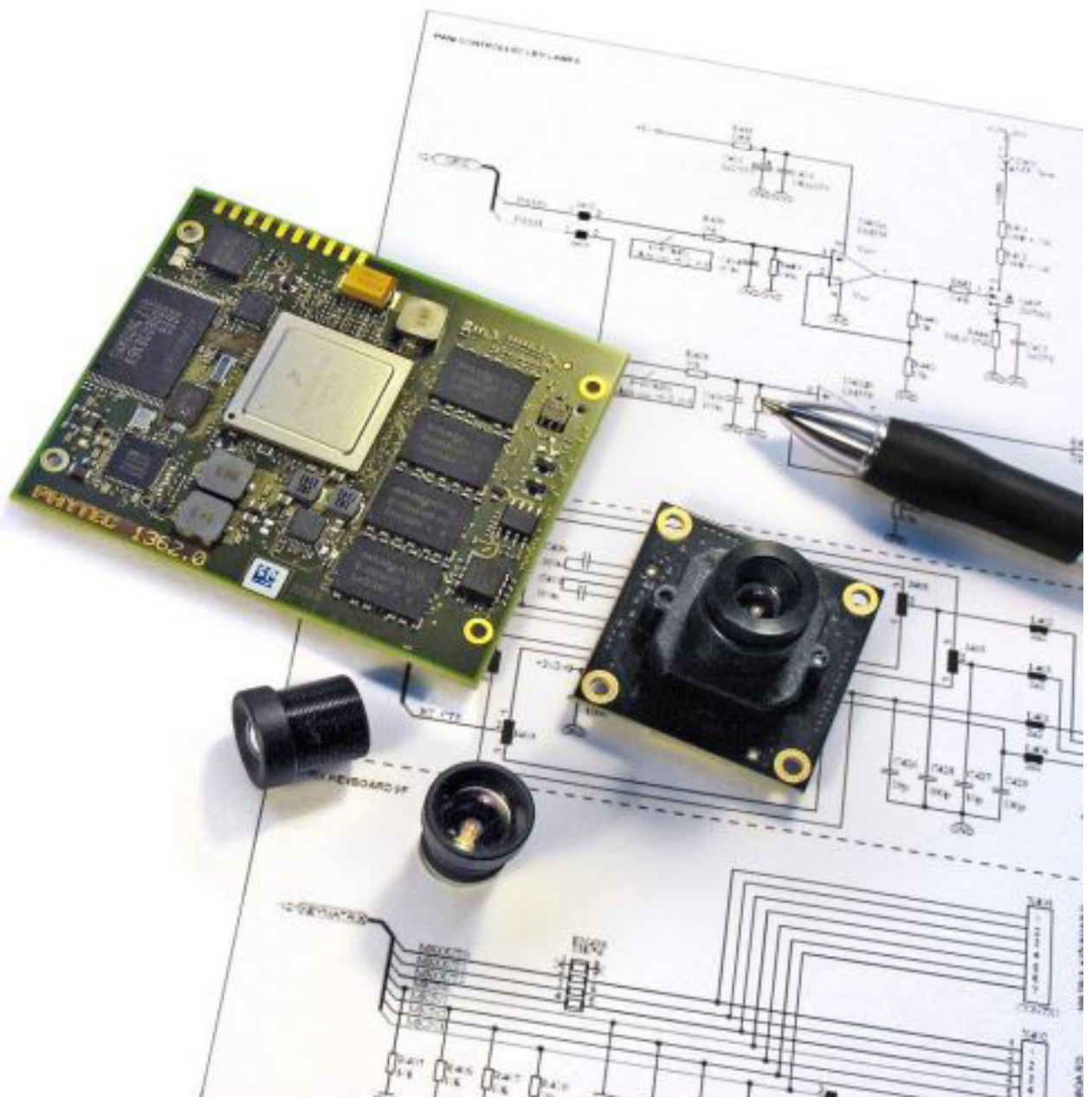


Quelle caméra pour son système de vision embarqué ?





Médical



Intelligence artificielle



Transport · Logistique



Energies renouvelables · Environnement



Embedded Security



Automation · Aérospace · Aviation



SOMMAIRE

- ***Introduction***
- ***Des systèmes de vision embarqués de plus en plus répandus***
- ***Comment choisir son module caméra ?
Des critères de choix multiples***
 - Les caractéristiques à prendre en considération
 - Pensez à la facilité d'intégration dans le système
 - L'importance du choix du fournisseur
- ***L'art et la manière d'intégrer son module caméra dans un système de vision***
 - La solution pour concevoir des solutions personnalisées sans se ruiner : une conception modulaire
 - La partie logicielle : un point à ne surtout pas négliger
- ***Les solutions proposées par Phytec***
 - Des modules caméra adaptés à toutes les applications
 - La combinaison module caméra / module processeur : le duo gagnant
- ***Conclusion***

Introduction

Contrairement aux caméras traditionnelles, qui fonctionnent de manière indépendante, les caméras embarquées sont intégrées dans des systèmes plus vastes afin d'améliorer les fonctionnalités et les capacités des équipements qui les hébergent. Prenant alors la forme de modules caméra, les caméras embarquées ont profité au fil des années de la course à la miniaturisation tout en bénéficiant des avancées technologiques des capteurs d'image, notamment en matière de résolution, de performances en conditions de faible luminosité et de capacités de traitement d'image avancées, leur permettant d'étendre leur rôle bien au delà de la capture d'images et ce, dans de multiples applications. Ces dernières années, l'intégration de fonctionnalités liées à l'intelligence artificielle (IA), comme l'exploitation d'algorithmes d'apprentissage automatique qui permettent aux caméras de reconnaître des motifs, des objets et même des individus, leur a ouvert de nouveaux horizons vers des applications telles que la reconnaissance faciale et la classification d'images.

Des systèmes de vision embarqués de plus en plus répandus

Grâce à ces évolutions technologiques, les caméras embarquées ont trouvé leur place dans une multitude de débouchés très disparates, chacun d'eux exploitant les capacités de ces bijoux technologiques - n'ayons pas peur de mots - pour répondre à des besoins et des défis spécifiques, mettant ainsi en évidence l'extrême polyvalence des caméras embarquées.

On pense bien évidemment aux smartphones - qui ont évolué de la simple capture d'images vers des systèmes sophistiqués capables de prendre en charge la réalité augmentée, la reconnaissance faciale et l'enregistrement vidéo haute définition - ou aux applications de surveillance et de sécurité, que ce soit dans les magasins, les espaces publics ou au niveau des infrastructures critiques.

Aujourd'hui, certaines caméras embarquées excellent dans des conditions de faible luminosité et/ou dans l'infrarouge, offrant une visibilité améliorée pendant la nuit ou dans des environnements avec un éclairage limité.

Mais ces débouchés ne sont pas les seuls à avoir adopté les capacités des caméras embarquées. Elles sont devenues partie intégrante de l'automatisation industrielle, contribuant notamment à des tâches telles que le contrôle qualité, la reconnaissance d'objets et la surveillance des processus. En robotique, ces caméras permettent aux machines de "voir" et de naviguer dans leur environnement de manière autonome, offrant ainsi de nouvelles possibilités dans les secteurs de la production industrielle, de la logistique et de la robotique de service.

Les caméras embarquées sont également partie intégrante des systèmes de sécurité automobiles modernes, en contribuant par exemple à des fonctionnalités telles que l'aide au stationnement, le maintien dans la voie et, plus généralement, les systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS).

Dans l'imagerie médicale, elles sont utilisées dans les appareils d'imagerie de diagnostic mais également dans les instruments endoscopiques pour lesquels la miniaturisation constitue le premier critère de choix.

Les drones exploitent également les avantages des caméras embarquées en matière de compacité et de légèreté pour la navigation, la surveillance et la capture d'images aériennes.

L'Internet des objets (IoT) s'appuie aussi sur des caméras embarquées pour ajouter une dimension visuelle aux appareils connectés, en particulier dans le domaine des maisons intelligentes (visiophones, systèmes de sécurité, etc.).



Comment choisir son module caméra ?

Des critères de choix multiples

Au regard de la diversité des débouchés potentiels de la vision embarquée, il est crucial de définir dans un premier temps les exigences spécifiques de l'application ciblée, qui détermineront le choix du module caméra qui constitue le cœur du système de vision embarqué. A l'instar des caméras traditionnelles, les modules caméra imposent de se pencher sur un nombre important de caractéristiques techniques pour faire le bon choix.

Les caractéristiques à prendre en considération

La liste ci-dessous n'est pas exhaustive mais permet de cibler les principaux critères à prendre en compte.

Le **type de capteur d'image** est le premier critère à considérer. La plupart d'entre eux sont regroupés en deux catégories :

- les CCD (Charge Coupled Devices)
- les capteurs CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor).

Disons-le tout de suite : bien que les CCD offrent une qualité d'images supérieure et un très faible rapport signal sur bruit, les capteurs CMOS sont plébiscités dans les applications embarquées en raison de leur bonne qualité d'images, de leur faible consommation d'énergie, de leurs vitesses de lecture plus élevée et de leur coût inférieur.

La **résolution** est un facteur critique car il détermine le niveau de détails des images capturées et influence de manière significative le coût du module caméra. Aujourd'hui, la plupart des capteurs CMOS équipant les caméras embarquées offrent des résolutions allant du VGA (suffisant par exemple pour des applications de surveillance domestique) jusqu'à des valeurs de 5 ou 8 millions de pixels (Mégapixels ou Mpixels) qui peuvent s'avérer indispensables dans l'imagerie médicale ou le contrôle qualité par vision dans la fabrication industrielle afin de visualiser les détails fins. Mais attention car une résolution élevée augmente la taille des fichiers et les besoins de traitement.

Autre critère de choix important, la **vitesse de capture d'images**, en particulier dans le cas impliquant des objets en mouvement rapide ou un traitement en temps réel. Les caméras embarquées offrent souvent des vitesses de 60 ou 120 images par seconde mais cela dépend de la résolution du capteur.

Par exemple, un module caméra de 2 Mpixels (Full HD) pourra fonctionner à 120 images par seconde à pleine résolution, tandis qu'un modèle de 5 Mpixels devra se contenter de 60 images par seconde pour un fonctionnement à pleine résolution. Ce dernier pourra néanmoins atteindre la cadence de 120 images par seconde, à condition de se caler sur une résolution moins élevée - par exemple en Full HD - s'il est doté de fonctions de mise à l'échelle et de recadrage.

La **plage dynamique** du module caméra et les performances en cas de faible luminosité sont également des critères de choix à ne surtout pas négliger. Exprimée en dB, la plage dynamique caractérise la capacité de la caméra à visualiser des détails précis, que l'éclairage ambiant soit faible ou important. Une plage dynamique élevée s'avère indispensable dans les applications où les conditions d'éclairage peuvent varier considérablement, comme la surveillance extérieure ou les systèmes de vision automobiles. Certains modules caméra disposent d'un mode dit HDR (High Dynamic Range) afin de s'adapter à ce type d'applications. Par ailleurs, les caméras disposant d'une bonne sensibilité en faible luminosité seront privilégiées dans les applications d'imagerie nocturne.

Le choix du **mode d'obturation** s'avère également crucial. Moins onéreux, les capteurs d'image à mode d'obturation "Rolling Shutter" capturent les images ligne de pixels par ligne de pixels, ce qui occasionne des artefacts de déformation d'images dans le cas d'objets en mouvement rapide. Les capteurs CMOS à mode d'obturation globale (Global Shutter) sont plus coûteux mais ils s'affranchissent de ce problème de distorsion d'objets en mouvement car tous leurs pixels sont exposés simultanément.

Dernier critère, et non des moindres, à figurer en tête de liste :

L'interface du module caméra détermine la manière dont la caméra se connecte à l'unité de traitement et l'architecture globale du système de vision embarqué. Le choix de l'interface tient compte des exigences de compatibilité et de bande passante du système pour une intégration transparente. Il faut également s'assurer que l'interface de la caméra soit prise en charge par les plateformes matérielles et logicielles choisies.

En plus de toutes les considérations citées plus haut, il faut aussi prendre en compte la taille du module caméra, son format optique, sa compatibilité avec différents types d'objectifs, ou encore sa capacité à fonctionner dans des conditions difficiles telles que des températures extrêmes, un taux d'humidité élevé ou un niveau de vibrations important.

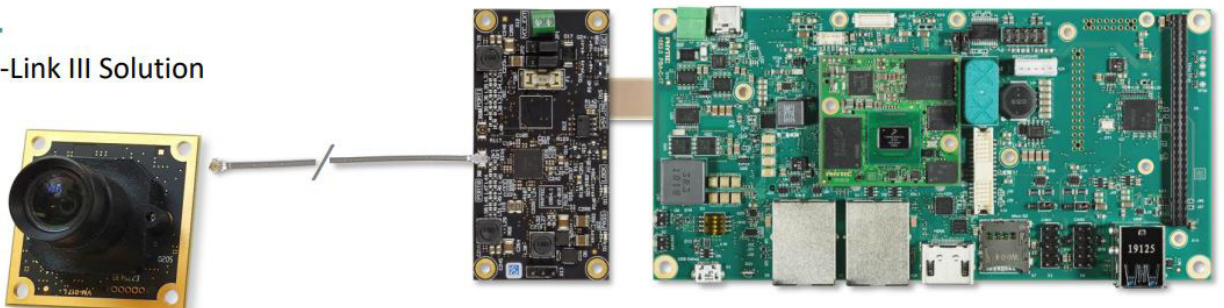
Pensez à la facilité d'intégration dans le système

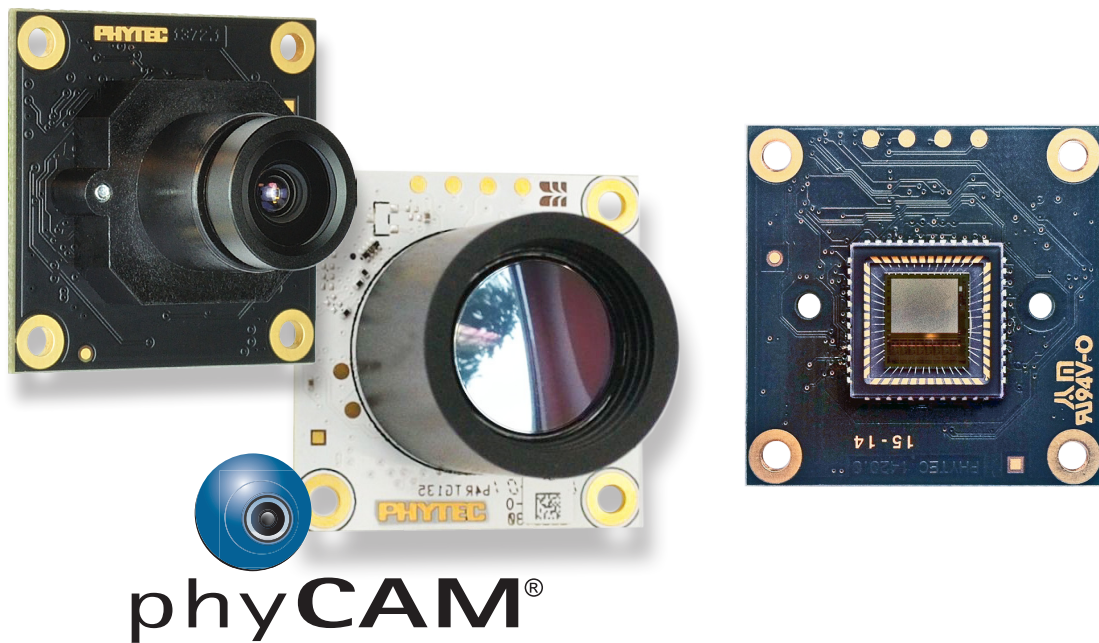
De par sa nature même, le choix du module caméra n'est que la première étape d'un processus d'intégration qui pourrait s'avérer particulièrement complexe s'il n'existait pas des solutions permettant de faciliter la vie des intégrateurs. Encore faut-il se pencher sur la question et porter son choix sur des solutions qui, idéalement, permettraient d'intégrer un module caméra aussi simplement qu'un capteur avec, à la clé, un gain de temps et d'argent appréciable en termes de développement, en particulier pour les applications de moyen volume.

Comme nous le verrons plus loin, ces solutions existent. Par ailleurs, il existe également des kits de développement qui aident à valider le concept avant de se lancer tête baissée dans la phase de production.

phyCAM-L

Industrial FPD-Link III Solution





L'importance du choix du fournisseur

Compte tenu de ce qui vient d'être dit plus haut, le choix d'un fournisseur de modules caméra revêt une importance fondamentale pour garantir le succès d'une conception de système de vision embarqué. Le bon fournisseur de modules caméra doit non seulement disposer d'une offre la plus large possible - on l'a dit, chaque application aura son propre cahier des charges - mais également être capable de proposer toute une panoplie de modules processeur dédiés à l'unité de traitement du système de vision embarqué, ainsi que des kits de développement, le tout constituant un véritable écosystème capable de répondre à chaque usage et aux possibilités et attentes de chaque concepteur de systèmes de vision embarqués.

Idéalement, le bon fournisseur fait également bénéficier ses clients d'une expertise et d'un support technique de haut niveau afin de les accompagner, de la spécification jusqu'au démarrage de la production du produit.

Un fabricant tel que Phytel développe des modules caméra et des modules processeur qu'il produit en Allemagne, et peut, grâce à son expertise, accompagner ses clients dans toutes les étapes de développement d'un système de vision embarqué, de la conception jusqu'à la solution complète, permettant ainsi d'avoir un seul et même interlocuteur et fournisseur.

L'art et la manière d'intégrer son module caméra dans un système de vision

La solution pour concevoir des solutions personnalisées sans se ruiner : une conception modulaire

Comme tout équipement embarqué, les systèmes de vision embarqués sont des solutions personnalisées conçues pour une application spécifique.

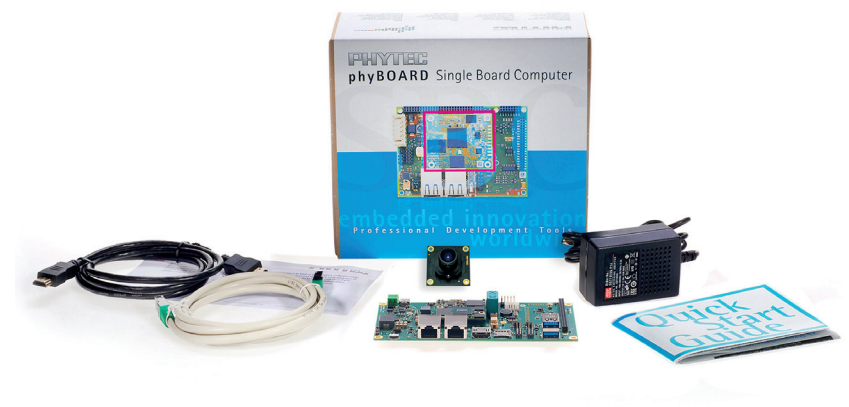
Se pose alors rapidement la question du coût de développement d'une telle solution. Pour ne pas faire exploser la facture, une solution efficace consiste à utiliser des modules matériels pré-développés et spécialement conçus pour l'intégration grâce à des interfaces bas-niveau adaptées, de sorte qu'ils puissent se combiner facilement.

Qui plus est, ces différents modules se distinguent par un concept qui offre un haut niveau d'adaptation nécessaire aux exigences spécifiques des périphériques. L'offre de vision embarquée de Phytex constitue un exemple de ce type de conception modulaire, pensé pour maîtriser ses coûts.

Le fabricant propose différents modules caméra avec interface bas-niveau ainsi que des modules processeur avec interface caméra pour servir de briques de base pour la conception d'un système de vision embarqué.

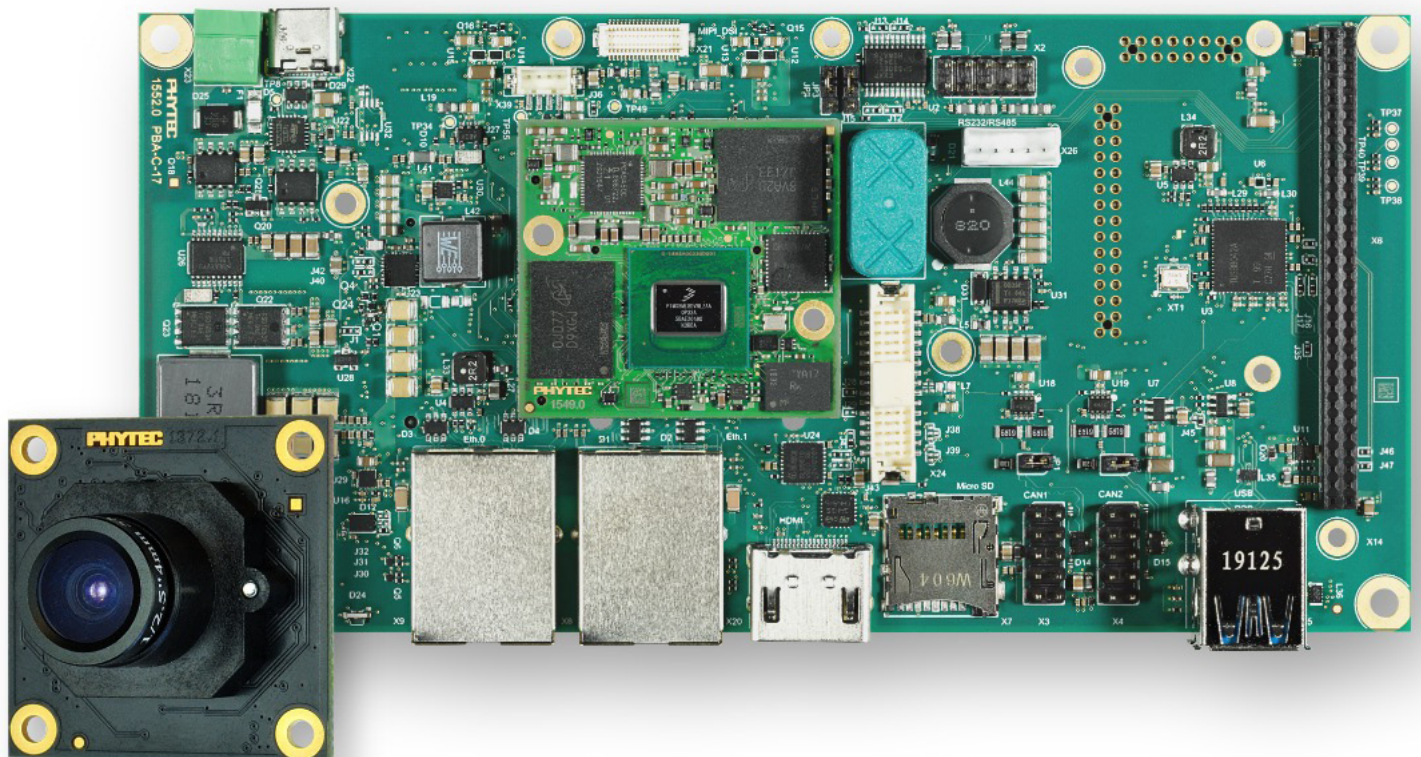
Le développeur peut ainsi combiner un module processeur avec le module caméra correspondant, comme dans un jeu de construction, obtenant ainsi, sans aucun effort de développement, deux constituants clés du système de vision final adaptés aux besoins de l'application.

À l'aide d'un kit de développement, il est déjà possible de mettre en route l'option matérielle choisie et de la tester.



Par ailleurs, d'autres éléments (pilotes, convertisseurs, alimentation, entrées/sorties, etc.) peuvent être implantés sur une carte mère spécifique au système et sur laquelle le module processeur est connecté, de manière à obtenir un degré de liberté maximal dans la réalisation des fonctions électriques avec un effort de développement minimal. Le développement d'une telle carte mère spécifique s'avère relativement peu complexe, le câblage de nombreuses interfaces pouvant être repris directement de la conception de base du kit de développement. Grâce au concept d'interfaces ouvertes sur les modules, le développement de la carte mère peut ainsi être réalisé en peu de temps par le développeur lui-même.

Au final, la combinaison de modules caméra et de modules processeur sur étagère, disponibles dans l'offre produit d'un fabricant tel que Phytect, et d'une carte mère spécifique développée par l'intégrateur lui-même pour peu de frais, permet de créer aisément, et à un coût maîtrisé, un système de vision embarqué adapté à l'application ciblée.



La partie logicielle : un point à ne surtout pas négliger

A ce stade, il convient de se demander comment s'effectuent la création du logiciel et l'intégration des algorithmes de traitement d'images dans le système.

Le kit de développement de Phytec contient par exemple déjà un Board Support Package (BSP) Embedded Linux adapté, avec une interface Video4Linux (V4L2) qui permet d'accéder de manière standardisée aux données d'image de la caméra dans le système. Le développeur peut ainsi commencer immédiatement la programmation de l'application et valider son concept à un stade précoce.

Cette approche permet d'obtenir au niveau logiciel la même flexibilité que pour la conception matérielle et de réduire considérablement le temps de développement pour une mise sur le marché plus rapide.

Les solutions proposées par Phytec

L'offre de Phytec en matière de systèmes de vision embarqués comprend des modules caméra, des modules processeur dédiés, ainsi que des kits de développement afin de constituer un ensemble capable de répondre à chaque usage et aux possibilités et attentes de chaque concepteur de systèmes de vision embarqués

Des modules caméras adaptés à toutes les applications

La gamme de modules caméra de Phytec comprend plusieurs modèles déclinés en trois résolutions différentes - à savoir 1 Mpixel (1280 x 800 pixels), 2,3 Mpixel (1920 x 1200 pixels) et 5 Mpixel (2592 x 1944) - et disponibles en deux formats physiques (un format classique de 34 x 34 mm et une format "mini" de 18 x 26 mm). Tous ont en commun une plage de température étendue allant de -25°C à +85°C, adaptée aux applications industrielles et automobiles, et surtout une interface baptisée phyCAM et qui permet l'intégration simple d'un module caméra dans les systèmes d'imagerie embarqués en facilitant la connexion avec le module processeur.

Quatre systèmes d'interface phyCAM sont proposés par Phytec afin de s'adapter aux différentes configurations.

L'interface **phyCAM-M** est compatible avec les architectures de processeurs modernes qui utilisent l'interface MIPI CSI-2 pour connecter des modules caméra au niveau de la carte. L'interface phyCAM-M adapte cette interface aux environnements d'application professionnels et prend en compte les critères de conception industrielle tels que l'interchangeabilité et la flexibilité dans le routage des câbles.

Dans le cas d'une architecture de collecte et de traitement d'images déportée, nécessitant des distances entre la caméra et le module processeur dépassant 15 cm, soit la portée usuelle des interfaces MIPI CSI2, Phytex propose l'interface **phyCAM-L**.

Utilisant le format de transmission FPD-Link III du secteur automobile ou V³Link davantage exploité dans les applications industrielles, **phyCAM-L** autorise un déport du signal jusqu'à 15 mètres entre la caméra et le module processeur, offrant ainsi au concepteur de systèmes de vision une grande liberté dans le choix de l'architecture de sa solution. Cela d'autant que le câble coaxial flexible qui assure le déport du signal jusqu'à 15 mètres fait également office de câble d'alimentation du module caméra, ce qui évite l'utilisation d'un second câble.

Enfin, les interfaces **phyCAM-P** et **phyCAM-S** s'adressent aux modules processeur avec interface de caméra parallèle. phyCAM-P transmet les données, les signaux de commande et la tension d'alimentation via un câble FFC à 33 broches. De son côté, phyCAM-S convertit les données d'image en LVDS et permet ainsi des connexions de caméra plus longues : un câble phyCAM-S ne nécessite que huit fils et peut mesurer jusqu'à cinq mètres de long.



La combinaison gagnante : le duo module caméra / carte processeur

Les modules microprocesseur proposés par Phyttec pour les systèmes de vision embarqués sont de véritables systèmes informatiques complets implantés sur une carte compacte prête à l'emploi (SOM – System on Module), équipés des interfaces pour les modules caméra de la série phyCAM.

Cela permet de connecter les modules caméra à la carte informatique de manière simple et économique. Les interfaces de caméra spécifiques au processeur autorisent également un accès direct aux unités de prétraitement internes pour les données d'image.

Les modules processeur offrent une variété d'interfaces de données parmi lesquelles on peut citer Ethernet, HDMI, CAN, I2C, écran TFT et RS-485. Ils peuvent donc être facilement intégrés dans de nombreuses applications.

L'adaptation à une application spécifique est réalisée à l'aide d'une carte de base - appelée également carte porteuse - sur laquelle le module processeur est enfiché ou, dans certains cas, directement soudé.

La carte porteuse peut également accueillir des groupes de fonctions et des capteurs supplémentaires. Les fonctions du processeur, les interfaces et les modules caméra à interfaces phyCAM sont pris en charge par le système d'exploitation Linux correspondant (BSP, Board Support Package).

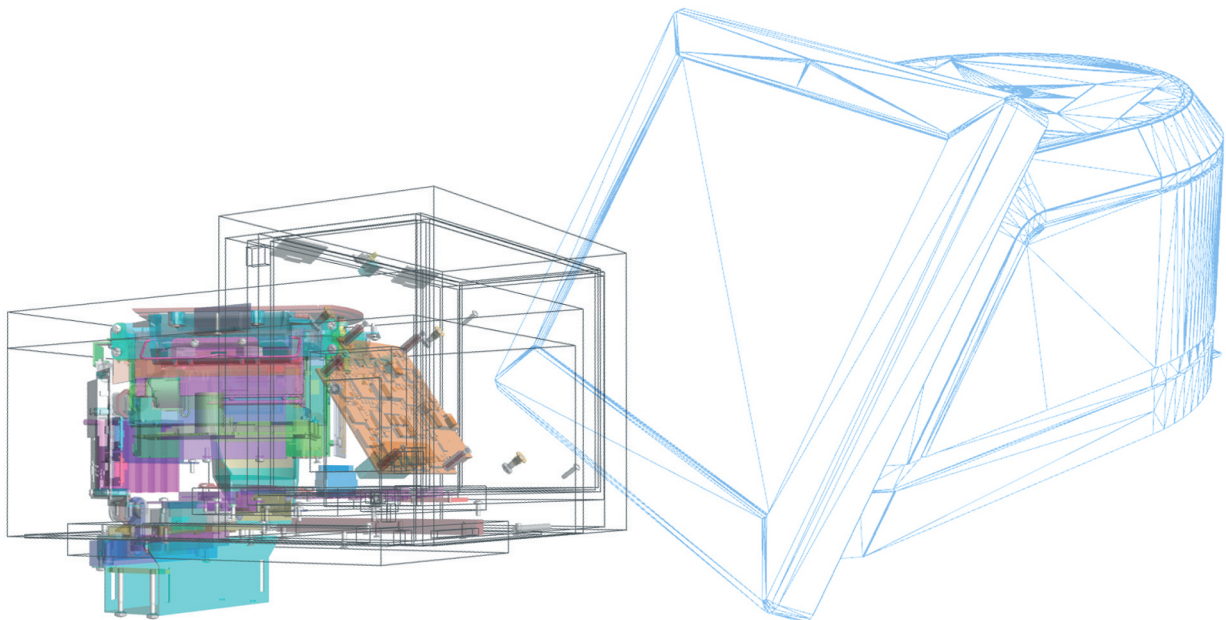
Les kits de développement proposés par Phyttec permettent par ailleurs la vérification du logiciel et de la conception avant même que la carte porteuse ne soit disponible. Pour les clients qui souhaitent développer eux-mêmes leurs cartes porteuses, les ingénieurs de développement de Phyttec peuvent dispenser leurs conseils en matière de conception. Ils peuvent également se charger de l'ensemble du développement électronique de la carte porteuse.

Conclusion

En exploitant des éléments pré-développés tels que des modules caméra et des modules processeur, la bibliothèque de schémas de circuits de Phytec ainsi que l'expérience de ses ingénieurs dans la conception de systèmes embarqués, le développement d'un système de vision embarqué peut s'avérer bien moins onéreux que ce que le client aurait imaginé au départ.

Si l'on ajoute à cela la possibilité qu'un chef de projet Phytec puisse accompagner son client, de la spécification du projet jusqu'au démarrage de la production, et le fait que l'ensemble de la solution - les modules et la carte porteuse - soit fabriqué dans l'usine de Phytec située à Mayence, en Allemagne, la mise sur le marché du système peut également être rapide.

Autant d'éléments qui font de l'offre de Phytec en matière de vision embarquée des solutions pensées pour la production de série.



The Embedded Imaging Concept

Advance performance optimally tailored to your application