

## APPROCHE DE CONCEPTION D'UNE ARCHITECTURE MULTIPROCESSEUR RECONFIGURABLE

**Kaïs LOUKIL**

**Kais\_loukil@ieee.org**

**Ecole Nationale d'Ingénieur de Sfax,**

Actuellement on assiste à une large diffusion des produits électroniques embarqués chez une large gamme d'utilisateurs. Ces systèmes permettent d'exécuter divers types d'applications de plus en plus complexes. Par conséquent, l'architecture multiprocesseur est l'une des solutions pour répondre aux exigences des nouvelles applications. Nous proposons dans ce papier une approche de conception de système d'exploitation temps réel pour les architectures multiprocesseur. Il s'agit d'une couche générique de communications inter-processeur qui permet d'adapter les systèmes d'exploitation monoprocesseur aux architectures multiprocesseur. Nous présentons également les étapes qui ont conduit à la mise en place d'une plateforme de prototypage multiprocesseur reconfigurable. Cette couche a été validée à travers l'application de synthèse d'images 3D.

### **Mots clefs**

MPSoC, RTOS, couche de communication inter-processeur.

### **1 INTRODUCTION**

Avec le progrès de la capacité d'intégration de centaines de millions de transistors sur une seule puce et l'avancement au niveau de la conception des coeurs de processeurs embarqués. Les nouvelles technologies s'orientent vers l'intégration sur une même puce de plusieurs processeurs, DSP, IP matériels et logiciels, mémoires, bus partagés, etc. Nous parlons ainsi de systèmes multiprocesseurs mono puce (MPSoC) [1, 11, 12]. En fait, les systèmes multiprocesseurs sont l'une des solutions pour répondre à la complexité croissante des systèmes intégrés utilisés pour des applications telles que les applications multimédia.

En plus, et du fait de la complexité croissante de ces systèmes, de la présence de fortes contraintes temps réel, de la limitation des ressources disponibles, tant en mémoire qu'en énergie disponible et donc en puissance de calcul, mais également de la pression exercée par le marché sur ces produits, l'usage de systèmes d'exploitation temps réel (RTOS) est devenu indispensable dans les systèmes embarqués [2, 13, 14]. Par ailleurs actuellement, la plupart des RTOS existants ne supportent pas les architectures multiprocesseur d'où la nécessité de trouver des méthodes pour répondre aux exigences de tel systèmes. Deux solutions peuvent être distinguées la première consiste à développer de nouveaux systèmes d'exploitation qui supportent des architectures multiprocesseurs. La deuxième solution consiste à étendre les systèmes existants par d'autres fonctionnalités pour qu'ils puissent supporter ces architectures. Dans ce cadre se situe notre travail qui consiste à étendre un RTOS existant par une couche de communication inter processeur pour gérer la communication entre les processeurs de notre système.

Ce papier est organisé de la façon suivante. La première section, est consacrée pour la présentation des différents modèles de communication inter-processeur. La deuxième section présente les caractéristiques de l'environnement utilisé ainsi que la topologie de l'architecture

multiprocesseur adopté. La troisième section illustre la couche de communication interprocesseur implémentée ainsi que sa validation. On terminera par quelques conclusions.

## 2 Couche générique de communication inter-processeur

Dans le cadre d'un système multiprocesseur, il est nécessaire que les processeurs se communiquent. Cette communication est accomplie par envoi de messages (Message Passing) [9].

### 2.1 Modèle de communication inter-processeur

Généralement, les communications peuvent être synchrones ou asynchrones, bloquantes ou non bloquantes. Les communications synchrones sont plus lentes et généralement bloquantes, c'est à dire que les deux processeurs engagés dans la communication doivent attendre la fin de la communication pour continuer.

Par contre les communications asynchrones sont la plupart du temps non bloquantes. En fait, quand un processeur veut envoyer un message à un autre, il envoie le message, et il peut immédiatement reprendre son exécution sans se soucier de l'autre processeur quand il recevra le message. C'est le principal avantage des communications asynchrones.

Dans le modèle de la couche de communications inter processeur implémentée, nous avons considéré une mémoire partagée dont l'accès est protégé par le mutex hardware et une file de messages (Message Queuing) à travers laquelle les processus des nœuds envoient et reçoivent des messages. Ainsi, la couche de communications développée est un ensemble de routines permettant d'envoyer et de recevoir des messages de différentes façons en combinant les paramètres suivants :

- Envoi/Réception bloquant et non bloquant ;
- Envoi/Réception de messages uniques ou composés ;
- Envoi de messages synchrone ou asynchrone.

### 2.2 Différents modèles de communication

Il existe deux modèles principaux de communications pour l'échange d'information, appelés aussi modèles de synchronisation, le modèle synchrone et le modèle asynchrone [10].

**2.2.1. Modèle synchrone :** Dans le cadre d'une communication synchrone (Synchronous Message Passing), l'expéditeur est sûr que le destinataire a reçu le message. D'autre part, l'expéditeur d'une demande doit attendre une réponse du récepteur prévu avant de pouvoir effectuer le traitement restant. Le délai d'attente de l'émetteur dépend entièrement du temps nécessaire au récepteur pour traiter la demande et envoyer une réponse. Typiquement, le temps d'attente de la réponse à la demande est assez long.

**2.2.2. Modèle asynchrone :** Dans le cadre d'une communication asynchrone (Asynchronous Message Passing), l'expéditeur envoie son message dès qu'il soit prêt, et le récepteur peut éventuellement attendre si le message n'est pas encore arrivé.

Avec ce modèle, l'émetteur n'attend jamais, mais aussi avec moins de contrôle sur la réception. La communication asynchrone peut être soit bloquante, soit non bloquante, ou bien par interruptions.

**2.2.2.1. Mode bloquant :** Pour l'envoi de message, l'appel à la primitive d'envoi se termine lorsque le message a quitté l'expéditeur. Toutefois, cela ne signifie pas que le destinataire l'a bien reçu. Pour la réception, l'appel à la primitive de réception se termine quand le message est arrivé et qu'il est copié dans le buffer de réception.

**2.2.2.2. Mode non bloquant :** Le but de ce mode est de diminuer le temps d'attente. En fait, La couche logicielle expédie ou reçoit dès que c'est possible. L'exécution d'une telle communication asynchrone non bloquante s'effectue aussi sans attendre qu'elle soit finie. Il s'agit donc de masquer le temps des communications.

**2.2.2.3. Mode par interruptions :** Ce mode est défini pour les communications asynchrones, et il est rarement disponible. Dans le cadre de ce mode, l'arrivée d'un message génère une interruption au niveau de l'application.

### 2.3 Choix conceptuelle:

Partant des deux modèles de communication présentés, nous avons été amenés à adopter le modèle asynchrone comme modèle de communication (Asynchronous Message Passing). En fait, la communication à travers des files d'attente est, par nature, asynchrone dans la mesure où les messages sont envoyés à une file d'attente et reçus d'une file d'attentes dans des processus différents.

**2.3.1. Gestionnaire de messages :** La gestion des messages de communication est tributaire d'une part à la gestion de la file de communication et ses buffers de messages, et d'autre part à la gestion du support de communication (mémoire partagée).

**2.3.1.1. Gestion de la file de communication :** La file d'attente est un objet permettant la communication asynchrone de messages entre des tâches. Les principales propriétés mises en jeu pour la gestion de cette file de communications sont les suivantes :

- *Capacité maximale de la file* : En fait, la file d'attente (pending-message-queue) définit un nombre maximal et bien déterminé de messages en attente. Cette propriété est indispensable pour éviter l'échec de l'envoi de messages.
- *Propriété d'expiration* : Cette notion de « timeout », liée au temps, dispose d'un meilleur contrôle à nos messages. Elle détermine la durée maximale d'existence d'un message dans le système avant son élimination. Cette propriété est utilisée en cas d'une communication asynchrone bloquante.
- *Propriété d'optimisation* : Il s'agit, en fait, d'employer la notion d'« importance » (ou d'« urgence ») qui affecte l'ordre dans lequel les messages sont envoyés vers la file de communications. Le paramètre de l'importance d'un message détermine l'emplacement du message dans la file d'attente. Les messages envoyés avec un degré d'urgence élevé sont placés plus haut dans la file d'attente, tandis que ceux affectés d'une importance faible sont placés plus bas dans la file. Cette propriété est utilisée dans les deux cas de communications étudiés : bloquante et non bloquante.

un premier temps, nous avons opté à des tests pour chaque routine à part. Dans nos tests on a utilisé le système d'exploitation temps réel monoprocesseur MicroC\_OS-II fournit avec le kit excalibur d'altera. Il est à signaler que le code source est ouvert et il écrit en langage C, ce qui a facilité l'intégration de la couche de communications inter-processeur implémentée dans ce système d'exploitation. Le portage de notre nouveau système d'exploitation « multiprocesseur » a été fait en utilisant l'environnement IDE fourni avec notre kit de conception.

Dans un second temps, et après avoir validé toutes les fonctions implémentées nous avons optés à la validation de cette couche à travers l'application de synthèse d'images 3D sur la plateforme multiprocesseur mise en place. Pour ce faire en premier lieu on a extrait le graphe de tâche de cette application qui représente les différentes tâches de l'application ainsi que les données échangées entre eux. En suite, et d'une façon manuelle on est passés à l'étape de partitionnement de l'application sur les différents processeurs.

## 5 Conclusion

Le travail entrepris a permis d'étudier de près les contraintes et les problèmes engendrés par le prototypage des systèmes multiprocesseurs temps réel sur des architectures reconfigurables. En premier lieu, des études bibliographiques sur les architectures des systèmes multiprocesseur, a été faite pour explorer le domaine et avoir une idée sur leurs caractéristiques. En second lieu on a visé la mise en place d'une plateforme multiprocesseur ainsi que la proposition d'une

couche générique de communication inter-processeur qui permet d'adapter les systèmes d'exploitation monoprocesseur pour des architectures multiprocesseur. On a terminé par la validation de la couche implémentée sur le système d'exploitation temps réel MicroC\_OS-II. Notre objectif à court terme consiste à valider la couche de communication proposé sur d'autres systèmes d'exploitation.

Les résultats obtenus durant ce travail ont permis d'ouvrir divers axes de recherche. Le premier axe vise l'exploration de l'espace des solutions architecturales. Le concepteur se trouve devant divers types d'architectures d'où la nécessité de mettre en place des outils qui aident le concepteur à choisir l'architecture adéquate à son systèmes et surtout dans le domaine des systèmes sur puce puisqu'ils sont mobiles avec des ressources limitées et évoluant dans des environnements variables. Le deuxième axe concerne le partitionnement automatique de l'application sur une architecture multiprocesseur. **6 References**

- [1] N. Manjikian. Multiprocessor enhancements of the SimpleScalar tool set. ACM Computer architecture News, 29(1):8–15, March 2001.
- [2] Dongkun Shin and Jihong Kim. Power-Aware Scheduling of Conditional Task Graphs in Real-Time Multiprocessor Systems. In Proc. International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED), August 2003.
- [3] Victor B. Lortz, Kang G. Shin, Fellow, IEEE, and Jinho Kim [14]MDARTS: A Multiprocessor Database Architecture for Hard Real-Time Systems IEEE transactions on knowledge and data engineering, VOL. 12, NO. 4, JULY/AUGUST 2000
- [4] M. Ben Said, K. Loukil, N. Ben Amor, M. Abid, Jean Philippe Diguet «A timing constraints control technique for embedded real time systems» Design and technology of integrated Systems (DTIS 2010) March 2010
- [5] Hanen Abbes, Kais Loukil, Hafedh Abid, Mohamed Abid, Ahmad Toumi «Implementation of Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Fuzzy Logic Controller on FPGA » Journal of Information Assurance and Security, pp. 097 – 106, Vol. 11, Issue 2, 2016
  - [6] N. Abid, K. Loukil, W. Ayedi, A.C. Ammari, M. Abid, Parallelizing an Embedded Real-Time Person Matching System for Smart Camera, on Ada User Journal, Vol 38, pp. 157-168, September 2017, (Scopus, sjr, IF: 0.3)
  - [7] N. Abid, K. Loukil, T. Ouni, W. Ayedi, A.C. Ammari, M. Abid, An improvement of Multi-scale Covariance Descriptor for Embedded system, on Journal of real time Image processing, DOI: 10.1007/s11554-018-0759-y, Accepted February 2018, (Sjr, IF: 2.01)
  - [8] A. M. Obeid, N. Atitallah, K. Loukil, M. Abid and M. Bensalah \A survey on Power consumption in adaptive Wireless Sensor Networks (WSNs)", Wireless Pers. Commun. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5678-5> (2018). ( Indexed SJR : IMPACT FACTOR: 0.31)
  - [9] K. Loukil, N. Ben Amor, M. Abid « HW/SW Partitioning Approach on Reconfigurable Multimedia System on Chip » International Journal of Engineering (IJE) 2011 avril 2011 volume5, Page 568.
  - [10] T. Frika, Y. Siala, K. Loukil, W. Rekik, M. Abid «A parametric and indexing method for faces and textures recognition » International Journal of Computer Science Issues Issue 5. Volume : 9, Num : , Pages : 73-77 , Septembre 2012
  - [11] Faten Bellakhidhar, Kais Loukil, Mohamed ABID, "Face recognition approach using Gabor Wavelets, PCA and SVM", Vol. 10, Issue 2, No 3, March 2013 IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 10, Issue 2, No 3, March 2013.
  - [12] K. Loukil, N. Ben Amor, M. Abid, Jean Philippe Diguet «Self adaptive system on chip based on cross layer adaptation approach» International Journal of Reconfigurable Computing, December 2013: Volume 2013, Article ID 141562, 17 pages

- [13] Mossaad Ben Ayed, Feten Bellakhdhar, Faouzi Bouchhima, Kais Loukil, Mohamed Abid, "hardware software implementation of fingerprint recognition", Indian journal of science and technology (indexed by ISI thomson, scopus).
- [14] Hanen Abbes, Hafedh Abid, Kais LOUKIL, Mohamed Abid, Ahmed Toumi «Etude comparative de cinq algorithmes de commande MPPT pour un système photovoltaïque » International journal of control, energy and electrical engineering CEEE, June-September 2014, Issue 3.
- [15] Hanen Abbes, Hafedh Abid, Kais Loukil «An improved MPPT Incremental Conductance algorithm using T-S fuzzy system for photovoltaic panel » International Journal of Renewable Energy Research-IJRER, pp. 160-167, Vol.5, No.1, 2015 (SJR)
- [16] Hanen Abbes, Kais Loukil, Hafedh Abid, Mohamed Abid, Ahmad Toumi « Implementation of Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Fuzzy Logic Controller on FPGA » Journal of Information Assurance and Security, pp. 097 – 106, Vol. 11, Issue 2, 2016
- [17] Yousra Hadj Hassen, Kais Loukil, Tarek Ouni and Mohamed Jallouli. Suitable Clustering for Multi-shot Person Re-identification. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, Octobre 2017. (Indexé SJR)
- [18] N. Abid, K. Loukil, W. Ayadi, A.C. Ammari, M. Abid, Optimized Parallel Model of Covariance Based Person Detection, on 18th International Conference on Image Analysis and Processing- ICIAP2015, pp 287-298, September 7-11, Genoa, Italy. (Classe B)
- [19] N. Abid, T. Ouni, K. Loukil, A.C Ammari, M. Abid, Optimized Parallel Model Of Human Detection Based On The Multi-Scale Covariance Descriptor, on 11th International conference on parallel processing and applied mathematics-PPAM2015, pp 423-433, 6-9, September, Krakow, Poland . (Classe C)
- [20] N. Abid, T. Ouni, K. Loukil, A.C Ammari, M. Abid, Multiprocessor architecture for an optimazed parallel model of covariance based person detection, IEEE, on 11th International Design and Test Symposium IDT 2016, 18-20 December, Tunisia. (IEEE)
- [21] 1. N. Abid, K. Loukil, T. Ouni, W. Ayedi, A. C. Ammari, Mohamed Abid, Implementation of a person detection application on FPGA, on 3th Tunisian Workshop on Embedded Systems Design, 2014, Tunisia
- [22] 2. N. Abid, K. Loukil, T. Ouni, W. Ayedi, A. C. Ammari, Mohamed Abid, Implementation of matching person application on dual-core, on 6th Tunisian Workshop on Embedded Systems Design, 2017, Tunisia
- [23] Yousra Hadj Hassen, Tarek Ouni, Walid Ayedi, Kais Loukil and Mohamed Jallouli. Monocamera person tracking based on template matching and covariance descriptor. International Conference on Computer Vision and Image Analysis (ICCVIA), IEEE, January 2015, Tunisia.
- [24] Yousra Hadj Hassen, Kais Loukil , Tarek Ouni and Mohamed Jallouli. Images Selection and Best Descriptor Combination for Multi-shot Person Re-identification. International Conference on Intelligent Interactive Multimedia: Systems & Services (KES IIMSS), classe C, June 2017, Portugal.
- [25] Yousra Hadj Hassen, Walid Ayedi, Tarek Ouni, Kais Loukil and Mohamed Jallouli. A new approach for references up dating in person tracking algorithm. The 2nd Tunisian Workshop on Embedded Systems Design (TWESD'14), Sousse, Tunisia.
- [26] Yousra Hadj Hassen, Kais Loukil, Walid Ayedi, Tarek Ouni and Mohamed Jallouli. Efficient Person's Samples Selection for Multiple-shot Re-identification. The 3rd Tunisian Workshop on Embedded Systems Design (TWESD'15), Mahdia, Tunisia.
- [27] Yousra Hadj Hassen, Walid Ayedi, Kais Loukil, Tarek Ouni and Mohamed Jallouli. Person tracking based codebook foreground detection. The 4th Tunisian Workshop on Embedded Systems Design (TWESD'16), Mahdia, Tunisia.

- [28] Yousra Hadj Hassen, Tarek Ouni, Kais Loukil, Walid Ayedi and Mohamed Jallouli. Real World Person Re-identification Constraints Based Descriptor. The 5th Tunisian Workshop on Embedded Systems Design (TWESD'17), Monastir, Tunisia.
- [29] Hanen Abbes, Hafedh Abid, Kais Loukil, Mohamed Abid, Ahmed Toumi « Etude comparative de cinq algorithmes de commande MPPT pour un système photovoltaïque » International Journal, Control, Energy and Electrical Engineering (CEEE), June-Septembre 2014, Issue 3.
- [30] Hanen ABBES, Hafedh Abid, Kais Loukil « An improved MPPT Incremental Conductance Algorithm Using T-S Fuzzy System for Photovoltaic Panel », International Journal of Renewable Energy Reaserch-IJRER-Scopus, Vol.5, No.1, 2015
- [31] Faten Bellakhdhar, Kais Loukil, Mohamed ABID, "Multimodal biometric identification system based on face and fingerprint", international conference on control, Engineering and information technology, juin 2013.
- [32] Kais loukil, faten bellakhdhar, Niez Bradai, Mohamed Abid: "Performance measurement of multiprocessor architectures on FPGA", International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT'13) Proceedings Engineering & Technology - Vol.2, pp. 211-216, 2013 Copyright - IPCO
- [33] Hanen Abbes, Hafedh Abid, Kais Loukil, Ahmad Toumi, Mohamed Abid, " Etude comparative de cinq algorithmes de commande MPPT pour un système photovoltaïque", Conférence Internationale des Energies Renouvelables (CIER'13) 15-17 Décembre 2013.
- [34] Mossaad Ben Ayed, Faten Bellakhdhar, Faouzi Bouchhima, Kais Loukil and Mohamed Abid, " A Hardware Software In the Loop architecture for control units", WCICT 2013, Sousse, Tunisia.
- [35] Tarek FRIKHA, Nader BEN AMOR, Kais LOUKIL, Agnes Ghorbel, Mohamed ABID, Jean-Philippe DIGUET, "Hardware accelerator for self adaptive Augmented Reality systems" , International Conference on High Performance Computing and Simulation (HPCS), Juillet 2012, Madrid Espagne,
- [36] Tarek FRIKHA, Nader BEN AMOR, Kais LOUKIL, Mohamed ABID, "Virtual Reality system on embedded platforms", 2012 International Conference on Design & Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era (DTIS 2012), Juin 2012 Tunis, Tunisie
- [37] T. Frikha, N. Ben Amor, K. Loukil, M. Abid, « Self adaptive Augmented Reality systems on FPGA », International Conference on Design & Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era (DTIS'12), May 2012, Gammarth, Tunisia.
- [38] T. Frikha, I. Benhlima, N. Ben Amor, K. Loukil, M. Abid, J.P. Diguet «Self adaptive Augmented Reality systems on FPGA» IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems ICMCS'12, May 2012 Tangier Morocco
- [39] T. Frikha, I. Benhlima, N. Ben Amor, K. Loukil, M. Abid, J.P. Diguet «Hardware accelerator for self adaptive Augmented Reality systems» The 2012 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS 2012)
- [40] F. Abbes, N. Ben Amor, K. Loukil, T. Frikha, M. Abid, «Design of a multi constraints adaptation technique for multimedia embedded systems» NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems (AHS-2012), June 2012, Germany
- [41] M. Ben Said, K. Loukil, N. Ben Amor, M. Abid, Jean Philippe Diguet «A timing constraints control technique for embedded real time systems» Design and technology of integrated Systems (DTIS 2010) March 2010
- [42] K. Loukil, N. Ben Amor, Mouna Ben said, Mohamed Abid « OS service update for an online adaptative embedded multimedia system » the fourteenth IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'09) July 5-8, 2009 Sousse, Tunisia

- [43] K. Loukil, N. Ben Amor, M. Abid « Self adaptive reconfigurable system based on middleware cross layer adaptation model», International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (IEEE SSD 2009) Djerba, Tunisia 2009.
- [44] M. Hentati, N. Ben Amor, K. Loukil, M. abid «HW/SW Interface Impact on an Adaptive Multimedia System Performance: Case study», First IEEE International Workshops on Image Processing theory, Tools& applications November 24-26, 2008-Tunisia.
- [45] K. Loukil, H. krichene, N. ben amor, M. Abid « Approche de conception de système d'exploitation temps réel pour une architecture multiprocesseur reconfigurable», international workshop on systems engineering design and application (SENDA 08), Monastir, Tunisia 2008.
- [46] K. Loukil, N, Ben Amor, Y. Aoudni, M. Abid « Design of real time multiprocessor system on chip», International Design and Test workshop (IEEE IDT'07), Cairo, Egypt 2007.
- [47] K. Loukil, Y. Aoudni, G. Gogniat, M. Abid, J.L. Philippe « Estimation du temps d'exécution des systèmes sur puce temps réel » GEI'07 Février 2007, Monastir, Tunisie.
- [48] Y. Aoudni, K. Loukil , G. Gogniat, J. Luc Philippe and M. Abid, «Mapping SoC architecture Solutions for an Application based on PACM Model», International Symposium on Industrial Electronic (IEEE ISIE'06) Montreal Canada 2006.
- [49] Y. Aoudni, G. Gogniat, K. Loukil, J. L. Philippe, M. Abid « Method for Embedded Application Prototyping based on SoC Platform and Architecture Model», (IEEE DTIS 2006), Tunis, Tunisia 2006.