

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5814231号
(P5814231)

(45) 発行日 平成27年11月17日 (2015.11.17)

(24) 登録日 平成27年10月2日 (2015.10.2)

(51) Int. Cl.	F I
G06F 9/48 (2006.01)	G06F 9/46 4 5 7
G06F 9/46 (2006.01)	G06F 9/46 4 2 0 Z

請求項の数 8 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2012-514970 (P2012-514970)	(73) 特許権者	500520743
(86) (22) 出願日	平成22年5月13日 (2010.5.13)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公表番号	特表2012-529706 (P2012-529706A)		The Boeing Company
(43) 公表日	平成24年11月22日 (2012.11.22)		アメリカ合衆国、60606-2016
(86) 国際出願番号	PCT/US2010/034757		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(87) 国際公開番号	W02010/144212	(74) 代理人	100109726
(87) 国際公開日	平成22年12月16日 (2010.12.16)		弁理士 園田 吉隆
審査請求日	平成25年4月8日 (2013.4.8)	(74) 代理人	100101199
審判番号	不服2014-24980 (P2014-24980/J1)		弁理士 小林 義敦
審判請求日	平成26年12月5日 (2014.12.5)	(72) 発明者	エリニャック, チャールズ エー.
(31) 優先権主張番号	12/482, 318		アメリカ合衆国 ワシントン 98122
(32) 優先日	平成21年6月10日 (2009.6.10)		, シアトル, エーオーティー 34,
(33) 優先権主張国	米国 (US)		サミット アヴェニュー 1617

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共有項ベースの分散型タスクの実行

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ロボットエージェントを制御する制御システムであって：

タスクの割り当てられた役割を実行する際にロボットエージェントを制御するタスクコントローラであって、タスクの割り当てられた役割のロボットエージェントによる実行を開始し、タスクの割り当てられた役割のロボットエージェントによる実行の完了を伝達するように構成されているタスクコントローラと、

タスクコントローラと通信するステータスマネージャであって、

(i) タスクのためのロボットエージェントの票を示す、ロボットエージェントのタスク状態と、

該タスクのための一以上のピアロボットエージェントの一以上の票を示す、一以上のピアロボットエージェントの一以上のピアタスク状態と、

タスクのための共有票を示す、共有タスク状態と、

を含む、ロボットエージェントのためのステータス情報を維持するように構成され、

(ii) ロボットエージェントが参加エージェント又は監視エージェントとして作動しているか否かに基いて共有タスク状態を決定し、

共有タスク状態を決定するときに、ロボットエージェントが参加エージェントとして作動しているときは、ロボットエージェントのタスク状態が考慮され、

共有タスク状態を決定するときに、ロボットエージェントが監視エージェントとして作動しているときは、ロボットエージェントのタスク状態が考慮されないように構成され

、
 (iii) ー以上のピアロボットエージェントのうちの少なくとも一つからの第2のタスクのためのステータス情報に、タスクと第2のタスクとが相互依存であるか否かに基いて、サブスクライプするように構成されている、
 ステータスマネージャと、
 を含む制御システム。

【請求項2】

ステータスマネージャと通信し、ー以上のピアロボットエージェントのうちの少なくとも一つから、ー以上のピアロボットエージェントのうちの一つによって伝達されたピアステータス情報を含む第1のステータスメッセージを受信する、ピアツーピア通信システム

10

【請求項3】

ステータスマネージャがさらに、第1のステータスメッセージに含まれるピアステータス情報に基いて決定される、ロボットエージェントのタスク状態の少なくとも一つ、又はー以上のピアタスク状態の変更に応答して、ロボットエージェントのステータス情報を更新するように構成されている、請求項2に記載の制御システム。

【請求項4】

共有タスク状態は、所定量のロボットエージェントと、参加エージェントとして作動するー以上のピアロボットエージェントとが同一のタスク状態で一致することを示す、請求項1に記載の制御システム。

20

【請求項5】

ステータスマネージャが、第1のステータスメッセージに基づいてロボットエージェントのステータス情報を更新する前に、第1のステータスメッセージに含まれるバージョン情報を解析して、第1のステータスメッセージがロボットエージェントのステータス情報よりもさらに最新のピアステータス情報を伝達しているか否かを決定するようにさらに構成されている、請求項2に記載の制御システム。

【請求項6】

ピアツーピア通信システムが、ステータスマネージャのロボットエージェントのステータス情報の更新に応答して、ー以上のピアロボットエージェントの少なくとも一つに、ロボットエージェントに記憶されたステータス情報を含む、第2のステータスメッセージを送信するようにさらに構成されている、請求項2に記載の制御システム。

30

【請求項7】

複数のデバイスのうちの第1のデバイスにおいて、
 (i) 第1のデバイスのタスクのための票を示す、第1のデバイスに対応する第1のタスク状態と、

他のデバイスのタスクのための他の票を示す、該複数のデバイスのうちの他のデバイスに対応する他のタスク状態と、

タスクのための共有票を示す、共有タスク状態と、

を記憶し、

第1のタスク状態と他のタスク状態とは、複数のデバイスのうちの1以上のデバイスで実行されるタスクに関連づけられており、

40

(ii) 第1のデバイスが参加エージェント又は監視エージェントとして作動しているか否かに基いて共有タスク状態を決定し、

共有タスク状態を決定するときに、第1のデバイスが参加エージェントとして作動しているときは、第1のデバイスの第1のタスク状態が考慮され、

共有タスク状態を決定するときに、第1のデバイスが監視エージェントとして作動しているときは、第1のデバイスの第1のタスク状態が考慮されず；

(iii) 他のデバイスのうちの少なくとも一つのデバイスからの第2のタスクのためのステータス情報に、タスクと第2のタスクとが相互依存であるか否かに基いて、サブスクライプする；

50

ことを含む方法。

【請求項 8】

プロセッサを、請求項 7 に記載の方法を実行する手段として機能させるための命令を記憶する、コンピュータによって読み取り可能な記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は概して、タスクを実行する際に複数のエージェント又はデバイスを連係させることに関するものである。

【背景技術】

10

【0002】

例えばロボット、ロボットビークル、又はソフトウェアエージェント等の自律エージェントは、中央ノードを通して共有の又は個別のタスクの実行の連係を行うことができる。中央ノードは各自律エージェントと通信して、各自律エージェントのステータスを判断して、自律エージェントがいつタスクを実行する準備ができているかを判断し、次の動作を始めるように各自律エージェントに伝達する。中央ノードは中央の「黒板」の役割を果たし、各自律エージェントはここにそのステータスを掲示し、他の自律エージェントがそのステータスを見直すことができる。

【0003】

中央ノードへの依存には特定の不利点がある。例えば、各自律エージェントが中央ノードに通信を頼っているため、中央ノードが故障すると、自律エージェントはタスクを実行することができなくなり得る。別の実施例としては、中央ノードへの依存により、システムの拡張性が制限されうる。これは中央ノードが限られた数の自律エージェントとの通信を無理なく維持することしかできず、それ以上になると、通信の干渉又はコンテンションが起こり動作が非効率的になり得るためである。同様に、各自律エージェントが中央ノードとの通信を維持しなければならないと、中央ノードの送信範囲により、自律エージェントが共有又は個別のタスクを実行できる領域の広さが制限され得る。

20

【0004】

自律エージェントが中央ノードと無関係に動作可能である分散システムにより、これらの問題の幾つかが解決される。しかしながら、自律エージェントが中央ノードに頼らずに動作可能であったとしても、各自律エージェントが他の自律エージェントのステータスを判断するのに他の全ての自律エージェントと通信する必要があるならば、これらの制限によりシステムの拡張性と領域範囲が限定されうる。

30

【発明の概要】

【0005】

本明細書に開示された実施形態には、タスクを実行するために複数のデバイスを連係させるためのコンピュータによって実行される方法、システム、及びコンピュータによって読み取り可能な記憶媒体が含まれる。図示した実施形態によれば、複数のデバイス、ロボットエージェント、又は他のエージェントは、中央ノードを使用して動作を連係させる代わりに、ピアツーピア通信を使用して通信する。各エージェントは、それ自体のタスクステータスと、一又は複数のピアエージェントのステータスを含む、ローカルステータス情報を維持している。一つのエージェントがそれ自体のタスクステータスを更新する、又はピアエージェントの内の一つのタスクステータスの変更を示すメッセージを受信すると、ローカルステータス情報が更新され、エージェントにおいて既知の最新ステータス情報を共有するためにメッセージが一又は複数のピアエージェントに送られる。各エージェントは、ピアエージェントから受け取ったメッセージを処理して、このタスクがエージェントによる実行に含まれる場合にこのタスク状態を局所的に更新することで、長期間タスク状態を把握する。エージェントのタスクステータスの共有項は、所定時点におけるタスク状態の一般合意である。共有項は、全てのエージェントが同じタスク状態に到達した時、動作している全てのエージェントが同じタスクステータスに到達した時、又は所定数の又は

40

50

一部のエージェント又はアクティブなエージェントが同じステータスに到達した時に存在しうる。共有項が存在することを判断するために、エージェントは次の動作に進むことができる。

【 0 0 0 6 】

コンピュータによって実行される方法のある実例となる実施形態では、更新されたステータス情報はデバイスに記憶される。更新されたステータス情報は、複数のデバイスのうちの一以上のデバイスのタスク状態についての票の変更を反映する。第一の更新されたステータスメッセージが複数のデバイスのうちの一以上のデバイスに送られる。第一の更新されたステータスメッセージは更新されたステータス情報を伝達する。デバイスのタスク共有項は、更新されたステータス情報が複数のデバイスのうちの所定量のデバイスがタスクステータスについて一致することを示す時に更新される。

10

【 0 0 0 7 】

図示した別の実施形態では、ロボットエージェントを制御するシステムは、タスクの割り当てられた役割を実行するロボットエージェントを制御するタスクコントローラを含む。タスクコントローラは、割り当てられた役割の実行を開始し、割り当てられた役割の実行が完了したことを報告する。システムはまた、タスクコントローラと通信して、ロボットエージェントに記憶されたステータス情報を更新するステータスマネージャも含む。ステータス情報には、ロボットエージェントと、一以上のピアロボットエージェントのそれぞれのタスク状態についての票が含まれる。システムはまた、ステータスマネージャと通信するピアツーピア通信システムも含む。ピアツーピア通信システムは、第一のステータスメッセージを一以上のピアロボットエージェントのうちの少なくとも一つから受け取る。第一のステータスメッセージには、一以上のピアロボットエージェントのうちの一つによって報告されたピアステータス情報が含まれる。システムは2番目のステータスメッセージを一以上のピアロボットエージェントに送る。2番目のステータスには、ロボットエージェントに記憶されたローカルステータス情報が含まれる。

20

【 0 0 0 8 】

さらに別の実例となる実施形態では、コンピュータシステムによって実行可能な命令がコンピュータによって読み取り可能な記憶媒体に記憶される。コンピュータによって読み取り可能な記憶媒体には、各ローカルエージェントと、タスクに関連する一以上のピアエージェントのタスク状態についての票を示すステータス情報を記憶する命令が記憶される。コンピュータによって読み取り可能な記憶媒体には、ローカルエージェント又は一以上のピアエージェントのうちの少なくとも一つのタスク状態についての票の変更を識別するために、コンピュータシステムによって実行可能な命令が記憶される。コンピュータによって読み取り可能な記憶媒体には、ステータス情報を更新してタスク状態についての票の変更を反映させるために、コンピュータシステムによって実行可能な命令が記憶される。コンピュータによって読み取り可能な記憶媒体には、ステータスメッセージを送信して、更新されたステータス情報を一以上のピアエージェントのうちの一又は複数のピアエージェントに送るために、コンピュータシステムによって実行可能な命令が記憶される。コンピュータによって読み取り可能な記憶媒体にはまた、ステータス情報が特定数のエージェントがタスク状態について一致することを示しているか否かに基づいて、タスクの共有項を判断するためにコンピュータシステムによって実行可能な命令が記憶される。

30

40

【 0 0 0 9 】

説明してきた特徴、機能及び利点は、様々な実施形態において個別に達成することができる、または下記の説明及び図面を参照することによってさらに詳細が開示される更に別の実施形態と組み合わせることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 0 】

【 図 1 】タスクを実行する際に複数のエージェントデバイスを連係させるために、実例となる実施形態においてエージェントによって使用される有限状態機械のブロック図である。

50

【図2】エージェントによって、エージェントの状態の変更、または別のエージェントの状態の変更に応じて、局所的に維持される共有項及びステータス情報を更新する方法の特定の実施形態のフロー図である。

【図3】複数のエージェントデバイスによって実行されるタスクを含む共有プランの特定の実施形態のブロック図である。

【図4】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

【図5】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

10

【図6】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

【図7】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

【図8】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

20

【図9】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

【図10】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

【図11】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

【図12】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

30

【図13】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

【図14】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

【図15】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

40

【図16】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

【図17】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させるシステム及び方法の実例となる実施形態による、複数の共有タスク及び非共有タスクを実行する複数のエージェントを示すブロック図である。

【図18】タスクを実行する際に複数のデバイスを関係させる方法の実例となる実施形態のフロー図である。

【図19】タスクを実行する際に複数のロボットエージェントを関係させるシステムの実

50

例となる実施形態を含むロボットエージェントのブロック図である。

【図20】タスクを実行する際に複数のロボットエージェントを連係させる、コンピュータによって実行される方法及びコンピュータによって実行可能なプログラム命令の実施形態を実行するのに作動可能な汎用コンピュータシステムのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

特定の実例となる実施形態によれば、一以上の共有タスクを実行する際に複数のデバイスを連係させるコンピュータによって実行される方法、システム、及びコンピュータによって読み取り可能な記憶媒体が開示されている。実例となる実施形態によれば、複数のデバイス、ロボットエージェント、又は他のエージェントは、中央ノードを通してその動作を連係させることによってではなく、ピアツーピア通信を使用して通信を行う。各エージェントは、それ自体のタスク状態についての票、及び一以上のピアエージェントの票を含むローカルステータス情報を維持する。エージェントがそれ自体のタスク状態についての票を更新する、又はピアエージェントのうちの一つの票の変化を示すメッセージを受け取ると、ローカルステータス情報が更新され、最新のステータス情報を共有するために一以上のピアエージェントにステータスメッセージが送られる。

10

【0012】

ある実例となる実施形態によれば、ステータス情報のバージョンは最適な複製を利用して共有される。したがって、多数のステータス情報のバージョンが、共通のタイムフレーム内で複数のエージェント間を循環している場合がある。例えば修正及び同期ベクターの使用を通して等のバージョン制御を使用して、多数のステータス情報の循環セットのうちのどれが最新のものを判断することができる。

20

【0013】

ある特定の実例となる実施形態によれば、各エージェントがエージェントのタスク状態についての票の共有項を監視して、共有又は個別タスクの実行を進めるか否か、あるいはどのように共有又は個別タスクの実行を進めるかを判断する。各エージェントは、共有項が次の状態へと進む前にタスクのステータスについて的一致を示すまで待機することができる。例えば、共有項は、全てのエージェントがタスクステータスについて一致する、アクティブな全てのエージェントがタスクステータスについて一致する、あるいは、所定数のエージェントがタスクステータスについて一致する時に、タスクステータスについて的一致を示すことができる。エージェントはまた、外部制御電源によって送信される制御メッセージの有効化、ポーズ、又はキャンセルに左右されうる。いずれかのエージェントのステータスの不具合により、一以上の共有又は個別タスクの実行が終了となる場合がある。

30

【0014】

図1は、タスクを実行する際に複数のエージェントを連係させるためにエージェントによって使用される有限状態機械100のブロック図である。この有限状態機械は、タスクの実行の連係及び監視のためにタスクのライフサイクルを表示している。追加のドメイン固有のデータをタスクと関連づけしてタスクを完全に定義することが可能である。例えば、追加の情報には、ロボットエージェントが開けるドア、又は動作が起きる最短持続時間又は最長持続時間を含むことができる。実例となる実施形態によれば、共有タスクを実行するために連結された複数のエージェントの各エージェント、又は複数のデバイスは、共有タスクについての有限状態機械100のローカルコピーを維持して、各エージェントに対して一貫したステータスパスを維持する。

40

【0015】

共有項は、各エージェントが共有タスクに関与してタスクの次の状態を票決することによって可能にすることによって維持される。これが、タスクがこのエージェントにしたがって遷移すべき状態である。各エージェントは、次の状態の共有項が作成されると、有限状態機械を次の状態に同時に遷移させる。エージェントは、ピアツーピア通信を通して他のエージェントとその票を共有する。この票は、このエージェントが受信した参加している他の

50

エージェントによって投じられた最新の票をも含むタスクステータスメッセージに含まれる。例えばバージョンベクター等のバージョン情報ステータスメッセージに含まれており、これによって受け取るエージェントがメッセージのコンテンツをエージェントの最新のタスクステータスに結合させることが可能になる。ステータスメッセージを受け取った後に、各エージェントは票を集計する、すなわち共有項を計算する。共有項が新規の状態への遷移である場合、エージェントは必要に応じてエージェントの有限状態機械の複製の状態を更新する。特定の状況に対して、以下に均衡を破る規則が定義されている。タスクに参加しないエージェントである監視エージェントは同じアルゴリズムを実行するが、票は投じない。監視エージェントはステータスメッセージを中継するように作動することができる。特定の実施形態によれば、監視エージェントはステータスメッセージがさらなる最新のステータス情報を中継するか否かを判断して、その後で更新された情報を既存のステータス情報と結合させることができる。最新のものと判断されたステータス情報のみを送信することで、監視エージェントと他のエージェントは、他のエージェントが無効のステータスメッセージを処理することを防止することができる。エージェントがどのようにタスク状態について票決し、ステータスメッセージを共有し、共有項に到達して違うタスク状態へと進むかを、図4～17を参照しながら下に説明する。

10

【0016】

有限状態機械100は6つの標準状態を含む。標準状態は、共有タスクに参加している各エージェントがタスクを実行する流れの中に入ることができる状態を含む。この6つの標準状態には、新規の状態102、ディスパッチ状態104、レディ状態106、アクティブ状態108、完了状態110、ポーズ又は保留状態112、及びキャンセル状態114を含む。有限状態機械100はまた2つのエラー状態も含む。エージェントは、システムの故障又は何らかの他の状況により、一以上のエージェントが共有タスクでの役割を良好に果たせなかったときに、エラー状態になりうる。2つのエラー状態には、作成不具合状態116及び故障状態118を含む。

20

【0017】

新規状態102は、タスクがエージェントにおいて作成されたときの各タスクの初期の状態である。エージェントは、タスクがエージェントに分配された時に、自動的にディスパッチ状態104に入る。特定の事例となる実施形態によれば、タスクは、タスクに参加している又はタスクをサブスクライブしている各エージェントに、有限状態機械100の複製を各エージェントに分配することによって分配される。エージェントが特定のタスクに参加できない場合でも、そのエージェントが監視する又は実行する何らかの他のタスクの前提条件として、タスクの実行を監視することができる。

30

【0018】

共有タスクに参加しているエージェントは、いつ次の状態へと遷移するかについて票決するため、有限状態機械を集団的な視点から説明する。レディ状態106は、参加しているエージェントがタスクにおいて割り当てられた役割を実行する準備ができていることを示す。アクティブ状態108は、エージェントがタスクにおいて割り当てられた役割を実行するプロセスにあることを示す。さらに下に説明する事例となる実施形態によれば、共有タスクに参加している全てのエージェント又は所定量のエージェントが票決してレディ状態106の共有項に到達した時に、エージェントは自動的にレディ状態106からアクティブ状態108に進むことができる。エージェントはまた、一以上の他のエージェントによって実行される前提条件のタスクが完了したときに、レディ状態106からアクティブ状態108へと進むように票決することもできる。あるいは、事例となる別の実施形態によれば、エージェントは、外部制御電源（図1に示さず）からの信号の受信に応じてのみ、レディ状態106からアクティブ状態108へ進むように票決することができる。外部制御電源は、複数のエージェントの共有項に基づいて、又は別の状況、例えば外部電源からのデータ又は人間の制御決定に基づいてアクティブ状態108への遷移を合図することができる。完了状態110は、参加しているエージェントがタスクにおける役割を完了したことを示す。

40

50

【 0 0 1 9 】

有限状態機械 1 0 0 の標準状態にはまた、ポーズ状態 1 1 2 又はキャンセル状態 1 1 4 も含むことができる。タスクがアクティブ状態 1 0 8 にあるときに、ポーズ状態 1 1 2 又はキャンセル状態 1 1 4 のいずれかを外部制御電源によって開始することができる。例えば、外部制御電源は、ポーズ信号を送って、タスクをアクティブ状態 1 0 8 からポーズ状態 1 1 2 に遷移させることができる。特定の事例となる実施形態によれば、参加している全てのエージェントが信号を受け取って、ポーズ状態 1 1 2 への遷移を実行するための共有項を形成する。外部制御電源はまた、エージェントがポーズ状態 1 1 2 からアクティブ状態 1 0 8 に戻る遷移を票決するためのレジューム信号を送ることもできる。あるいは、外部制御電源は、キャンセル信号を送って、エージェントがキャンセル状態 1 1 4 への遷移を票決することによりタスクをキャンセルするようにすることができる。タスクは、アクティブ状態 1 0 8、あるいはポーズ状態 1 1 2 のいずれかからキャンセル状態 1 1 4 に遷移することができる。

10

【 0 0 2 0 】

2つのエラー状態のうちの第1のエラー状態は、作成不具合状態 1 1 6 である。作成不具合状態 1 1 6 は、エージェントがそのタスクに対して有限状態機械 1 0 0 の複製を良好に作成する、又はそうでなければタスクの実行に使用される追加の命令を受信する能力がないことを表しうる。事例となる実施形態によれば、エージェントはディスパッチ状態 1 0 4 からのみ、作成不具合状態 1 1 6 への遷移を票決する。2つのエラー状態のうちの2番目は故障状態 1 1 8 である。エージェントは、タスクにおいてエージェントが割り当てられた役割を実行することができなかったときに、故障状態 1 1 8 への遷移を票決することができる。例えばエージェントは、ハードウェア又はソフトウェアの故障の結果、エージェントが解決できない状況に遭遇したことに応答して、エージェントが割り当てられた役割を実行することを阻む全ての状況に直面した際に、故障状態 1 1 8 に遷移することができる。エージェントはまた、タスクの実行に関与している別のエージェントの不具合においても故障状態 1 1 8 へ遷移する場合がある。事例となる実施形態によれば、均衡を破る法則として、故障状態の票決は、標準状態の票決を覆して、共通項を選択された故障状態へと強制的に変える。さらに下に説明するように、ピアエージェント又はピアデバイスが故障したことを示すステータス情報を受信すると、これはエージェントによって登録されたレディ状態 1 0 6 又はアクティブ状態 1 0 8 又はポーズ状態 1 1 2 をしのぎ、このため割り当てられたエージェントのうちの一つがタスクにおける役割を果たすことができなかった時に、共通項が完了したタスクを反映しない場合がある。

20

30

【 0 0 2 1 】

特定の事例となる実施形態では、共有タスクに参加する各エージェントは、共有タスクについての有限状態機械 1 0 0 の独立したコピーを維持する。例えば、エージェントは他のピアエージェント、又はピアデバイスのいかなる状態とも無関係に、レディ状態 1 0 6 に入ることを票決することができる。しかしながら、エージェントが特定の状態に影響を与えるか否かは、そのエージェント及びタスクに参加している他のエージェントの共通項に依存しうる。言い換えると、幾つかの又は全てのピアエージェントがまだレディ状態 1 0 6 に対する票決に同意する又は伝達していない場合でも、そのエージェントはレディ状態 1 0 6 を前提とすることを票決することができる。したがって、エージェントがレディ状態 1 0 6 を取ると票決したとしても、参加しているエージェントの共有項はレディ状態 1 0 6 とはならない場合があり、エージェント又はピアエージェントのいずれも、複数のエージェントがレディ状態 1 0 6 に一致したようには作動しない。

40

【 0 0 2 2 】

図 2 は、エージェントの状態の変化、又は別のエージェントの状態の変化に応じて、エージェントが局所的に維持されている共有項及びステータス情報を更新する方法 2 0 0 の特定の実施形態のフロー図である。エージェントとは、複数のエージェントのうちの一つである。エージェントは、ローカルエージェントからの票、及び共有タスクに参加している他の全てのエージェントの票を含むステータス情報を維持する。エージェントはステー

50

タスク情報を使用して、共有タスクに参加しているエージェントの共有項を判断して、次のタスク状態にいつ遷移するかを判断する。エージェントが票を新規のタスク状態に移動する方に変更する（例えば、タスクを完了する時に、エージェントは図1を参照して説明したように、アクティブ状態から完了状態へ票を変更する）と、エージェントは維持しているローカルステータス情報を更新して共有項を判断する。あるいは、エージェントが、ローカルステータス情報に反映される一以上の他のエージェントについての異なる票を報告する別のエージェントからステータス情報を受け取ると、エージェントはローカルステータス情報を更新する。ローカルステータス情報に変更されると、エージェントは更新されたローカルステータス情報を送信する又は広める。

【0023】

方法200は、エージェントが最新の状態202、例えばタスク有限状態機械100（図1）の最新の状態にあるときに開始する。ステップ204においてエージェントがそれ自体の票を変更したかどうか判断される。変更していなければ、本方法200は状態202に戻り、ローカルエージェントの票に変化がないかどうかの監視を続ける。一方で、ステップ204においてエージェントが票を変更したと判断された場合、ステップ210においてエージェントはローカルステータス情報を更新する。同時に、最新の状態202から、ステップ206においてエージェントが別のエージェントからステータスメッセージを受け取ったかどうか判断される。もし受け取っていないならば、本方法200は状態202に戻り、ローカルエージェントの票の変更、又は別のエージェントからのステータスメッセージの受信の監視を続ける。他方、ステップ206においてエージェントが別のエージェントからステータスメッセージを受け取ったと判断した場合、エージェントは、ステップ208において、ステータスメッセージに表示された任意のエージェントの票が、ローカルステータス情報に表される票から変更されたものかどうかを判断する。もし変更されていないならば、本方法200はステップ202に戻り、ローカルエージェントの票の変更、又は別のエージェントからのステータスメッセージの受信を監視する。他方、ステップ208においていずれかのエージェントの票が変更されたと判断した場合、エージェントはステップ210においてローカルステータス情報を更新する。バージョンベクター又は他のプロセスの使用を介したバージョン制御を利用して、受け取ったステータスメッセージに表示されたステータス情報が最新のものであるか、又は少なくともエージェントによって維持されたステータス情報よりも新しいものであるかを判断することができる。

【0024】

ステップ210において変更された一つの票又は複数の票を表示するためにローカルステータス情報を更新した後で、エージェントはステップ212においてステータスメッセージを送信して、更新されたステータス情報を広める。エージェントは、ステップ214においてステータス情報が更新された結果、新しい共有項に到達したかどうかを判断する。新しい共有項に達してない場合、本方法は最新の状態202に戻り、ローカルステータス情報を変更しうる票の変更を監視する。他方、ステップ214において新しい共有項に到達した場合は、エージェントはステップ216において新規の状態、例えばタスク有限状態機械100（図1）によって表示される次の状態に遷移する。本方法は再度最新の状態202に戻り票の変更を監視する。例えば、別のエージェントは第2のステータスメッセージを受け取ることができ、この第2のステータスメッセージはタスク状態についての票が変更されたことを示しうる。ローカルステータス情報はステップ210において次に再度更新され、ステップ212において再度送信される。

【0025】

票の変更、ステータス情報の共有、及び新規の共有項にいつ到達したかの判断の実施例は、共有又は個別タスクを実行する複数のエージェントの実施例を示す図4～17のブロック図に図示されている。タスクは図3を参照して説明される共有プランの一部である。

【0026】

図3は、タスクを実行する複数のエージェントを連係させる実例となる実施形態にした

10

20

30

40

50

がって、複数のエージェントが複数の共有タスクを含むタスクを実行する共有プラン 3 0 0 のブロック図である。共有プラン 3 0 0 は複数のタスクを含む。共有プラン 3 0 0 の幾つかのタスクの実行を図 4 ~ 1 7 を参照して説明する。共有プラン 3 0 0 は、多数のエージェントを使用して複数の部屋のうちの一つから別の部屋へオブジェクトを移動させる一連のタスクを示す。説明のために、エージェント A はドアを作動させる役割を持つ一方で、エージェント B 及びエージェント C はオブジェクトを 2 つの部屋の間、部屋 X から部屋 Y へと移動させる。オブジェクトが移動された後で、エージェント A はドアを閉め、共有プラン 3 0 0 は完了する。

【 0 0 2 7 】

共有プラン 3 0 0 を実行するために、幾つかのタスクが共有プラン 3 0 0 において連結した全てのエージェントによって実行することができ、これにはドアへ移動するタスク 3 0 4 と、戻って停止するタスク 3 3 2 が含まれる。他のタスク、例えばドアを開けるタスク 3 1 2 及びドアを閉めるタスク 3 1 4 は、単一のエージェントによってのみ実行可能である。これらは、他のエージェントが参加する連結又は共有タスクではない独立した単独のタスクである。それでもなお、他のエージェントは、別のエージェントに割り当てられた個別のタスクの実行を監視することができる。例えば、オブジェクトを部屋から部屋へ移動させるタスクを受け持ったエージェントは、ドアが開いている時を知らせてもらうためにドアを作動させる個別のタスク又は複数のタスクをサブスクライブすることができる。

10

【 0 0 2 8 】

図 4 ~ 1 7 の実施例では、オブジェクトの移動に伴うタスクは共有タスクである。つまり、エージェント A 4 1 4 及びエージェント C 4 1 6 を含む複数のエージェントは連結し、一致して動作する。エージェントは共有ステータスに同意して、それらのタスクを良好に実行することができる。オブジェクトを移動させるエージェントによって実行されるタスクはまた、ドアを作動させるエージェント、エージェント A 4 1 2 がサブスクライブすることにより、エージェント A 4 1 2 にいつドアを閉めて良いかが知らされる。

20

【 0 0 2 9 】

図 3 を参照すると、開始タスク 3 0 2 の後で、エージェントはすべて、ドアまで移動する共有タスク 3 0 4 の一部としてドアのそばの初期位置まで移動する。第 1 のエージェント（又は、タスクに一より多いエージェントが必要な場合は複数の第 1 エージェント）がドアを開けるタスク 3 1 2 を実行する。第 1 のエージェントがドアを開けると、複数の第 2 エージェントが多数の共有タスクを実行する。共有タスクには、オブジェクトまで移動するタスク 3 2 2、オブジェクトに係合するタスク 3 2 4、部屋 Y に移動させるタスク 3 2 6、及びオブジェクトを開放するタスク 3 2 8 が含まれる。第 1 のエージェントは、複数の第 2 エージェントが共有タスク 3 2 2 ~ 3 2 8 を完了したと判断すると、ドアを閉めるタスク 3 1 4 を実行する。全てのエージェントはその後、戻って停止する 3 3 2 及び終了 3 3 4 する共有タスクを実行する。

30

【 0 0 3 0 】

図 4 ~ 1 7 は、タスクを実行する際に複数のデバイスを連係させる実例となる実施形態にしたがって複数の共有及び非共有タスクを実行する複数のエージェントのブロック図である。共有及び非共有タスクの実行には、図 3 の共有プラン 3 0 0 を参照して説明する幾つかの共有及び非共有タスクの実行が含まれる。図 4 ~ 1 7 の実施例では、図 4 に示すように、共有プランが開始された時に、エージェント A 4 1 2、エージェント B 4 1 4、及びエージェント C 4 1 6 は全て部屋 Y 4 0 6 の停止領域 4 1 8 に位置している。オブジェクト 4 0 2 は部屋 X 4 0 4 に位置している。部屋 X 4 0 4 及び部屋 Y 4 0 6 の間のドア 4 0 8 は、エージェント A 4 1 2 によって開けられ（例えば、図 3 に示すようなドアを開けるタスク 3 1 2）、これによりエージェント B 4 1 4 及びエージェント C 4 1 6 がオブジェクト 4 0 2 を部屋 X 4 0 4 から部屋 Y 4 0 6 まで移動させることが可能になる。タスクの実行中の複数の時点において、外部制御電源 4 2 0 は、幾つかのタスクの一部の実行を開始する又は停止するように、エージェント A 4 1 2、エージェント B 4 1 4、及びエー

40

50

ジェントC 4 1 6 にメッセージを送ることができる。

【0031】

図4は、 $T = 0 \quad 4 \ 2 \ 2$ の時点におけるエージェントA 4 1 2、エージェントB 4 1 4、及びエージェントC 4 1 6の初期状態を示す。 $T = 0 \quad 4 \ 2 \ 2$ の時点において、エージェントA 4 1 2、エージェントB 4 1 4、エージェントC 4 1 6はそれぞれ「新規の」状態に入っている。新規の状態から開始して、各エージェントは、ドア408まで移動する共有タスクでの割り当てられた役割の実行を進める。図4は、共有プランの実施において各エージェントA 4 1 2、エージェントB 4 1 4、及びエージェントC 4 1 6それぞれによって維持されるステータス情報430、440、及び450を示す。エージェントAのステータス情報430は、エージェントAの票432、エージェントBの票434、エージェントCの票436、及び共有項438を含む。共有項438は、エージェントAの票432、エージェントBの票434、エージェントCの票436からエージェントA 4 1 2によって作成される。各エージェント412～416の票は、各エージェント412～416によって維持されるステータス情報430、440、450にそれぞれ基づいて各エージェント412～416によって判断された共有項を表す。特定の実例となる実施形態では、共有項438はエージェント412、414、及び416の状態の一致した共有項を表しうる。他の形態の共有項を、図5を参照して下に説明する。

10

【0032】

エージェントA 4 1 2の共有項438は、エージェントAのステータス情報430に含まれるエージェントAの票432、エージェントBの票434、エージェントCの票436に基づいて局所的に判断される。エージェントB 4 1 4及びエージェントC 4 1 6はおなじように、共有プランに参加しているエージェント412～416に関するローカルステータス情報を維持する。例えば、エージェントBのステータス情報440は、エージェントAの票442、エージェントBの票444、エージェントCの票446、及びエージェントBのステータス情報440に含まれる全てのエージェント412～416の最後に一致した状態を表す共有項448を含む。エージェントCのステータス情報450は、エージェントAの票452、エージェントBの票454、エージェントCの票456、及びエージェントCのステータス情報450に含まれる全てのエージェント412～416の最後に一致した状態を表す共有項458を含みうる。

20

【0033】

実例となる実施形態によれば、各エージェント412～416によって維持されるステータス情報430、440、450は、ステータス情報430、440、450が変更されるごとにピアツーピア通信を利用して、他のエージェント412～416に送信される。エージェント412～416のうちの一つがそれ自体の状態を更新する時、そのエージェントはステータス情報を更新し、そのステータス情報を他のエージェント412～416へ送信する。また、エージェント412～416のうちの一つが、一又は複数のエージェント412～416のステータスを変更する別のエージェント412～416からステータス情報を受け取り、そのエージェントはそれ自体のステータス情報を更新し、次にステータスメッセージを送信して更新されたステータス情報を他のエージェント412～416に中継する。さらに下に説明するように、異なるステータス情報430、440、450の異なるセットを支持する多数のステータスメッセージは最適な複製を使用して瞬時に送信することができる。ステータス情報430、440、450の幾つかはより最新で、他の情報よりもさらに新しく発行されたものであってよい。同期及び修正ベクター、又は別の種類のバージョン制御を使用して、各エージェント412～416が最新のステータス情報を識別し最新のステータス情報に応答するようにすることができる。

30

40

【0034】

図4では、各エージェントの票は、他のエージェント412～416に通信されたように「新規の」状態である。例えば、エージェントAのステータス情報430は、エージェントAの票432が新規であり、エージェントBの票434が新規であり、エージェントCの票436が新規であることを示す。全てのエージェント412～416が新規の状態

50

に一致しているため、共有項 4 3 8 もまた新規の状態である。同様に、エージェント B のステータス情報 4 4 0 は、エージェント A の票 4 4 2 が新規であり、エージェント B の票 4 4 4 が新規であり、エージェント C の票 4 4 6 が新規であり、したがって、共有項 4 4 8 は新規であることを示す。エージェント C のステータス情報 4 5 0 は、エージェント A の票 4 5 2 が新規であり、エージェント B の票 4 5 4 が新規であり、エージェント C 4 4 6 の票が新規であり、したがって、共有項 4 5 8 は新規であることを示す。

【 0 0 3 5 】

図 5 は、 $T = 1 \quad 5 \quad 2 \quad 2$ の時点における各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 を示すブロック図である。 $T = 1 \quad 5 \quad 2 \quad 2$ の時点では、一つのタスクを表す有限状態機械 5 0 2 の複製が外部制御電源 4 2 0 から各エージェントへディスパッチされる。各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 は、タスクの実行中にエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の遷移をガイドする有限状態機械 5 0 2 のコピーを受け取る。エージェント A のステータス情報 4 3 0 は、エージェント A の票 5 3 2 をディスパッチング、エージェント B の票 5 3 4 をディスパッチング、及びエージェント C の票 5 3 6 をディスパッチングとして示す。全てのエージェントの票はエージェント A のステータス情報 4 3 0 において一致しており、したがって、エージェント A のステータス情報 4 3 0 に関する共有項 5 3 8 は $T = 1 \quad 5 \quad 2 \quad 2$ の時点のディスパッチングに更新される。同様に、エージェント B のステータス情報 4 4 0 は、エージェント A の票 5 4 2 をディスパッチング、エージェント B の票 5 4 4 をディスパッチング、及びエージェント C の票 5 4 6 をディスパッチングとして示す。エージェント B のステータス情報 4 4 0 に関する共有項 5 4 8 もまた、 $T = 1 \quad 5 \quad 2 \quad 2$ の時点のディスパッチングに更新される。エージェント C のステータス情報 4 5 0 は、エージェント A の状態 5 5 2 をディスパッチング、エージェント B の票 5 5 4 をディスパッチング、及びエージェント C の票 5 4 6 をディスパッチングとして示す。エージェント C のステータス情報 4 5 0 に関する共有項 5 5 8 もまた、 $T = 1 \quad 5 \quad 2 \quad 2$ の時点においてディスパッチングに更新される。

【 0 0 3 6 】

特定の実例となる実施形態では、ステータス情報 4 3 0、4 4 0、及 4 5 0 が示す全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の票が $T = 1 \quad 5 \quad 2 \quad 2$ の時点においてディスパッチングであるため、共有項 5 3 8、5 4 8、5 5 8 はディスパッチングに更新される。しかしながら、別の特定の実例となる実施形態では、一致した共有項に到達せずに共有項 5 3 8、5 4 8、5 5 8 を更新することができる。共有項はどちらかといえば、所定数のエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 又はアクティブエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の所定部分が更新された状態を伝達したときに更新することができる。またあるいは、共有項は、所定数のアクティブエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の所定部分、又は全てのアクティブエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 が更新された状態を伝達したときに更新することができる。エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 がアクティブで機能しているか否かは、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 をプログラミングして定期的な「心拍」信号を送信してエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 がアクティブであることを通信することによって判断することが可能である。エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 のうちの 하나가、一又は複数の心拍信号を送信しなかったときには、伝達できなかったエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の状態は非アクティブに変更され、伝達できなかったエージェントは投票権を失いうる。

【 0 0 3 7 】

特定の実施形態では、新規からディスパッチングまでの遷移は自動的であってよい。特定の実施形態では、エージェントがディスパッチング段階を完了し、エージェントのステータスを伝達することができる前に、エージェントの状態を解析するために状態機械を受信することになる。しかしながら、エージェントのタスク状態の共有項に基づきタスク状態の遷移プロセスを図示するため、図 4 ~ 8 の実施例に、共有項への到達に基づいてディスパッチング状態へ遷移しているエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 を示す。

【 0 0 3 8 】

例えば、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 のうちの 2 つのエージェント等の所定数のエージェントの状態が更新された時に、共通項を更新することができる。同様に、例えばエー

10

20

30

40

50

エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の過半数又は三分の二等のエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の所定部分の状態が更新された時に共通項を更新することができる。ステータス情報 4 3 0、4 4 0、4 5 0 に示すように、 $T = 1' 5 2 2'$ の時点において、エージェント A の票 4 3 2、4 4 2、4 5 2 はディスパッチングに更新されておらず、新規として伝達されている。エージェント B の票 4 4 4、4 5 4、4 6 4 及びエージェント C の票 4 4 6、4 5 6、4 6 6 はディスパッチングに更新されたままである。全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の状態がディスパッチングとして伝達されていないため、ディスパッチングというエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の一致した共通項は存在しえない。しかしながら、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 は、例えばエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 のうちの 2 つのエージェント等の所定数のエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 が更新された状態を伝達したときに、共通項 5 3 8'、5 4 8'、5 5 8' を更新することができるように構成することが可能である。したがって、 $T' = 4 2 2'$ の時点において、エージェント B の票 5 3 4、5 4 4、5 5 4 及びエージェント C の票 5 3 6、5 4 6、5 5 6 を含むエージェントのうちの 2 つのエージェントの状態がディスパッチングとして伝達されたため、共通項 5 3 8'、5 4 8'、5 5 8' をディスパッチングに更新することができる。共有項 5 3 8'、5 4 8'、5 5 8' は、エージェント A の票 4 3 2、4 4 2、及び 4 5 2 が更新されていなくても更新される。

【0039】

同様に、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 は、例えばエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の過半数又はエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の三分の二等のエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の所定部分が更新された状態を伝達するときに、共有項 5 3 8'、5 4 8'、5 5 8' を更新することができるように構成することができる。したがって、 $T' = 4 2 2'$ の時点において、エージェント B の票 5 3 4、5 4 4、5 5 4 及びエージェント C の票 5 3 6、5 4 6、5 5 6 の過半数（又は三分の二）がディスパッチングとして伝達されたため、共通項 5 3 8'、5 4 8'、5 5 8' をディスパッチングに更新することができる。共有項 5 3 8'、5 4 8'、5 5 8' は、エージェント A の票 4 3 2、4 4 2、及び 4 5 2 が更新されていなくても更新される。

【0040】

別の実施例では、 $T = 1'' 5 2 2''$ の時点において、エージェント A 4 1 2 は、所定数の期間、又は所定の長さの時間、心拍信号を記録できなかったために非アクティブに分類される、又はされている。この結果、 $T = 1'' 5 2 2''$ の時点においてはエージェント A 4 1 2 のステータス情報は伝達されない。それに関わらず、エージェント B 4 1 4 及びエージェント C 4 1 6 は、全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 が伝達していない時でも、共有項 5 4 8''、5 5 8'' を更新することができるように構成することができる。エージェント A 4 1 2 の心拍又は状態の記録の失敗は、図 5 にエージェント A の票 5 4 2''、5 5 2'' を示す「X」で表示されている。

【0041】

$T = 1'' 5 2 2''$ の時点において、エージェント B の票 5 4 4、5 5 4 及びエージェント C の票 5 4 6、5 5 6 はディスパッチングとして伝達される。この結果、共有項 5 4 8''、5 5 8'' は、アクティブな全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 が更新された時に、エージェント B 4 1 4 及びエージェント C 4 1 6 が共有項 5 4 8''、5 5 8'' を更新するように構成されている場合に、ディスパッチングに更新することができる。あるいは、エージェント B 4 1 4 及びエージェント C 4 1 6 は、所定数のエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 が更新された時に、共有項 5 4 8''、5 5 8'' をディスパッチングに更新するように構成することができる。例えば、共有項 5 4 8''、5 5 8'' は、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 のうちの少なくとも 2 つが更新された時、又はアクティブなエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 のうちの少なくとも 2 つが更新された時に、エージェント A 4 1 4 及びエージェント C 4 1 6 が共有項 5 4 8''、5 5 8'' を更新するように構成されているときに、 $T = 1'' 5 2 2''$ の時点においてディスパッチングに更新することができる。あるいは、共有項 5 4 8''、5 5 8'' は、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の所定部分が更新された時に、エージェント B 4 1 4 及びエージェント C 4 1 6 が共有項 5 4 8''、5 5 8'' を更新するように構成さ

10

20

30

40

50

れている時に、 $T = 1 \text{ " } 5 \text{ } 2 \text{ } 2 \text{ "}$ の時点でディスパッチングに更新することができる。例えば、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の過半数が更新された時に、又はアクティブなエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の過半数が更新された時に、共有項 5 4 8 " 及び 5 5 8 " を $T = 1 \text{ " } 5 \text{ } 2 \text{ } 2 \text{ "}$ の時点で更新することができる。あるいは、共有項 5 4 8 " 及び 5 5 8 " はまた、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の三分の二が更新された時に、又はアクティブなエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の三分の二が更新された時に、 $T = 1 \text{ " } 5 \text{ } 2 \text{ } 2 \text{ "}$ の時点で更新することもできる。

【 0 0 4 2 】

したがって、特定の事例となる実施形態は、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の状態の一致した共有項に到達していないときに、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の共有項を更新することができる。しかしながら、図 4 ~ 1 7 の実施例については、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 は、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の状態の一致した共有項を識別したときにのみ、共有項を更新すると仮定する。

【 0 0 4 3 】

図 6 は、エージェント C の票 6 3 6、6 4 6、6 5 6 がレディ状態に更新されると同時に、エージェント A の票 5 3 2、5 4 2、5 5 2 及びエージェント B の票 4 3 4、4 4 4、4 5 4 がディスパッチングから更新されていない時の、 $T = 2 \text{ " } 6 \text{ } 2 \text{ } 2$ の時点における各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 を示すブロック図である。エージェント C 4 1 6 は、エージェント C のステータス情報 4 5 0 のエージェント C の票 5 5 8 をレディに更新している。エージェント C のステータス情報 4 5 0 が更新されると、エージェント C 4 1 6 は、ステータスメッセージを送信して、エージェント C のステータス情報 4 5 0 をエージェント A 4 1 2 及びエージェント B 4 1 4 に通信する。ただし、エージェント C の票 6 3 6、6 4 6、6 5 6 がエージェントのステータス情報 4 3 0、4 4 0、4 5 0 においてレディに更新されていても、エージェント A の票 5 3 2、5 4 2、5 5 2 はディスパッチングのままであり、エージェント B の票 5 3 4、5 4 4、5 5 4 はディスパッチングのままである。エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 は、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の状態の共有項が一致しているときにのみ共有項を更新するように構成されているため、共有項 5 3 8、5 4 8、5 5 8 はディスパッチングのままである。

【 0 0 4 4 】

図 7 は、エージェント A 4 1 2 及びエージェント B 4 1 4 がレディ状態に到達したときの、 $T = 3 \text{ " } 7 \text{ } 2 \text{ } 2$ の時点における各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 を示すブロック図である。エージェント A 4 1 2 及びエージェント B 4 1 4 は他のエージェントからステータス情報をそれぞれ受信しているが、エージェント C 4 1 6 はエージェント A 4 1 2 に関する更新されたステータス情報をまだ受け取っていない。エージェント A のステータス情報 4 3 0 では、エージェント A の票 7 3 2 はレディに更新されて、エージェント B の票 7 3 4 はレディに更新される。エージェント A 4 1 2 は前もってエージェント C の票 6 3 6 をレディに更新している。エージェント A のステータス情報 4 3 0 が全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 が $T = 3 \text{ " } 7 \text{ } 2 \text{ } 2$ の時点においてレディ状態を票決していることを示すため、共有項 7 3 8 はレディに更新される。同様に、エージェント B のステータス情報 4 4 0 では、エージェント A の票 7 4 2 はレディに更新され、エージェント B の票 7 4 4 はレディに更新され、それと同時にエージェント C の票 6 4 6 は前もってレディに更新されている。エージェント B のステータス情報 4 3 0 が、全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 がここでレディ状態について票決し一致していることを示すため、共有項 7 4 8 はレディに更新される。

【 0 0 4 5 】

エージェント C 4 1 6 はまだ、エージェント A の票 4 1 2 をレディ状態に更新するステータス情報を支持するステータスメッセージを受信していない。したがって、エージェント C のステータス情報 4 5 0 はエージェント A の票 6 5 2 をディスパッチングとして示し続ける。エージェント B の票 7 5 4 がレディ状態に更新されており、エージェント C の票 6 5 6 が予めレディに更新されていたとしても、エージェント C のステータス情報 4 5 0

10

20

30

40

50

の共有項 6 5 8 はディスパッチングのままである。

【 0 0 4 6 】

図 8 は、エージェント C が、エージェント A 4 1 2 からの更新されたステータス情報を支持するステータスメッセージを受信した時の、 $T = 4 \quad 8 \quad 2 \quad 2$ の時点における各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 を示すブロック図である。エージェント C 4 1 6 は、エージェント A 4 1 2 の更新されたステータス情報を、エージェント A 4 1 2 からのエージェント A のステータス情報 4 3 0 の送信を受信することによってか、あるいはエージェント B 4 1 4 からのエージェント B のステータス情報 4 4 0 を支持するステータスメッセージを受信することによって受信してよく、この 2 つは両方とも $T = 3 \quad 7 \quad 2 \quad 2$ の時点においてエージェント A 4 1 2 がレディ状態に到達したことを示している。エージェント A のステータス情報 4 3 0 及びエージェント B のステータス情報 4 4 0 は $T = 3 \quad 7 \quad 2 \quad 2$ の時点において最新のものであり、エージェント A のステータス情報 4 3 0 又はエージェント B のステータス情報 4 4 0 は変更されない。また、エージェント A のステータス情報 4 3 0 及びエージェント B のステータス情報は $T = 3 \quad 7 \quad 2 \quad 2$ の時点で最新のものであったため、エージェント A のステータス情報 4 3 0 の共有項 7 3 8、及びエージェント B のステータス情報 4 4 0 の共有項 7 4 8 は変更されないままである。しかしながら、エージェント C のステータス情報 4 5 0 は更新されて、エージェント A の票 8 5 2 がレディ状態であることを示す。同様に、エージェント C のステータス情報 4 5 0 は全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 がレディ状態について一致していることを示すため、共有項 8 5 8 はレディ状態に更新される。

【 0 0 4 7 】

図 9 は、 $T = 5 \quad 9 \quad 2 \quad 2$ の時点における各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 を示すブロック図である。 $T = 5 \quad 9 \quad 2 \quad 2$ の時点においては、全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 はレディ状態を伝達しており、外部制御電源 4 2 0 はエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 に起動信号 9 7 0 を送信している。実例となる実施形態によれば、全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 が、各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 によって維持されるステータス情報の共有項 4 3 0、4 4 0、4 5 0 によって判断されたように、レディ状態に到達し、レディ状態を票決すると、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 は自動的にアクティブ状態に更新され、割り当てられた役割を実行する。別の実例となる実施形態によれば、図 9 に示すようにエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 のアクティブ状態への遷移は外部制御電源 4 2 0 によって引き起こされる。外部制御電源 4 2 0 は、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 と同様に、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 によって送信されたステータス情報を監視して、アクティブ状態へ更新する前に、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 がいつレディ状態に同意する共有項に到達したかを識別することができる。

【 0 0 4 8 】

$T = 5 \quad 9 \quad 2 \quad 2$ の時点において、外部制御電源 4 2 0 からの起動信号 9 7 0 の受信に応じて、各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 はそれ自体の状態をアクティブ状態へ更新する。したがって、エージェント A のステータス情報 4 3 0 は更新されてエージェント A の票 9 3 2 をアクティブとして示し、エージェント B のステータス情報 4 4 0 は更新されてエージェント B の票 9 4 4 をアクティブとして示し、エージェント C のステータス情報 4 5 0 は更新されてエージェント C の票 9 5 6 をアクティブとして示す。各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 はそれ自体の状態の変更に応じて、ステータス情報を送信して、他のエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 が局所的に維持されるステータス情報 4 3 0、4 4 0、4 5 0 を更新することができるようにする。したがって、エージェント B 4 1 4 及びエージェント C 4 1 6 から更新されたステータス情報を受信した後に、エージェント A のステータス情報 4 3 0 は、エージェント B の票 9 3 4 をアクティブに更新し、エージェント C の票 9 3 6 をアクティブに更新する。全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の票はエージェント A のステータス情報 4 3 0 にしたがって一致しているため、共有項 9 3 8 はアクティブに更新される。エージェント A 4 1 2 はしたがってその最初のタスク：ドア 4 0 8 まで移動するのを実行を開始する。

【 0 0 4 9 】

エージェント A 4 1 2 及びエージェント C 4 1 6 から更新されたステータス情報を受信した後に、エージェント B のステータス情報 4 4 0 はエージェント A の票 9 4 2 をアクティブに更新し、エージェント C の票 9 4 6 をアクティブに更新する。全てのエージェントの票が一致しているため、エージェント B のステータス情報 4 4 0 の共有項 9 4 8 はアクティブに更新される。エージェント B 4 1 4 は次にドア 4 0 8 まで移動するタスクの実行を開始する。更新されたステータス情報をエージェント A 4 1 2 及びエージェント A 4 1 4 から受信した後で、エージェント C のステータス情報 4 5 0 はエージェント A の票 9 5 2 をアクティブに更新し、エージェント B の票 9 5 4 をアクティブに更新する。全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の票が一致しているため、エージェント C のステータス情報 4 4 0 の共有項 9 5 8 はアクティブに更新される。エージェント C 4 1 6 は次に、ドア 4 0 8 まで移動するタスクの実行を開始する。

10

【 0 0 5 0 】

図 1 0 は、 $T = 6$ 1 0 2 2 の時点における各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 を示すブロック図である。 $T = 6$ 1 0 2 2 の時点において、エージェント A 4 1 2 はタスクにおける役割を完了し、ドア 4 0 8 へ到達している。したがって、エージェント A のステータス情報 4 3 0 は更新されてエージェント A の票 1 0 3 2 を完了として示し、更新されたエージェント A のステータス情報 4 3 0 は他のエージェント 4 1 4、4 1 6 へ送信される。エージェント B 4 1 4 及びエージェント C 4 1 6 はタスクにおけるそれらの役割をまだ完了しておらず、したがって、それぞれまだアクティブ状態である。このため、エージェント A のステータス情報 4 3 0 は、エージェント B の票 9 3 4 がアクティブであり、エージェント C の票 9 3 6 がアクティブであることを表示している。エージェント A のステータス情報 4 3 0 の共有項 9 3 8 はアクティブのままである。

20

【 0 0 5 1 】

同様に、エージェント B のステータス情報 4 4 0 は更新されて、エージェント A の票 1 0 4 2 を完了しているとして示すが、エージェント B の票 9 4 4 をアクティブとして、エージェント C の票 9 4 6 をアクティブとして表示する。エージェント B のステータス情報 4 4 0 の共有項 9 4 8 はアクティブのままである。エージェント C のステータス情報 4 5 0 は更新されて、エージェント A の票 1 0 5 2 を完了として示し、エージェント B の票 9 5 4 をアクティブとして、エージェント C の票 9 5 6 をアクティブとして示す。エージェント C のステータス情報 4 5 0 の共有項 9 5 8 はアクティブのままである。

30

【 0 0 5 2 】

図 1 1 は、 $T = 7$ 1 1 2 2 の時点における各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 を示すブロック図である。 $T = 7$ 1 1 2 2 の時点において、エージェント B 4 1 4 及びエージェント C 4 1 6 はエージェント A 4 1 2 と同様にタスクにおけるそれらの役割を完了し、ドア 4 0 8 まで到達している。したがって、エージェント B のステータス情報 4 4 0 は更新されてエージェント B の票 1 1 4 4 を完了しているとして示し、エージェント B のステータス情報 4 4 0 は他のエージェント 4 1 2、4 1 6 へ送信される。エージェント C のステータス情報 4 5 0 もまた更新されて、エージェント C の票 1 1 5 6 を完了しているとして示し、エージェント C のステータス情報 4 5 0 は他のエージェント 4 1 2、4 1 4 へ送信される。

40

【 0 0 5 3 】

他のエージェント 4 1 4、4 1 6 からの更新されたステータス情報の受信に応答して、エージェント A のステータス情報 4 3 0 は更新されて、エージェント B の票 1 1 3 4 を完了しているとして示し、エージェント C の票 1 1 3 6 を完了しているとして示す。この結果、エージェント A のステータス情報 4 3 0 の共有項 1 1 3 8 が完了に更新される。エージェント B のステータス情報 4 4 0 は更新されてエージェント C の票 1 1 4 6 を完了しているとして示す。この結果、エージェント B のステータス情報 4 4 0 の共有項 1 1 4 8 は完了に更新される。エージェント C のステータス情報 4 5 0 は更新されてエージェント C の票 1 1 5 4 を完了しているとして示す。この結果、エージェント C のステータス情報 4

50

50の共有項1158は完了に更新される。

【0054】

図12は、 $T = 8$ 1222の時点における各エージェント412～416を示すブロック図である。 $T = 8$ 1222の時点において、エージェントA412はドア408を開ける非共有タスクを実行中のアクティブ状態である。ドア408を開けるタスクは非共有であるため、タスクは他のエージェント414、416の助けを得ずに、したがって他のエージェント414、416の共有項なしでエージェントA412によって実行可能である。

【0055】

実例となる実施形態によれば、エージェントAのステータス情報430は更新されて、エージェントAの票1232をアクティブとして示す。エージェントBの票1234及びエージェントCの票1236は、エージェントB414及びエージェントC416がエージェントA412が実行しているタスクに参加していないため、状態を伝達しない。この結果、エージェントAのステータス情報430の共有項1238はエージェントAの票1232によってのみ変化する。したがって共有項1238はアクティブである。

【0056】

エージェントB414及びエージェントC416はドア408を開けるタスクに参加しないが、エージェントB414及びエージェントC416はそれでもなお、非共有タスクについてエージェントAのステータス情報430をサブスクライブしうる。エージェントB414及びエージェントC416には、オブジェクト402に係合しオブジェクト402を移動させるタスクが割り当てられている。エージェントB414及びエージェントC416は、オブジェクト402を移動させるタスクの前提条件として、ドア408を開けることをエージェントA412に依存する。したがって、エージェントAのステータス情報430をサブスクライブすることによって、エージェントB414及びエージェントC416はいつドア408が開いてエージェントB414及びエージェントC416の次のタスクに進むことができるかを判断することができる。他のエージェントのタスクへの一致はしたがって、エージェント412～416が、一つのタスクの実行が一以上の他のエージェント412～416によって実行されるタスクの完了によって左右される、非共有だが相互依存したタスクを実行することが可能になりうる。

【0057】

エージェントBのステータス情報440は、エージェントAのタスク状態1242がアクティブであることを表示する。再度、エージェントB414及びエージェントC416はエージェントA412の非共有タスクに参加していないため、エージェントBの票1244及びエージェントCの票1246は状態を表示しない。共有項1248はエージェントAの票1242にのみ左右される。エージェントAの票1242がまだアクティブである間、すなわちエージェントA412がまだドア408を開けるプロセスにある時は、エージェントB414はその次のタスクの実行を待つ。エージェントAの票1242が更新されてエージェントA412のタスクが完了であることを示すと、エージェントB414はその次のタスクに進むことができる。同様に、エージェントCのステータス情報450はエージェントAのタスク状態1252がアクティブであることを示す。再度、エージェントB414及びエージェントC416はエージェントA412の非共有タスクに参加していないため、エージェントBの票1254及びエージェントCの票1256は状態を表示しない。共有項1258はエージェントAの票1242にのみ左右される。エージェントAの票1252がまだアクティブである間、すなわちエージェントA412がまだドア408を開けるプロセスにある時は、エージェントC416はその次のタスクの実行を待つ。エージェントAの票1252が更新されてエージェントA412のタスクが完了であることを示すと、エージェントC416はその次のタスクに進むことができる。

【0058】

図13は、 $T = 9$ 1322の時点における各エージェント412～416を示すブロック図である。 $T = 9$ 1322の時点までには、エージェントA412はドア408を

10

20

30

40

50

開ける非共有タスクの実行を完了している。したがって、 $T = 9 \quad 1 \ 3 \ 2 \ 2$ の時点において、エージェントB 4 1 4 及びエージェントC 4 1 6 はオブジェクト4 0 2 を移動させる準備のためにオブジェクト4 0 2 に近づくために部屋Xの中へ移動4 0 4 している。

【0059】

$T = 9 \quad 1 \ 3 \ 2 \ 2$ の時点において、エージェントB 4 1 4 及びエージェントC 4 1 6 はエージェントA 4 1 2 が参加しない共有タスクを実行する。エージェントA 4 1 2 は、エージェントB 4 1 4 及びエージェントC 4 1 6 がオブジェクト4 0 2 に係合し、オブジェクト4 0 2 を移動させ、オブジェクト4 0 2 との係合を解除する間待機し、オブジェクト4 0 2 との係合が解除された時点でエージェントA 4 1 2 はドア4 0 8 を閉める。したがって、エージェントB 4 1 4 及びエージェントC 4 1 6 が、エージェントA 4 1 2 が参加しない以上のタスクを実行するのにアクティブである間、エージェントA 4 1 2 はエージェントB 4 1 4 及びエージェントC 4 1 6 によって送信されるステータス情報をサブスクライブして、エージェントA 4 1 2 がいつ次の動作を実行するかを判断することができる。

10

【0060】

前述したようにエージェントB 4 1 4 及びエージェントC 4 1 6 が相互にステータス情報を送信すると仮定して、エージェントBのステータス情報4 4 0 は更新されてエージェントBの票1 3 4 4 とエージェントCの票1 3 4 6 をアクティブとして表示する。エージェントAの票1 3 4 2 はエージェントA 4 1 2 が現在のタスクに参加していないことを示すために状態を表示しない。エージェントBのステータス情報4 4 0 の共有項1 3 4 8 は、エージェントA 4 1 2 の状態に関係なく、参加しているエージェントがアクティブであることを示す。エージェントCのステータス情報4 5 0 は更新されてエージェントBの票1 3 5 4 及びエージェントCの票1 3 5 6 をアクティブとして示す。エージェントAの票1 3 5 2 は状態を表示しない。エージェントCのステータス情報4 5 0 の共有項1 3 5 8 は、エージェントA 4 1 2 の状態に関係なく、参加しているエージェントをアクティブとして示す。

20

【0061】

図1 4 は、 $T = 1 \ 0 \quad 1 \ 4 \ 2 \ 3$ の時点、 $T = 1 \ 2 \quad 1 \ 4 \ 2 \ 5$ の時点、 $T = 1 \ 2 \quad 1 \ 4 \ 2 \ 2$ の時点における各エージェント1 2 ~ 4 1 6 を示すブロック図である。図1 4 は、ポーズ又は保留信号1 4 7 0 を送信することによってタスクをポーズし、レジューム信号1 4 8 0 を送信することによってタスクを再開する外部制御電源4 2 0 を示す。

30

【0062】

$T = 1 \ 0 \quad 1 \ 4 \ 2 \ 2$ の時点において、エージェントB 4 1 4 はオブジェクト4 0 2 に隣接した目的位置に到達している一方で、エージェントC 4 1 6 はまだ目的位置に到達していない。エージェントB 4 1 4 及びエージェントC 4 1 6 は相互に（エージェントA 4 1 2 によっても監視されている）ステータス情報を送信する。エージェントBのステータス情報4 4 0 は更新されてエージェントBの票1 4 4 4 は完了に変更されるが、エージェントCのステータス情報1 3 4 6 はアクティブのままである。エージェントBの票1 4 3 4 は更新されてエージェントAのステータス情報4 3 0 は完了となり、エージェントBの票1 4 5 4 は更新されてエージェントCのステータス情報4 5 0 は完了となる。しかしながら、エージェントC 4 1 6 がそのタスクの一部を完了していないため、共有項1 3 3 8、1 3 4 8、及び1 3 5 8 はアクティブのままである。

40

【0063】

$T = 1 \ 1 \quad 1 \ 4 \ 2 \ 3$ の時点において、外部制御電源4 2 0 はポーズ又は保留信号1 4 7 0 を送信する。特定の実例となる実施形態によれば、ポーズ信号1 4 7 0 を受信した時に、タスクに参加している全てのアクティブなエージェントはその票をポーズに更新する。したがって、エージェントCの票1 4 3 6、1 4 4 6、1 4 5 6 はポーズに変更される。

【0064】

図1 5 は、外部制御電源4 2 0 がキャンセル信号1 5 7 0 を送信した後の、 $T = 1 \ 3 \ 1 \ 5 \ 2 \ 2$ の時点における各エージェント4 1 2 ~ 4 1 6 を示すブロック図である。実例と

50

なる実施形態によれば、キャンセル信号 1 5 7 0 が送られたときのエージェントのステータスとは関係なく、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 は動作を中断する。各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 はその票をキャンセルに更新し、他のエージェントに更新されたステータス情報 4 3 0、4 4 0、4 5 0 を送信する。エージェント A の票 1 5 3 2、1 5 4 2、1 5 5 2 はキャンセルに更新される。エージェント B の票 1 5 3 4、1 5 4 4、1 5 5 4 はキャンセルに更新される。エージェント C の票 1 5 3 6、1 5 4 6、1 5 5 6 はキャンセルに更新される。各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の共有項 1 5 3 8、1 5 4 8、1 5 5 8 はキャンセルに更新される。

【 0 0 6 5 】

図 1 6 は、エージェント C 4 1 6 がタスクの実行に失敗した後の、 $T = 1 4 \quad 1 6 2 2$ の時点における各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 を示すブロック図である。図 1 6 に関しては、図 1 5 を参照して説明したように外部制御電源 4 2 0 はタスクの実行をキャンセルしておらず、エージェント C 4 1 6 が失敗する前に、各エージェントが $T = 1 2 \quad 1 4 2 5$ (図 1 4) の時点におけるのと同じステータスを有していたと仮定される。

【 0 0 6 6 】

エージェント C 4 1 6 のタスクの実行の失敗は、システムの不具合の結果、外部の状況の結果、又は任意の数の他の要因によるものである可能性がある。エージェント C 4 1 6 が失敗すると、エージェント C 4 1 6 はエージェント C のステータス情報 4 5 0 においてエージェント C の票 1 6 5 6 を失敗に更新する。エージェント C のステータス情報 4 5 0 は他のエージェントに送信され、これによりエージェント A のステータス情報 4 3 0 が、エージェント C の票 1 6 3 6 を失敗に更新する。エージェント B のステータス情報 4 4 0 もまた更新されて、エージェント C の票 1 6 4 6 を失敗に更新する。特定の実例となる実施形態によれば、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の一つの票が失敗に更新されると、他のエージェントはそれぞれの票を失敗に更新する。したがって、エージェント A の票 1 6 3 2、1 6 4 2、1 6 5 2 及びエージェント B の票 1 6 3 4、1 6 4 4、1 6 5 4 が失敗に更新される。さらに、各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 の共有項 1 6 3 8、1 6 4 8、1 6 5 8 が失敗に更新される。エージェント C 4 1 6 の失敗にตอบสนองして、タスク又はプランを修正するために、外部制御電源 4 2 0 を介してステップを採用することができる。

【 0 0 6 7 】

図 1 7 は、 $T = 7' \quad 1 7 2 2$ の時点、 $T = 7'' \quad 1 7 2 3$ の時点、及び $T = 7' \quad 1 7 2 5$ の時点における各エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 を示すブロック図である。図 1 1 を参照すると、 $T = 7$ の時点において、全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 は完了状態に到達し、更新されたステータス情報を相互に通信することにより、共有項 1 1 3 8、1 1 4 8、及び 1 1 5 8 が完了状態を伝達することが可能になる。しかしながら、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 が状態の更新を非同期的に伝達する場合(例えば、それら自体のステータスの更新に応じて、又は他のエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 からのステータス情報の受信にตอบสนองして)があり、エージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 が矛盾するステータス情報を受信する可能性がある。図 1 7 に図示する実施例では、 $T = 7' \quad 1 7 2 2$ の時点において、全てのエージェントが完了状態に到達している一方で、エージェント A 4 1 2 は更新されたステータス情報をエージェント C 4 1 6 から受信するが、エージェント B 4 1 4 からは受信しないと仮定する。エージェント B 4 1 4 はエージェント A 4 1 2 から更新されたステータス情報を受信しているが、エージェント C 4 1 6 からは受信していない。エージェント B 4 1 4 はエージェント B のステータス情報 4 4 0 を更新して、エージェント B の票 1 1 4 4 を完了として含める。 $T = 7''$ の時点において、エージェント A 4 1 2 及びエージェント B 4 1 4 は、それぞれがまだ他のエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 から更新されたステータス情報を受信していないにもかかわらず、最新のステータス情報を送信する。

【 0 0 6 8 】

$T = 7' \quad 1 7 2 5$ の時点において、エージェント C 4 1 6 はエージェント A 4 1 2 及びエージェント B 4 1 4 から矛盾した更新を受信する。 $T = 7' \quad 1 7 2 5$ の時点において、エージェント A 4 1 2 及びエージェント B 4 1 4 は、全てのエージェント 4 1 2 ~ 4 1 6 がそれら

10

20

30

40

50

のタスクを完了していることを示す更新されたステータス情報を受信しているが、エージェントC 4 1 6はこの情報を有していない。その代わりに、エージェントA 4 1 2からエージェントC 4 1 6が受信した更新されたステータス情報1 7 7 0は、エージェントAの票1 0 3 2を完了、エージェントBの票1 0 3 4をアクティブ、エージェントCの票1 1 3 6を完了として表示する。エージェントB 4 1 4からエージェントC 4 1 6が受信した更新されたステータス情報1 7 8 0は、エージェントAの票1 0 4 2を完了、エージェントBの票1 1 4 4を完了、エージェントCの票1 0 4 6をアクティブとして表示する。エージェントC 4 1 6が一つの更新又はその他を受信するならば、エージェントC 4 1 6は不正確な状態に更新されることとなる。図1 7の単純な3つのエージェントの実施例では、エージェント4 1 2 ~ 4 1 6の状態入力を比較して、伝達されたどのステータス情報が最新のものかを判断することは簡単な作業だが、おびただしい数の非同期更新を送信する多数の広く分散したエージェントを有するシステムにおいては、コンテンツの検査及び比較に基づいた問題の解消は不可能でありうる。

10

【0 0 6 9】

特定の実例となる実施形態では、更新されたステータス情報は最適な複製を利用して非同期的に交換される。最適な複製はバージョン制御を利用して複数の更新を区別し、いつ更新を受け入れるべきか、無視するべきか、統合するべきかを判断する。実例となる実施形態によれば、バージョン制御には修正ベクター及び同期ベクターを使用した最適な複製の形態が使用される。

【0 0 7 0】

20

修正ベクターは、更新を行うエージェントがいつ最後にステータス情報を修正したかを表示する。エージェントA 4 1 2からの更新されたステータス情報1 7 7 0は、図1 0に示すようにT = 6の時点において、エージェントA 4 1 2が（他のステータス情報への同期を含まない）修正を最後に行ったことを示す修正ベクター1 7 7 2を有する。同期ベクター1 7 7 4は、エージェントA 4 1 2が（エージェントC 4 1 6からの更新されたステータス情報の受信に応答して）T = 7'の時点において、ステータス情報を最後に同期化したことを示す。エージェントB 4 1 4からの更新されたステータス情報1 7 8 0は、エージェントB 4 1 4がエージェントBの票1 1 4 4を完了に更新した時に、T = 7'の時点においてステータス情報を最後に修正したことを示す修正ベクター1 7 8 2を有する。同期ベクター1 7 8 4は、エージェントB 4 1 4が図1 0に示すようにエージェントA 4 1 2からの状態更新を受信した際に、T = 6の時点において別の更新に最後に同期化したことを示す。

30

【0 0 7 1】

修正及び同期ベクターを使用して、一つの更新が別の更新よりもさらに最新のものである時を判断することができる。第2の更新についての修正及び同期ベクターによって識別された更新時間が両方とも第1の更新よりも新しいものである時、第2の更新は第1の更新よりも新しく、第1の更新の差し替えとして使用可能である。第2の更新について修正及び同期ベクターによって記憶された時間が第1の更新のものと同一である場合、更新は等しいものである。しかしながら、修正ベクターによって識別された更新時間が同期ベクターによって識別された更新時間と一致しない時は、解決計画を使用して、一つのベクターが別のものよりもさらに最新のものでありえる時を判断することができる、又は一つのステータス情報セットのさらに最新の入力を以前作成されたステータス情報セットにいつ統合してステータス情報を更新できるかを判断することができる。

40

【0 0 7 2】

図1 8は、タスクを実行する際にデバイスを複数のデバイスと関係させる方法1 8 0 0の実例となる実施形態のフロー図である。本方法1 8 0 0は例えば図1 9を参照して説明する制御システム又は図2 0を参照し説明する汎用コンピュータシステムによって実行可能である。

【0 0 7 3】

1 8 0 2において、更新されたステータス情報はデバイスにおいて記憶され、ここで更

50

新されたステータス情報は複数のデバイスのうちの以上のデバイスのタスク状態についての票の変更を反映する。第1の更新されたステータスメッセージが複数のデバイスのうちの以上のデバイスに送信され、ここで第1の更新されたステータスメッセージは第1の更新されたステータス情報を通信する。1806において、更新されたステータス情報が、複数のデバイスのうちの所定量のデバイスがタスク状態について一致することを示すとき、デバイスにおいてタスクの共有項が更新される。

【0074】

図19は、タスクを実行する際に複数のロボットエージェントを連係させる制御システム1910の実例となる実施形態を含むロボットエージェント1900のブロック図である。ロボットエージェント1900は、共有タスク又は一連の互いに依存するタスクの実行に参加する多数のロボットエージェントのうちの一つであってよい。ロボットエージェント1900は、例えば無人機(UAV)等のロボットビークル、例えば図4~17のロボットエージェント等の移動ロボット、製造工場における組立てロボット、ネットワークオペレーションを監視するロボットソフトウェアエージェント、又は任意の他の種類のロボットエージェントであってよい。

【0075】

制御システム1910は、共有タスク、相互依存タスク、又は非共有タスクであってよいタスクにおける割り当てられた役割を実行するためにロボットエージェント1900を制御するタスクコントローラ1920を含む。図4~17の実施例を考慮すると、タスクコントローラはマニピュレーターに係合してオブジェクト又はドアに係合した後に、マニピュレーター又はロボットエージェント1900全体を動かして、オブジェクトを指定位置に移動させる制御論理を含むことができる。ある実例となる実施形態では、タスクコントローラ1920は、ロボットエージェント1900の割り当てられた役割の実行を開始し、割り当てられた役割の実行の完了を伝達するように構成されている。

【0076】

ステータスマネージャ1930は、ローカルステータス情報1940を維持し監視する。前述したように、ローカルステータス情報1940は、ロボットエージェント1900のタスク状態だけでなく、一以上のピアロボットエージェント1960のピアタスク状態を含む。ステータスマネージャ1930はタスクコントローラ1920と通信して、ロボットエージェント1900のタスク状態に基づきローカルステータス情報1940を更新する。例えば、ステータスマネージャ1930は、ロボットエージェント1900のタスク状態についての票が変更された時にステータス情報1940を更新する。ステータスマネージャ1930はまた、ピアツーピア通信システム1950とも通信してピアロボットエージェント1960とステータスメッセージ1955を交換して、一以上のピアロボットエージェント1960のそれぞれのピアタスク状態を判断する。例えば、ステータスマネージャ1930は、ステータス情報1940が所定量のロボットエージェント1900と一以上のピアロボットエージェント1960がタスク状態について一致していることを示す時に、タスクの共有項を更新することができる。別の実施例として、ステータスマネージャ1930は、ステータスメッセージ1955が一以上のピアロボットエージェントのタスク状態についての票が変更されたことを伝達した時に、ステータス情報1940を更新する。様々な実施形態において、ステータスマネージャ1930はまた前述したようにバージョン情報を解析して、ステータスメッセージ1955がローカルステータス情報1940よりもさらに最新のピアステータス情報を伝達しているか否かを判断することもできる。バージョン情報を解析した後で、ステータスマネージャ1930はステータスメッセージ1955に基づいてローカルステータス情報1940を更新する。

【0077】

ピアツーピア通信システム1950はまた、ステータスマネージャ1930との通信に加えて、一以上のピアロボットエージェントからもステータスメッセージを受信する。ピアツーピア通信システム1950は、図4~17を参照して説明したように、各エージェントによって維持されるステータス情報を通信するピアロボットエージェントからステータス

タスメッセージを受信する。ピアツーピア通信システム 1950 はまた、ローカルステータス情報 1940 が更新された時に、ステータスメッセージを一以上のピアロボットエージェント 1960 に送信してローカルステータス情報を通信するようにも構成されている。

【0078】

図 20 は、図 1 ~ 18 に図示されるコンピュータによって実行される方法及びコンピュータが実行可能なプログラム命令の実施形態を実行するのに使用できる汎用コンピュータシステム 2000 のブロック図である。ある実例となる実施形態では、コンピュータデバイス 2010 は、一以上の他の自律エージェントと協働して連係タスクを実行するために備えられた自律エージェントを含む。コンピュータデバイス 2010 は通常、少なくとも一つのプロセッサ 2020 を含む。コンピュータデバイス 2010 内部において、プロセッサ 2020 はシステムメモリ 2030、一以上の記憶デバイス 2040、一以上の入力/出力デバイス 2060、及び一以上のネットワークインターフェース 2070 と通信し、コンピュータデバイスは、一以上のネットワークインターフェース 2070 を介して一以上の他のコンピュータシステム 2080 と通信する。

【0079】

システムメモリ 2030 は、例えばランダムアクセスメモリ (RAM) デバイス等の揮発性メモリデバイス、例えば読み出し専用メモリ (ROM) 等の非揮発性メモリデバイス、プログラム可能な読み出し専用メモリ、及びフラッシュメモリを含むことができる。システムメモリ 2030 は通常、全オペレーティングシステムだけでなく、コンピュータデバイス 2010 を起動させる基礎/入出力システムを含むことができるオペレーティングシステム 2032 を含むことにより、コンピュータデバイス 2010 がユーザ、他のプログラム、及び他のコンピュータシステム 2080 と交流することが可能になる。システムメモリ 2030 はまた、例えばタスクの一部である、また同様に共有プランの一部でもあり得る動作の実行において自律エージェントを管理するプログラム等の一以上のアプリケーションプログラム 2034 も通常含む。システムメモリ 2030 はまた、前述したように、例えばローカル自律エージェント、又は一以上の他の自律エージェントについてのステータス情報等のプログラムデータ 2036 も含むことができる。

【0080】

プロセッサ 2020 はまた、一以上の記憶デバイス 2040 と通信する。記憶デバイス 2040 は、例えば磁気ディスク、光ディスク、又はフラッシュメモリデバイス等の取り外し可能な非揮発性記憶デバイスを含むことができる。記憶デバイス 2040 はまた、通常一以上の磁気ディスク及び非揮発性メモリを含む取り外しできない記憶デバイスも含むことができる。

【0081】

プロセッサ 2020 が一以上の入力/出力インターフェース 2050 を介して一以上の入力/出力デバイス 2060 と通信することにより、コンピュータデバイス 2010 がユーザと相互に交流することが可能になる。入力/出力デバイス 2060 は、キーボード、ポインティングデバイス、マイクロホン、スピーカー、及びディスプレイを含むことができる。プロセッサ 2020 がまた一以上のネットワークインターフェース 2070 と通信することにより、コンピュータデバイス 2010 が、自律エージェントにおいて使用されるように、他の自律エージェントと通信することが可能になる。

【0082】

図 20 に示す、又はその他に前の段落において説明したような全てのコンポーネント又はデバイスは必ずしも本発明の実行を支持するのに必要ではない。例えば、デバイスは、システムを操作するための全てのプログラム及びデータを記憶するフラッシュメモリを含む統合システムメモリ及び記憶デバイスを含むことができる。加えて、全ての入力及び出力をネットワークインターフェース 2070 を介して通信する場合、システムは他の任意の入力/出力インターフェース 2050 又は入力/出力デバイス 2060 を含まない場合がある。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 3 】

本明細書に開示された実施形態の説明は、それら種々の実施形態の構造の全般的な理解を促すことを目的としている。説明は、本明細書に開示される構造又は方法を利用する装置及びシステムの要素及び特徴の全てを完全に説明することを目的としていない。本開示内容を読めば、当業者には他の多くの実施形態が自明であろう。本開示内容からは他の実施形態を利用及び獲得することができ、例えば本発明の範囲から逸脱することなく、構造的及び理論的置換と変更とを行うことができる。例えば、方法のステップを、図面に示す順序とは異なる順序で実行することができ、或いは一又は複数の方法ステップを省略することができる。したがって、本明細書及び添付図面は、制限的なものではなく、例示的なものである。

10

【 0 0 8 4 】

更に、ここでは特定の実施形態を例示して説明したが、開示した特定の実施形態を、同じ又は類似の結果を達成するために後で設計されるあらゆる構成で置き換えることができる。本明細書は、種々の実施形態に後で行われる全ての変更又は変形例を含むことを意図している。本開示内容を読めば、当業者には、上述の実施形態の組み合わせ、及び本明細書には具体的には記載していないその他の実施形態が自明であろう。

【 0 0 8 5 】

本出願の要約書は、特許請求の範囲又は意味を文字通りに解釈するものではなく、また制限するものでもない。加えて、上述の詳細な説明、種々の特徴は、本開示内容を合理化する目的で、一つにまとめる、或いは単一の実施形態として説明することができる。本開示内容は、特許請求される実施形態が、各請求項に明記されている特徴の他に更なる特徴を必要としていることを意味するものではない。そうではなく、特許請求の範囲に記載するように、特許請求の主題は、開示された任意の実施形態の全ての特徴のうちの一部を目的とするものである。

20

また、本発明は以下に記載する態様を含む。

(態 様 1)

タスクを実行する際に複数のデバイスを連係させる、コンピュータによって実行される方法であって：

デバイスにおいて、複数のデバイスのうちの一以上のデバイスのタスク状態についての票の変更を反映する、更新されたステータス情報を記憶し；

30

前記複数のデバイスのうちの一以上のデバイスへ、更新されたステータス情報を通信する第1の更新されたステータスメッセージを送信し；

前記更新されたステータス情報が複数のデバイスのうちの少なくとも所定量のデバイスがタスクステータスについて一致したことを示す時に、デバイスのタスク共有項を更新する

ことを含む方法。

(態 様 2)

更新されたステータス情報が前記複数のデバイスのうちの一つのデバイスからの第2の更新されたステータスメッセージの受信に応じて作成され、前記第2の更新されたステータスメッセージが前記複数のデバイスのうちの一以上のデバイスのタスク状態についての票が変更されたことを示す、態様1に記載のコンピュータによって実行される方法。

40

(態 様 3)

更新されたステータス情報が、デバイスのタスク状態についての票の変更に応じて作成される、態様1に記載のコンピュータによって実行される方法。

(態 様 4)

所定量のデバイスには、アクティブな前記複数のデバイス全てが含まれる、態様1に記載のコンピュータによって実行される方法。

(態 様 5)

所定量のデバイスには、前記複数のデバイスのうちの所定数のデバイスが含まれる、態様1に記載のコンピュータによって実行される方法。

50

(態 様 6)

第 1 の更新されたステータスメッセージがピアツーピア通信を介して送信される、態様 1 に記載のコンピュータによって実行される方法。

(態 様 7)

第 1 の更新されたステータスメッセージが最適な複製を使用して配分される、態様 6 に記載のコンピュータによって実行される方法。

(態 様 8)

第 1 の更新されたステータスメッセージには、第 1 の更新されたステータスメッセージと他の更新されたステータスメッセージの間の矛盾を解消する修正ベクター及び同期ベクターが含まれる、態様 7 に記載のコンピュータによって実行される方法。

10

(態 様 9)

前記複数のデバイスのうちの識別されたデバイスのタスクステータスが下記：

前記識別されたデバイスがタスクにおいて割り当てられた役割を実行する準備ができたことを示すレディステータス；

前記識別されたデバイスがタスクにおいて割り当てられた役割を実行していることを示すアクティブステータス；及び

前記識別されたデバイスがタスクにおいて割り当てられた役割の実行を完了したことを示す完了ステータス

のうちの一つを含む、態様 1 に記載のコンピュータによって実行される方法。

(態 様 1 0)

20

識別されたデバイスが：

タスク共有項が、前記複数のデバイスのうちの所定量のデバイスがレディステータスについて一致する共有項に到達したことを示す；及び

外部制御電源からの信号の受信に応答する

のいずれかの時に、アクティブステータスへ遷移する、態様 9 に記載のコンピュータによって実行される方法。

(態 様 1 1)

更新されたステータス情報が：

タスクの実行が外部制御電源によってポーズされたことを示すポーズステータス；

タスクが前記複数のデバイスのうちの一以上のデバイスによって実行可能ではなかったことを示す失敗ステータス；及び

30

タスクの実行が外部制御電源によってキャンセルされたことを示すキャンセルステータス

のうちの一つを含む、態様 1 に記載のコンピュータによって実行される方法。

(態 様 1 2)

ロボットエージェントを制御する制御システムであって：

タスクの割り当てられた役割を実行する際にロボットエージェントを制御するタスクコントローラであって、割り当てられた役割の実行を開始し、割り当てられた役割の実行の完了を伝達するタスクコントローラと、

タスクコントローラと通信するステータスマネージャであって、ロボットエージェントに記憶され下記：

40

ロボットエージェント；及び

一以上のピアロボットエージェントの各々

のタスク状態についての票を含むステータス情報を更新するステータスマネージャと、

ステータスマネージャと通信するピアツーピア通信システムであって、

一以上のピアロボットエージェントのうちの少なくとも一つから、一以上のピアロボットエージェントのうちの一つによって伝達されたピアステータス情報を含む第 1 のステータスメッセージを受信し、

ロボットエージェントに記憶されたステータス情報を含む第 2 のステータスメッセージを一以上のピアロボットエージェントに送信する、ピアツーピア通信システムと

50

を含む制御システム。

(態 様 1 3)

ステータス情報が所定量のロボットエージェントと一以上のピアロボットエージェントがタスクステータスについて一致することを示す時に、ステータスマネージャがタスク共有項を更新する、態様 1 2 に記載の制御システム。

(態 様 1 4)

ロボットエージェントのタスク状態についての票が変更された時に、ステータスマネージャがステータス情報を更新する、態様 1 2 に記載の制御システム。

(態 様 1 5)

第 1 のステータスメッセージが一以上のピアロボットエージェントのうちの少なくとも一つのタスク状態についての票が変更されたことを伝達するときに、ステータスマネージャがステータス情報を更新する、態様 1 2 に記載の制御システム。

10

(態 様 1 6)

ステータスマネージャが、第 1 のステータスメッセージに基づいてステータス情報を更新する前に、第 1 のステータスメッセージに関連するバージョン情報を解析して、第 1 のステータスメッセージがステータス情報よりもさらに最新のピアステータス情報を伝達しているか否かを判断する、態様 1 5 に記載の制御システム。

(態 様 1 7)

ステータスマネージャのステータス情報の更新に応答して、ピアツーピア通信システムが第 2 のステータスメッセージを送信する、態様 1 5 に記載の制御システム。

20

(態 様 1 8)

タスクに関連する各ローカルエージェントと一以上のピアエージェントのタスク状態についての票を示すステータス情報を記憶し、

ローカルエージェント及び一以上のピアエージェントのうちの少なくとも一つのタスク状態についての票の変更を識別し、

タスク状態についての票の変更を反映させるためにステータス情報を更新し、

更新されたステータス情報を一以上のピアエージェントのうちの一以上のエージェントに送信するためにステータスメッセージを送信し、

ステータス情報が特定量のローカルエージェント及び一以上のピアエージェントがタスクステータスについて一致することを示しているか否かに基づいてタスク共有項を判断する

30

ためにコンピュータシステムによって実行可能な命令を記憶する、コンピュータによって読み取り可能な記憶媒体。

(態 様 1 9)

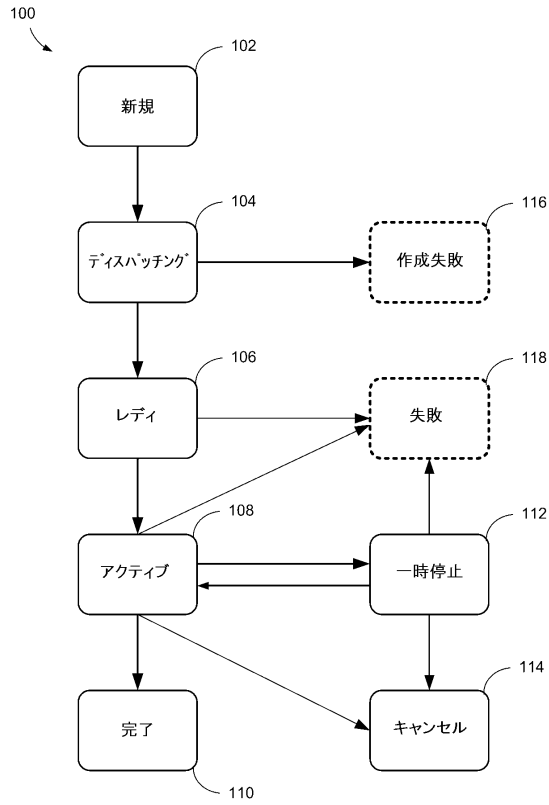
タスク共有項における変更に応答してタスクに関連する動作を実行するためにコンピュータシステムによって実行可能な命令をさらに含む、態様 1 8 に記載のコンピュータによって読み取り可能な記憶媒体。

(態 様 2 0)

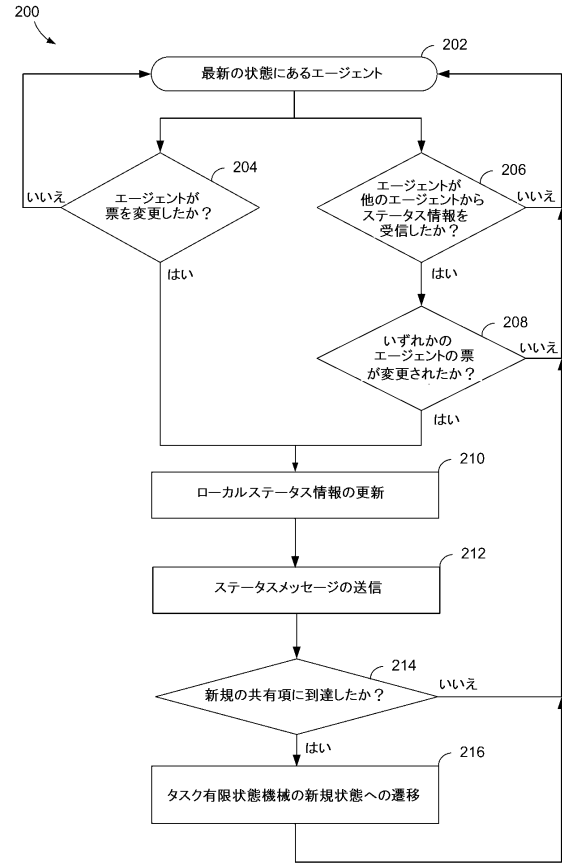
ステータスメッセージが最適な複製を使用して一以上のピアエージェントに送信される、態様 1 8 に記載のコンピュータによって読み取り可能な記憶媒体。

40

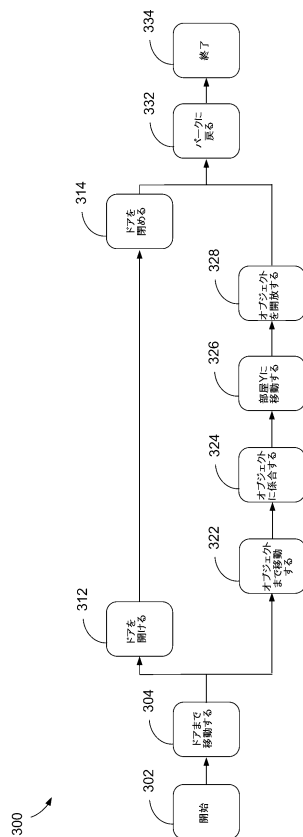
【図 1】



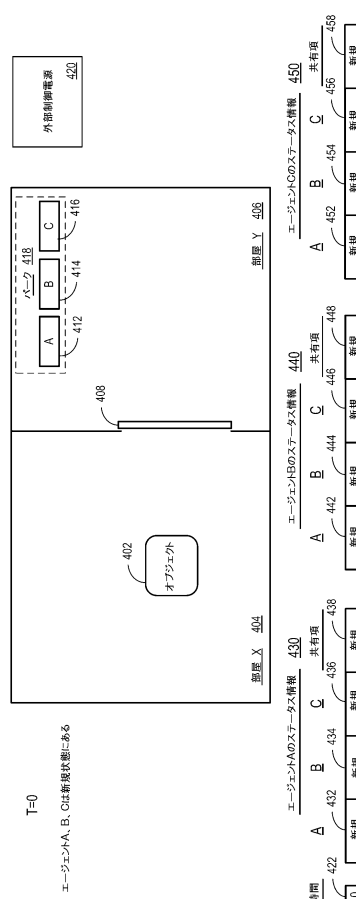
【図 2】



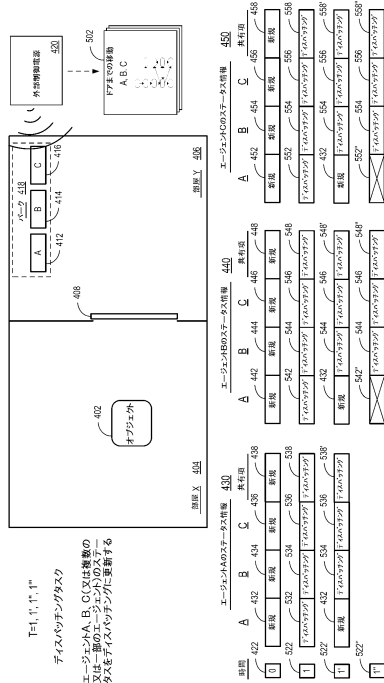
【図 3】



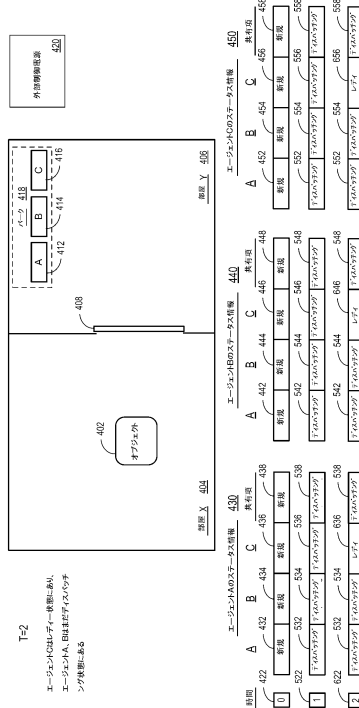
【図 4】



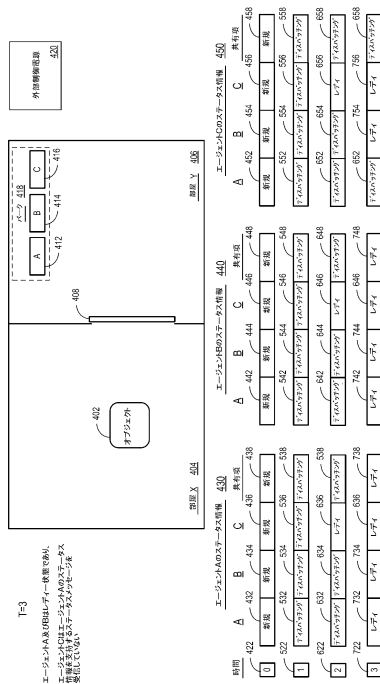
【 図 5 】



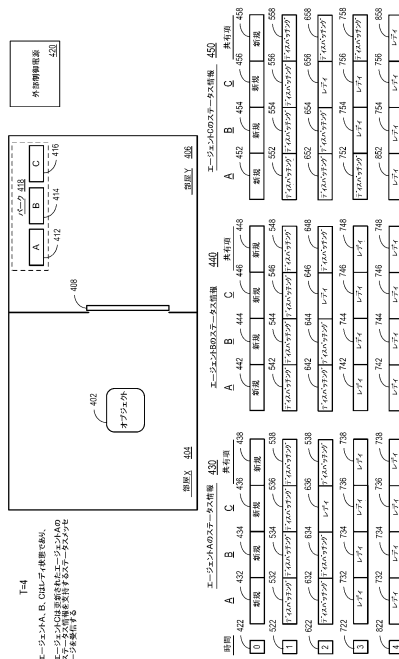
【 図 6 】



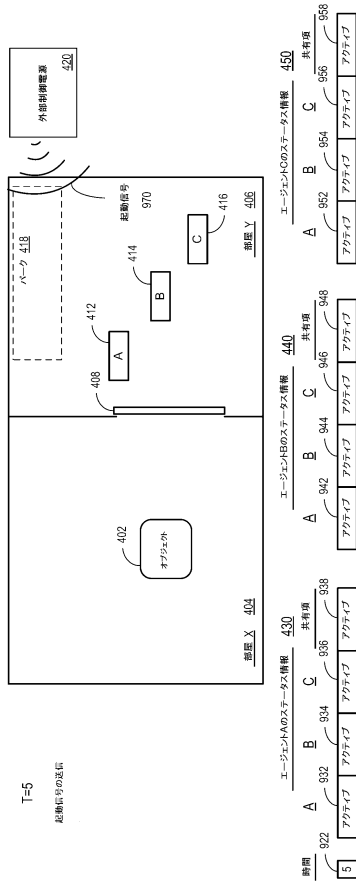
【圖 7】



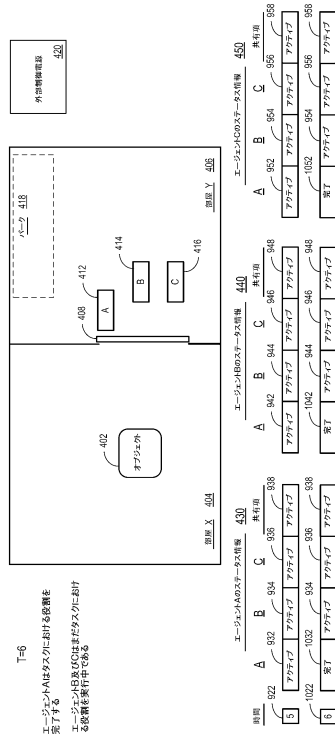
【圖 8】



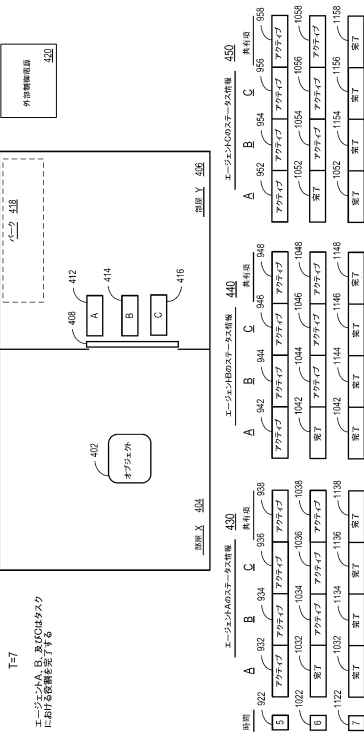
【図 9】



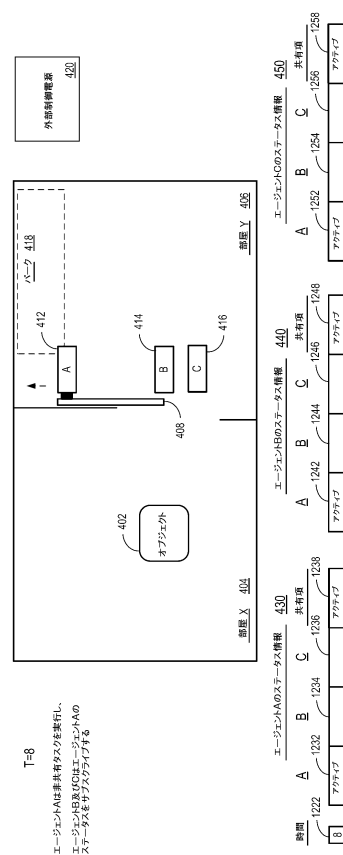
【図 10】



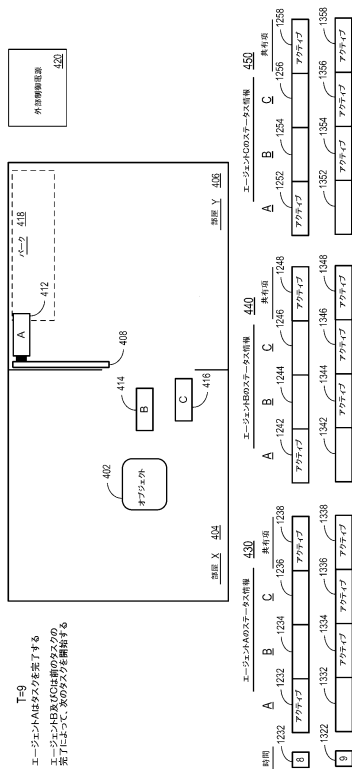
【図 11】



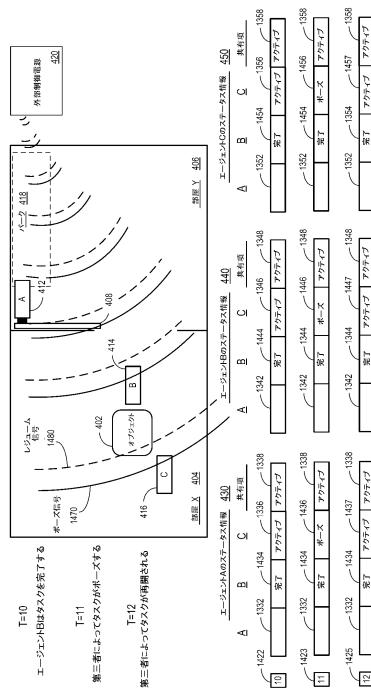
【図 12】



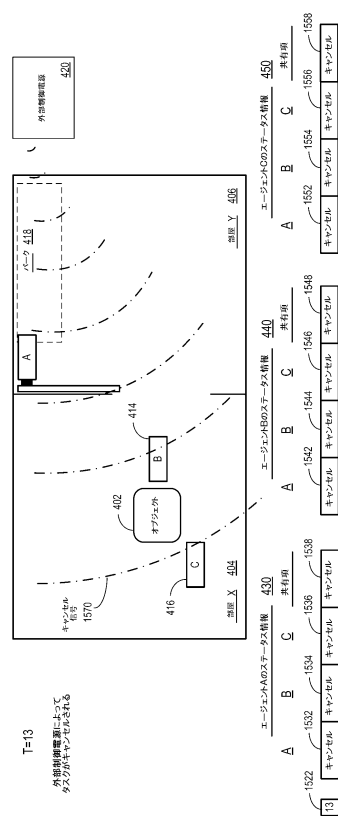
【 ㄨ 1 3 】



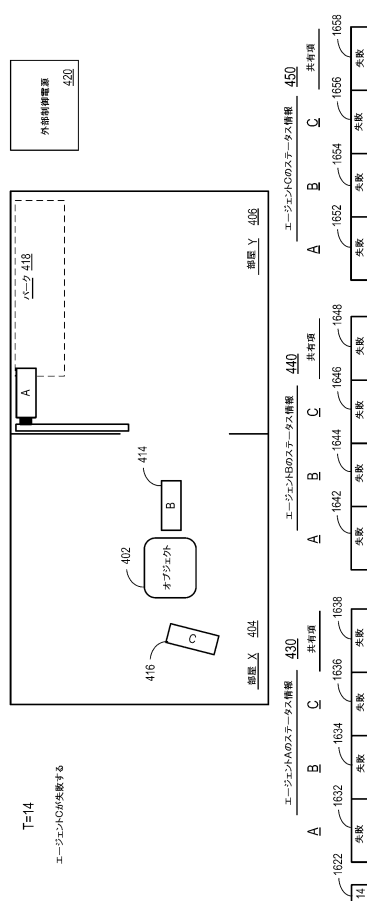
【 ㊦ 1 4 】



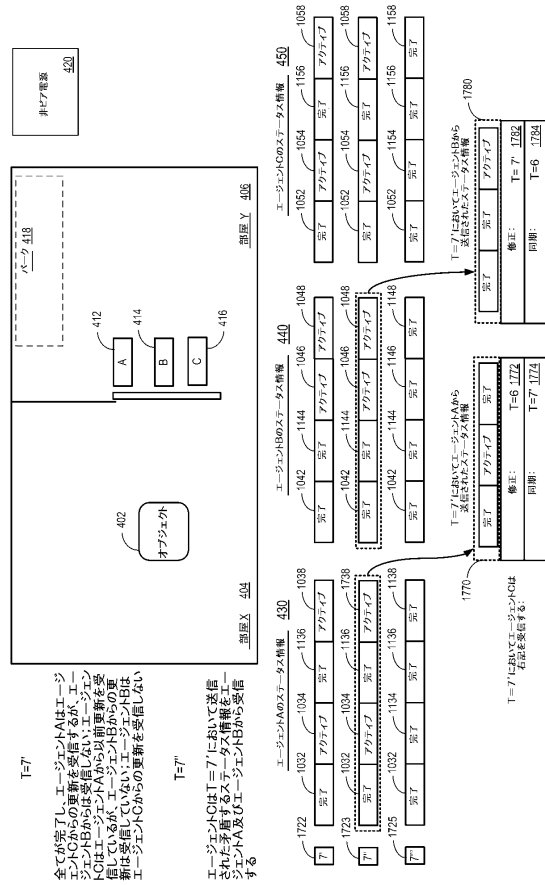
【 図 1 5 】



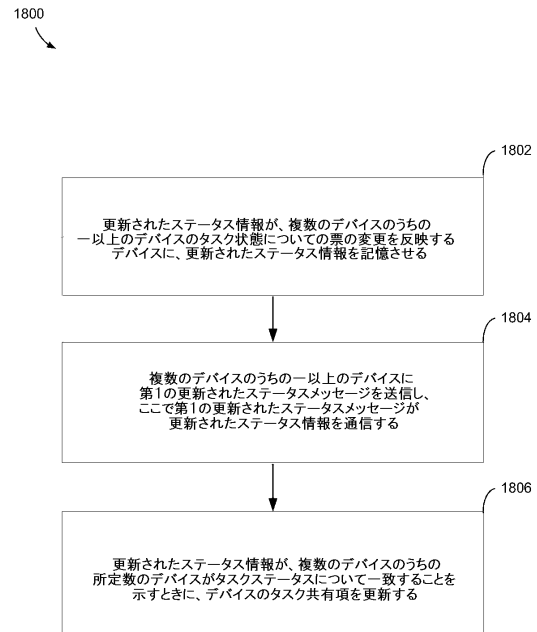
【 図 1 6 】



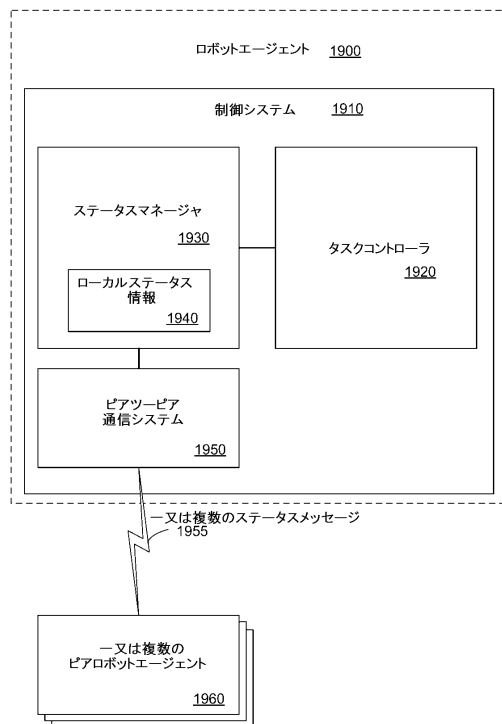
【 図 1 7 】



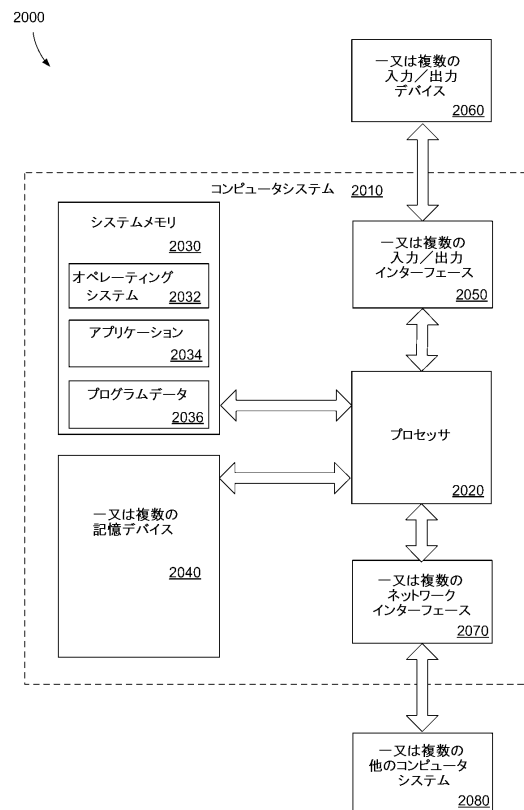
【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



フロントページの続き

合議体

審判長 高木 進

審判官 辻本 泰隆

審判官 戸島 弘詩

- (56)参考文献 特開2009-9409(JP,A)
特開2008-146149(JP,A)
特開2002-178283(JP,A)
特開平9-81525(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06F9/46-9/54