

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
10 mars 2016 (10.03.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/034447 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G06F 9/48 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/069312

(22) Date de dépôt international :
24 août 2015 (24.08.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1458293 4 septembre 2014 (04.09.2014) FR

(71) Déposant : CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES [FR/FR]; 2, Place Maurice Quentin, F-75001 Paris (FR).

(72) Inventeur : GALIZZI, Julien; 36 rue des Tuiliers, F-31450 Montgiscard (FR).

(74) Mandataires : BLOT, Philippe et al.; Lavoix, 2, place d'Estienne d'Orves, 75009 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,

AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : ONBOARD SYSTEM IMPLEMENTING CRITICAL AVIONICS FUNCTIONS

(54) Titre : SYSTÈME EMBARQUÉ METTANT EN OEUVRE DES FONCTIONS AVIONIQUES CRITIQUES

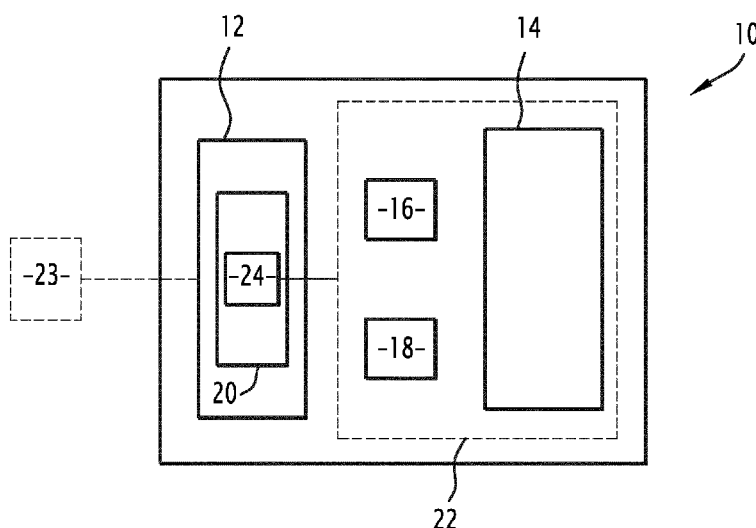


FIG.1

(57) Abstract : Onboard system implementing critical avionics functions. This onboard system (10) comprises a plurality of hardware resources (12), a plurality of software resources (14), and a scheduling module (16) making it possible to distribute the hardware resources (12) between the software resources (14). Each software resource (14) comprises a plurality of partitions able to be executed by at least one hardware resource (12) so as to implement avionics functions of a given criticality. The system furthermore comprises a piloting module (18) making it possible to control its operation according to a worst-case mode of operation in accordance with a fixed scheme for distribution of the hardware resources (12), and according to an economical mode of operation in which the scheduling module (16) is able to place at the disposal of each partition, hardware resources according to a dynamic scheme for distribution of the hardware resources (12).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



Système embarqué mettant en œuvre des fonctions avioniques critiques Ce système (10) embarqué comprend une pluralité de ressources matérielles (12), une pluralité de ressources logicielles (14), et un module (16) d'ordonnancement permettant de distribuer les ressources matérielles (12) entre les ressources logicielles (14). Chaque ressource logicielle (14) comporte une pluralité de partitions propres à être exécutées par au moins une ressource matérielle (12) pour mettre en œuvre des fonctions avioniques d'une criticité donnée. Le système comporte en outre un module (18) de pilotage permettant de commander son fonctionnement selon un mode de fonctionnement pire-cas suivant un schéma figé de distribution des ressources matérielles (12), et selon un mode de fonctionnement économique dans lequel le module d'ordonnancement (16) est apte à mettre à disposition de chaque partition, des ressources matérielles selon un schéma dynamique de distribution des ressources matérielles (12).

Systeme embarqué mettant en œuvre des fonctions avioniques critiques

La présente invention concerne un système embarqué mettant en œuvre des fonctions avioniques critiques et comprenant :

- 5 - une pluralité de ressources matérielles ;
- une pluralité de ressources logicielles associées à ces ressources matérielles ;
- un module d'ordonnancement permettant de distribuer les ressources matérielles entre les différentes ressources logicielles en mettant à disposition de chaque ressource logicielle au moins certaines des ressources matérielles ;

10 chaque ressource logicielle comportant une pluralité de partitions, chaque partition étant propre à être exécutée par au moins une ressource matérielle associée à la ressource logicielle correspondante et mises à disposition de cette partition par le module d'ordonnancement pour mettre en œuvre au moins une fonction avionique d'une criticité donnée, l'ensemble des partitions constituant un partitionnement temporel et spatial des
15 ressources logicielles ;

- un module de pilotage permettant de commander le fonctionnement du système embarqué selon un mode de fonctionnement pire-cas dans lequel le module d'ordonnancement est apte à mettre à disposition de chaque partition, des ressources matérielles selon un schéma figé de distribution des ressources matérielles.

20 Dans le domaine de systèmes embarqués, notamment pour des applications avioniques, il est connu l'utilisation du partitionnement spatial et temporel des ressources logicielles (TSP, de l'anglais *Time and Space Partitionning*). Un tel partitionnement est défini par exemple par la norme ARINC 653.

25 Dans ce cas, l'ensemble du logiciel embarqué est découpé en une pluralité de partitions étant aptes à fonctionner indépendamment l'une de l'autre au sein d'un même calculateur embarqué. Une telle technologie de partitionnement permet d'assurer l'exécution des partitions correspondant à des fonctions avioniques de niveaux de criticité différents sans avoir besoin de dégrader les niveaux de criticité d'au moins certaines de ces fonctions.

30 Afin de répondre aux critères de robustesses exigés par les normes aéronautiques ou aérospatiales, chaque partition doit pouvoir être développée et validée indépendamment des autres partitions avant que ces dernières soient finalement toutes hébergées dans le système embarqué hôte.

35 De manière générale, cette validation s'effectue séparément pour chacune des partitions sur un processeur mono-cœur ou sur un cœur d'un processeur multi-cœurs (« standalone mode »). Ceci est possible grâce à la propriété de partitionnement spatial et

temporel qui permet de garantir un fonctionnement identique d'une partition, que ses partitions voisines soient présentes ou non dans le calculateur (hors échanges fonctionnels).

La phase de conception permet aussi de déterminer un ensemble de ressources matérielles nécessaires pour exécuter une ressource logicielle donnée dans le pire-cas, c'est-à-dire dans le cas où la ressource logicielle met en œuvre la totalité des fonctions avioniques associées à cette partition.

Un tel ensemble est ensuite mémorisé par le module d'ordonnancement et lors du fonctionnement du système embarqué, il est systématiquement mis à disposition de la ressource logicielle correspondante, garantissant ainsi que chaque partition disposera toujours des ressources matérielles nécessaires et suffisantes à son bon fonctionnement, et ce même dans les pires cas.

Outre le fait de répondre aux exigences des normes aéronautiques ou aérospatiales, les systèmes embarqués doivent suivre la conception générale de diminution des poids ainsi que des coûts de leur exploitation.

Ces problèmes sont souvent liés à une consommation énergétique importante de tels systèmes embarqués.

La présente invention a pour but de proposer un système embarqué relativement peu onéreux en consommation énergétique.

À cet effet, l'invention a pour objet un système embarqué du type précité, dans lequel le module de pilotage permet en outre de commander le fonctionnement du système embarqué selon un mode de fonctionnement économique dans lequel le module d'ordonnancement est apte à mettre à disposition de chaque partition, des ressources matérielles selon un schéma dynamique de distribution des ressources matérielles, le module d'ordonnancement comportant des moyens d'analyse permettant de déterminer le schéma dynamique en temps réel.

Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le système embarqué selon l'invention comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- le schéma figé de distribution des ressources matérielles est déterminé lors d'une phase de conception du système ;

- dans le mode de fonctionnement économique, le module d'ordonnancement est apte à gérer dynamiquement le nombre de partitions exécutées simultanément par une ou plusieurs ressources matérielles en effectuant un ordonnancement temporel d'au moins certaines de ces partitions ;

- les ressources matérielles comprennent au moins un ordinateur embarqué comportant une pluralité de processeurs, chaque processeur étant apte à exécuter une ou plusieurs partitions d'une ou des plusieurs ressources logicielles avec une fréquence d'horloge opérationnelle ;

5 - dans le mode de fonctionnement économique, le module d'ordonnancement est apte à déterminer le nombre de processeurs mis à disposition de chacune des partitions ;

- dans le mode de fonctionnement économique, le module d'ordonnancement est apte à déterminer la fréquence d'horloge opérationnelle de chacun des processeurs mis à disposition de chacune des partitions ;

10 - les ressources matérielles comprennent au moins un ordinateur embarqué comportant au moins un processeur multi-cœurs, chaque cœur étant apte à exécuter une ou plusieurs partitions d'une ou des plusieurs ressources logicielles avec une fréquence d'horloge opérationnelle ;

15 - dans le mode de fonctionnement économique, le module d'ordonnancement est apte à déterminer le nombre de cœurs de l'au moins un processeur multi-cœurs, mis à disposition de chacune des partitions ;

- dans le mode de fonctionnement économique, le module d'ordonnancement est apte à déterminer la fréquence d'horloge opérationnelle de chacune des cœurs de l'au moins un processeur multi-cœurs, mis à disposition de chacune des partitions ;

20 - les ressources matérielles comprennent au moins un ordinateur embarqué comportant au moins un processeur mono-cœur apte à exécuter une ou plusieurs partitions d'une ou des plusieurs ressources logicielles avec une fréquence d'horloge opérationnelle ;

25 - le module d'ordonnancement est apte à déterminer la fréquence d'horloge opérationnelle du processeur mono-cœur mis à disposition de chacune des partitions ; et

- le module d'ordonnancement et le module de pilotage sont réalisés sous la forme d'un logiciel.

30 Ces caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'un système embarqué selon l'invention, comportant des ressources matérielles et des ressources logicielles ;

- les figures 2 à 5 sont de différents schémas de distribution des ressources matérielles entre les ressources logicielles de la figure 1.

35 Dans le sens de la présente description, une fonction avionique est une tâche permettant de piloter au moins en partie un aéronef ou astronef.

Le système embarqué 10 illustré sur la figure 1 comprend une pluralité de ressources matérielles 12, une pluralité de ressources logicielles 14, un module 16 d'ordonnancement et un module 18 de pilotage.

Le système 10 est embarqué à bord d'un aéronef et d'un astronef et permet de mettre en œuvre des fonctions avioniques critiques liées par exemple au pilotage de cet aéronef ou astronef.

En variante, le système embarqué 10 est embarqué à bord de tout autre type de véhicule comme par exemple une automobile. Dans ce dernier cas, le système embarqué 10 permet de mettre en œuvre des fonctions de pilotage de ce véhicule, et notamment des fonctions de pilotage critiques.

Avantageusement, le système 10 est embarqué au bord d'un satellite.

Chaque fonction avionique mise en œuvre par le système 10 répond à un certain niveau de criticité. Ce niveau de criticité est par exemple imposé par des normes aéronautiques ou aérospatiales.

Un exemple d'un tel système embarqué est un système de communication du satellite avec la Terre, ou encore un système de pilotage automatique d'un avion civil.

Le fonctionnement du système embarqué 10 comprend une phase de conception et une phase d'exploitation.

La phase de conception comprend la validation de l'ensemble des ressources matérielles 12 et logicielles 14 du système conformément par exemple à l'une ou plusieurs normes aéronautiques ou aérospatiales. Autrement dit, cette phase correspond à la certification du système 10 ou au moins de certains de ses composants.

La phase d'exploitation suivant la phase de conception, comprend toute exploitation du système 10 à des fins de mise en œuvre d'une ou de plusieurs fonctions avioniques.

Les ressources matérielles 12 comprennent un calculateur embarqué 20 et une unité 22 de stockage reliée au calculateur 20 et apte à stocker par exemple les ressources logicielles 14.

Le calculateur 20 est relié à une source d'alimentation 23 et comporte un processeur multi-cœurs 24 formé par exemple de deux cœurs C_i . Chacun de ces cœurs C_i est apte à fonctionner à une fréquence d'horloge opérationnelle $F_{op\ i}$. Cette fréquence d'horloge opérationnelle $F_{op\ i}$ est avantageusement inférieure ou égale à une fréquence d'horloge maximale $F_{max\ i}$ prédéterminée et correspondant à une fréquence maximale avec laquelle le cœur C_i correspondant est apte à fonctionner. La fréquence d'horloge maximale $F_{max\ i}$ est égale par exemple à 80 MHz.

Chaque ressource logicielle 14 comporte une pluralité de partitions P_j , l'ensemble des partitions P_j implémentant un partitionnement temporel et spatial de la ressource logicielle 14 correspondante.

Chaque partition P_j est une partie indépendante de la ressource logicielle 14 correspondante pour mettre en œuvre au moins une fonction avionique d'une criticité donnée en utilisant au moins certaines des ressources matérielles, et notamment une ou plusieurs cœurs C_i du calculateur embarqué 20. L'ensemble des partitions P_j permet ainsi la coexistence des fonctions avioniques de niveaux de criticité différents au sein du même calculateur 20.

Le partitionnement temporel et spatial de chaque ressource logicielle 14 assure ainsi l'exécution de plusieurs partitions P_j associées à des fonctions avioniques de niveaux de criticité différents au sein du même calculateur 20, ou plus globalement au sein d'une même plateforme avionique.

Le module d'ordonnancement 16 permet de distribuer les ressources matérielles entre les différentes ressources logicielles 14 et notamment, entre les différentes partitions P_j de ces ressources logicielles 14. Plus particulièrement, le module d'ordonnancement 16 permet d'allouer le temps d'un ou plusieurs cœurs C_i à l'exécution de différentes partitions P_j de manière séquentielle et selon des besoins de ces partitions P_j , comme ceci sera expliqué par la suite.

Le module d'ordonnancement 16 est réalisé par exemple sous la forme d'un logiciel stocké dans l'unité de stockage 22.

Selon l'invention, le module de pilotage 18 permet de déterminer le mode de fonctionnement du système embarqué 10 parmi un mode de fonctionnement pire-cas FP correspondant au mode de fonctionnement habituel des systèmes embarqués de l'état de la technique, et un mode de fonctionnement économique FE permettant de réduire la consommation électrique du système 10.

Le choix entre les deux modes de fonctionnement du système 10 est effectué par le module de pilotage 18 en analysant par exemple des événements internes ou externes du système 10.

Une telle analyse consiste par exemple à déterminer la proportion du nombre de fonctions avioniques mises en œuvre par le système 10 en temps réel au nombre total de fonctions avioniques que le système 10 est apte à mettre en œuvre. Ainsi, le module de pilotage 18 est apte à comparer cette proportion avec un seuil de déclenchement prédéterminé.

En variante, le module de pilotage 18 est apte à recevoir de l'extérieur une information relative à un évènement déclencheur pour faire basculer le système de l'un des modes de fonctionnement à l'autre.

Le module de pilotage 18 est réalisé par exemple sous la forme d'un logiciel stocké dans l'unité de stockage 22.

Dans le mode de fonctionnement pire-cas FP, le module d'ordonnancement est apte à mettre à disposition de chaque partition P_j , des ressources matérielles 12 selon un schéma figé SF de distribution des ressources matérielles.

Ce schéma figé SF est déterminé lors de la phase de conception du système 10 et reste sensiblement inchangé lors de la phase d'exploitation du système.

Ce schéma figé SF permet à chacune des ressources logicielles 14 de fonctionner dans le « pire-cas », c'est-à-dire dans le cas quand l'exécution de l'ensemble des partitions P_j correspondant à cette ressource logicielle 14 est requise.

En particulier, le schéma figé SF comprend pour chaque ressource logicielle 14, une liste L des partitions P_j associées à cette ressource logicielle 14. Cette liste L comprend une sous-liste LQ correspondant à l'ordre d'exécution de ces partitions P_j et une sous-liste LM de ressources matérielles exigées par chacune des partitions P_j afin de mettre en œuvre la ou les fonctions avioniques correspondant à ces partitions P_j .

La sous-liste LM de ressources matérielles exigées par une partition P_j donnée, comprend par exemple le nombre des cœurs C_i ou la fréquence d'horloge opérationnelle F_{opi} exigés par la partition P_j , ou encore toute autre information relative à l'usage des ressources matérielles 12 par la partition P_j lorsque la ressource logicielle 14 correspondant à cette partition P_j . Dans ce cas de fonctionnement, la fréquence d'horloge opérationnelle F_{opi} exigée est avantageusement égale à la fréquence maximale $F_{max i}$ du cœur C_i correspondant.

La liste LM et chacune des sous-listes LQ et LM précitées sont par exemple établies lors de la validation de chaque partition P_j indépendamment des autres partitions P_j selon des techniques connues en soi. Lors de cette validation, la partition P_j est exécutée par exemple dans le mode « mono-cœur », autrement dit, par un seul cœur C_i .

Dans le mode de fonctionnement économique FE, le module d'ordonnancement est apte à mettre à disposition de chaque partition P_j , des ressources matérielles 12 selon un schéma dynamique SD de distribution des ressources matérielles afin de diminuer la consommation électrique d'au moins certaines des ressources matérielles 12 et notamment du calculateur 20.

Pour ce faire, le module d'ordonnancement 16 comporte des moyens d'analyse permettant de déterminer le schéma dynamique SD en temps réel lors de la phase d'exploitation du système 10 en fonction des règles prédéterminées.

Ces règles permettent notamment de gérer l'exécution des partitions P_j correspondant à une même ressource logicielle 14 et la distribution des ressources matérielles 12 entre ces partitions en fonction de besoins réels du système 10.

Ainsi, par exemple, une de ces règles consiste à commander l'exécution uniquement des partitions P_j correspondant à des fonctions avioniques nécessaires en temps réel par le système 10. Ceci permet par exemple d'exclure l'exécution des partitions P_j se trouvant en veille.

Une autre règle consiste à ordonnancer des partitions P_j correspondant à une même ressource avionique 14 de façon à réduire le nombre des cœurs exigés simultanément par cette ressource logicielle 14. Autrement dit, cette règle permet de « déparalléliser » l'exécution de certaines partitions P_j .

Encore une règle consiste à réduire la fréquence opérationnelle $F_{op\ i}$ de chacune des cœurs C_i utilisés par les partitions P_j .

Dans tous ces cas, le module d'ordonnancement 16 est apte à adapter le schéma dynamique SD au contexte du nombre de cœurs C_i actifs et de leur fréquence opérationnelle $F_{op\ i}$, le nombre de cœurs C_i actifs simultanément influant sur les performances des partitions P_j , de même que leur fréquence opérationnelle $F_{op\ i}$.

Le fonctionnement du système embarqué 10 va désormais être expliqué en référence aux figures 2 à 5 sur lesquelles différents schémas de distribution des ressources matérielles entre les partitions P_1 à P_6 correspondant à une même ressource logicielle 14, sont illustrés.

Lors de la phase de conception du système 10, chacune des partitions P_j est validée indépendamment des autres sur un cœur C_i . Lors de la même étape, un schéma figé SF de distribution des ressources matérielles entre ces partitions P_j est établi.

Ainsi, la figure 2 montre le temps d'exécution de la partition P_1 sur le cœur C_2 fonctionnant à sa fréquence d'horloge opérationnelle $F_{op\ 2}$ égale à la fréquence d'horloge maximale $F_{max\ 2}$, ce temps étant déterminé lors de la phase de validation de cette partition.

Lors de la phase d'exploitation du système 10 dans son mode de fonctionnement pire-cas, l'ensemble des partitions P_1 à P_6 est exécutée selon le schéma figé SF.

Ainsi, dans l'exemple illustré sur la figure 3, les partitions P_1 , P_2 , P_6 , P_1 et P_2 sont exécutées de manière consécutive sur le cœur C_2 fonctionnant à sa fréquence d'horloge opérationnelle $F_{op\ 2}$ égale à la fréquence d'horloge maximale $F_{max\ 2}$, et les partitions P_3 , P_4 ,

P_3 et P_5 sont exécutées de manière consécutive sur le cœur C_1 fonctionnant à sa fréquence d'horloge opérationnelle $F_{op\ 1}$ égale à la fréquence d'horloge maximale $F_{max\ 1}$.

Lorsque le module de pilotage 18 détecte que la proportion des fonctions avioniques utilisés dévient inférieure au seuil de déclenchement, il bascule du mode de fonctionnement pire-cas au mode de fonctionnement économique.

Dans ce mode de fonctionnement, le module d'ordonnancement utilise un schéma dynamique SD de distribution de ressources matérielles 12 selon l'une des règles décrites précédemment.

Ainsi, dans l'exemple illustré sur la figure 4, seules les partitions P_1 , P_2 , P_4 , P_5 , P_1 , P_2 et P_4 sont exécutées de manière consécutive sur le cœur C_2 fonctionnant à sa fréquence d'horloge opérationnelle $F_{op\ 2}$ égale à la fréquence d'horloge maximale $F_{max\ 2}$. Il est à noter que dans cette figure, les partitions P_3 et P_6 sont considérées comme étant en veille.

Dans l'exemple illustré sur la figure 5, seules les partitions P_1 , P_4 et P_1 sont exécutées de manière consécutive sur le cœur C_2 fonctionnant à sa fréquence d'horloge opérationnelle $F_{op\ 2}$ réduite par rapport à la fréquence d'horloge maximale $F_{max\ 2}$ et égale à $F_{max\ 2}/2$. Il est à noter que le temps d'exécution de chacune des partitions P_1 et P_4 s'allonge de deux fois par rapport à celui dans l'exemple illustré sur la figure 4.

Lorsque le module de pilotage 18 détecte que la proportion des fonctions avioniques utilisés dévient supérieur au seuil de déclenchement, il bascule du mode de fonctionnement économique au mode de fonctionnement pire-cas.

D'autres modes de réalisation de l'invention sont également possibles. Ainsi, selon un mode de réalisation, le schéma figé SF de distribution de ressources matérielles 12 est déterminé dynamiquement et correspond à un schéma dynamique SD pire-cas selon lequel l'ensemble des fonctions avioniques est sollicité.

On conçoit alors que la présente invention comporte un certain nombre d'avantages.

Le système embarqué 10 selon l'invention permet de gérer efficacement la consommation électrique de ses ressources matérielles 12 en appliquant un schéma dynamique de distribution de ressources matérielles 12 entre les différentes partitions P_j en temps réel.

Ceci est particulièrement avantageux lorsque certaines de ces partitions P_j sont dans le mode veille et n'ont pas besoin d'au moins certaines des ressources matérielles 12 pour être exécutées.

De plus, comme chacune des partitions P_j est validée indépendamment des autres, le changement du schéma de distribution des ressources matérielles 12 entre les

différentes partitions P_j n'a pas d'influence sur la validation des ressources logicielles 14 correspondantes. Ainsi, l'utilisation des ressources logicielles 14 est adaptée à des schémas de distribution différents sans avoir nécessité de revalider ces ressources logicielles.

5 Le point majeur ici consiste dans la propriété du calculateur à garantir que la validation d'une partition P_j en mode « fonctionnement isolé » (« standalone » en anglais) à une fréquence donnée reste valide si le nombre de cœurs C_i actifs augmente ou si la fréquence change, moyennant la prise en compte adéquate dans le schéma dynamique SD.

10 Finalement, chacun du module d'ordonnancement et du module de pilotage est réalisé sous la forme d'un logiciel ce qui diminue considérablement les coûts liés à l'intégration de tels modules dans des systèmes embarqués déjà existants.

 Selon une autre variante de réalisation, le calculateur 20 comporte un ou plusieurs processeurs mono-cœurs apte à fonctionner chacun à une fréquence d'horloge opérationnelle $F_{op\ i}$ inférieure ou égale à une fréquence d'horloge maximale $F_{max\ i}$ prédéterminée.

 Dans ce cas, lorsque le système embarqué 10 fonctionne dans le mode de fonctionnement économique FE, les règles de détermination du schéma dynamique SD consistent par exemple à réduire le nombre de processeurs mono-cœurs exigés
20 simultanément par une ressource logicielle 14. Encore un autre type de règles consiste par exemple à réduire la fréquence d'horloge opérationnelle $F_{op\ i}$ du ou de chaque processeur mono-cœur utilisé par les partitions P_j .

 Bien entendu, d'autres variantes et exemples de réalisation sont également possibles.

REVENDICATIONS

1.- Système (10) embarqué mettant en œuvre des fonctions avioniques critiques et comprenant :

- 5 - une pluralité de ressources matérielles (12) ;
 - une pluralité de ressources logicielles (14) associées à ces ressources matérielles (12) ;

 - un module (16) d'ordonnancement permettant de distribuer les ressources matérielles (12) entre les différentes ressources logicielles (14) en mettant à disposition
10 de chaque ressource logicielle (14) au moins certaines des ressources matérielles (12) ;

 chaque ressource logicielle (14) comportant une pluralité de partitions (P_j), chaque partition (P_j) étant propre à être exécutée par au moins une ressource matérielle (12) associée à la ressource logicielle (14) correspondante et mises à disposition de cette partition (P_j) par le module d'ordonnancement (16) pour mettre en œuvre au moins une
15 fonction avionique d'une criticité donnée, l'ensemble des partitions (P_j) constituant un partitionnement temporel et spatial des ressources logicielles (14) ;

 - un module (18) de pilotage permettant de commander le fonctionnement du système embarqué (10) selon un mode de fonctionnement pire-cas (FN) dans lequel le module d'ordonnancement (16) est apte à mettre à disposition de chaque partition (P_j),
20 des ressources matérielles (12) selon un schéma figé (SF) de distribution des ressources matérielles (12) ;

 caractérisé en ce que le module de pilotage (18) permet en outre de commander le fonctionnement du système embarqué (10) selon un mode de fonctionnement économique (FE) dans lequel le module d'ordonnancement (16) est apte à mettre à
25 disposition de chaque partition (P_j), des ressources matérielles selon un schéma dynamique (SD) de distribution des ressources matérielles (12), le module d'ordonnancement (16) comportant des moyens d'analyse permettant de déterminer le schéma dynamique (SD) en temps réel.

30 2.- Système (10) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le schéma figé (SF) de distribution des ressources matérielles est déterminé lors d'une phase de conception du système (10) et reste sensiblement inchangé lors d'une phase d'exploitation du système (10).

35 3.- Système (10) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que dans le mode de fonctionnement économique (FE), le module d'ordonnancement (16) est apte à

gérer dynamiquement le nombre de partions (P_j) exécutées simultanément par une ou plusieurs ressources matérielles (12) en effectuant un ordonnancement temporel d'au moins certaines de ces partitions (P_j).

5 4.- Système (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les ressources matérielles (12) comprennent au moins un ordinateur (20) embarqué comportant une pluralité de processeurs, chaque processeur étant apte à exécuter une ou plusieurs partitions (P_j) d'une ou des plusieurs ressources logicielles (14) avec une fréquence d'horloge opérationnelle ($F_{op\ i}$).

10

5.- Système (10) selon la revendication 4, caractérisé en ce que dans le mode de fonctionnement économique (FE), le module d'ordonnancement (16) est apte à déterminer le nombre de processeurs mis à disposition de chacune des partitions (P_j).

15

6.- Système (10) selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que dans le mode de fonctionnement économique (FE), le module d'ordonnancement (16) est apte à déterminer la fréquence d'horloge opérationnelle ($F_{op\ i}$) de chacun des processeurs mis à disposition de chacune des partitions (P_j).

20

7.- Système (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les ressources matérielles (12) comprennent au moins un ordinateur (20) embarqué comportant au moins un processeur multi-cœurs (24), chaque cœur (C_i) étant apte à exécuter une ou plusieurs partitions (P_j) d'une ou des plusieurs ressources logicielles (14) avec une fréquence d'horloge opérationnelle ($F_{op\ i}$).

25

8.- Système (10) selon la revendication 7, caractérisé en ce que dans le mode de fonctionnement économique (FE), le module d'ordonnancement (16) est apte à déterminer le nombre de cœurs (C_i) de l'au moins un processeur multi-cœurs (24), mis à disposition de chacune des partitions (P_j).

30

9.- Système (10) selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que dans le mode de fonctionnement économique (FE), le module d'ordonnancement (16) est apte à déterminer la fréquence d'horloge opérationnelle ($F_{op\ i}$) de chacune des cœurs (C_i) de l'au moins un processeur multi-cœurs (24), mis à disposition de chacune des partitions (P_j).

35

12

10.- Système (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé :

- en ce que les ressources matérielles (12) comprennent au moins un calculateur (20) embarqué comportant au moins un processeur mono-cœur apte à exécuter une ou plusieurs partitions (P_j) d'une ou des plusieurs ressources logicielles (14) avec une fréquence d'horloge opérationnelle (F_{opi}) ; et

- en ce que le module d'ordonnancement (16) est apte à déterminer la fréquence d'horloge opérationnelle (F_{opi}) du processeur mono-cœur mis à disposition de chacune des partitions (P_j).

11.- Système (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le module d'ordonnancement (16) et le module de pilotage (18) sont réalisés sous la forme d'un logiciel.

1/2

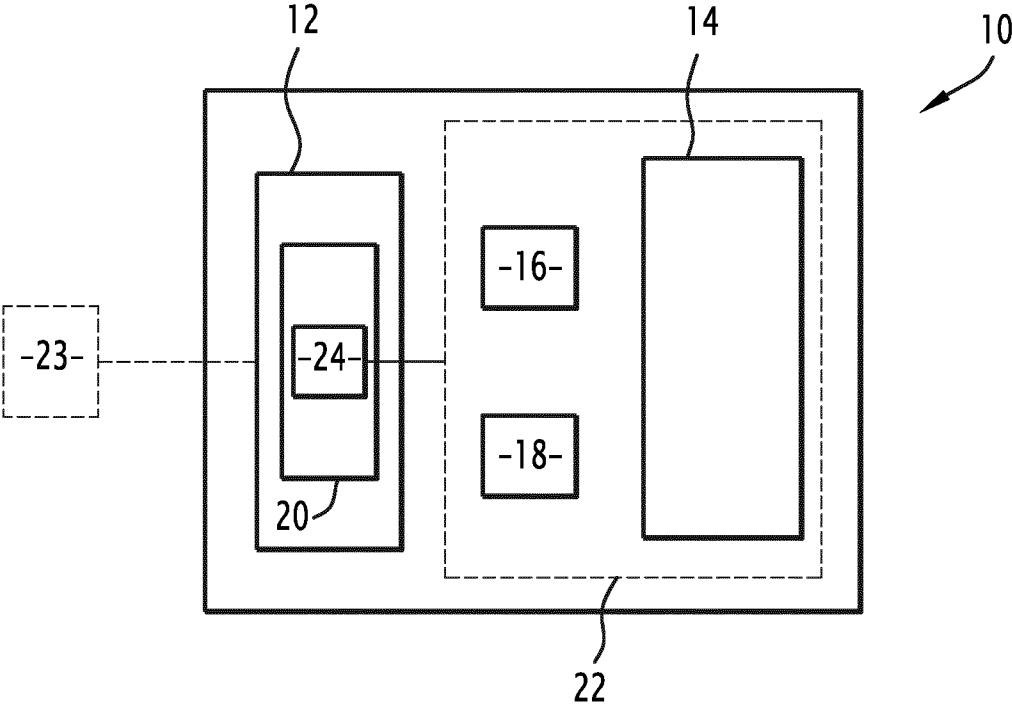


FIG.1

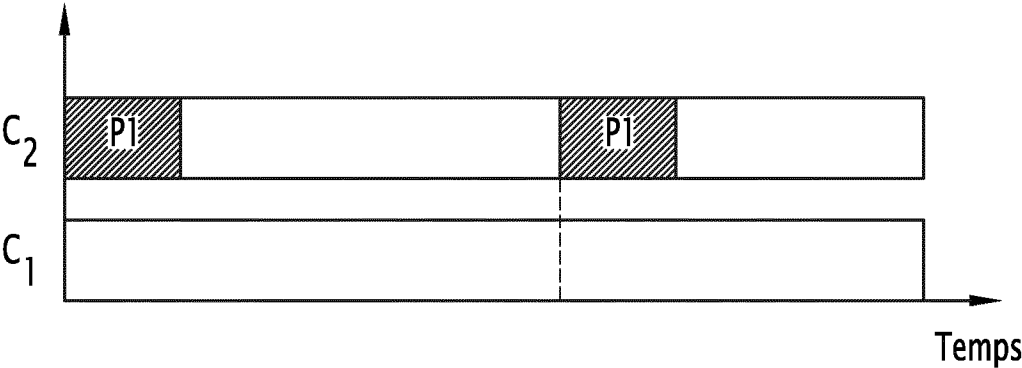


FIG.2

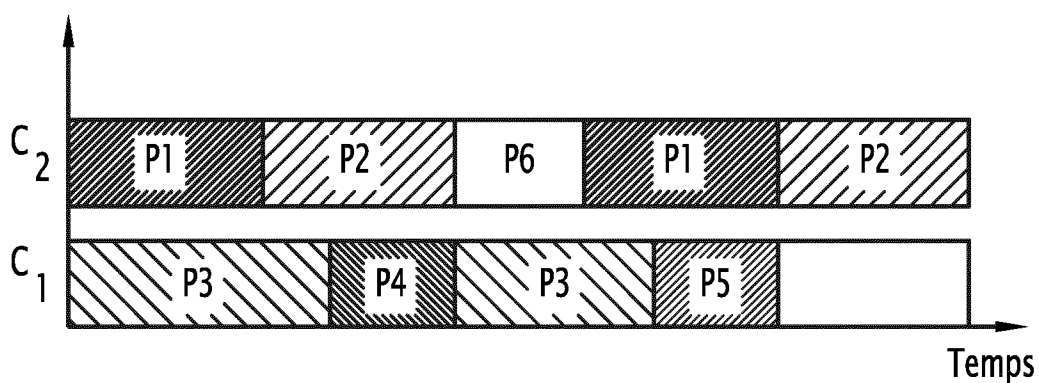


FIG.3

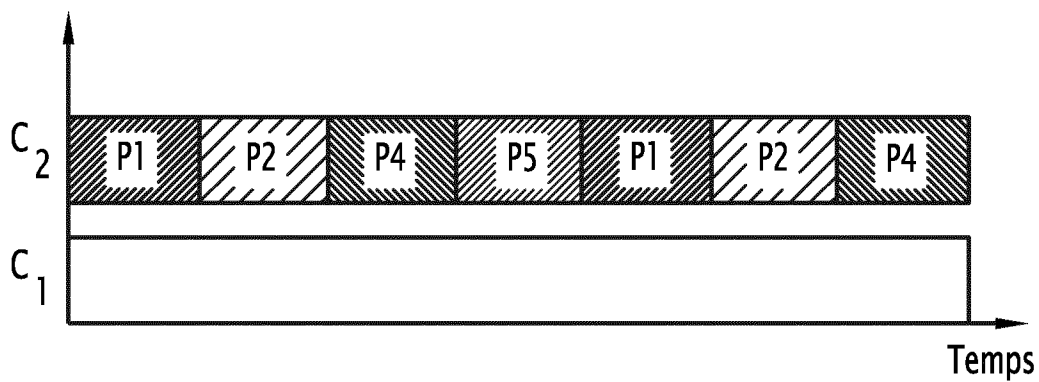


FIG.4

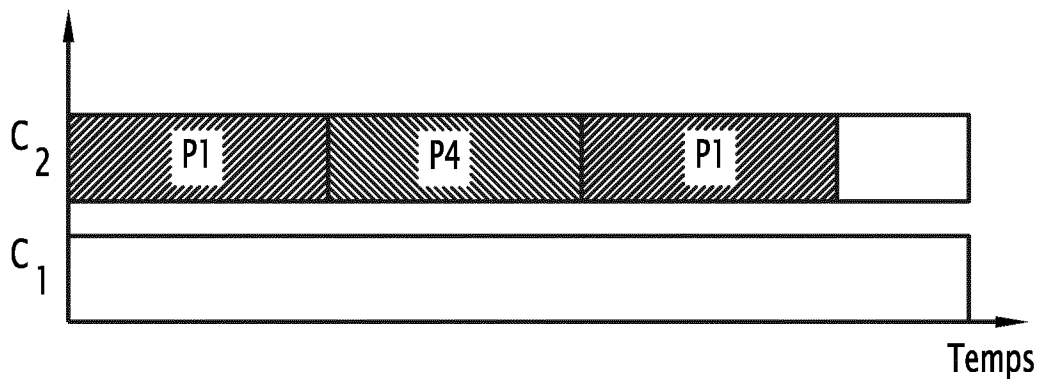


FIG.5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/069312

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G06F9/48
ADD.

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)
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 practicable, 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.
X	Mathieu Patte ET AL: "SYSTEM IMPACT OF DISTRIBUTED MULTICORE SYSTEMS", 14 May 2012 (2012-05-14), pages 1-7, XP055200475, Dubrovnik, Croatia Retrieved from the Internet: URL: http://microelectronics.esa.int/ngmp/SIDMS_DASIA_2012.pdf [retrieved on 2015-07-06] abstract; figures 1, 2 page 3, left-hand column, line 30 - page 5, right-hand column, line 27 ----- -/-	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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 application or patent 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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 December 2015

Date of mailing of the international search report

17/12/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Michel, Thierry

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/069312

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	J Sánchez ET AL: "Use of XtratuM in an Automotive Application", 1 January 2012 (2012-01-01), pages 1-4, XP055200476, Retrieved from the Internet: URL:http://www.ctr.unican.es/jtr12/articulos/14-j-sanchez.pdf [retrieved on 2015-07-06] page 1, left-hand column, line 1 - page 3, right-hand column, line 29 -----	1-11
A	Andrea Bastoni ET AL: "9th annual workshop on Operating Systems Platforms for Embedded Real-Time Applications Editors: Contents", 25th Euromicro Conference on Real-Time Systems Paris, 9 July 2013 (2013-07-09), pages 1-60, XP055200474, Retrieved from the Internet: URL:http://ertl.jp/~shinpei/conf/ospert13/OSPRT13_proceedings_web.pdf#page=31 [retrieved on 2015-07-06] page 32, right-hand column, line 11 - line 30 page 34, right-hand column, line 30 - line 34 -----	1,6,9-11

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2015/069312

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G06F9/48 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G06F		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	Mathieu Patte ET AL: "SYSTEM IMPACT OF DISTRIBUTED MULTICORE SYSTEMS", 14 mai 2012 (2012-05-14), pages 1-7, XP055200475, Dubrovnik, Croatia Extrait de l'Internet: URL:http://microelectronics.esa.int/ngmp/SIDMS_DASIA_2012.pdf [extrait le 2015-07-06] abrégé; figures 1, 2 page 3, colonne de gauche, ligne 30 - page 5, colonne de droite, ligne 27 ----- -/--	1-11
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☐ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 9 décembre 2015		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 17/12/2015
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Michel, Thierry

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	J Sánchez ET AL: "Use of XtratuM in an Automotive Application", 1 janvier 2012 (2012-01-01), pages 1-4, XP055200476, Extrait de l'Internet: URL:http://www.ctr.unican.es/jtr12/articulos/14-j-sanchez.pdf [extrait le 2015-07-06] page 1, colonne de gauche, ligne 1 - page 3, colonne de droite, ligne 29 -----	1-11
A	Andrea Bastoni ET AL: "9th annual workshop on Operating Systems Platforms for Embedded Real-Time Applications Editors: Contents", 25th Euromicro Conference on Real-Time Systems Paris, 9 juillet 2013 (2013-07-09), pages 1-60, XP055200474, Extrait de l'Internet: URL:http://ertl.jp/~shinpei/conf/ospert13/OSPert13_proceedings_web.pdf#page=31 [extrait le 2015-07-06] page 32, colonne de droite, ligne 11 - ligne 30 page 34, colonne de droite, ligne 30 - ligne 34 -----	1,6,9-11