

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2008-519321

(P2008-519321A)

(43) 公表日 平成20年6月5日(2008.6.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G06F 11/16 (2006.01)</b>	G06F 11/16 310A	5B034
<b>G06F 11/00 (2006.01)</b>	G06F 11/00 350Z	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 23 頁)

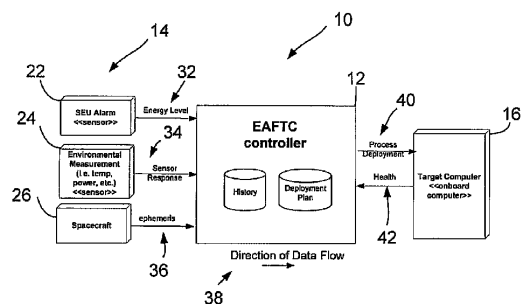
<p>(21) 出願番号 特願2007-537963 (P2007-537963)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成17年10月19日 (2005.10.19)</p> <p>(85) 翻訳文提出日 平成19年6月1日 (2007.6.1)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/US2005/037370</p> <p>(87) 国際公開番号 W02006/052397</p> <p>(87) 国際公開日 平成18年5月18日 (2006.5.18)</p> <p>(31) 優先権主張番号 60/620,047</p> <p>(32) 優先日 平成16年10月19日 (2004.10.19)</p> <p>(33) 優先権主張国 米国 (US)</p> <p>(31) 優先権主張番号 11/202,467</p> <p>(32) 優先日 平成17年8月12日 (2005.8.12)</p> <p>(33) 優先権主張国 米国 (US)</p>	<p>(71) 出願人 500575824 ハネウェル・インターナショナル・インコーポレーテッド アメリカ合衆国ニュージャージー州07962-2245, モーリスタウン, コロンビア・ロード 101, ビー・オー・ボックス 2245</p> <p>(74) 代理人 100089705 弁理士 社本 一夫</p> <p>(74) 代理人 100140109 弁理士 小野 新次郎</p> <p>(74) 代理人 100075270 弁理士 小林 泰</p> <p>(74) 代理人 100080137 弁理士 千葉 昭男</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 環境適応故障許容コンピューティングのための方法およびシステム

## (57) 【要約】

故障許容コンピューティングを適応化する方法およびシステム。この方法は、環境を表す環境条件を測定するステップを含む。測定された環境条件に対するオンボード処理システムの故障発生度が測定される。測定された環境条件に部分的に基づいて、オンボード処理システムの故障許容を再構成すべきか否かが決定される。オンボード処理システムの故障許容は、測定された環境条件に部分に基づいて再構成され得る。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

環境を表す環境条件を測定するステップと、  
測定された前記環境条件に対するオンボード処理システムの故障発生度を分析するステップと、

測定された前記環境条件に部分的に基づいて、前記オンボード処理システムの故障許容を再構成すべきか否か決定するステップと、  
を含む故障許容コンピューティングを適応化する方法。

## 【請求項 2】

測定された前記環境条件に部分的に基づいて、前記オンボード処理システムの前記故障許容を再構成するステップ  
をさらに含む、請求項 1 に記載の発明。

## 【請求項 3】

前記オンボード処理システムの前記故障許容は、前記環境と調和するように再構成される、請求項 2 に記載の発明。

## 【請求項 4】

前記オンボード処理システムの前記故障許容は、履歴データに部分的に基づいて再構成される、請求項 2 に記載の発明。

## 【請求項 5】

前記環境条件を測定する前記ステップは、前記オンボード処理システムが軌道位置にある間に発生する、請求項 1 に記載の発明。

## 【請求項 6】

前記オンボード処理システムは、宇宙に装備の資産に含まれる、請求項 1 に記載の発明。

## 【請求項 7】

環境条件を測定する前記ステップは、放射線状態を検出するステップを含む、請求項 1 に記載の発明。

## 【請求項 8】

前記環境条件を測定する前記ステップは、単一事象反転を発生させる高エネルギー粒子の流束を監視するステップを含む、請求項 1 に記載の発明。

## 【請求項 9】

環境的脅威を表すアラーム信号を提供するアラームスイートをさらに含む、請求項 1 に記載の発明。

## 【請求項 10】

宇宙に装備のスペースクラフトに関する前記環境条件に応答してアラームの測定値を収集するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の発明。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

(優先権)

本願は、米国特許法第 120 条に基づき、2004 年 10 月 19 日に出願された仮出願第 60/620047 号「Environmentally Adaptive Fault Tolerant Computing (環境適応故障許容コンピューティング: EAFTC): An Enabling Technology for COTS Based Space Computing (COTS ベースのスペースコンピューティング用の可能化技術)」、および 2005 年 8 月 12 日に提出された特許出願第 11/202467 号「Method and System for Environmentally Adaptive Fault Tolerance Computing (環境適応故障許容コンピューティング)」の優先権を主張する。

## 【0002】

本発明は、放射線誘導故障を緩和することを対象とする。より詳細には、本発明は、単一事象反転（SEU）に対する商業上の既製品（COTS）コンポーネント固有の故障発生度を取り扱うための方法および／またはシステムを対象とする。本発明は特に、高信頼性動作を維持しながら性能および効率も高める一方で、故障許容の適応可能な構成レベルをサポートするCOTSベースのコンピュータアーキテクチャを利用して実時間の環境感知を提供することに特に有益である。しかしながら、本発明の諸態様は、他のシナリオにも等しく適用できる可能性がある。

#### 【背景技術】

##### 【0003】

科学防衛上の任務では、宇宙に装備の資産（宇宙戦争兵器）からの返却データ需要が益々高まっている。最近、宇宙に配備される機器の能力は益々拡大している。例えば、このような能力の拡大は、参照によりそれらの内容全体が本明細書に組み込まれ、さらなる情報が読者に示される。次の参考文献、すなわち、「An Overview of Earth Science Enterprise（地球科学エンタープライズの概観）」、NASA Goddard Space Flight Center、FS-2002-3-040-GSFC（2002年3月）、ならびにWallace M. PorterおよびHarry T. Enmarkの「A System Overview of The Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer（空輸可視／赤外線形成分光計：AVIRIS）」、JPL Pasadena、California、ならびにH. L. Huangの「Data Compression of High-spectral Resolution Measurements（高スペクトル解像度測定値のデータ圧縮）」、Satellite Direct Readout Conference for the Americas（2002年12月）で論じられている。

##### 【0004】

データ収集に関する1つの典型的なアプローチでは、データ圧縮およびデータ伝送をこれ以上続けるのは無理なように思われる。使用可能なダウンリンクチャネルを介して膨大な量のデータを合理的な期間伝送することは困難である。このような状況に対して、地球上から離れ且つ宇宙に装備の資産に処理を移すことによってダウンリンクの需要を軽減する1つの解決策が提案されている。

##### 【0005】

しかしながら、このようなアプローチは、いくつかの制限を有する。例えば、このアプローチは、従来の卓上プロセッサの限られた能力によって妨げられる。このアプローチはまた、放射線硬化高性能エレクトロニクスの開発に基づく膨大なコストを禁じている。このような問題は、参照によりそれらの内容全体が本明細書に組み込まれ、さらなる情報が読者に示される次の参考文献：J. MarshallおよびR. Bergerの「A Processor Solution for the Second Century of Powered Space Flight（次世代の増強宇宙飛行用のプロセッサ解法）」Digital Avionics Systems Conferences（デジタル・エビオニクス・システムズ会議）2000. Proceedings. DASC. The 19th、Volume: 2、7-13（2000年10月）、8.A.2\_\_1頁～8.A.2\_\_8頁、ならびにGary R. Brownの「Radiation Hardened PowerPC 603e™（登録商標）Based Single Board Computer（放射線硬化パワーPC 603eベースの単一ボードコンピュータ）」20<sup>th</sup> Digital Avionics Systems、2001.（2001年10月）で論じられている。

##### 【0006】

このように認識される懸念に部分的に基づいて、関連産業は、COTSコンポーネントの使用を検討している。例えば、そのような検討事項の概要は、参照によりその内容全体が本明細書に組み込まれ、さらなる情報が読者に示される次の参考文献、すなわち、E.

R. Pradoらの「A Standard Approach to Space borne Payload Data Processing (宇宙装備のペイロードデータ処理に対する標準アプローチ)」IEEE Aerospace Conference (2001年3月)に記載されている。さらに、ここ最近のCOTS集積回路工場によるシリコン・オン・インシュレータ(「SOI」)技術の採用により、デバイスが中程度の宇宙放射線耐性を有するようになっている。例えば、参照によりそれらの内容全体が本明細書に組み込まれ、さらなる情報が読者に示される次の参考文献、すなわち、F. Iromらの「Single-Event Upset in Evolving Commercial Silicon-on-Insulator Microprocessor Technologies (発展する商業上の絶縁体上シリコン・マイクロプロセッサ技術における単一事象反転)」Nuclear and Space Radiation Effects Conference (核および宇宙放射線影響会議) 2003、ならびにXilinx Corporationの「QPro Virtex 2.5V Radiation Hardened FPGA」同社ウェブサイト (<http://www.xilinx.com/>) (2001年11月)を参照されたい。

10

20

30

40

50

#### 【0007】

このような進歩にもかかわらず、COTSコンポーネントは依然として、SEUに対するやや高い故障発生度を有する。このようなSEUを緩和する上で定評のある1つのアプローチは、固定されたコンポーネントレベルの冗長性を利用するものである。例えば、参照によりその内容全体が本明細書に組み込まれ、さらなる情報が読者に示されるDaniel P. SiewiorekおよびRobert S. Swarzの「Reliable Computer Systems Design and Evaluation 3<sup>rd</sup> edition (信頼性コンピュータシステム設計および評価 第3版)」MA: AK Peters Ltd. (1998年)を参照されたい。しかしながら、固定されたコンポーネントレベルの冗長性を利用する1つの欠点は、それ自体の効率が低く、それ自体のシステム容量がまだ実現されていないことである。

#### 【0008】

従来のある種のオンボード処理コンピュータは主に、COTSの等価物に基づく放射線硬化部品から成る。商用ソフトウェアの採用を含めてCOTSの互換性はいくつかの認識される利点を提供するが、典型的には、初期のシリコン実装のために、しばしば膨大な非反復性の工学技術(Non-Recurring Engineering: NRE)が必要となる。さらに、放射線硬化部品は、市販競業品と比べると、それぞれの全体性能および能力が少なくとも1桁から2桁の大きさだけ遅れている。こうした欠点を生む要因は複数存在する。このような要因の1つは、放射線硬化技法に関するものであり、このようなマイクロエレクトロニクスの技法は、固定されたトランジスタレベルまたはゲートレベルの冗長性を必要とする。この追加的な論理は、同じ計算ユニットを実行するのに必要となる電力を増加させる。

#### 【0009】

改善に向けたアプローチでは、真のCOTSマイクロプロセッサおよび書換え可能ゲートアレイ(「FPGA」)の使用が検討されている。このようなアプローチは典型的には、放射線硬化等価物に関連するコストの増大および開発期間の長期化を回避する。しかしながら、真のCOTSデバイスは、典型的にはSEUに非常に影響されやすい。定評のある1つのSEU緩和アプローチは、コンポーネントレベルのNモジュール冗長を使用するものである。しかしながら、このようなNモジュール冗長を用いると、しばしばオーバーヘッドが2/3以上に達することもある故に、効率も容量も低下することが多い。

#### 【0010】

さらに、冗長性のレベルは固定であり、しばしば不必要である。固定された冗長性の欠点を克服するために、宇宙任務の2つの特徴として、第1には、宇宙環境の変動性に焦点が当てられ、第2には、タスクレベルの臨界に焦点が当てられ得る。大部分の任務は、変

動する臨界のプロセスの組合せを有するはずである。このような任務処理の特徴は、タスクレベルの冗長性を適用することによってシステム効率を高めるのに利用され得る。さらに、宇宙環境にはそれに関与する変動性が存在し、この変動性は、必要な冗長性に対する時間および軌道位置の従属性をもたらす。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

したがって、放射線誘導故障（「SEU」）を緩和する方法および／またはシステムが、一般に必要とされている。また、依然としてSEUに対して影響され易いものの、許容可能な総TIDおよびラッチ・アップ特性を示すより低コストのCOTSコンポーネントを宇宙空間で利用することができる方法およびシステムも、一般に必要とされている。さらに、十分なレベルのシステム効率および容量を維持しながら、SEUが多く存在する環境でのCOTSコンポーネントの使用を容易にするシステムおよび／または方法も必要とされている。

10

【0012】

さらに、任務環境および／または任務遂行上の要請に従ってシステムの故障許容レベルを適応的に構成することにより、このような十分なレベルのシステム効率および容量を実現するシステムおよび方法も必要とされている。したがって、高信頼性動作を維持しながら性能および効率も高める一方で、故障許容の適応可能な構成レベルをサポートするCOTSベースのコンピュータアーキテクチャを利用した実時間の環境感知が、一般に必要とされている。

20

【課題を解決するための手段】

【0013】

例示的な一実施形態によれば、故障許容コンピューティングを適応化する方法は、環境を表す環境条件を測定するステップと、測定された前記環境条件に対するオンボード処理システムの故障発生度を分析するステップと、測定された前記環境条件に部分的に基づいて、前記オンボード処理システムの故障許容を再構成すべきか否か決定するステップとを含む。

【0014】

一代替実施形態では、環境適応故障許容コンピューティングのためのシステムは、動的な環境の特性を感知し、前記特性に基づいて出力信号を生成するセンサーを備える。システム構成コントローラは、前記出力信号を受信し、前記出力信号に部分的に基づいて、前記システムのアベイラビリティに対する潜在的な環境的脅威を評価する。コンピューティングデバイスは、前記コントローラから入力を受信する。前記コンピューティングデバイスの構成は、前記システムのアベイラビリティに対する潜在的な環境的脅威を効果的に緩和するように適応化される。

30

【0015】

本発明の様々な態様に関する上記ならびに他の利点は、以下の詳細な説明を該当する添付の図面と併せて読めば、当業者には明らかとなるであろう。

本明細書では、本発明の例示的な一実施形態を添付の図面を参照しながら説明する。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

A. EAFTCシステムの概要

図1は、EAFTCベースシステム10の第1の構成を示す例示的なブロック図である。EAFTCベースシステム10は、履歴および／または環境条件に基づくシステムレベルの故障許容を利用することが好ましい。EAFTCシステム10は、EAFTCコントローラ12と、環境センサースイート14と、ターゲットコンピュータ16とを備える。EAFTCコントローラ12は、履歴18と、配備プラン20とを含む。センサースイート14は、それだけに限らないが、SEUアラーム22、環境測定24、およびスペースクラフト26を含む複数のセンサーを備えることが好ましい。他のセンサースイート構成

50

も可能である。

#### 【 0 0 1 7 】

図 1 に示される構成によって実施される好ましいプロセスは、次の各ステップを含む。センサースイート 1 4 はまず、環境条件を感知する方法を提供する。例えば、センサースイート 1 4 は、S E U アラーム 2 2 からエネルギーレベル表示 3 2 を提供し、環境測定 2 4 からセンサー応答 3 4 を提供し、あるいはスペースクラフト 2 6 から天体暦 3 6 を提供することもできる。このような 1 つまたは複数の信号が受信されると、E A F T C コントローラ 1 2 は、環境条件（システム 1 0 のアベイラビリティに対する環境的脅威である可能性もある）を評価する。E A F T C コントローラ 1 2 によってそのような環境的脅威が存在することが決定された場合は、システム 1 0 は、（必要と見なされる場合は）ターゲットコンピュータ 1 6 の構成を適応化する。このようにして、システム 1 0 は、その環境から提示される潜在的な脅威を効果的かつ動的に緩和する。図 1 から分かるように、データフロー 3 8 の方向は、センサースイート 1 4 から E A F T C コントローラ 1 2 を経由してターゲットコンピュータ 1 6 へと向かっている。

10

#### 【 0 0 1 8 】

一般に、E A F T C コントローラ 1 2 は、ペイロードコンピュータシステムなどのターゲットコンピュータ 1 6 の故障を誘発する恐れがある、センサースイート 1 2 からの異なる様々な環境入力を受け付けるように実装され得る。しかしながら、本明細書で現に論じられる特定の構成では、環境の監視は、在宇宙宇宙戦争兵器で生じ得る高エネルギー粒子束測定に焦点が当てられ得る。例えば、E A F T C システム 1 0 がスペースクラフト内に設けられる状況では、高エネルギー粒子束を監視することにより、S E U に対するシステム 1 0 全体の故障発生度を評価することが可能となる。しかしながら、代替的な測定およびシステム構成および / または代替的な環境入力を利用され得ることが、当業者には理解されるであろう。

20

#### 【 0 0 1 9 】

再び図 1 を参照すると、センサーの測定値（例えば温度や使用可能電力など）と、ターゲットコンピュータ 1 6 の健康状態とは、健康状態信号 4 2 を介して E A F T C コントローラ 1 2 によって継続的に監視される。このような情報およびデータ 4 2 は、任務定義のアプリケーションタスク配備プランと組み合わせられる。任務定義のアプリケーションタスク配備プランは、タスクレベルの臨界要件、ならびに E A F T C コントローラ 1 2 によって使用される他の関連情報を含むことが好ましい。E A F T C コントローラ 1 2 は、当該入力に基づいて、信頼性および / またはアベイラビリティに対する脅威が存在するかどうか決定し、好ましくは、ターゲットコンピュータ 1 6 上にある宇宙戦争兵器が置かれる現在の環境によってもたらされる脅威のレベルも決定する。

30

#### 【 0 0 2 0 】

次いで、システム構成コントローラとして働く E A F T C コントローラ 1 2 は、プロセス配備を介して、後にターゲットコンピュータを適応化するのに必要な信号を生成し送信する。このようにして、プロセス配備 4 0 は、コンピュータ 1 6 にとって好ましくない潜在的な環境的脅威に対抗する。このような脅威の評価に基づいて、システム構成コントローラ 1 2 は、オンボード処理システムの故障許容が当該脅威レベルに匹敵するように再構成する。オンボード処理システムは、それ自体が遭遇することになる様々な脅威に匹敵するように構成可能な故障許容を実装することが好ましい。これに応答して、ターゲットコンピュータ 1 6 は、要求される故障許容メカニズムを最適な形で利用する。このプロセスは、システム 1 0 の全体的な動作の内の不可欠な部分として実時間およびオンラインで実施される。

40

#### 【 0 0 2 1 】

##### ハードウェア実装

図 1 から分かるように、E A F T C コントローラ 1 2 は、健康状態信号 4 2 を介してターゲットコンピュータ 1 6 からいくつかのコマンドを受信する。好ましい一構成では、ターゲットコンピュータ 1 2 用のハードウェアは、H o n e y w e l l 社の I n t e g r a

50

ted Payload System (集積ペイロードシステム)を含むことができる。Honeywell社のIntegrated Payload Systemは本質的に、複数のデータプロセッサおよび1つのクラスタマネージャから成るクラスタコンピュータである。

【0022】

図2は、図1に示されるEAFTCシステム10と共に利用され得るターゲットコンピュータ50の一構成を示す。この構成では、ターゲットコンピュータ50は、システムコントローラ52aおよび52b、複数のデータプロセッサ64a、64b、64c、および64d、第1のパケット交換ファブリック62a、第2のパケット交換ファブリック62b、ならびに環境センサスイート58を含めた様々なハードウェア要素を備える。電源56も設けられる。

10

【0023】

A. システムコントローラ

ターゲットコンピュータ50用のシステムコントローラ52は、冗長構成の放射線硬化型シングルボードコンピュータを使用して実装されることが好ましい。このような高信頼性の放射線硬化型システムコントローラ52は、EAFTCコントローラのような極めて重要な制御ソフトウェアを配備するためのプラットフォームを提供する。例えば、一構成では、システムコントローラ52の潜在的な候補は、Honeywell社の放射線硬化型RHPPCシングルボードコンピュータ(「SBC」)を含むことができる。例えば、Gary R. Brownの「Radiation Hardened Power PC 603e Based Single Board Computer (放射線硬化パワーPC 603eベースの単一ボードコンピュータ)」IEEE Aerospace Conference, 2001 ([http://cism.jpl.nasa.gov/events/seminardocs/Big\\_sky\\_08\\_02\\_01.pdf](http://cism.jpl.nasa.gov/events/seminardocs/Big_sky_08_02_01.pdf))の記載を参照されたい。

20

【0024】

好ましい一構成では、放射線硬化型SBCは、Motorola社の603eマイクロプロセッサ技術に基づく。このような放射線硬化型SBCの概要は、引用により全体が本明細書に援用され、読者がさらなる情報を得られるGary R. Brownの「Radiation Hardened Power PC 603e<sup>TM</sup> (登録商標) Based Single Board Computer (放射線硬化パワーPC 603eベースの単一ボードコンピュータ)」20<sup>th</sup> Digital Avionics Systems, 2001 (2001年10月)に記載されている。RHPPC SBCの使用は、いくつかの理由で好ましい可能性がある。これらの幾つかの理由は、以下の表1に要約されている。

30

【0025】

【表 1】

表1：RHPPC SBCの特徴

主な特徴
電力:3.3V/5.0V
RHPPC転送100MIPS
周辺機器拡張コンポーネントサポートチップ
単一誤り訂正/多重誤り訂正機能付き 4MB EEPROM
512KB EEPROM
スーパーEDAC機能付き128MB DRAM
6U×220mmユーロカードフォームファクタ
最大消費電力:15W
質量> 3lbs
リダンダント1553 (スペースクラフトコンピュータとの インターフェイス)
32ビット/33MHz PCI (クラスタおよびMIB エレクトロニクスとのインターフェイス)

10

20

30

## 【0026】

## B. データプロセッサ

図2に示されるように、ターゲットコンピュータ50はさらに、複数のデータプロセッサ64を備える。この好ましい構成では、複数のデータプロセッサはそれぞれ、第1のデータプロセッサ64a、第2のデータプロセッサ64b、第3のデータプロセッサ64c、および第4のデータプロセッサ64dを含む。好ましい構成では、これらのデータプロセッサは、COTSベースのプロセッサを含む。これらのデータプロセッサは、本明細書では適応処理コンピュータ(「APC」)と呼ばれるユニークなアーキテクチャを備えるCOTSベースのプロセッサを含むことがより好ましい。APCは、COTSマイクロプロセッサとFPGAの使用を単一のプラットフォーム上で組み合わせるマルチモード

デバイスである。一構成では、APCは、市販品であるIBM PowerPC 750FXマイクロプロセッサと、Xilinx Virtex II 6000 FPGAとを利用する。IBM 750FXおよびXilinx Virtex IIの各デバイスは、飛行実験に適したCOTSデバイスである。

40

## 【0027】

## C. 適応処理コンピュータ

図3は、図2に示されるターゲットコンピュータ50と共に利用され得る適応処理コンピュータ(「APC」)80の一構成を示す。APC 80は、COTS計算資源部分82と、各支援機能を有する放射線硬化型構成マネージャ84を含む部分とを備える。構成マネージャ84は、それだけに限らないが、APC 80のモード変更、基本的なFPG

50



A 構成、FPGA 構成メモリのスクラビング、低レベルの健康状態の監視、およびパワーモードの制御を含めた様々な機能を取り扱う。

【0028】

好ましい一構成では、APC 80 は、操作上の複数の動作モードを実装することができる。例えば、APC 80 は、マイクロプロセッサモードと、カスタムプロセッサモードと、ハイブリッドプロセッサモードとを実装することができる。この動作モードは、図3では処理要素/プロセッサコントローラ(「PE/PC」)88 という符号が付されたFPGAのアクティブ構成によって決定され得る。

【0029】

#### 1. マイクロプロセッサモード

APC 80 は、マイクロプロセッサモードで構成されてもよい。このモードにある間は、APCのFPGAは、プロセッサコントローラとして構成され、マイクロプロセッサがイネーブルされる。したがって、APCは、SBCとほぼ同様の振る舞いをする。プロセッサコントローラのFPGAは、PPCに関するIO、メモリコントローラ、割り込み、タイマなどを含めたすべてのサポート機能をホストする。

【0030】

#### 2. カスタムプロセス

カスタムプロセスとしてイネーブルされた場合には、マイクロプロセッサはディスエーブルされ、ソフトウェアの実行は行わない。APC 80 がこのカスタムプロセッサモードにある間は、PE/PC 88 のFPGAは、処理要素として構成され、すべてのIOおよび処理ロジックを含めたフルカスタムアプリケーションをホストする。処理要素の処理ロジックは、構成マネージャ84によってFPGAの構成メモリにロードされるイメージによって定義される。構成マネージャ84は、ターゲットコンピュータ16(図2を参照)のシステムコントローラ52上のソフトウェアからコマンドを受け取る。

【0031】

#### 3. ハイブリッドモード

第3のAPCケイパビリティは、ハイブリッドモード動作である。ハイブリッドモードでは、FPGAは、マイクロプロセッサならびにアプリケーションに特有のモジュールに関するプロセッサコントローラをホストする。この第3の代替モードは、コプロセッサシステムに例えられ得る。アプリケーションに特有のモジュールは、デジタル信号処理(「DSP」)機能、データ圧縮、ベクトル処理などである可能性もある。カスタムモードの場合と同様に、アプリケーションに特有のモジュールを使用することによって、高い効率および性能の利益がもたらされる可能性がある。例えば、このような効率および性能の利益の概要に関する一般的な説明は、参照によりその内容全体が本明細書に組み込まれ、さらなる情報が読者に示されるJ. S. Donaldsonの「Push the DSP Performance Envelope(DSP性能エンベロープを推進)」Xilinx Xcell Journal、Spring 2003に記載されている。この第3のモードは、プログラム可能なマイクロプロセッサを保持することによってさらなる柔軟性を提供し、カスタムハードウェアへのアクセスも提供する。APCは、上記の各モード間を動的に切り換えることもできる。このような機能は、多くのアプリケーションで有益であることが証明される可能性がある。例えば、このような機能は、複数のデータチャンネルが同じペイロードの一部である場合に有益であることが証明される可能性があり、したがって、APCの動作モードは、アクティブ状態のデータチャンネルの必要に、より良い形で応えられるよう切り換えられ得る。

【0032】

APCの柔軟性によって、様々な任務レベルの要件に見合うターゲットプロセッサを採用することが可能となる。単なる一例として、効率の向上は、FPGAにおいてより多くのカスタムハードウェアモジュールを使用することによって達成され得る。同様に、処理性能の向上もFPGAモジュールの形で実現され得る。しかしながら、高いプログラム可能性を必要とし得るある種のアプリケーションについては、マイクロプロセッサモードの

10

20

30

40

50

方が適切なアプリケーションである可能性がある。A P Cを利用することにより、これらの必要性が高まる可能性もある。さらに、他の代替実装形態は典型的には、オンボードプロセッサモジュールで使用可能ではない。A P Cの柔軟性の一例は、制御フロー処理とデータフロー処理が同じコンピュータ上に混在するような処理状況に見られる。データフローが並列的になる傾向が強い場合は一般に、制御フローアプリケーションが順次的である可能性の方が高い。順次的なアプリケーションの場合では、マイクロプロセッサが許容可能な性能結果を達成する可能性もある。しかしながら、並列的なアプリケーションは、F P G Aのコプロセッサを使用した方がそれぞれの処理を高速化することができる。

【 0 0 3 3 】

A P C 8 0などの好ましいA P Cに関連するいくつかの特徴を、以下の表 2 に示す。

10

【 0 0 3 4 】

【表 2】

表2、APCの特徴

特徴
750 fx @ 650 MHz 転送 1300 MIPS
Virtex II 6000処理要素/プロセッサコントローラ
PCI 32ビット/33MHz
スーパーEDAC機能付き128MB DRAM
SECDED EDAC機能付き4MB EEPROM
FPGAによるSEU軽減をサポートする構成マネージャ
ローカルPCIバスを円滑化するPCI間ブリッジ
イーサネット開発インターフェイス
6U×220mmユーロカードフォームファクタ
質量< 3lbs
最大消費電力:20W

20

30

40

【 0 0 3 5 】

再び図 2 を参照すると、ターゲットコンピュータ 5 0 はさらに、パケット交換ファブリック A 6 0 と、パケット交換ファブリック B 6 2 とを備える。システム 5 0 を含む様々なモジュールは、Rapid I O (「R I O」) 業界標準に基づく交換ファブリックを介して相互接続されることが好ましい。この業界標準の詳細情報については、参照によりその内容全体が本明細書に組み込まれ、さらなる情報が読者に示される R a p i d I O トレードアソシエーションのウェブサイト ( <http://www.rapidio.org/> ) を参照されたい。

【 0 0 3 6 】

R I O は業界標準であるが、一般には、従来の C O T S 相互接続の内、より人気の高い

50

C O T S 相互接続として認識されている。いくつかの従来のペイロードデータプロセッサ相互接続は、マルチドロップ構成に基づく。このようなマルチドロップ構成は、それだけに限らないが、M O D U L E B U S、P C I、およびV M Eを含む。このようなマルチドロップシステムの1つの利点は、それらのシステムが各モジュールに使用可能な帯域幅を分配することである。しかしながら、このような分配によって参加ノード間のコンテンションが発生する可能性があり、しばしばシステムレベルのボトルネックとなることもある。

#### 【0037】

このようなマルチドロップシステムとは対照的に、R I Oは、パケット交換型のポイント・ツー・ポイント相互接続を実装する。このような相互接続は、いくつかの欠点を有する。例えば、パケット交換型のポイント・ツー・ポイント相互接続を用いると、ネットワーク内のエンドノード間でフル帯域幅の複数のポイント・ツー・ポイント・リンクを同時に確立することが可能となる。パケット交換型のポイント・ツー・ポイント相互接続の別の利点は、それらがより広い帯域幅をアプリケーションに与えながらコンテンションも軽減することである。

10

#### 【0038】

図4は、図2に示されるターゲットコンピュータ50と共に利用され得る高速I/O(「R I O」)システム100の一構成を示す。R I Oシステム100は、センサーデータ116、2つのプロセッサ102および104、高速I/Oスイッチ108、バルクメモリ110、汎用I/O 114、バックプレーン106、ならびに不揮発性メモリ112を備える。

20

#### 【0039】

R I Oシステム100は本質的に、2つのビルディングブロック、すなわちR I Oエンドノード120と、R I Oスイッチ122とを備える。R I Oシステム100内の各エンドノード120、122は、R I Oネットワークインターフェイスを備える。各R I Oネットワークインターフェイスは、共用R I Oスイッチ108との間のポイント・ツー・ポイント・リンクを備える。R I Oスイッチ108は、パケットを受信し、バックプレーン106を介して該当する宛先に当該パケットを経路指定する。このようなR I Oの非ブロッキング性は、複数パケットの同時経路指定を可能にする。例えば、センサーデータ116は、プロセッサ102、104が汎用I/O 114にアクセスすると同時にバルクメモリ110に記憶され得る。図4に示される複数のスイッチを使用することにより、図1のE A F T Cシステム10では、数百または数千ものノードから成るトポロジが実現され得る。

30

#### 【0040】

好ましい一構成では、R I Oインターフェイスは、L V D Sシグナリング技術に基づいており、アクティブ状態の各リンクに最大60 G b i t / 秒の帯域幅を達成することができる。アクティブ状態の2つのポイント・ツー・ポイント・リンクを有する16ビットR I Oシステムは、33 M H zの32ビット コンパクトP C Iベースシステムの120倍を超える性能向上を実現する120 G b i t / 秒を達成することができる。

#### 【0041】

40

R I Oプロトコルの1つの利点は、当該プロトコルの誤り検出および復元メカニズムである。R I Oは、アプリケーションの介入なしに、リトライプロトコル、巡回冗長符号(「C R C」)、および単一/多重誤り検出を組み合わせることによってネットワーク内のすべての誤りに対処する。この固有の誤り対処能力および復元能力は、概して信頼性の高い相互接続を必要とし得る、スペースアプリケーションのようなある種のアプリケーションについて有益であることが証明される。

#### 【0042】

##### 環境センサースイート

再び図2を参照すると、ターゲットコンピュータ50はさらに、環境センサースイート58を備える。したがって、E A F T Cシステム10は、ある程度それ自体の環境を感知

50

する能力に依存する。再構成可能な環境適応コンピューティング技術（REACT）、組み込み式小型放射線モニタ、およびSEUアラームは、PSIの一部として開発された。SEUアラームは、元々PSIの放射線診断計装用に開発されたある種の飛行証明技術に基づく。この放射線診断計装に関する一般的な背景情報は、参照によりその内容全体が本明細書に組み込まれ、さらなる情報が読者に示されるPhysical Sciences Inc.社のウェブサイト（<http://www.psicorp.com/index.shtml>）から取得され得る。従来のセンサーよりも優れたSEUアラームの利点は、それ自体の占有スペースが比較的小さく、当該アラームがSEUレート予測をサポートするように設計されていることである。

#### 【0043】

一構成では、SEUアラーム（図1に示されるアラーム22）は、単一事象反転を引き起こす陽子および重イオンの流束を継続的に監視する。好ましい一構成では、SEUアラームは、光検出器に結合された複数のシンチレータから成る小ブロックを備える。例えば、図5は、このようなSEUアラームモジュール150の一構成を示す。モジュール150は、それぞれ3つのコントローラエレクトロニクス160、162、164に結合された3つのセンサー152、154、156を備える。モジュール150はさらに、コントローラ166と、ネットワークインターフェイス168とを備える。コントローラ166は、センサーモジュールとのソフトウェアインターフェイスに相当する制御インターフェイスレジスタを提供する。ソフトウェアは、所与のアプリケーションに関して、アラームの閾値およびリフレッシュレートを設定することによって各センサーを構成する。ソフトウェアは、システムに対する脅威を評価する際に使用されるアラーム測定値にアクセスすることもできる。

#### 【0044】

SEUアラーム150は、センサー152、154、156を用いて、単一事象反転を引き起こす陽子および重イオンの流束を継続的に監視する。SEUアラームの基本的なコンポーネントは、光検出器に結合された複数のシンチレータから成る小ブロックである。好ましい一構成では、これらのいくつかのデバイスが単一のモジュールに統合され得る。

#### 【0045】

##### ソフトウェアフレームワーク

図6は、図1に示されるターゲットコンピュータ16などのターゲットコンピュータに関する好ましいソフトウェアフレームワーク180を示す。ソフトウェアフレームワーク180は、オペレーティングシステム/システムソフトウェア、故障許容システムコントローラ/ノード、EFTCコントローラ192、メッセージングミドルウェア200、およびリライアブルプラットフォームミドルウェア216を備える。ターゲットコンピュータのソフトウェアフレームワークの一目的は、安定でありながらシステム開発者に馴染みのあるソフトウェアプラットフォームを提供することである。図6では、ソフトウェアは、任務特有のペイロードコントロール196を備え、通信は、システムコントローラ194上でホスティングされ、アプリケーションプロセスは、データプロセッサクラス181の全体に分散される。これらのソフトウェアコンポーネントは、COTS環境と、関連するアプリケーションプログラムインターフェイス（「API」）とを使用して開発され得る。

#### 【0046】

好ましい一構成では、本明細書で提案されるオペレーティングシステムは、システムコントローラ194用のVxWorks 202と、データプロセッサクラス181用のLinuxである。本明細書で提案されるVxWorksのオペレーティングシステムに関する情報は、参照によりその内容全体が本明細書に組み込まれ、さらなる情報が読者に示されるWind River Systems社のウェブサイト（<http://www.windriver.com/>）で確認され得る。

#### 【0047】

VxWorks OS 202は、EFTCコントローラ192、故障許容システム

10

20

30

40

50

コントローラ 194、ペイロード制御および通信 196 などによって実装される実時間の制御プロセスの配備に必要なレイバビリティを提供する。VxWorks OS 202 は、これらのタイプのアプリケーションの開発者に馴染みのあるプラットフォームも提供する。データプロセッサクラスタ 181 は、システムコントローラ 194 とは異なり科学アプリケーション開発者のドメインである。この場合には、科学界でのそれ自体の人気の故に Linux OS 220 が好ましい OS となる。異機種混合型のオペレーティングシステムの相互作用に関連する懸念を緩和するために、COTS メッセージングミドルウェア 214 が導入されてもよい。例えば、Go Ahead 社の Self Reliant Middleware のメッセージングコンポーネントは、Linux OS 220 と VxWorks OS 202 との間の共通インターフェイスと共に、パブリッシュ/サブスクライブ型データベースやレプリケートデータベースなど、実用的な様々なメッセージングサービスを提供する。例えば、参照によりその内容全体が本明細書に組み込まれ、さらなる情報が読者に示される Go Ahead 社のウェブサイト (<http://www.goahead.com/>) を参照されたい。

#### 【0048】

データプロセッサクラスタ 181 内のメッセージングは、クラスタ内の SIFT (Software Implemented Fault Tolerance: ソフトウェア実装故障許容度) の責任も負うリライアブルプラットフォーム (RP) ミドルウェア 216 を介して達成され得る。参照によりその内容全体が本明細書に組み込まれる C. J. Walter, P. Lincoln, および N. Sun の「Formally verified on-line diagnosis」IEEE Trans. on Software Engr., vol. 23, #11, 684~721 頁 (1997 年 11 月) を読めば、さらなる情報が読者に示される。上記の OS とミドルウェアとは連動して、他のソフトウェアが実装され得るベースプラットフォームを提供する。

#### 【0049】

##### E A F T C および R P ミドルウェア

好ましい一構成では、E A F T C は本質的に、2 つのソフトウェアコンポーネント、すなわち、リライアブルプラットフォームミドルウェア (RP) と、E A F T C コントローラとを備える。

#### 【0050】

##### 1. E A F T C コントローラまたはシステム構成コントローラ

E A F T C コントローラまたはシステム構成コントローラは、図 1 に示される E A F T C ベースシステムを制御する。E A F T C システムの整合性および信頼性がこのコントローラに依存するので、当該コントローラは、高い信頼性をもって実現されなければならない。したがって、E A F T C は、高信頼性システムコントローラ上でホストされるソフトウェアコンポーネントとして実装されるように選択され得る。このようなシステムの 1 つの利点は、それを実装することによって将来の使用および適応化について高い柔軟性がもたらされることである。

#### 【0051】

図 7 は、システムコントローラ 270 の内部機能の概要 230 を、特徴的なシステム実装のコンテキストで示す。以下では、システムコントローラの好ましい一構成を含む様々なコンポーネントの概要が示される。

#### 【0052】

一構成では、システムコントローラ 270 は、環境サーバ 242、アラートレベルジェネレータ 244、配備プラン 250、配備ジェネレータ 252、FPGA 構成コントローラ 254、健康状態モニタ 256、および CPU 構成コントローラ 258 を備える。発生し得る様々なセンサー入力を与えられた場合、機能は、センサー信号を収集し、他の E A F T C コンポーネントと共用され得る抽象表現の形で当該センサー信号を編成するように定義される。環境サーバ 242 は、各信号のサンプリングを含めたシステム内の各センサーとの低レベルのインターフェイスをカプセル化する。図 7 に示される構成では、各信号

10

20

30

40

50

は、スペースクラフト 2 3 2 および S E U アラーム 2 3 4 からのものである。

【 0 0 5 3 】

健康状態モニタ

健康状態モニタ 2 5 6 は、各ターゲットシステムコンピュータリソース 2 3 6 の状態 2 6 6 を監視する。ハートビートなどの信号、冗長出力の一貫性の不整合、ウォッチドッグのタイムアウトなどは、故障許容コントローラ / ノードコンポーネントを介して収集される。次いで、これらの信号が健康状態モニタ 2 5 6 に供給される。事前定義のポリシーが与えられた場合、健康状態モニタ 2 5 6 は、図 2 に示される A P C クラスタ 6 4 や図 6 に示される A P C クラスタ 1 8 1 などの A P C クラスタ内の、各データプロセッサに関する健康状態を決定する。この情報は後に、配備ジェネレータ 2 5 2 と共用され、配備プラン 2 5 0 に基づくシステムのタスク配備を決定する際に使用される。

10

【 0 0 5 4 】

履歴データベース

ある種のアプリケーションでは直近のセンサー入力に応答することが適切なこともあるが、E A F T C システムに対する近い将来の脅威を予測する能力もいくつかの利点をもたらす。特に、予想される脅威に対処できるように故障許容を適応化することにより、システムが故障に見舞われることが少なくなる。履歴データベース 2 4 8 は、アラートレベルジェネレータ 2 4 4 内に実装される予測フィルタのコンポーネントである。単なる一例として、以前のスペースクラフト軌道に由来するセンサー測定値は、履歴データベース 2 4 8 内で維持され得、その後、配備ジェネレータ 2 5 2 の使用するアラートレベルジェネレータ 2 4 4 によって検索され得る。

20

【 0 0 5 5 】

アラートレベルジェネレータ

E A F T C システムに対する環境的脅威を評価するプロセスは、アラートレベルジェネレータ 2 4 4 に実装される。スペースクラフト 2 3 2 および / または S E U アラーム 2 3 4 から受信された現時点のセンサー入力、履歴データベース 2 4 8、ならびに 1 組のシステム特有の閾値が与えられた場合、アラートレベルジェネレータ 2 4 4 は、E A F T C システムに関する離散的な脅威レベル 2 4 5 を出力する。アラートレベルジェネレータ 2 4 4 の重要なアルゴリズムは、適応線形予測フィルタである。この適応線形予測フィルタは、粒子の流束予測値を生成する。この粒子の流束予測値に基づいて、E A F T C システムのプロセス配備を決定するために配備ジェネレータによって使用される現時点のシステムアラートレベルを決定するために、一連のユーザ定義閾値が評価され得る。

30

【 0 0 5 6 】

配備プラン

E A F T C コントローラのオンラインの振る舞いは、ターゲット環境、システムレベル要件、ターゲットアプリケーション、ターゲットシステムアーキテクチャ、および他の実装に特有の要因に基づいて変化する可能性がある。このアプリケーション特有の振る舞いは、ユーザ定義のパラメータセットとして捕捉され得る。特に、配備プランは、所与のスペースクラフト位置、脅威レベル、および時間に関する所望のシステム信頼性を記述する。配備プランは、個々の各アプリケーションプロセス要件によって定義され得る。

40

【 0 0 5 7 】

配備ジェネレータ

システムの脅威レベルが評価されると、配備ジェネレータ 2 5 2 は、脅威に対抗するように働く。特定の配備プラン 2 5 0、ターゲットシステムの健康状態 2 6 2、およびアラートレベル 2 4 5 が与えられた場合、配備ジェネレータ 2 5 2 は、新しいシステム配備を生成する。新しい配備を生成するプロセスは主に、使用可能なターゲットリソース全体にアプリケーションプロセス（いくつかのレプリカも含む）を分散させる最低コストを決定することに基づく。次いで、故障許容ノードソフトウェアによって実施されたローカルアクションが配備要求を満足する場合は、生成された配備がクラスタ内の各ノードに送信される。特に、一構成では、故障許容ノードは要求に応じて、以下で詳細に論じるように R

50

Pミドルウェアと連動して故障許容を配備する。

【0058】

#### 構成コントローラ

CPU構成コントローラ258は、特定のターゲットシステム236とインターフェイスをとり、プロセス配備264を提供するように設計される。2つ以上の構成コントローラ258が実装され、新しい配備が与えられた場合、各構成コントローラは、ターゲットシステムで必要とされる変更を有効化する低レベル信号を生成する。好ましい構成では、2つのタイプの構成コントローラが実装される。第1の構成コントローラは、マイクロプロセッサモードで動作するAPCノードと相互作用する責任を負う。第2の構成コントローラは、カスタムプロセッサモードで動作するAPCノードと相互作用する。

10

【0059】

#### リライアブルプラットフォーム(「RP」)ミドルウェア

EFTCソリューション全体におけるWW技術のRPの役割は、ソフトウェア実装故障許容(SIFT)の役割である。SIFTは、プロセスレベルの冗長性を提供するソフトウェアに依存する故障許容技法である。(例えば、参照によりその内容全体が本明細書に組み込まれ、さらなる情報が読者に示されるDaniel P. SiewiorekおよびRobert S. Swarzの「Reliable Computer Systems Design and Evaluation 3<sup>rd</sup> edition(信頼性コンピュータシステム設計および評価の第3版)」MA: AK Peters Ltd.(1998年)を参照されたい。)RPは、当該システムが動作する一貫性のあるフレームワークおよび共通のコンテキストを確立することによって、プロセッサのクラスタ全体に分散されたアプリケーションおよびサービスの故障許容を管理する。

20

【0060】

好ましい構成では、RPは、冗長/複製リソースに関する信頼性のある管理を使用して高信頼性システムの実装を容易にする1組のサービスから成る。RPは、故障が存在する場合も割り込みが発生しないサービス配信を、ホストされる側のアプリケーションが提供することが可能となる、透過的な故障検出・隔離・除去(「FDIR」)サービスが提供されるソフトウェアベースのソリューションを提供するので、COTSハードウェアおよびソフトウェアコンポーネントを利用してシステムを構成する必要に応える。

【0061】

図8は、図1に示されるEFTCコントローラと共に利用され得る高信頼性ミドルウェアの例示的なブロック図300を示す。図8は、RPと、システムの他のソフトウェア要素との間の関係を示すブロック図である。以下では、主なRPフレームワークコンポーネントについて説明する。

30

【0062】

ローカルサービス302は、分散システム内の各プロセッサのローカルに所在するサービスである。これらのサービスは、プロセッサがクラスタ内で有効に作用する上で必要なローカル機能を提供する。これらのタイプのサービスの例は、それだけに限らないが、ネットワークング、ローカルスケジューリング、タイミング、およびプロセス間通信を含む。

40

【0063】

クラスタ同期化304は、システム全体で一貫性を有する信頼性のある分散タイムベースを確立する。このサービスは、メッセージの引渡し技法に基づくものであり、各コンポーネントの物理的なローカルクロックを使用して論理的なシステムクロックを形成する。クラスタ同期化304は、好ましくは拡張可能であり、プロセッサ全体のタイムベースを効率的に確立する。このタイムベースは、クラスタ全体に分散された各処理をスケジューリングするバックボーンとして使用されてもよい。

【0064】

システム構成サービス306は、クラスタ構成を確立し制御する。クラスタ構成は、システムの物理的なリソースと、論理的なレイバリティとを備える。システム構成サービ

50

スは、E A F T C の故障許容ノードコンポーネントと直接相互作用する。次に、システム構成サービスは、故障許容コントローラと通信する。E A F T C コントローラは、それ自体の生成した配備を、故障許容コントローラ / ノードを介して各プロセッサのシステム構成サービスに送信し、ここで配備の変更が最終的に有効化される。

【 0 0 6 5 】

システム監視サービス 3 1 4 は、クラスタの健康状態を動的に評価する能力をシステムに提供し、故障のあるプロセッサおよびアプリケーションプロセスを局所化する。

評価は、分散型意思決定およびクラスタ全体の統合的な監視情報を使用してクラスタ全体の観点から行われる。このサービスからの故障通知は、故障許容コントローラ / ノードコンポーネントを介して E A F T C の健康状態モニタに転送され得る。

10

【 0 0 6 6 】

ペイロードアプリケーションのアベイラビリティおよび信頼性を高める好ましい一構成のプロセスグループ管理は、レプリケーションに依存する。1組の複製インスタンスが「プロセスグループ」として管理される。これは、各レプリカのサポートサービスがそれ自体のローカルレプリカの性能 / 振る舞いを、それ自体のリモートピアの性能 / 振る舞いと突き合わせて定期的にチェックすることになる、ピア・ツー・ピア・エンティティである。

【 0 0 6 7 】

スケジューリングは、ホストされる側のアプリケーションが使用可能なスケジューリングメカニズムを提供する。このメカニズムはまず、それ自体の実行サイクルを実施すべき時期、および他のサポートサービスを用いた相互作用が実施され得る時期を示す指示をアプリケーションプロセスに提供する。このスケジューリングメカニズムは、クラスタ同期化を介して確立される共通のタイムベースに基づく。このスケジューリングサービスによって制御される動作は、クラスタのすべての要素にわたって実時間で調整され得る。

20

【 0 0 6 8 】

データ保全性 3 0 8 は、レプリカ全体で一貫性を有するデータセットを提供する。この一貫性のあるデータからレプリカが逸脱した場合は、当該レプリカによるエラーと解釈されることになる。この機能を用いると、ホストされる側のアプリケーションが内部状態データを公開することが可能となり、その結果、追加的なリソースがオンライン状態になるときのウォームスタートを容易にすることが可能となる。既存のレプリカの内部状態を採用することによって確立されたグループに、追加的なレプリカが参加することもできる。

30

【 0 0 6 9 】

R P 3 1 2 は、それ自体のサービスを柔軟な形で提供し、その結果、物理的なクラスタの実現に必ずしも結びつけられないアプリケーション配信もサポートされる。好ましい一構成では、R P は、あるクラスタリング手法を利用してクラスタプロセッサを管理する。アプリケーションレプリカは、R P インターフェイス ( R P I ) を介して、R P によってイネーブルされた各リソース上でホストされる。これにより、アプリケーションは、それ自体が複製された事実またはその複製の程度に「気付かない」ことになる。R P は、バックグラウンドで動作してアプリケーションの振る舞いを監視し、その結果、故障によってアプリケーションの逸脱が発生した時期を認識することになる。R P は、ホストされる側のアプリケーションに信頼性をもたらすだけでなく、それ自体も信頼性を有することから、内部的には、ホストされる側のアプリケーションに伝達されるのと同じ技法および特性が利用される。

40

【 0 0 7 0 】

E A F T C システムは、1組の革新的な技術を組み合わせて高性能の C O T S プロセッサを効率的に使用しながら、それらのプロセッサが概して厳しい宇宙環境で動作することを可能にするシステムおよび / または方法を可能にする。また、必要とされるある種のシステム能力も維持する一方で、性能レベルの向上も達成され得る。例えば、図 8 は、図 1 に示される E A F T C システムを適用する一例を示す。図 8 の左側には、特定の衛星軌道 3 0 4 が 1 組の 4 つの領域を含むものとして示される。これらの領域は、第 1 の領域 3 0

50



4と、第2の領域306と、第3の領域308と、第4の領域310とを含む。各領域304、306、308、310は、それぞれに関連する様々な放射線環境を有する。4つの領域と4つの放射線環境だけが示されているが、4つよりも多いまたは少ない領域が示されてもよいことが当業者には理解されるであろう。

【0071】

E A F T Cシステムがある領域から次の領域へと軌道内を移動するときに、システムは、放射線に対するS E Uアラーム応答の測定値を収集する。このS E Uアラーム応答314は、在スペースクラフトがある領域から次の領域へと移動するのに従って変動する軌道位置の関数として示される。E A F T Cシステムは、これらの測定値に基づいて、また、放射線に対するオンボード処理システムの故障発生度に部分的に基づいて各領域を動的に作成する。

10

【0072】

E A F T Cシステムが特定の領域に入りその領域を離れるときに、システムは、当該環境と調和するように故障許容を動的に構成する。全体的な結果は、曲線320で示されるように、システムの性能の増加である。曲線320は、単位電力当たりのE A F T Cシステム命令、この場合では「M I P S / ワット」当たりのE A F T Cシステム命令を表す。第1の代替線322で示される最悪のシナリオを対象に設計された従来のシステムと比較した場合も、黒の破線324で示されるE A F T Cシステムの平均性能の方が高くなるはずである。全体的な性能利得は、特定の軌道ならびにオンボード処理システムの感度および適応性に依存するが、E A F T Cは、従来の手法を上回る利点をもたらさない場合にも、従来の手法と同程度の利点をもたらすソリューションを提供する。

20

【0073】

したがって、図1に示されるE A F T Cシステムは、故障を緩和し、特にC O T SデバイスのS E Uを軽減する。システムの全体的な効率および容量も高めながら、このような故障の緩和が達成される。E A F T Cシステム10は、任務の全期間をとおして、タスクの臨界および環境測定の需要に応じて故障許容を最適な形で適用することにより、このような偉業を達成する。

【0074】

本明細書で提案されるE A F T Cシステムを用いると、オンボードペイロード処理のための新規な技術がもたらされる。本明細書に開示のE A F T Cは、C O T Sベースのコンピューティングシステムアーキテクチャであり、また、それと連動して高信頼性オンボード処理プラットフォームを提供する関連するシステム制御アルゴリズムである。本出願人のE A F T Cシステムは、環境を感知し、環境から提示される故障の脅威を評価し、処理システムの故障許容を調整し、それによって環境から提示されるある種の脅威を効果的に緩和する。このようにして、E A F T Cは、履歴状態および環境条件に基づいて故障許容を最適な形で利用する。したがって、E A F T Cは、ワット当たりの計算単位の観点から全体的なシステム効率を高めることもできる。

30

【0075】

以上、本発明の例示的な諸実施形態について説明した。しかしながら、これらの実施形態には、添付の特許請求の範囲で定義される本発明の真の範囲および趣旨から逸脱することなく様々な変更および修正が加えられ得ることが当業者には理解されるであろう。

40

【図面の簡単な説明】

【0076】

【図1】本発明の諸態様が組み込まれたE A F T Cベースシステムの位置構成を示す図である。

【図2】図1に示されるE A F T Cベースシステムと共に利用され得るターゲットコンピュータの一構成を示す図である。

【図3】図2に示されるターゲットコンピュータと共に利用され得る適応処理コンピュータの一構成を示す図である。

【図4】図2に示されるターゲットコンピュータと共に利用され得る高速I / Oシステム

50

の一構成を示す図である。

【図5】図2に示されるターゲットコンピュータと共に利用され得るアラームモジュールの一構成を示す図である。

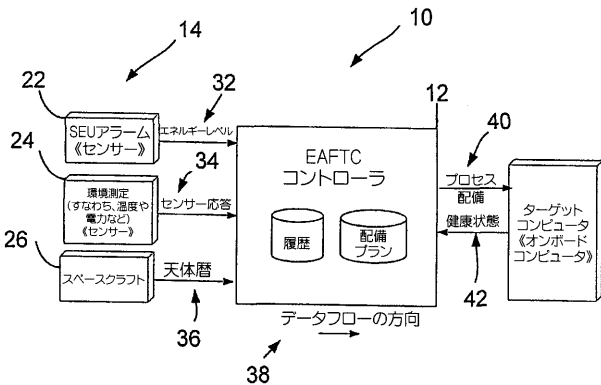
【図6】図2に示されるターゲットコンピュータのソフトウェアフレームワークを示す図である。

【図7】図1に示されるEAFTCコントローラの例示的なブロック図である。

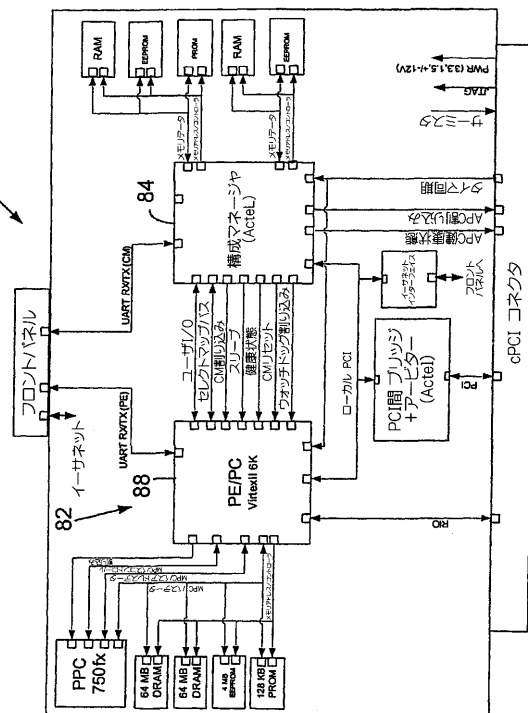
【図8】図1に示されるEAFTCコントローラと共に利用され得る高信頼性ミドルウェアの例示的なブロック図である。

【図9】図1に示されるEAFTCシステムの1つの適用例を示す図である。

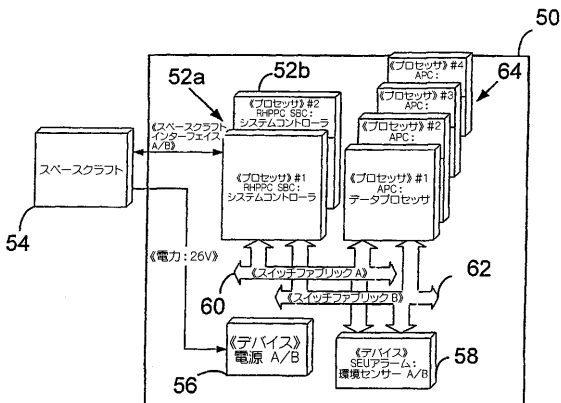
【図1】



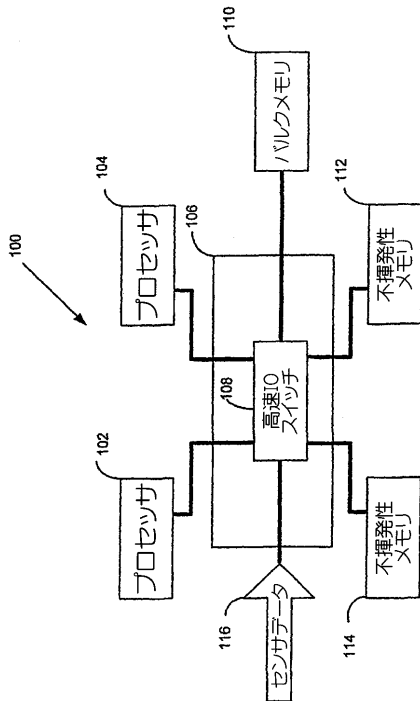
【図3】



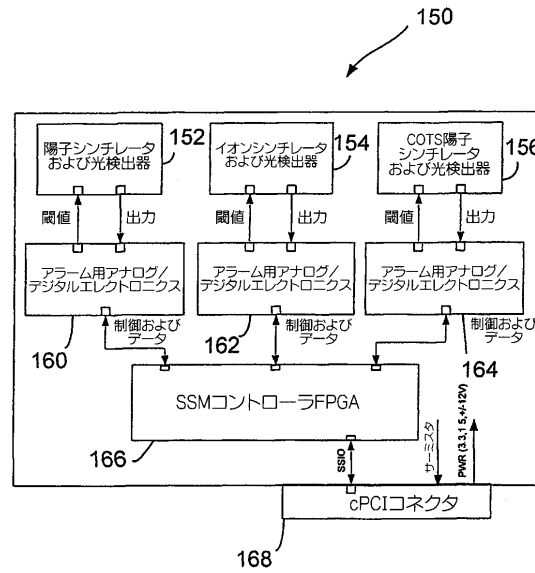
【図2】



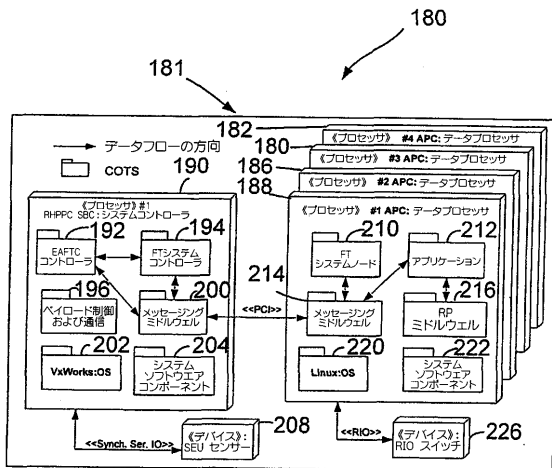
【図 4】



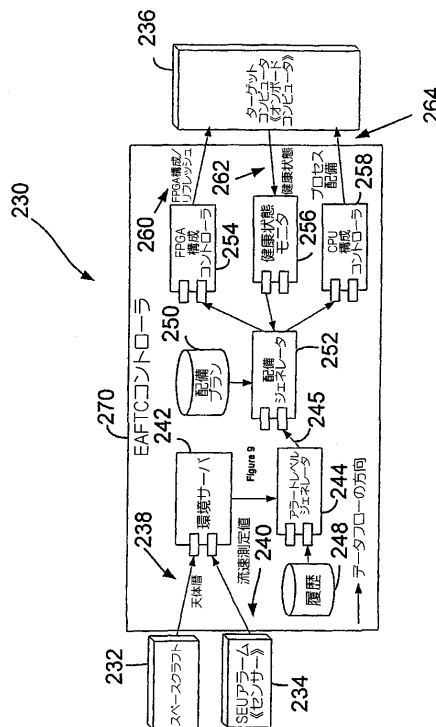
【図 5】



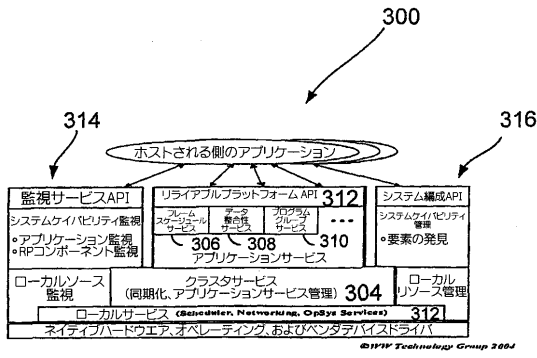
【図 6】



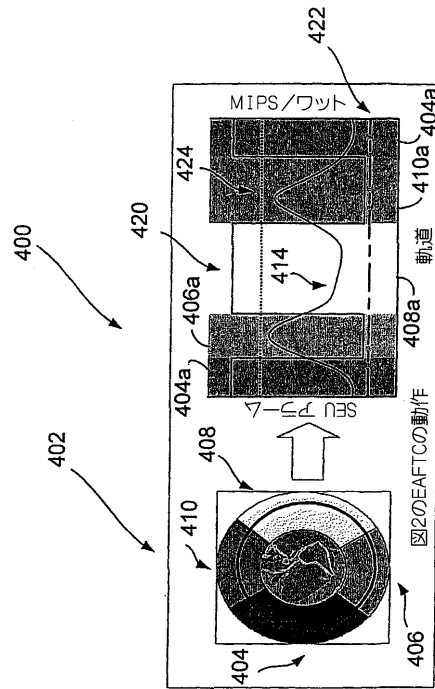
【図 7】



【図 8】



【図 9】



## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No PCT/US2005/037370
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> G06F11/00 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) 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, WPI Data, PAJ		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/046365 A1 (AVIZIENIS ALGIRDAS) 18 Apr11 2002 (2002-04-18) paragraph '0022! paragraph '0121! paragraph '0126! - paragraph '0127! paragraph '0130! paragraph '0140! paragraph '0181! - paragraph '0183! paragraph '0187!	1-10
X	US 5 022 027 A (ROSARIO ET AL) 4 June 1991 (1991-06-04) column 2, line 33 - line 42 column 3, line 11 - line 35 column 4, line 20 - line 39; figures 1-3	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family 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. 'G' document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 15 February 2006		Date of mailing of the international search report 27/02/2006
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Gorzewski, M

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2005/037370

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002046365	A1	18-04-2002	NONE
US 5022027	A	04-06-1991	NONE

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, 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, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, 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, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1 . L i n u x

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100107696

弁理士 西山 文俊

(72)発明者 コペンハーバー, ジェイソン・エル

アメリカ合衆国フロリダ州 3 4 2 3 2, サラソタ, ペアデッド・オークス・サークル 3 8 0

(72)発明者 ブレナー, ディーン

アメリカ合衆国フロリダ州 3 3 7 7 0, ラーゴ, ポインシアーナ・レイン 1 1 8

(72)発明者 ウルフ, ジェフリー・エム

アメリカ合衆国フロリダ州 3 4 2 0 8, ブレイデントン, フィフティファースト・ストリート・イースト 7 0 2, アpartment 1 0 1 1 エイ

(72)発明者 ラモス, ジェレミー

アメリカ合衆国フロリダ州 3 3 7 6 4, クリアウォーター, ユーエス・ハイウェイ 1 9 ノース 1 3 3 5 0

Fターム(参考) 5B034 BB11 CC01 CC02