを示す概略図である。

【図5B】命令が関連する資源に対して7サイクルで書込みをする場合のシフトレジスタの状態を示す概略図である。

【図5C】関連する資源に書込みをする保留命令がない場合の、シフトレジスタの状態を示す概略図である。

【図6】図4Cの完遂サイクル表に使用されるシフトレジスタの一態様を示す概略図である。

【図7A】図2のデータ従属性マネージャに使用されるストール持続時間発生器の一態様を示す概略図である。

30

【図7B】図7Aに示すシフトユニットの一態様を示す概略図である。

【図7C】待ち時間値とシフトユニットの出力結果との関係の一態様を示す表である。

【図8A】命令系列の一例に対する、図1のパイプラインの連続状態を示す概略図である。

【図8B】命令系列の一例に対する、図1のパイプラインの連続状態を示す概略図である。

【図8C】命令系列の一例に対する、図1のパイプラインの連続状態を示す概略図である。

【図8D】命令系列の一例に対する、図1のパイプラインの連続状態を示す概略図である。

40

【図8E】命令系列の一例に対する、図1のパイプラインの連続状態を示す概略図である。

【図8F】命令系列の一例に対する、図1のパイプラインの連続状態を示す概略図である。

【図9】図1のデータ従属マネージャ回路の別の態様を示すブロック図である。

【図 1 A】

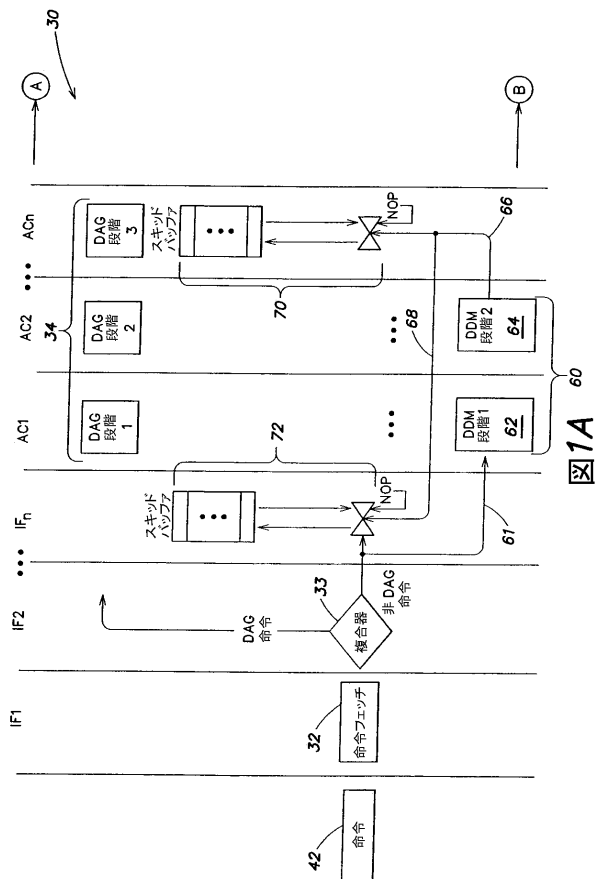


図 1A

【図 1 B】

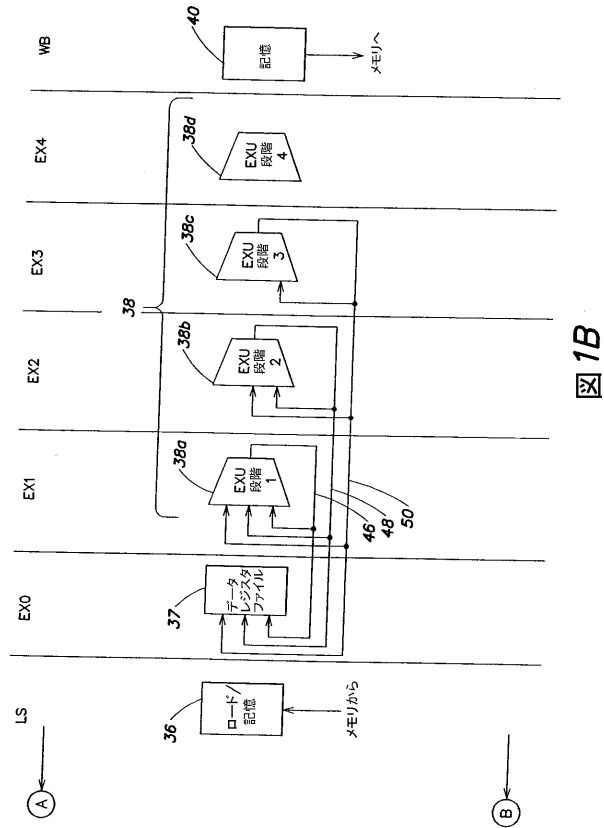


図 1B

【図 2】

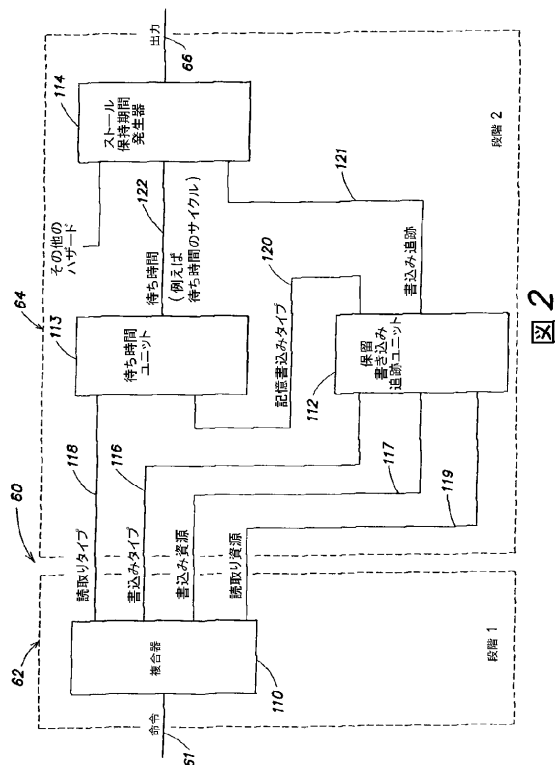


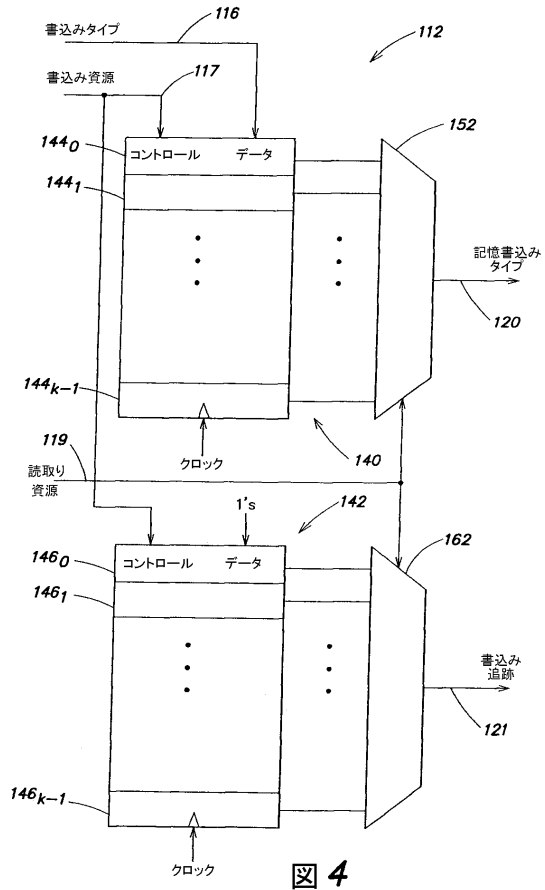
図 2

【図 3】

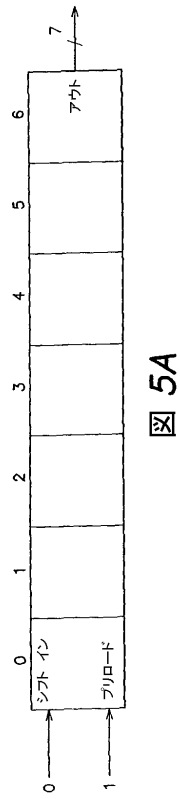
読み取り タイプ	書き込み タイプ						
	(加算) 1	(精算) 2	(シフト) 3	(論理) 4	n-2	n-1	n
(加算) 1	1	2	3	7			
(精算) 2	0	1	2	7			
(シフト) 3	0	0	1	7			
(論理) 4	0	0	0	7			
m-1							
m							

図 3

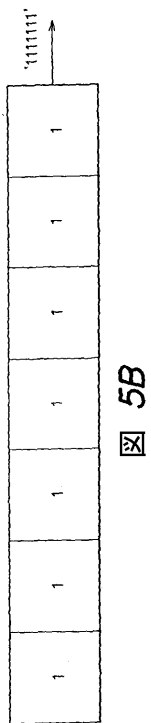
【図 4】



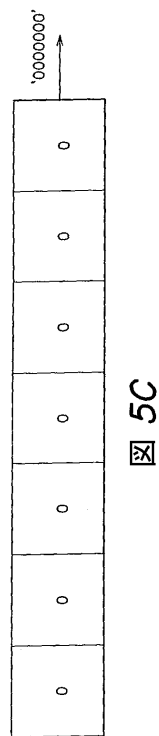
【図 5 A】



【図 5 B】



【図 5 C】



【図 6】

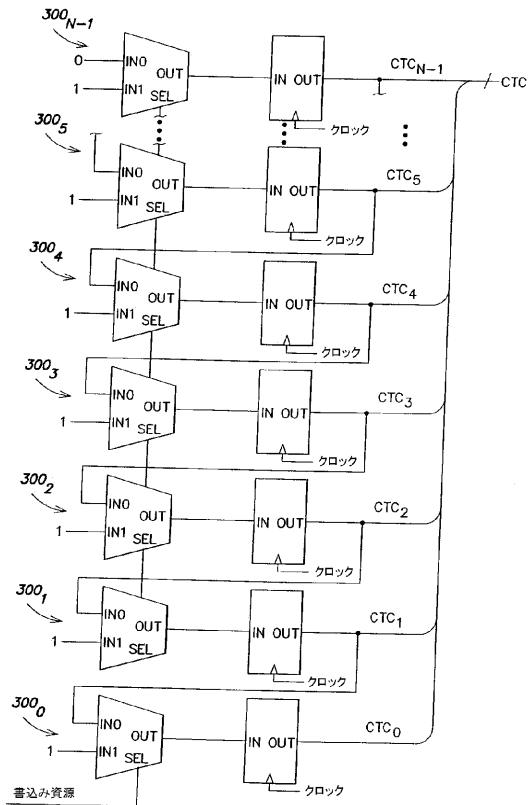


図 6

【図 7 A】

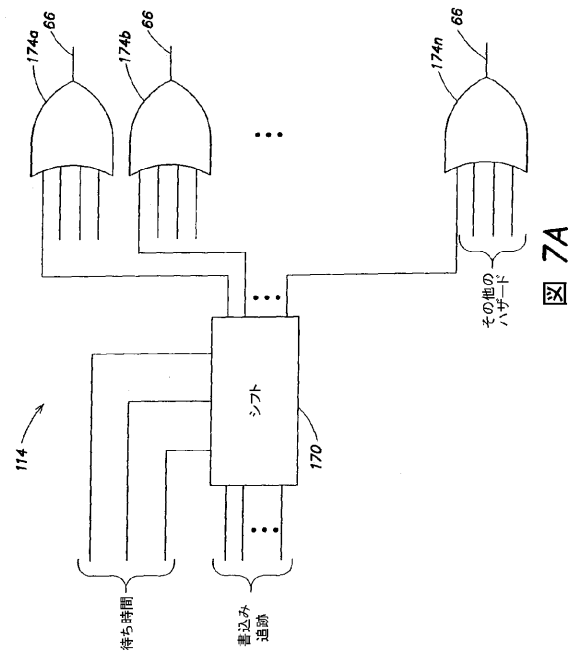


図 7A

【図 7 B】

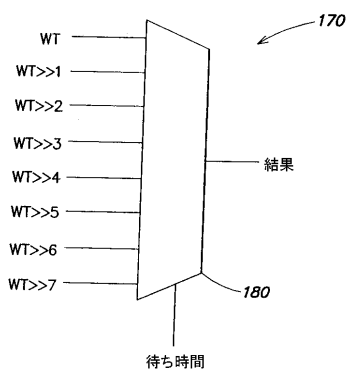


図 7B

【図 7 C】

待ち時間	結果
000	WT>>7
001	WT>>6
010	WT>>5
011	WT>>4
100	WT>>3
101	WT>>2
110	WT>>1
111	WT

図 7C

【 図 8 E 】

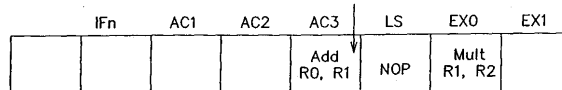


图 8E

【 図 8 F 】

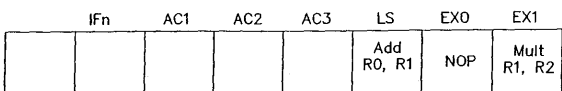
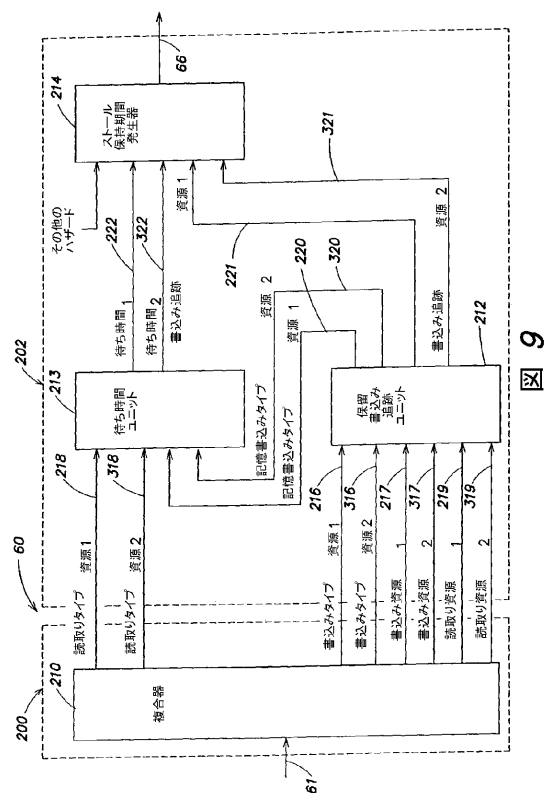


图 8F

図 8C

Figure 8D

【 図 9 】



【国際調査報告】

60600150011



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/US2004/003963

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G06F9/38		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G06F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	GB 2 365 568 A (* HEWLETT-PACKARD COMPANY) 20 February 2002 (2002-02-20) page 1, line 33 - page 2, line 25 page 5, line 23 - page 10, line 28	1-35
Y	EP 1 152 328 A (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 7 November 2001 (2001-11-07) column 6, paragraph 40 - column 9, paragraph 54	1-35
A	US 6 035 389 A (GROCHOWSKI ET AL) 7 March 2000 (2000-03-07) column 3, line 15 - column 7, line 14 -/-	1-35
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 8 June 2005		Date of mailing of the international search report 11/07/2005
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5518 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epc nl, Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer Klocke, L 15. 2. 2006

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/US2004/003963

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 004 959 A (TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED; TEXAS INSTRUMENTS FRANCE) 31 May 2000 (2000-05-31) page 6, paragraph 37 - page 15, paragraph 120	1, 12, 23, 33-35

3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

PCT/US2004/003963

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2365568	A	20-02-2002	US 6591360 B1	08-07-2003
EP 1152328	A	07-11-2001	US 6708267 B1	16-03-2004
			EP 1152328 A2	07-11-2001
			JP 3611304 B2	19-01-2005
			JP 2001243071 A	07-09-2001
US 6035389	A	07-03-2000	AU 5550699 A	06-03-2000
			CN 1323412 A ,C	21-11-2001
			HK 1041947 A1	10-12-2004
			JP 2002522841 T	23-07-2002
			WO 0010076 A1	24-02-2000
EP 1004959	A	31-05-2000	EP 0992896 A1	12-04-2000
			EP 0992916 A1	12-04-2000
			EP 1004959 A2	31-05-2000
			JP 2000276352 A	06-10-2000
			US 6810475 B1	26-10-2004
			JP 2000305779 A	02-11-2000
			EP 0992902 A2	12-04-2000
			EP 0992904 A2	12-04-2000
			EP 0992905 A2	12-04-2000
			EP 0992890 A2	12-04-2000
			EP 0992887 A2	12-04-2000
			EP 0992897 A2	12-04-2000
			EP 0992882 A2	12-04-2000
			EP 0992906 A2	12-04-2000
			EP 0992907 A2	12-04-2000
			US 6681319 B1	20-01-2004
			US 2003093656 A1	15-05-2003
			US 2003074543 A1	17-04-2003
			US 2003110363 A1	12-06-2003
			US 6516408 B1	04-02-2003
			US 6658578 B1	02-12-2003
			US 6571268 B1	27-05-2003
			US 2003055860 A1	20-03-2003
			US 6499098 B1	24-12-2002
			US 6598151 B1	22-07-2003
			US 6487576 B1	26-11-2002
			US 6557097 B1	29-04-2003
			US 6507921 B1	14-01-2003
			US 2004109381 A1	10-06-2004

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ウィット, デーヴィッド

アメリカ合衆国 テキサス州 78759、オースティン、パスファインダー ドライブ 6318

(72)発明者 チンナコンダ, ミューラリ

アメリカ合衆国 テキサス州 78730、オースティン、#7、リバー プレイス ブールバード 4700

(72)発明者 フーパー, ウィリアム, エイチ.

アメリカ合衆国 テキサス州 78749、オースティン、ホット スプリング ドライブ 6628

Fターム(参考) 5B013 AA11 CC05 CC06