

Créer une caméra thermique à l'aide d'un microcontrôleur 8 bits

La plupart du temps, les caméras thermiques infrarouges sont conçues à l'aide de microprocesseurs 16 ou 32 bits. Au sein du Groupe d'application 8 bits chez Microchip Technology, les ingénieurs ont testé la validité d'un design de caméra thermique économique à faible résolution fondé sur un microcontrôleur 8 bits.

En Arizona, les citoyens s'inquiètent de plus en plus des cas de conducteurs prenant l'autoroute à contresens. Des conducteurs distraits ou souffrant d'un handicap se retrouvent ainsi parfois du mauvais côté de l'autoroute, mettant en danger la vie des autres. Dans une démarche visant à combattre ce phénomène, le département des Transports de l'Arizona est en train de mettre au point et de tester un système de détection thermique des conducteurs roulant en sens inverse, un équipement conçu pour détecter les véhicules allant à contresens, puis alerter les autres conducteurs et les agents des forces de l'ordre de leur présence. Ces caméras thermiques sont placées sur les rampes d'accès à l'autoroute ainsi que sur les voies d'autoroute elles-mêmes. Lorsque le conducteur qui roule à contresens est repéré, les caméras suivent le véhicule, envoient ses données de localisation aux forces de l'ordre et avertissent les autres automobilistes via les panneaux d'affichage suspendus au-dessus des voies. Le principe de la caméra vidéo thermique, ou caméra infrarouge (IR), est d'utiliser le rayonnement infrarouge du spectre lumineux pour créer une image que l'on peut voir dans les longueurs d'onde de la lumière visible. Les caméras thermiques, à l'origine développées pour des applications militaires, sont aujourd'hui largement répandues pour des applications commerciales, industrielles et grand public.

Or, souvent, ces caméras sont conçues à l'aide de microprocesseurs à la pointe de la technologie : des microcontrôleurs 16 ou 32 bits. Or pour une gamme d'applications

• Il est possible de réaliser un imageur thermique à bas coût et faible résolution avec un simple microcontrôleur 8 bits

AUTEUR



Chris Best,
Ingénieur
d'application,
Microchip.

simples, comme la détection de voiture évoquée précédemment, il est intéressant de tester la possibilité de concevoir une caméra thermique à bas coût et faible résolution, en mettant en œuvre un « simple » microcontrôleur 8 bits (photo ci-dessous) ^(*).

Capter le rayonnement électromagnétique

Pour mieux comprendre comment fonctionne une caméra thermique, il faut avoir une bonne compréhension des rayonnements électromagnétiques et infrarouges. Toute matière émet normalement un rayonnement électromagnétique quand sa température est supérieure au zéro absolu (-273,15 °C). Ce rayonnement, également connu sous le nom de rayonnement thermique, représente la conversion de l'énergie thermique de la matière en énergie électromagnétique et peut inclure un rayonnement à la fois visible et invisible.

Le rayonnement visible, ou lumière visible, est le rayonnement électromagnétique qui est détecté par l'œil

humain. Il est typiquement défini comme ayant une longueur d'onde comprise entre 400 et 700 nanomètres (nm). Le rayonnement infrarouge quant à lui est invisible pour l'œil humain. Il est défini comme ayant une longueur d'onde comprise entre 700 nm et 1 millimètre (mm). Le rayonnement thermique émis par les objets ordinaires qui sont en équilibre thermodynamique avec leurs milieux environnants peut être considéré comme le rayonnement du corps noir. Les objets qui ont une température proche de la température ambiante (25 °C) émettent un rayonnement thermique dans le spectre infrarouge.

Les objets définis comme corps noir sont des objets physiques théoriques qui absorbent tout rayonnement électromagnétique incident, c'est-à-dire que tout rayonnement qui interagit avec l'objet est absorbé. Bien sûr, dans la nature il n'existe aucun corps noir parfait.

Quand un corps noir est en équilibre thermodynamique (température constante), il émet des rayonnements du corps noir suivant la loi de Planck, qui décrit la distribution de la luminance spectrale des rayonnements électromagnétiques en termes de composantes de fréquence à une température donnée. En d'autres termes, un corps noir maintenu à une température constante émettra un rayonnement d'une amplitude et fréquence spécifiques, uniquement fonction de la température de l'objet, et non de sa forme ou de sa composition.

Les objets du monde réel émettent une quantité d'énergie inférieure à celle d'un corps noir. Cette faible quantité est connue sous le nom d'émissivité de l'objet. Elle est utilisée pour déterminer l'efficacité réelle de l'objet en termes d'émission de rayonnement thermique. La surface d'un corps noir parfait possède une émissi-



vité de 1, c'est-à-dire que tout rayonnement qui interagit avec la surface est absorbé par l'objet. L'argent poli, à l'inverse, possède une émissivité de 0,02, qui signifie que presque tout le rayonnement est dispersé ou réfléchi sur la surface et qu'une très petite quantité est absorbée.

Quels composants pour une caméra thermique ?

Une caméra thermique fondée sur un microcontrôleur 8 bits se compose principalement des trois éléments : un capteur infrarouge (ici le circuit Grid-EYE de Panasonic), un module LCD d'affichage (ici le module COG-C144MVGI-08 de Varitronix) et un microcontrôleur 8 bits (ici le PIC18F27K42 de Microchip).

La détection infrarouge est réalisée à l'aide du capteur Grid-EYE. Le Grid-EYE est un capteur infrarouge à matrice de 8x8 pixels conçu à l'aide d'un capteur thermopile en technologie MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Un réseau de capteurs thermopiles se compose d'une série de thermocouples indépendants. Chaque thermocouple est constitué de deux filaments faits de différents matériaux. Les deux filaments sont reliés à une extrémité, connue sous le nom de jonction chaude, tandis que l'autre extrémité est connectée à un dissipateur thermique. La jonction chaude est reliée à une membrane IR commune ultramince, partagée par les 64 thermocouples. S'il y a une différence de température entre deux jonctions, une très faible tension de force électromotrice (f.e.m.) se crée, qui peut être mesurée puis convertie en température. Ce phénomène s'appelle l'effet Seebeck. Le capteur communique via le bus I²C à une fréquence maximale de 400 kHz. Le capteur intègre également un amplificateur de gain, un convertisseur analogique-numérique (A/N) et une thermistance (figure 1).

Le capteur commence à fonctionner en absorbant l'énergie thermique infrarouge dans son champ de vision de 60°. L'énergie IR passe à travers une lentille intégrée qui joue le rôle de filtre optique, permettant l'absorption de l'énergie IR pour les longueurs d'onde comprises entre 5 et 13 µm (zone de l'infrarouge lointain). Une fois que l'énergie IR a traversé la lentille, elle est absorbée par chacun des

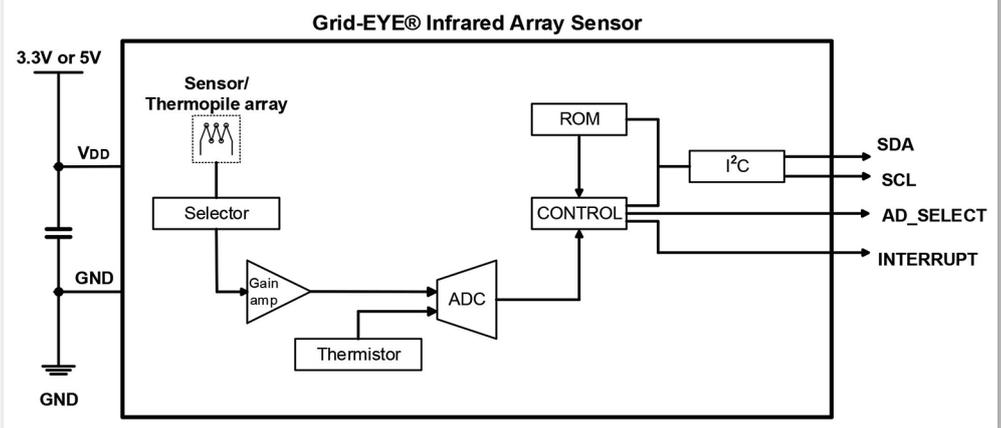
64 éléments de détection du réseau de la thermopile. Chaque élément de détection convertit l'énergie IR qu'il absorbe en un signal analogique de sortie. La tension analogique est typiquement de l'ordre de quelques millivolts, ce qui peut s'avérer trop faible pour détecter avec précision les petites variations d'énergie. Pour y remédier, la sortie analogique de chaque élément passe par un amplificateur de gain qui augmente la résolution de chaque élément. Une fois chaque signal amplifié, chacun passe par le convertisseur analogique/numérique où il est référencé par rapport à la valeur de la température de la thermistance intégrée, puis converti en son équivalent numérique 12 bits (11 bits+1 bit de signe). Chacun des

LCD de l'afficheur, créant jusqu'à 65 000 couleurs uniques. Le pilote est un pilote LCD S6B3306 de Samsung, intégré au module d'affichage. Le pilote simplifie l'interface entre un microcontrôleur et l'afficheur, ce qui signifie que moins de connexions sont nécessaires.

Le LCD est configuré en mode 65 000 couleurs (65k). Dans ce mode 65k, le mot de 16 bits est divisé selon le format de couleur standard RGB565. Le format RGB565 est un schéma de couleurs 16 bits dans lequel les bits <15:11> (5 bits) définissent l'intensité du rouge, les bits <10:5> (6 bits) définissent l'intensité du vert, et les bits <4:0> (5 bits) définissent l'intensité du bleu (figure 2). Le format RGB565 fournit un bit supplémentaire pour la

1 SCHÉMA DES COMPOSANTS DU CAPTEUR GRID-EYE

Le capteur intègre un amplificateur de gain, un convertisseur analogique-numérique (A/N) et une thermistance.



64 pixels possède son propre registre de température qui conserve la valeur numérique équivalente convertie en température. Ces registres de températures peuvent être lus par un microcontrôleur via le bus I²C.

Le module LCD de son côté intègre la technologie LCD CSTN (Color Super-Twist Nematic) qui utilise un adressage à matrice passive. Dans un écran LCD CSTN, les signaux de rangée et de colonne sont utilisés pour pointer directement un pixel, et le pixel doit maintenir son état ALLUMÉ/ÉTEINT sans utiliser de commutateur ou de condensateur. Chaque pixel visuel est divisé en trois sous-pixels physiques, et chaque sous-pixel utilise un filtre rouge, bleu ou vert pour afficher la couleur. L'afficheur utilise un rétro-éclairage à DEL blanche dont la lumière traverse chaque sous-pixel. L'intensité de sortie de chaque sous-pixel est contrôlée par le pilote

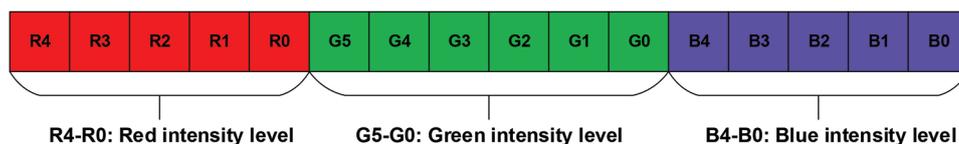
couleur verte car la vision humaine est plus sensible aux longueurs d'onde vertes du spectre de lumière visible.

Le microcontrôleur chef d'orchestre

Dans cette architecture, le microcontrôleur PIC18F27K42 est utilisé pour lire les données de température issues du capteur, effectuer le traitement de l'image et transmettre les données de couleur au LCD. Plusieurs périphériques ont été utilisés dans cette caméra : le Timer1, l'accès direct à la mémoire (DMA), le bus I²C et l'interface SPI. Le périphérique Timer1 est un compteur incrémentiel 16 bits qui est mis en œuvre dans l'application de caméra thermique pour générer un délai de 15 secondes. Quand la caméra est allumée pour la première fois et que le capteur Grid-EYE est configuré, il lui faut un délai de 15 secondes avant de se stabiliser.

2 MODE DE GÉNÉRATION DES COULEURS SUR L'ÉCRAN LCD

Le mot de 16 bits est divisé selon le format de couleur standard RGB565.



Plutôt que d'utiliser une fonction de type delay qui suspend l'exécution du programme pendant le cycle du délai, le Timer1 peut être utilisé pour réaliser la même tâche. Et comme il fonctionne en tâche de fond, l'exécution du code se poursuit, permettant au noyau de se concentrer sur d'autres tâches plutôt que de suspendre l'exécution du code.

Le module DMA d'accès direct à la mémoire (Direct Memory Access) permet quant à lui le transfert de données entre les différentes zones de mémoire du microcontrôleur sans aucune intervention du CPU. Le module DMA évite ainsi au processeur de gérer les interruptions visant à suivre les transferts de données, ce qui lui permet d'effectuer d'autres tâches pendant l'opération de transfert. La caméra utilise aussi le module DMA pour transférer le fichier image, stocké dans la mémoire programmable, vers le LCD pendant le délai de stabilisation du capteur Grid-EYE. Côté communication, le module I2C fournit une interface série synchrone entre le microcontrôleur et les autres composants compatibles I2C. Le module I2C sert à configurer et lire les données de température issues du capteur Grid-EYE et fonctionne à une vitesse de bus de 100kHz. La lecture des données des pixels issues du capteur requiert la lecture des blocs des

registres de pixels. Chaque pixel contient une valeur de température 12 bits, scindée en deux octets séparés. Et puisque il y a un total de 64 pixels, le module I2C effectue la lecture de blocs pour 128 octets. Heureusement, la zone des données de pixels est configurée de façon séquentielle, c'est-à-dire que le module I2C peut transmettre une seule adresse esclave, suivie par une seule adresse de registre, mais reçoit les 128 octets en une seule transaction. Après la lecture de chaque registre de pixel, le capteur pointe automatiquement vers le registre suivant, afin d'éviter d'avoir à démarrer un nouveau paquet de données de communication à chaque fois qu'un registre de pixel est lu.

Enfin, le module SPI du PIC18F27K42 sert à configurer et à écrire l'information de couleur dans le LCD. Le module est configuré en mode émission uniquement à une vitesse SCK (SPI Serial Clock) de 8MHz. La configuration « émission seule » permet le transfert de données uniquement dans un sens, depuis le composant maître vers le composant esclave, sans que le maître ait besoin de lire l'entrée SDI. Chaque trame d'image est constituée de 17 434 mots de 16 bits, ce qui signifie que chaque trame a besoin que le SPI émette 34 868 octets de 8 bits pour chaque

trame. Comme on peut le comprendre, même en économisant juste un cycle d'instructions à chaque fois que le SPI écrit un octet de données, cela équivaldrait à une économie de 34 868 instructions, ce qui signifierait que le SPI pourrait écrire les données d'autant plus rapidement. On peut ainsi éviter un décalage d'image entre une trame et la suivante.

Une fois que le microcontrôleur PIC a lu les données de température issues du capteur, il doit effectuer le traitement de l'image pour créer l'image à transmettre au LCD. Le logiciel de traitement de l'image utilise les données du capteur pour créer une image à partir des 64 pixels contenus dans le capteur. Si nous pouvions observer la matrice de 64 pixels sur l'afficheur LCD de 1,44 pouce, l'image serait trop petite. Afin de pouvoir voir correctement l'image, celle-ci doit être agrandie.

C'est ici qu'intervient l'interpolation linéaire, procédé qui consiste à trouver une valeur inconnue entre deux valeurs connues. En d'autres termes, l'interpolation linéaire utilise les informations déjà connues pour combler les « blancs » nécessaires pour agrandir l'image. Pour cette caméra, c'est la méthode d'interpolation bilinéaire qui est utilisée. Dans ce cas, le logiciel prend les valeurs de quatre pixels voisins, applique un facteur d'échelle à chacun des quatre pixels, et prend la moyenne des quatre pixels agrandis pour appliquer cette valeur au pixel nouvellement créé. Le facteur d'échelle dépend de la distance à laquelle le nouveau pixel se trouve par rapport au pixel d'origine; plus le nouveau pixel est éloigné, plus le facteur d'échelle sera petit (figure 3). L'interpolation linéaire estime une valeur inconnue à partir de valeurs connues, mais ne peut garantir l'exactitude de la valeur calculée. En d'autres termes, la zone inconnue entre les deux pixels peut contenir la limite de l'objet, et au lieu de créer la limite nette de l'objet, l'interpolation peut entraîner une limite plus floue. C'est le prix à payer pour une caméra 8 bits!

3 INTERPOLATION LINÉAIRE

L'interpolation linéaire est utilisée ici pour agrandir une matrice de données 8x8 en une matrice de données 32x32.

ORIGINAL 8X8 ARRAY

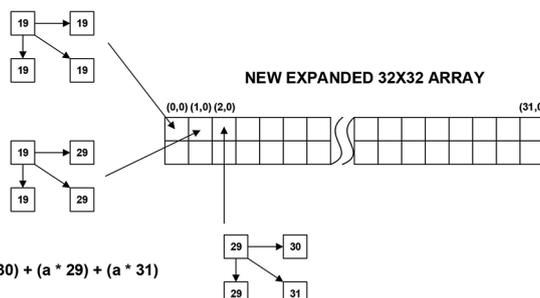
19	19	29	30	31	31	19	19
19	19	29	31	31	31	19	18

$$\text{New pixel @ (0,0)} = (19) + (a * 19) + (a * 19) + (a * 19)$$

Where:
a = weighted constant

$$\text{New pixel @ (1,0)} = (19) + (a * 29) + (a * 19) + (a * 29)$$

$$\text{New pixel @ (2,0)} = (29) + (a * 30) + (a * 29) + (a * 31)$$



(*) Pour créer cette caméra, vous pouvez vous reporter à la note d'application AN2773 de Microchip. Celle-ci détaille les composants et le fonctionnement de la caméra. L'intégralité du code source est sur le site Web de Microchip (code MPLAB Xpress).



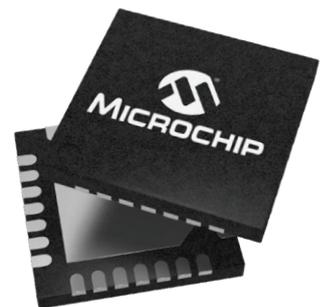
De l'analogique de classe mondiale chez un leader des microcontrôleurs ?

Si vous ne connaissez Microchip que comme fournisseur de MCU, nous allons vous surprendre !

La success-story de Microchip ne serait pas complète sans nos solutions analogiques. Notre histoire de fournisseur leader proposant un support de conception complet et une large gamme de produits, ne se limite pas seulement aux microcontrôleurs.

Nous proposons également des produits linéaires, signaux mixtes, de gestion d'énergie, thermiques et d'interface, tous à hautes-performances et faciles à mettre en œuvre. Globalement l'offre Microchip s'avèrera précieuse pour de nombreuses applications ayant des exigences de performance variées.

Vous disposerez de la puissance, de la souplesse et de la confiance nécessaires pour choisir la meilleure solution pour votre projet, quelles que soient vos contraintes de conception. Profitez de notre expérience et de nos solutions système complètes pour gagner du temps et simplifier votre travail de conception.



Démarrez votre propre success-story sur
www.microchip.com/Real-Analog

