

Système sur puce

1 Introduction

►How Smartphones Operate

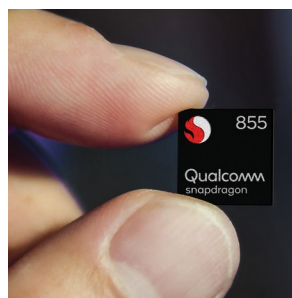
Les composants principaux trouvés sur la carte mère d'un ordinateur sont :

- Le processeur (CPU) se charge de réaliser les calculs les plus répandus, ceux qui permettent par exemple de faire tourner le système d'exploitation ou un navigateur web.
- La carte graphique (ou GPU) qui se charge d'afficher une image, qu'elle soit en 2D ou bien en 3D comme dans les jeux.
- Les barrettes de mémoire RAM (Random Access Memory) sur lesquelles sont stockées les données temporaire auquel un ordinateur doit pouvoir accéder rapidement.
- Les puces qui gèrent les interfaces réseau (Wifi et Ethernet).

La carte-mère relie entre eux tous les composants.



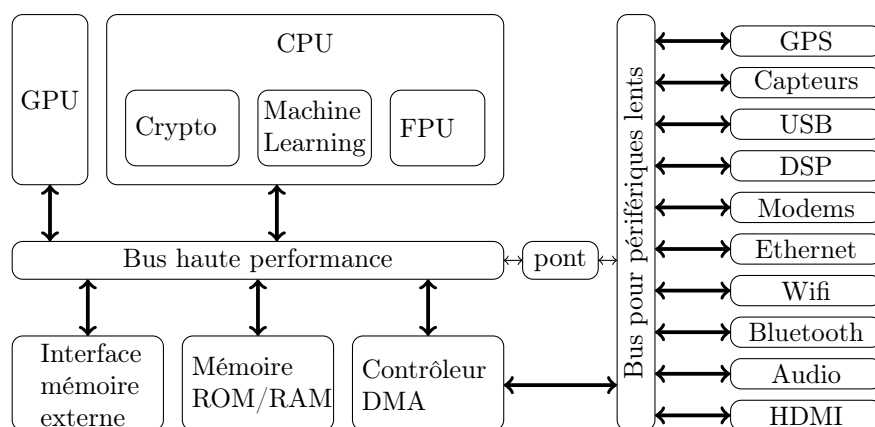
Mais depuis le début de l'ère des smartphones, on assiste à l'émergence de systèmes tout-en-un. Ainsi, presque tout le contenu d'un ordinateur se retrouve finalement dans une seule puce sur le smartphone : le System on a Chip (SoC), ou système sur une puce en français.



Les caractéristiques d'un SoC sont de fait très proches de celles d'un ordinateur. Ils ont une puissance de calcul comparable qui repose sur des microprocesseurs avec plusieurs coeurs cadencés à plusieurs gigahertz, ainsi que des processeurs dédiés (graphique, sécurité). Leur capacité mémoire se mesure en gigaoctets et ils incluent des mémoires de type RAM et FLASH. Enfin ils contiennent de nombreux périphériques. Tout ce la sur une puce d'environ 100 mm².

2 Architecture d'un système sur puce

L'architecture d'un SoC est habituellement comparable au schéma suivant.



Le CPU d'un SoC peut contenir des circuits dédiés à certaines opérations afin d'accélérer les calculs. Par exemple, on peut trouver aujourd'hui :

- Une unité de calcul pour les nombres flottants (FPU) simple ou double précision.
- Un circuit dédié aux opérations sur les matrices, par exemple pour accélérer les algorithmes d'apprentissage automatique (en anglais *Machine Learning*) très utilisés par les applications d'intelligence artificielle. Ce circuit peut par exemple exploiter les possibilités de parallélisation des opérations sur les structures.
- Un composant pour la sécurité qui implémente des opérations élémentaires pour accéder les algorithmes cryptographiques.

Ces CPU sont cadencés à des fréquences tellement élevées qu'ils sont fortement ralentis dès qu'ils lisent ou écrivent des données dans la mémoire ou qu'ils dialoguent avec des périphériques.

Ainsi, parce que les composants mémoire ont généralement une fréquence de fonctionnement et des débits de données bien plus importants que les autres périphériques, certaines architectures de SoC mettent en place un système de transfert d'informations reposant sur deux bus de communication.

- Un bus haute performance est dédié à l'échange entre le CPU, le GPU et les différents composants mémoire.
- Un deuxième bus est utilisé pour la communication avec les périphériques plus lent.

Ainsi, le CPU ne se retrouve pas bloqué en attente d'une réponse d'un périphérique lent et peut continuer à communiquer avec la mémoire par exemple.

Afin de limiter encore davantage la différence de vitesse entre CPU et périphériques, les SoC disposent d'un mécanisme d'accès direct à la mémoire (en anglais *Direct memory access* DMA) qui permet directement de transférer des données de la mémoire vers ou depuis un périphérique sans intervention du CPU.

La liste des périphériques présents dans un système à puce peut fortement varier et dépend de l'espace physique disponible. Voici une liste non exhaustive des composants fréquemment présents :

- des modems (2G/3G/4G),
- des circuits radio (Wifi, Bluetooth),

- une puce GPS,
- des ports d'entrée-sortie (USB, Ethernet, HDMI, Audio),
- des capteurs (CCD).

3 Avantages et inconvénients

Les SoC sont aujourd'hui les composants incontournables de l'informatique nomade (smartphones, tablettes). Ils sont également de plus en plus utilisés dans le monde plus large des systèmes embarqués (voitures, robots, etc.). Ce succès est dû aux avantages suivants :

- *Energie* Une grande partie de la consommation électrique d'un circuit est liée au câblage entre les composants. Comme les composants d'un SoC sont connectés sur des distances très petites, les gains sont très importants.
- *Coût* Le prix d'un système sur puce est très petit si on le compare à celui d'une carte mère rassemblant les même composants. Même si les coûts d'ingénierie sont plus élevés sur la phase de conception, les coûts de matières premières et de fabrication sont eux réduits.

Les systèmes à puce ont également quelques inconvénients. Contrairement à un ordiateur équipé d'une carte mère, les SoC ne permettent pas de mise à jour, aucune extension n'est possible et, si un seul transistor est endommagé, il ne sera pas possible de réparer l'unité défectueuse.

4 Exemple

https://en.wikipedia.org/wiki/Apple_A13

<https://9to5mac.com/2019/09/19/a13-design-apple-ahead-of-the-competition/>

<https://versus.com/fr/apple-a13-bionic>

Le système sur puce *A13 bionic*, disponible sur les téléphones et tablettes de la société Apple, est un SoC qui repose sur une architecture similaire à celle présentée. Cette puce électronique contient 8,5 milliards de transistors gravés avec une précision de 7 nanomètres. La liste ci-dessous résume ses principaux composants.

- Un CPU disposant de registres 64 bits. Il contient 6 coeurs dont deux rapides (2.65 GHz) et quatre plus lents (1.8 GHz), ces derniers étant plus économes en énergie. Les coeurs rapides intègrent un module (AMX) pour accélérer les opérations de Machine Learning comme les multiplications de matrices. Ensemble, ces modules sont capables d'effectuer 1000 milliards d'opérations 8 bits par seconde.
- Une carte graphique (GPU) avec quatre coeurs.
- Un processeur avec huit coeurs, appelé *Neural engine*, qui s'occupe de tous les traitements d'informations et calculs liés à l'intelligence artificielle comme la reconnaissance faciale et la réalité augmentée.
- Un module spécialisé pour les opérations cryptographiques (AES).
- Une capacité mémoire de 4Go de RAM directement sur la puce.

Références

- [1] monlyceenumerique.fr, http://www.monlyceenumerique.fr/index_nsi.html#terminale
- [2] Thibaut Balabonsky, Sylvain Conchon, Jean-Christophe Filiâtre, Kim Nguyen, *Spécialité Numérique et sciences informatiques : 24 leçons avec exercices corrigés - Terminale*. <http://www.nsi-terminale.fr/>.
- [3] David Roche, https://pixees.fr/informatiquelycee/n_site/nsi_term_archi_soc.html.

Ce document est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons "Attribution - Pas d'utilisation commerciale - Partage dans les mêmes conditions 3.0 non transposé".



Auteur : Pascal Seckinger