

le nouveau protocole I₃C

effet d'annonce ou vrai progrès ?

Tam Hanna (Slovaquie)

Aucun protocole de bus n'a connu un succès aussi grand que l'I²C lancé dans les années 1980 par Philips Semiconductor. Cependant, les faiblesses de ce système de bus sont apparues ces dernières années. L'I₃C, son successeur est en embuscade et cet article souhaite vous le présenter en détail.

Pour comprendre les possibilités et limites du bus I²C (*Inter Integrated Circuits*), il faut garder en mémoire qu'il est dans le domaine public depuis l'expiration des brevets détenus par *Philips*. Bien que *NXP* (successeur de la division semi-conducteurs de *Philips*) détienne les droits de propriété intellectuelle sur le logo et le nom, l'exploitation du protocole I₂C est désormais libre.

Le débat I²C/TWI (*Two Wire Interface* = interface bifilaire) est maintenant pratiquement éteint, mais des commentaires intéressants sont encore en ligne (par ex. sur [1]), notamment : « L'idée derrière le droit de licence était de s'assurer que les entités qui souhaitaient fabriquer du silicium I²C (et le vendre en tant que tel) soutenaient la norme et contribuaient ainsi à son développement ». Les résultats ainsi que l'expérience de l'auteur montrent que, pour *Philips*, l'objectif de cette redevance a toujours été d'encourager les détenteurs de licence à mettre la norme I²C intégralement en œuvre. Cette norme incluait explicitement le filtre antiparasite de 50 ns qui fut jadis une pomme de discorde fréquente entre *Philips Semiconductor* et les fabricants tiers. Ce filtre (nous y reviendrons plus tard) pourrait être l'une des raisons qui poussèrent *Philips* à percevoir des droits de licence.

Level Annual Turnover	← Prev	1st Quarter Fees (Jan, Feb, Mar)	Next →	Annual Fee
Adopter > USD \$250m		\$8,000		\$8,000
Adopter¹ < USD \$250m		\$4,000		\$4,000
Contributor > USD \$250m		\$32,000		\$32,000
Contributor¹ < USD \$250m		\$16,000		\$16,000
Contributor² < USD \$10m		\$8,000		\$8,000
Board (and Promoter)		\$40,000		\$40,000

Figure 1. L'adhésion à l'alliance MIPI est incontestablement coûteuse. (Source : [3])

Toutefois, avec l'expiration des brevets de *Philips* tout est désormais ouvert. Malheureusement, l'interopérabilité des dispositifs I²C dans un système de bus I₃C n'apparaît que comme un procédé recommandable ou un vœu pieux. On ne peut pas se passer d'essais pratiques sur ces systèmes mixtes. Voyons d'abord qui ou quoi se cache derrière la norme I₃C.

I₃C et l'Alliance MIPI

L'Alliance MIPI [2] (*Mobile Industry Processor Interface Alliance*) est un comité de normalisation proposant diverses normes d'électronique générale et la norme I₃C. L'adhésion à l'Alliance est chère, comme le montre la liste des redevances (fig. 1) [3]. Pour stimuler une adoption maximale, l'Alliance MIPI offre une version de base entièrement

gratuite de la spécification I3C. Les fonctions avancées (seuls les membres de l'Alliance y ont accès) sont listées ici [4]. Vous pouvez y voir que l'abréviation I3C signifie ***Improved Inter Integrated Circuits*** (=I2C amélioré). Selon l'auteur, une exploitation commerciale d'I3C ne pose pas de « problème » à l'Alliance MIPI sauf si vous implémentez peu ou prou *vous-même* l'interface, par ex. dans un FPGA ou par *bit-banging* (c.-à-d. l'exécution d'un protocole série par logiciel). En revanche, si vous n'utilisez que des composants achetés (sans utiliser le logo ni le nom I3C dans votre publicité), vous ne devriez pas rencontrer de problèmes.

Adieu le drain ouvert

Dès le début, le bus I²C réserva des désagréments aux développeurs. Primo, il y a toujours la question de savoir où placer les résistances de polarisation (*pull-up*) pour décharger la capacité du bus. Secundo, généralement il n'est pas possible de déclencher des interruptions depuis un composant qui ne délivre pas le signal d'horloge. Avec l'I²C, pour qu'un circuit « de détection d'horloge » puisse déclencher des interruptions, il faut toujours une connexion en plus. S'il y a plusieurs capteurs sur le terrain, c'est au détriment de la capacité GPIO du circuit émetteur du signal d'horloge. Tertio, la vitesse reste relativement faible : selon Philips, le débit de données est de 3 Mbps avec une horloge à 3,4 MHz. La conséquence est que la faible réactivité du transmetteur entraîne une consommation élevée d'énergie, l'allongement de l'échange de données entre deux appareils retarde la mise en veille à faible consommation. Selon l'auteur, les histogrammes MIPI sont plausibles (fig. 2).

Quarto, les dispositifs I²C ont la capacité fatale de désactiver « pour toujours » d'autres dispositifs du bus. La **figure 3** illustre ce fait tel qu'on peut l'observer dans un certain nombre de systèmes I²C.

Saluons les améliorations de l'I3C

Le 1^{er} changement d'I_C est le mode *push-pull* des broches SCL (toujours) et SDA (en général). La broche SDA passe en mode drain ouvert (*open drain*) sous certaines conditions. Pour éviter les problèmes de placement des résistances de *pull-up*, la norme spécifie

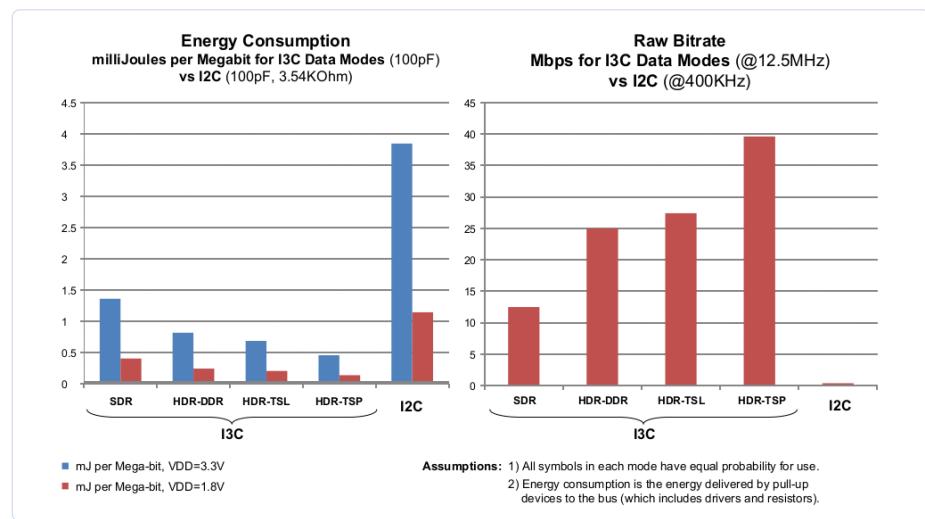


Figure 2. À l'instar des processeurs pour mobiles, la vitesse économise l'énergie. (Source : [8])

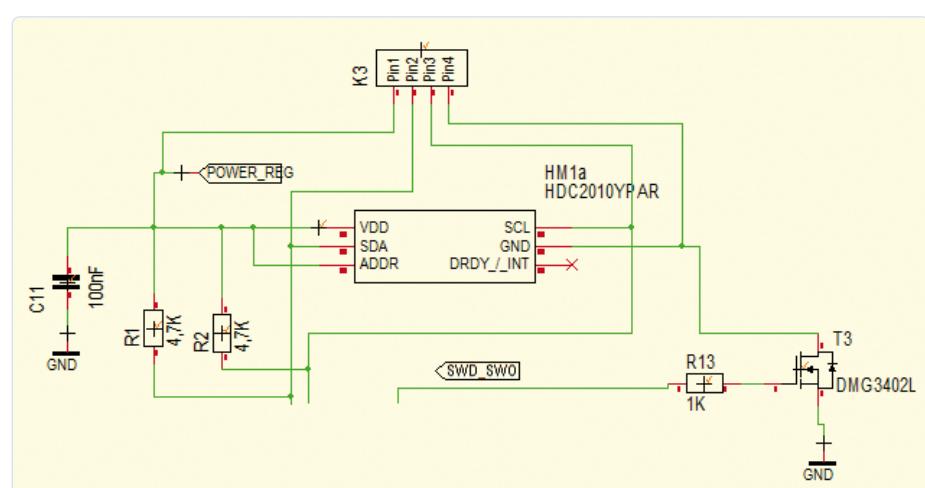


Figure 3. Le transistor T3 « d'arrêt d'urgence » permet l'extinction définitive de tous les capteurs connectés au bus pour remettre un dispositif « de blocage » dans son état par défaut.

qu'elles doivent être situées dans le circuit qui délivre le signal d'horloge.

Autre aspect important (laissant de côté des cas d'espèce) : la broche SCL est toujours et exclusivement commandée par le circuit générateur de signal d'horloge. Si le bus comporte plusieurs circuits susceptibles d'être générateurs du signal d'horloge, un seul est actif à un instant donné et responsable de la commutation de la broche SCL.

L'étirement de l'horloge par un dispositif esclave, possible sur un bus I²C classique, n'est pas pris en charge par la spécification I3C. Le fonctionnement de tels dispositifs n'est donc pas possible sur un bus mixte. Là encore, l'auteur ne connaît que très peu de cas où l'étirement de l'horloge se produit en pratique.

Cette simplification implique une simplification des broches d'E/S du MCU ou du circuit qui produit le signal d'horloge. À cause du filtre

de 50 ns mentionné ci-dessus, l'I²C exige des broches GPIO spécialisées. La norme MIPI n'exige que des broches GPIO normales, supportant un courant de 4 mA. Elle indique aussi explicitement que les filtres de 50 ns, souvent problématiques avec l'I²C, ne sont pas nécessaires.

Les avantages de la vitesse

Examinons maintenant les formes d'onde de l'I²C. Le filtre antiparasite mentionné ci-dessus n'est significatif avec l'I²C que si le signal SCL n'a pas un rapport cyclique de 50 % (comme c'est en général le cas avec l'I²C). Avec l'I²C, la période haute est définie comme étant inférieure à 45 ns (**fig. 4**). Par conséquent, un dispositif I²C conforme à la norme ne pourra rien faire de la forme d'onde SCL.

Après réception de cette sorte de transaction SCL « invisible », le dispositif « de génération d'horloge » peut également commuter sa

MIPI I3C Bus signal in SDR mode after dynamic address assignment

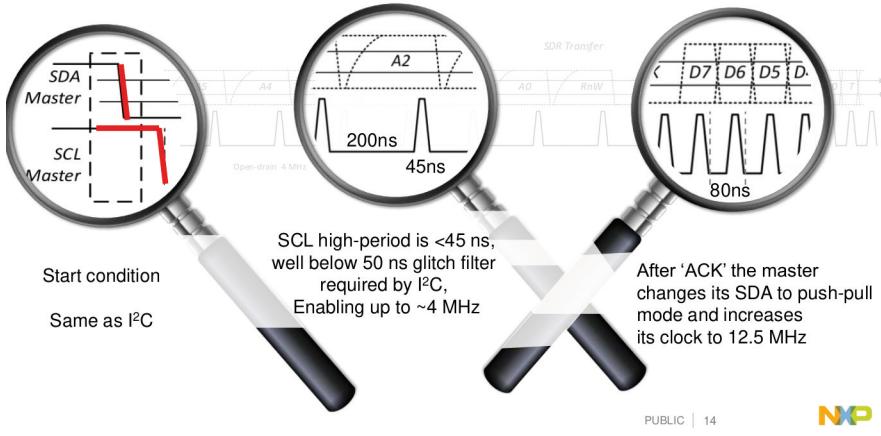


Figure 4. Les composants I²C considèrent ce front d'horloge comme « bas ». (Source : présentation NXP)

5 Pin Configuration and Functions

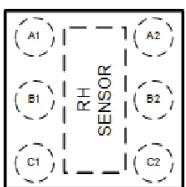


Figure 5-1. WLCS (DSBGA) 6-Pin YPA Top View

Table 5-1. Pin Functions

PIN		I/O TYPE ⁽¹⁾	DESCRIPTION
NAME	NO.		
VDD	A1	P	Positive Supply Voltage
ADDR	B1	I	Address select pin – hardwired to VDD or GND. GND: slave address: 1000000 VDD: slave address: 1000001
GND	C1	G	Ground
SDA	A2	I/O	Serial data line for I ² C, open-drain; requires a pullup resistor to VDD
SCL	B2	I	Serial clock line for I ² C, open-drain; requires a pullup resistor to VDD
DRDY / INT	C2	O	Data ready/Interrupt. Push-pull output

(1) P=Power, G=Ground, I=Input, O=Output

Figure 5. Le HDC2010 n'a qu'une broche d'adresse, donc impossible d'en mettre plus de deux sur un bus I²C. (Source : [9])

broche/ligne SDA en mode *push-pull* et augmenter la fréquence jusqu'à 12,5 MHz. Dans ce mode pleine vitesse, il est possible d'atteindre un débit de transmission allant jusqu'à 12,5 Mbps conformément à la norme MIPI I3C.

Des débits de transmission plus élevés peuvent être obtenus avec l'I3C dans l'un des trois modes *HDR* (*High Data Rate*), ils ne sont utilisables que dans deux cas. Le 1^{er} cas est un système de bus appelé *Pure I3C Bus*, composé exclusivement de composants I3C, et le 2^e est baptisé *Mixed Fast Bus* et peut inclure des composants I²C, mais seulement s'ils ont un filtre de 50 ns implémenté selon la spécification.

Les modes HDR sont lancés par une séquence spéciale d'impulsions SCL alors

que la ligne SDA est au repos. Le mode le plus simple est le *HDR-DDR* (*Double Data Rate*), qui peut atteindre une vitesse de 25 Mbps. À cet effet, chaque front du signal SCL devient un déclencheur valide de réception de données. Le mode *HDR-TSP* (*Ternary Symbol Pure*) permet de dépasser une vitesse de 30 Mbps. Il utilise les lignes SCL et SDA en combinaison pour la transmission des données. Le mode *HDR-TSL* (*Ternary Symbol Legacy-inclusive*) est un mode qui rend le TSP plus accommodant pour les bus mixtes.

Attribution automatique des adresses

Un autre inconvénient de l'I²C est l'attribution physique quasi obligatoire d'une adresse à chaque composant. Pour de nombreux

composants (par ex. le HDC2010 illustré à la **figure 5**), cela implique que l'espace d'adresses prévu par la norme ne peut pas être pleinement utilisé.

Au lieu d'un adressage sur 10 bits possible avec l'I²C, l'I3C permet une autoconfiguration dynamique. En outre, la fonction I3C *Hot Join* permet (comme l'USB) le *branchement à chaud* de dispositifs I3C sur le bus.

En arrière-plan, il existe aussi une procédure dite *d'arbitrage d'adresse* qui s'occupe d'attribuer des adresses aux dispositifs esclaves. À cette fin, chaque périphérique I3C se voit doté de trois paramètres : deux champs de huit bits d'information d'état, et un identifiant unique de 48 bits (*UID*). La spécification implique que chaque *UID* (appelé *Provisional ID*) est unique sur le bus. Au démarrage du bus I3C, le dispositif de génération d'horloge doit scruter tous les dispositifs du bus et leur attribuer des adresses dynamiques. À cet effet, il utilise une méthode similaire au processus d'arbitrage I²C : une adresse dynamique est d'abord attribuée au composant I3C ayant la valeur *UID* la plus faible. Le dispositif de génération d'horloge exécute autant de cycles d'affectation que nécessaire pour que chaque dispositif reçoive un ID temporaire.

Adoption de la norme par les fabricants

La liste des membres de l'Alliance MIPI [5] est un who's who des fondateurs, de *GigaDevice* à *Solomon Systech* en passant par *ST*. La quasi-totalité des entreprises concernées y figure. Cependant, en pratique si vous cherchez des composants disponibles, le choix est très limité. Chez *Mouser* par ex., on ne trouve actuellement que des composants tels que le *PI3CSW12* de *Dialog*. Il s'agit en général de circuits intégrés de multiplexage et de conditionnement de signaux, voir la **figure 6**. *Renesas* a, du moins pour l'instant, adopté une approche similaire avec des CI tels que l'*IMX3102*. En outre, la déclaration suivante est incluse dans l'annonce : « Les vitesses de 12,5 MHz de l'I3C dépassent considérablement les solutions actuelles et anciennes, comme l'I²C à 1 MHz et les commutateurs passifs analogiques rapides ». Si vous cherchez des MCU avec prise en charge de l'I3C, la liste est très courte : le *i.MX RT685* de NXP est le seul disponible. Il existe une note d'application (AN12797)

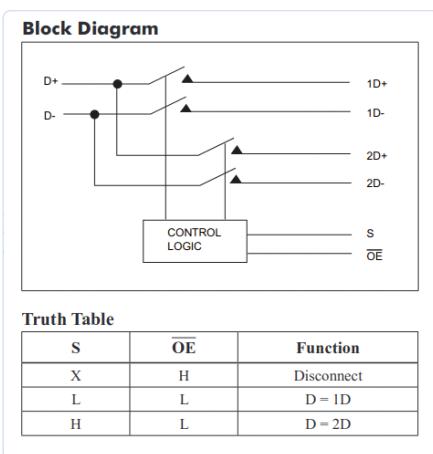


Figure 6. Le matériel I3C disponible à ce jour se limite avant tout au conditionnement de signal. (Source : [10])

qui fournit un exemple de logiciel. NXP propose un noyau logiciel (gratuit dans certains cas) et une licence spéciale pour les utilisateurs non-membres de l'alliance MIPI [6]. Si vous êtes prêt à payer pour la propriété intellectuelle (PI) du noyau logiciel, des fournisseurs comme *Silvaco* ou *Arasan Chip Systems* proposent des modules VHDL I3C clés en main.

Ne cherchez pas d'écrans avec support I3C (cas d'utilisation souvent mentionné dans la norme), il n'y en a pas encore. Les seuls CI actuellement disponibles sont des accéléromètres (*BMI263* de *Bosch* et *LSM6DSO* de *ST*) et le capteur de pression *LPS22HH* de *Bosch*.

Pour le logiciel, c'est plus encourageant : une description relativement détaillée du pilote d'interface mis en œuvre dans le noyau *Linux* est disponible [7].

Combien de temps encore ?

Le débit plus élevé et les interruptions sans recours à des entrées GPIO spécifiques conduiront peut-être à l'adoption de l'I3C par l'ensemble des fondeurs, mais combien de temps faudra-t-il ? Comme, à ce jour presque aucun MCU n'est disponible avec les périphériques I3C appropriés, l'auteur pense que cela pourrait prendre du temps. ↗

210640-04 – VF : Yves Georges

Pourquoi pas maître et esclave ?

Très conservateur en matière de sémantique, l'auteur préfère les locutions *dispositif de génération d'horloge* et *dispositif de détection d'horloge*. L'expérience acquise en enseignant à des générations d'étudiants prouve que cette façon de penser induit une meilleure compréhension.

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (tamhan@tamoggemon.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Combien de dispositifs ?

L'I3C limite davantage le nombre de dispositifs sur un seul bus que l'I²C, probablement en raison de la vitesse plus élevée et de la capacité plus faible des broches à fournir ou absorber du courant. Dans les versions précédentes de la norme, l'Alliance MIPI indiquait la prise en charge de onze dispositifs au plus par bus. Toutefois, cette restriction, résultant d'une simulation des caractéristiques électriques, ne figure plus dans la norme. Sur les 2⁷ (128) adresses dynamiques possibles en théorie, environ 90 sont disponibles (selon la configuration du bus).



PRODUITS

➤ Livre en anglais, « Mastering the I²C Bus », Elektor 2011

Version papier : www.elektor.fr/15385

Version numérique : www.elektor.fr/16193

LIENS

- [1] Discussions sur l'I²C : www.verycomputer.com/31_b0b5a85949fcce82_1.htm
- [2] Page web MIPI I3C : www.mipi.org/specifications/i3c-sensor-specification
- [3] L'adhésion MIPI est coûteuse : www.mipi.org/join-mipi
- [4] Spécification de base de l'I3C : <https://resources.mipi.org/blog/mipi-alliance-delivers-new-i3c-basic-specification>
- [5] Liste des membres de l'Alliance MIPI : www.mipi.org/devcon//membership/all-member-directory
- [6] NXP soft core IP : <https://bit.ly/3qWAvD3>
- [7] API dans le noyau Linux : www.kernel.org/doc/html/latest/driver-api/i3c/protocol.html
- [8] Livre blanc MIPI I3C : <http://bit.ly/2gld6BL>
- [9] Fiche technique HDC2010 de Texas Instruments : www.ti.com/lit/gpn/hdc2010
- [10] Fiche technique PI3CSW12 de Diodes Inc. : www.diodes.com/assets/Datasheets/PI3CSW12.pdf