Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 104 (2013)
Heft: 6

Artikel: La technologie spaceCoder
Autor: Grenet, Eric
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856492

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

La technologie spaceCoder

Un encodeur optique absolu doté d'une précision nanométrique

Les encodeurs optiques basés sur des capteurs de vision offrent une précision et une fiabilité sans précédent. En traitant l'image de l'ombre projetée par une plaque codée sur un capteur d'image, la position absolue d'un objet peut être mesurée avec une extrême résolution. Cette technique ne requiert aucune lentille, ouvrant la voie à des systèmes compacts et à coût réduit. Elle permet d'améliorer les performances d'encodeurs linéaires, 2D ou rotatifs existants et peut être appliquée au positionnement tridimensionnel de pièces, et ce, jusqu'à 6 degrés de liberté.

Eric Grenet

Les encodeurs de position font l'objet d'un grand nombre d'applications dans l'industrie. Que ce soit pour le positionnement de pièces de machines-outils, le contrôle de déplacements ou la mesure de forces, des informations de position précises et fiables sont essentielles. Les encodeurs sans contact sont évidemment très avantageux pour les mesures de précision et aujourd'hui la plupart des encodeurs utilisés sont soit de type magnétique, soit de type optique. Cependant, dans de nombreux cas, l'augmentation de la résolution se fait au détriment de la gamme dynamique : les mesures de précision ne sont possibles que sur de très petites plages de mesure. De plus, la plupart des capteurs sont de type incrémental, c'est-à-dire qu'ils ne mesurent que les déplacements relatifs.

Une nouvelle génération d'encodeurs basés sur des capteurs de vision, utilisant le traitement d'image pour réaliser les mesures de position, est en train d'émerger. Il y a quelques années encore, les coûts des capteurs d'image et du traitement d'image étaient prohibitifs. Aujourd'hui, la réduction du coût de ce dernier rend ces systèmes accessibles pour les applications courantes. En outre, les capteurs de vision n'obligent à aucun compromis entre résolution et gamme dynamique.

Le spaceCoder est un encodeur optique innovant basé sur l'imagerie par projection d'ombre. Il se présente sous la forme d'un système compact pouvant être configuré pour un grand nombre de géométries, depuis le déplacement linéaire jusqu'à 6 degrés de liberté (DDL), tout en conservant une résolution inférieure au nanomètre sur une plage quasi illimitée. Le présent article décrit les principes optiques du spaceCoder et propose quelques exemples d'applications.

Principe

Le principe du spaceCoder [1] repose sur la mesure de la position d'une source lumineuse à l'aide d'un réseau de capteurs d'image **(figure 1)**. La lumière de la source (par exemple une LED ou un laser) traverse une plaque transparente sur laquelle figure un motif codé non transparent. L'image de l'ombre de ce motif est projetée sur le capteur et saisie. Les informations de position 3D de la source lumineuse sont contenues dans cette image projetée de manière répartie. La position absolue haute résolution est ensuite obtenue en traitant la totalité de l'image (typiquement entre 10 000 et 100 000 pixels). Le fait que l'imagerie par projection d'ombre n'utilise pas de lentille permet d'éliminer les distorsions d'image et d'obtenir un système très compact, une meilleure stabilité thermique et une réduction de coût importante.

Mesure grossière de la position absolue

Pour les mesures de position linéaire ou angulaire absolues, la configuration comprend une source lumineuse (non

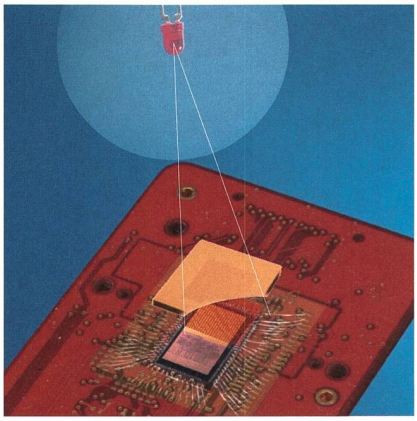

Figure 1 Principaux composants utilisés pour la mesure de position : une LED éclaire le motif représenté sur la plaque, dont l'ombre est projetée sur le capteur d'image.

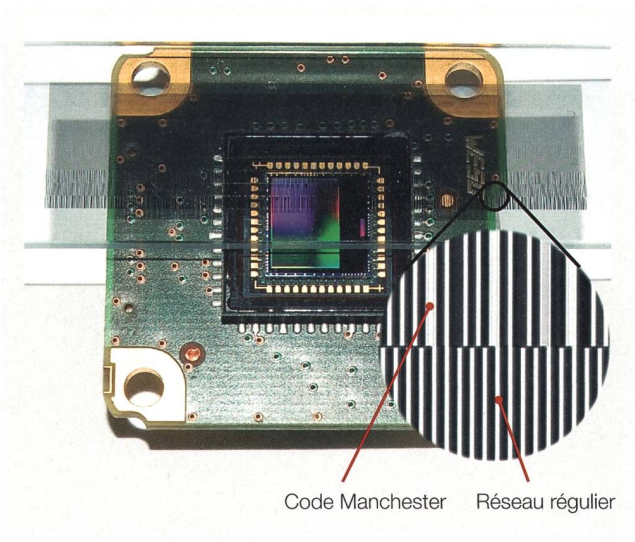

Figure 2 Configuration d'imagerie par projection d'ombre composée d'une caméra USB compacte et d'une réglette transparente.

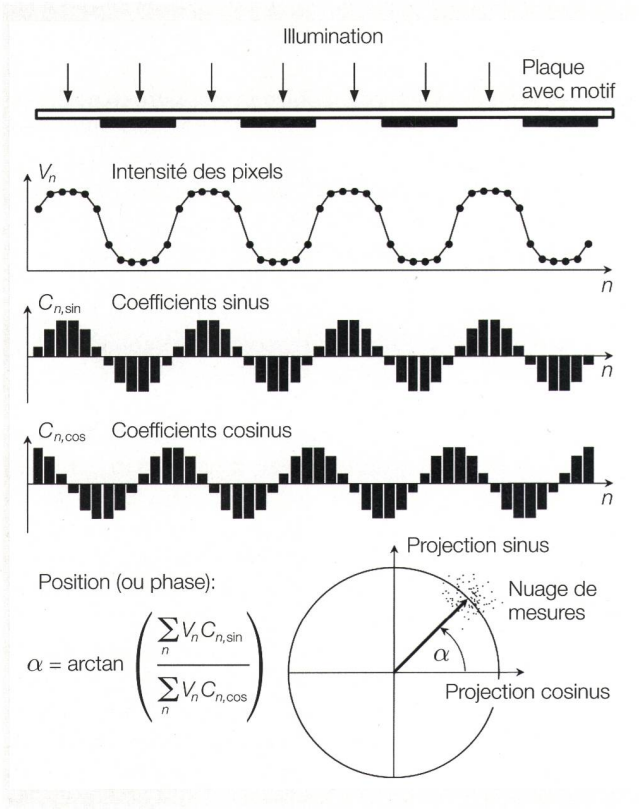

Figure 3 Schéma d'un principe de mesure de position robuste et de haute précision.

illustrée), un capteur d'image (par exemple une caméra USB compacte) et une réglette transparente dotée d'un marquage à double piste : un code Manchester et un réseau régulier **(figure 2)**. La mesure grossière de la position absolue est obtenue en décodant le code Manchester (typiquement de 8 à 16 bits) qui est lu par le capteur à une position donnée.

Mesure fine de la position relative

La mesure fine de la position relative est réalisée par un traitement de type « analyse de Fourier » du réseau régulier à la fréquence fondamentale. La robustesse et la précision sont garanties, d'une part, par le fort suréchantillonnage du motif (typiquement entre 8 et 16 pixels par période de motif) et, d'autre part, en se basant sur les informations de phase qui sont réparties dans toute l'image (des dizaines de milliers de pixels).

Le principe de la mesure fine est illustré dans la **figure 3**. Chaque pixel représente un point dans le « nuage de mesures » dont le centre de gravité donne le résultat final. La combinaison des mesures grossières et fines conduit à une mesure de position absolue de très haute résolution, typiquement de 24 bits pour un encodeur rotatif de 32 mm de diamètre ou un encodeur linéaire de 100 mm.

La résolution angulaire maximale est proportionnelle au diamètre de l'encodeur rotatif. La gamme dynamique des mesures linéaires varie quant à elle en fonction de la longueur de la réglette pour un encodeur linéaire. Par exemple, un encodeur linéaire doté d'un capteur d'image VGA peut atteindre une dynamique de la mesure du déplacement de 67 bits, ce qui permettrait de couvrir des mesures sur une distance de 150 000 000 km (soit la distance Terre-Soleil) avec une résolution de 1 nm au niveau de l'ombre projetée.

La grande robustesse et la haute précision sont essentiellement dues au fait que les informations sont réparties de façon redondante dans toute l'image : chaque pixel contribue au calcul de positionnement fin.

Extension à plusieurs degrés de liberté

Le principe de mesure linéaire, ou à 1 degré de liberté, décrit plus haut peut être étendu à plusieurs DDL [2].

2 degrés de liberté

Pour des mesures à 2 DDL, le motif de la plaque codée est à nouveau composé d'un code binaire et d'un réseau régulier. Un exemple de code propriétaire est illustré sur la **figure 4**. Dans ce cas, le réseau régulier est composé de carrés et l'orientation des barres diagonales code la position 2D absolue (remplaçant le code Manchester utilisé pour la mesure à 1 DDL).

La mesure de position absolue grossière est obtenue en décodant le code binaire qui est lu par le capteur à une position donnée. Grâce au grand nombre de pixels et à une méthode de traitement d'images innovante, le plus petit déplacement détectable de l'ombre du motif est typiquement inférieur à 1 nm : cela représente 1/100 000e de la période du motif (100 µm) ou moins de 1/1000e de la dimension d'un pixel (5 µm). De même que dans le cas à 1 DDL, la combinaison des mesures grossières et fines conduit à une très haute résolution sur une plage quasi infinie.

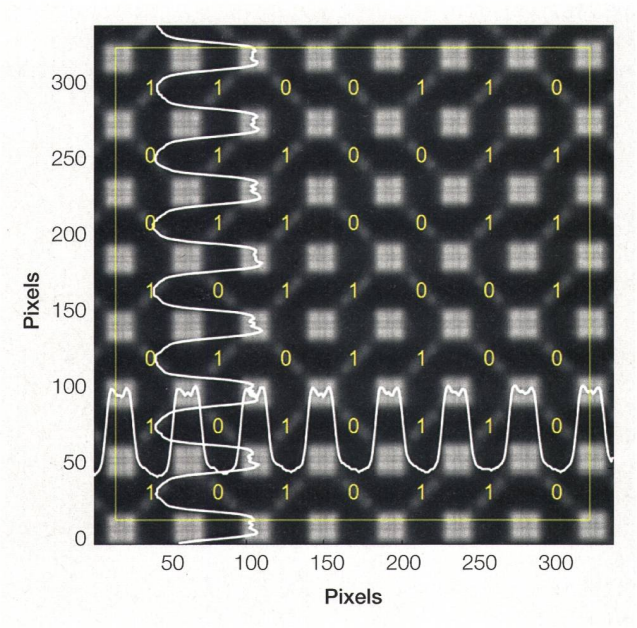

Figure 4 Un motif de cadran 2D : la position absolue est codée par l'orientation des barres diagonales et le réseau régulier facilite la mesure de position à haute résolution à l'intérieur d'une période de code.

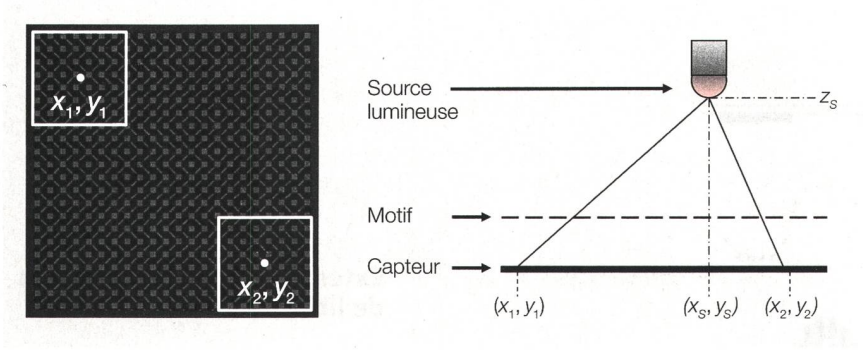

Figure 5 Combinaison de 2 zones (mesures à 2 DDL) et triangulation pour une mesure à 3 DDL.

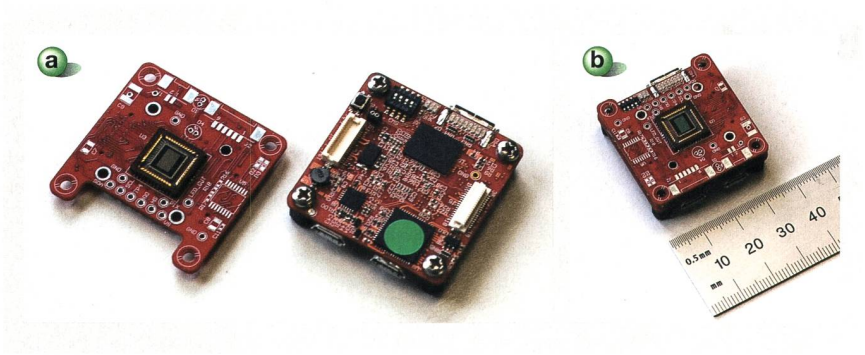

Figure 6 Capteur d'image et module de traitement embarqué, avant (a) et après l'assemblage (b).

3 degrés de liberté

Le spaceCoder est un capteur monopuce qui extrait les informations 3D du motif d'ombre 2D obtenu sur le capteur. Une mise en œuvre simple de cette technique consiste à prendre deux régions distinctes de l'image et à réaliser le positionnement à 2 DDL habituel pour chaque région. La combinaison des informations 2D des deux régions permet de détecter l'abscisse et l'ordonnée absolues (x_S et y_S) de la source lumineuse, mais également la troisième dimension, la cote absolue (z_S), par simple triangulation (figure 5). De tels encodeurs à 3 DDL peuvent détecter la position 3D d'une source lumineuse se déplaçant librement dans l'espace.

6 degrés de liberté

Le principe à 3 DDL de la technologie du spaceCoder peut facilement être étendu à 6 DDL (x, y, z, θ_x, θ_y et θ_z). Pour cela, le capteur du spaceCoder doit détecter la position 3D d'au moins trois sources lumineuses indépendantes qui sont fixées sur la cible, définissant ainsi son système de coordonnées. Comme le principe du spaceCoder est basé sur l'imagerie par la projection d'une ombre unique, différentes mises en œuvre sont possibles, comme le multiplexage temporel de sources lumineuses (moins précis pour les cibles en mouvement en raison de l'échantillonnage asynchrone) ou le multiplexage spectral (échantillonnage synchrone mais requérant des filtres sélectifs dans la zone du capteur).

Mise en œuvre pratique

La mise en œuvre du spaceCoder est extrêmement flexible. Dans une configuration basique comme illustrée sur la figure 2, le motif codé est éclairé par une LED, l'image est capturée par une caméra USB standard et le signal est traité par un CPU (Central Processing Unit ou processeur) externe qui offre un taux d'échantillonnage autour de 100 Hz.

Une configuration plus compacte et plus rapide consiste à utiliser un capteur d'image associé à un processeur DSP (Digital Signal Processor) permettant l'intégration embarquée du traitement d'image et des algorithmes de l'application dédiée, offrant ainsi jusqu'à 1 kHz de taux d'échantillonnage (figure 6). Enfin, afin d'optimiser totalement la taille, la vitesse, le coût et la consommation électrique, un encodeur ASIC (Application Specific Integrated Circuit) dédié est utilisé. De telles configurations peuvent conduire à des solutions de mesures de position de seulement quelques centimètres cubes offrant jusqu'à 1 MHz de taux d'échantillonnage.

Performances

Les performances métrologiques dépendent de l'application (caractéristiques du capteur, zone de travail, puissance d'éclairage, environnement, etc.) et sont généralement basées sur une résolution de l'ordre du nanomètre au niveau du capteur.

Le spaceCoder permet un nombre illimité de configurations en changeant simplement :

- le type de source lumineuse (LED, laser, soleil, etc.) ou ses caractéristiques (dimension, longueur d'onde, etc.) ;
- la technologie du capteur (CMOS, infrarouge, etc.) ou ses performances (taille du pixel, résolution, rapport signal/bruit, fréquence, etc.) ;
- le type de motif (schémas très variés) et le traitement algorithmique associé ;

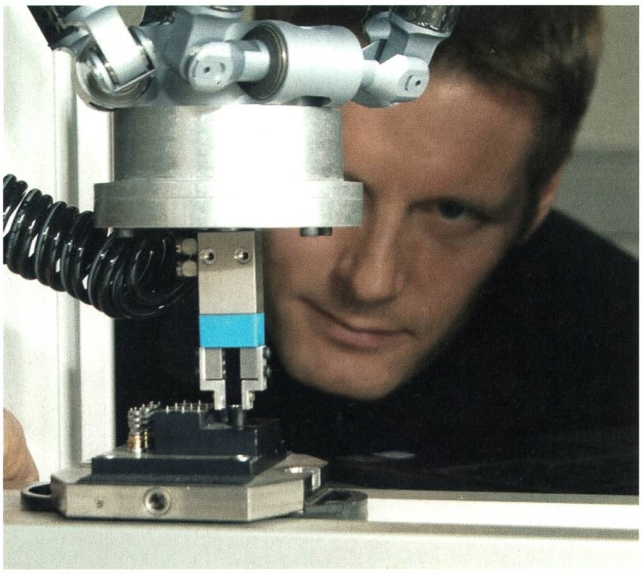

Figure 7 Robot Micro Delta avec pince de préhension, muni d'un module capteur d'image.

- la distance capteur-motif;
- ou en introduisant des pièces optiques (filtres, miroir, etc.).

Dans la mesure où le principe utilise des informations réparties dans tout le champ de vision, aucun marquage précis ni substrat optique complexe ne sont nécessaires.

Applications et exemples

Les capacités du spaceCoder ont été démontrées dans des domaines de l'industrie de précision aussi variés que l'automobile, l'aérospatial, le médical, la géolocalisation ou même les loisirs. En voici quelques exemples.

Robotique: capteur à 6 DDL

Un robot Micro Delta a été équipé d'un module capteur d'image USB relié à un PC pour le traitement du signal (figure 7). La sensibilité suivante a été mesurée sur les 6 axes:

- Résolution selon x et y: 0,001 mm.
- Résolution selon z: 0,01 mm.
- Résolution selon θ_x et θ_y: 0,01°.
- Résolution selon θ_z: 0,001°.

Le capteur a travaillé dans un mode de mesure absolue réelle et n'a nécessité aucun cycle de référence.

Loisirs: souris 3D pour futures tablettes

Le spaceCoder a ici été configuré pour récupérer en temps réel la position 3D d'un stylo sans fil pour les nouvelles générations de tablettes électroniques (figure 8). Le système comprend deux composants: le stylo et le capteur de référence. Le stylo est muni d'une LED infrarouge et le capteur est réalisé à l'aide d'un spaceCoder 3D.

Basé sur le principe du spaceCoder à 3 DDL, une triangulation est effectuée sur le capteur, permettant ainsi la détection en temps réel des déplacements tridimensionnels du stylo dans un grand volume de travail, soit 50 x 50 x 50 cm³, et ce, avec une très grande résolution.

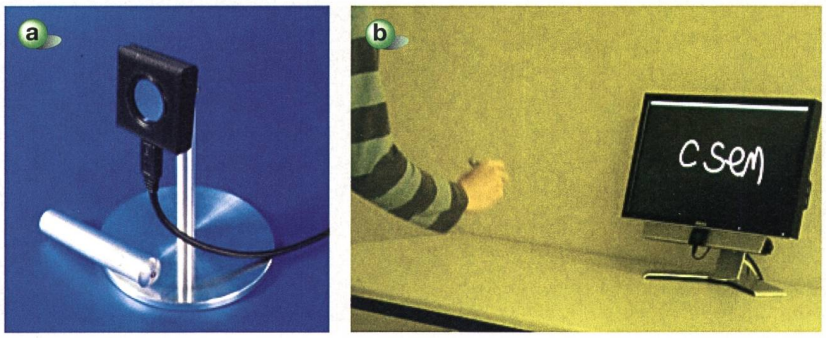

Figure 8 « Souris 3D » spaceCoder (a) et démonstration (b).

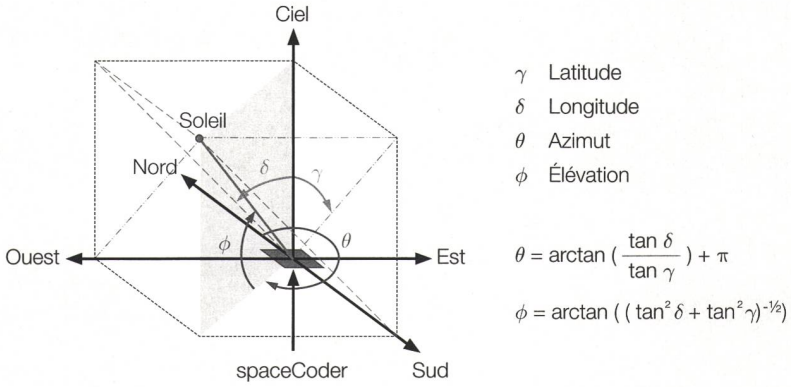

Figure 9 Équations angulaires.

Ce système offre de nombreux avantages, par exemple une consommation électrique optimale de même qu'un design plat et compact permettant une intégration facile dans des appareils tels que les TV, tablettes, PC portables, smartphones, etc.

Géolocalisation: capteur de position du soleil

Le spaceCoder a également été utilisé comme capteur de position du soleil afin d'en détecter l'azimut et l'élévation [3]. Malgré sa taille, et grâce à sa distance, le soleil apparaît comme une source de lumière ponctuelle pour le spaceCoder. L'ajout d'un filtre neutre de forte densité optique s'est révélé indispensable pour atténuer l'intensité du signal lumineux et ne pas éblouir le capteur CMOS.

L'ombre du motif se déplaçant en fonction de la position du soleil, ses positions x et y représentent la latitude γ et la longitude δ du soleil dans le référentiel du spaceCoder (figure 9). De ces deux angles indépendants sont extraits l'azimut et l'élévation du soleil pour une position connue du spaceCoder (idéalement placé sur une surface plane et orienté en direction du nord).

Les mesures effectuées ont démontré une extrême sensibilité angulaire directement liée à la sensibilité intrinsèque du spaceCoder, soit une résolution angulaire

Figures: CSEM

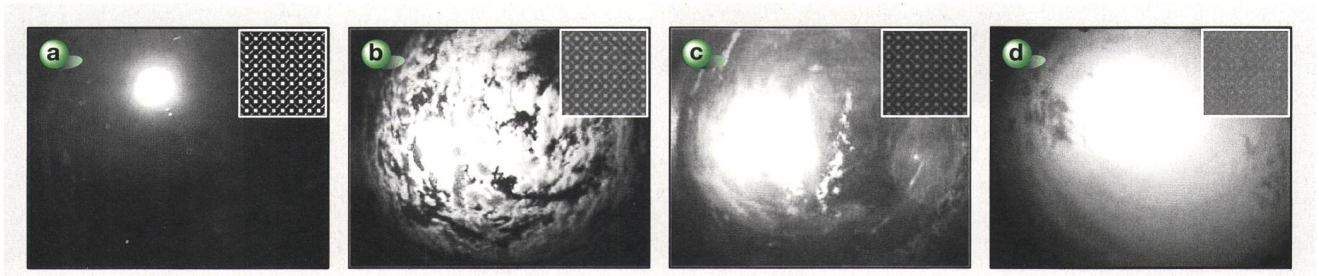

Figure 10 Image de référence et image capturée par le spaceCoder pour différentes conditions d'ensoleillement avec détection fructueuse: ciel bleu (a) et conditions nuageuses avec altocumulus (b), cirro-stratus (c) et altostratus (d).

de 250 microdegrés et une précision absolue inférieure à 50 millidegrés, sans calibration ni traitement d'image additionnel. Les détecteurs classiques sont généralement des capteurs de vision munis d'une optique et ils détectent la position du soleil avec une précision limitée par la taille des pixels du capteur. Ils ont donc besoin d'algorithmes sophistiqués pour atteindre les résultats fournis par le spaceCoder.

Outre sa précision, le résultat le plus surprenant obtenu avec ce capteur de détection de la position du soleil réside dans son incroyable fiabilité. Dans de nombreuses situations, le soleil est partiellement, voire totalement caché par des nuages. Bien que certains types de nuages produisent une illumination forte et floue, le système détecte toujours la position du soleil quoiqu'avec une précision moindre **(figure 10)**. Par contre, dans de telles conditions, la détection de la position du soleil avec les systèmes concurrentiels classiques devient tout simplement impossible.

Conclusions

Issu d'un principe extrêmement simple, le spaceCoder est promis à un brillant avenir dans une multitude de domaines. Transfuge de la famille des encodeurs, il permet en effet, d'une part, des mesures de position jusque-là impossibles, et ce, avec une résolution inégalée. D'autre part, en jouant sur les différentes parties qui le composent, la source de lumière, le masque et le capteur, le spaceCoder peut s'adapter à toute problématique de mesure de position.

Zusammenfassung **Die Spacecoder-Technologie**

Optische Absolut-Encoder mit Nanometerpräzision

Der Einsatz von Positionsencodern ist in der Industrie weit verbreitet. Ob für die Positionierung von Werkstücken auf Werkzeugmaschinen, die Steuerung von Positionsänderungen oder Kraftmessungen – präzise Positionsinformationen sind unentbehrlich.

Optische Encoder auf der Grundlage bildverarbeitender Sensoren bieten beispiellose Präzision und Zuverlässigkeit. Durch die Verarbeitung eines Schattenbilds, das von einer strichkodierten Fläche auf einen Bildsensor geworfen wird, kann der Spacecoder die absolute Lage eines mit einer Lichtquelle versehenen Objekts mit extrem hoher Auflösung ermitteln (1 nm im Bereich des Schattenbilds). Dies geschieht mit einer doppelten Markierung: einem Manchester-Code oder einem nicht wiederkehrenden Muster zur Bestimmung der absoluten Lage der Lichtquelle und einem regelmässigen Strichgitter für die Feinmessung. Dieses Verfahren kommt ohne optische Linse aus und ermöglicht eine kompakte, preiswerte Bauweise. So kann die Leistungsfähigkeit bestehender linearer, 2D- und rotierender Encoder verbessert werden. Zudem kann diese Technologie zur dreidimensionalen Positionierung verwendet und auf bis zu sechs Freiheitsgrade erweitert werden.

Dem Spacecoder wird in zahlreichen Bereichen eine erfolgreiche Zukunft vorausgesagt. Beispielsweise wurde er bereits als 3D-Maus eingesetzt, wo er die 3D-Position eines drahtlosen Stifts in Echtzeit für künftige Tablet-Generationen erfasst oder im Bereich Geolokalisierung, wo er eine präzise Positionsbestimmung der Sonne selbst bei bedecktem Wetter erlaubt. CHe

Références

[1] E. Grenet et al.: spaceCoder: a nanometric 3D position sensing device. CSEM Scientific and Technical Report 2011. www.spacecoder.ch.
[2] P. Masa et al.: Encoder – Nanometric Resolution Absolute Position Encoders. CSEM Scientific and Technical Report 2008.
[3] E. Grenet et al.: High Precision Sun Tracker. CSEM Scientific and Technical Report 2012.

Informations sur l'auteur

Eric Grenet est ingénieur ISEN (Institut Supérieur d'Électronique et du Numérique) en microélectronique. Il est employé au Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM SA) depuis 1999 en qualité d'expert Recherche et Développement dans le secteur « Vision Embedded Systems ». Ses activités couvrent les applications de vision, de la partie capteur jusqu'au traitement algorithmique applicatif dédié et embarqué. Il est l'un des inventeurs de la technologie spaceCoder.

CSEM S.A., 2007 Neuchâtel, eric.grenet@csem.ch

Anzeige

Ihre Ansprüche sind unsere Herausforderung.

Seit 65 Jahren bauen unsere Kunden auf unsere technische und wirtschaftliche Kompetenz beim Bau, Service und Unterhalt von Energie- und Telecomnetzen sowie Anlagen der Verkehrsinfrastruktur. Mit 500 kompetenten Mitarbeitenden an 20 Standorten sind wir immer nahe bei unseren Kunden – regional und schweizweit.

65 JAHRE / ANS
ARNOLD
Energie & Telecom

www.arnold.ch