

Avant-propos

Tout avantage a ses inconvénients et réciproquement.

Philosophie shadokienne

Les systèmes informatiques (matériels et logiciels) deviennent de plus en plus complexes, enfouis et transparents. Il devient alors difficile de retrouver les concepts de base pour comprendre finement leur fonctionnement. Pour y arriver, une voie est de s'intéresser à l'histoire du domaine. Une deuxième voie est de s'imprégner de la technologie par la lecture de feuilles de caractéristiques (*datasheets*) de composants électroniques et de brevets. Une dernière, et non des moindres, est de lire des articles de recherche. J'ai essayé de suivre ces trois voies tout au long de la rédaction de cette série d'ouvrages, dans le but d'expliquer les fonctionnements matériel et logiciel du microprocesseur, forme moderne et intégrée de l'unité centrale.

À propos de l'ouvrage

Depuis sa naissance en 1971, les performances du microprocesseur n'ont cessé de croître grâce aux progrès d'intégration de la micro-électronique. Ce composant a transformé l'industrie informatique et il est à l'origine du micro-ordinateur. Aujourd'hui, il est au cœur des systèmes numériques, embarqués ou non, et des superordinateurs.

Le microprocesseur, en cinq volumes, traite des principes généraux de fonctionnement du microprocesseur. Il se focalise plus particulièrement sur les deux premières générations de ce composant programmable, c'est-à-dire celles qui manipulent des entiers aux formats de 4 et 8 bits. Ce choix totalement assumé permet de rentrer dans son fonctionnement de base sans les surcharges conceptuelles des modèles actuels et en offrant un angle d'étude historique. Les concepts plus évolués comme les mécanismes

de mémoire virtuelle et de mémoire cache, ou comme les différentes formes de parallélisme seront détaillés dans de prochains ouvrages avec la présentation des générations suivantes, c'est-à-dire 16, 32 et 64 bits.

Le premier volume est l'objet des prolégomènes au domaine. Comme en musique avec sa théorie, on ne peut pas comprendre l'avènement du microprocesseur sans parler de l'histoire des ordinateurs et de certaines technologies, présentée dans le chapitre 1. Le chapitre 2 aborde la mémorisation, deuxième fonction de l'ordinateur et présente dans le microprocesseur. Les notions de modèle de calcul et d'architecture des ordinateurs seront le sujet du chapitre 3.

Le volume 2 est consacré aux aspects de la communication dans un système numérique, sous l'angle des bus. Sont présentés leurs caractéristiques principales, leurs protocoles de communication, d'arbitrage d'accès et de transaction, leurs interfaçages et les aspects électriques. Une classification est proposée et les principaux bus sont énoncés.

Le volume 3 porte sur les aspects matériels du microprocesseur. Il détaille tout d'abord l'interface externe de ce composant puis son organisation interne. Il présente ensuite les différentes générations industrielles et certaines familles particulières comme le processeur de traitement numérique de signal (DSP) et le microcontrôleur. Le volume se termine par une présentation de la feuille de caractéristiques.

Ce volume 4 détaille la programmation de ce composant en cinq chapitres. Les chapitres 1 et 2 présentent trois caractéristiques de l'ISA (*Instruction Set Architecture*, voir section V1-3.5) que sont le codage d'une instruction, les modes d'adressage et le jeu d'instructions d'un composant générique. Puis des notions complémentaires associées au jeu d'instructions et à l'exécution sont abordées dans le chapitre 3. Il s'agit tout d'abord des notions d'instructions illégale, invalide, réservée et de confiance et d'alignement en mémoire, de l'orthogonalité et de la symétrie du jeu d'instructions et de la notion de code pur, réentrant et relogeable. Puis sont abordés les sujets du temps d'exécution, de l'occupation mémoire, des modes d'exécution, de la portabilité et de la virtualisation. Enfin, il se termine par des aspects très importants industriellement que sont les compatibilités matérielles et logicielles, la mesure des performances d'exécution et les critères de choix d'un microprocesseur ou MPU (*MicroProcessor Unit*). Les chapitres 4 et 5 étudient les deux manières d'altérer le flot d'exécution (*execution flow*) avec les mécanismes d'appel de sous-programme (assimilable à une fonction), classique et sous interruption.

Le volume 5 présente les aspects matériels et logiciels de la chaîne de développement d'un système numérique ainsi que les architectures des premiers micro-ordinateurs pour une mise en perspective historique.

Les références dans le texte et dans l'index suivent la convention suivante : « voir section V5-2.3 », par exemple, signifie de se référer à la section 2.3 du volume 5.

Une organisation à plusieurs niveaux

Cet ouvrage glisse progressivement du conceptuel vers l'implémentation matérielle. La pédagogie a été mon souci principal, sans pour autant négliger l'aspect formel. La lecture se veut à plusieurs niveaux. Chaque lecteur puisera les connaissances adaptées avant d'aborder la compréhension de certaines parties plus difficiles. Les connaissances, à quelques exceptions près, ont été présentées linéairement et de la manière la plus exhaustive possible. Des exemples concrets puisés dans les technologies anciennes et actuelles illustrent les concepts théoriques.

Si nécessaire, des exercices complètent l'apprentissage en étudiant de manière plus approfondie certains mécanismes. Chaque volume se termine par les références bibliographiques renvoyant aux articles de recherche, aux ouvrages ou aux brevets à l'origine des concepts et ceux, plus récents, reflétant l'état de l'art. Ces références permettent au lecteur de trouver plus de renseignements ou d'informations théoriques. Une liste des acronymes employés et un index couvrant l'ensemble de l'ouvrage s'y trouvent aussi.

Cet ouvrage en cinq volumes consacré au microprocesseur est le fruit de plus de trente ans de pérégrinations dans les mondes électronique, micro-électronique et informatique. J'espère qu'il vous apportera une connaissance suffisante, à la fois pratique et théorique pour, ensuite, vous spécialiser dans un de ces domaines. Je vous souhaite une agréable balade dans ces différents mondes.

REMARQUE. Comme il s'agit d'un ouvrage introductif au domaine des microprocesseurs, des références de composants industriels de toute époque sont citées ainsi que des références à des ordinateurs de générations d'avant l'apparition de ce composant.

Les noms des sociétés sont ceux d'origine, même si certaines ont fusionné. Cela permettra en particulier aux lecteurs de retrouver sur Internet les feuilles de caractéristiques des circuits intégrés cités et les documentations d'origine et de les étudier en relation avec cet ouvrage.

Le choix a été fait de mettre le nom des registres en majuscule dans le texte et les figures mais en minuscule en langage d'assemblage, la norme (IEEE 1985) ne précisant pas la casse. Le nom des instructions est en minuscule dans le texte et les programmes (style MIPS), parfois aussi en majuscule (style Motorola ou Arm®). Par ailleurs, les exemples donnés font référence à des microprocesseurs et à des

processeurs d'ordinateurs actuels et anciens pour des raisons didactiques. Ce volume n'a pas vocation à être exhaustif. Il présente surtout les fonctionnalités des premiers MPU. Les instructions citées trouveront leur complément dans la documentation du MPU ou dans un ouvrage dédié.

Les concepts présentés reposent sur les notions étudiées dans les ouvrages (Darche 2000, 2002, 2003, 2004, 2012) qu'il est recommandé de lire au préalable.