



Figure 1. Le Moku:Lab dispose de deux entrées et deux sorties analogiques. La fente sur le dessus du boîtier sert de support de tablette.



automatisation des tests et partage des résultats

Par Stuart Cording, pour Mouser Electronics

Lorsqu'il s'agit de tester des applications complexes, il est essentiel de disposer de quelques outils incontournables tels que ces appareils de mesure de la gamme disponible chez Mouser Electronics.

Les applications d'aujourd'hui sont de plus en plus complexes à développer, mais aussi à tester. Pour résoudre tous ces petits problèmes sporadiques mais difficiles à corriger, l'automatisation des tests apparaît dès lors comme une nécessité, y compris en phase de recherche et de développement. Or, exécuter des tests la nuit ou le week-end exige un équipement de test et de mesure flexible qui puisse être programmé pour vérifier une multitude de cas. Les résultats des mesures doivent ensuite être enregistrés pour être éventuellement consultés plus tard durant le débogage.

Heureusement, la gamme d'équipements de test et de mesure disponibles sur le marché ne cesse de se développer et les capacités d'automatisation et de partage des résultats de ces appareils ne cessent d'augmenter. Les fabricants de matériel haut de gamme ajoutent toujours plus de fonctionnalités et proposent des programmes de certification garantissant des résultats calibrés. Mais de nouveaux acteurs ont fait leur entrée sur le marché. Ces fabricants s'orientent davantage sur une flexibilité sans précédent avec la possibilité d'intégrer leurs appareils dans des solutions de test HIL (*hardware-in-the-loop*) artisanales. Ils offrent ainsi une alternative intéressante aux équipes de

recherche et de développement désireuses de tester et d'itérer rapidement leurs conceptions, mais qui ne disposent pas d'un budget à cinq ou six chiffres pour acquérir des outils de mesure haut de gamme ou une configuration HIL professionnelle.

Le top de la flexibilité de mesure et le « headless »

L'offre en matière d'équipements de mesure « headless » (ou sans tête) s'est considérablement étoffée ces derniers temps. Il s'agit d'appareils utilisant un logiciel (qui peut tourner sur un ordinateur portable, un PC ou une tablette) pour afficher les résultats de mesure. Ils sont généralement constitués d'un SoC FPGA couplé à des systèmes frontaux analogiques (AFE) à grande vitesse et des convertisseurs numérique-analogique (CNA). Le FPGA permet aux utilisateurs de reconfigurer l'outil à la volée. Il peut ainsi servir tantôt d'oscilloscope, tantôt d'analyseur de signal ou même de contrôleur de boucle PID. Grâce à leur espace de stockage interne, ils sont aussi parfaits pour enregistrer les mesures, que ce soit en rafale sur une milliseconde ou en continu sur plusieurs jours.

Dans le genre, le Moku:Lab de Liquid Measurement [1] est une plateforme

matérielle reconfigurable regroupant 12 instruments différents. Son logiciel est disponible pour Windows et Mac OS ainsi que sous forme d'appli pour l'iPad. Avec son boîtier circulaire de 20 cm (7,9 po) de diamètre et 4,4 cm (1,7 po) de hauteur, Moku:Lab trouvera aisément sa place, même sur une paillasse de labo encombrée. Le dessus du boîtier présente une fente destinée à accueillir votre iPad. Les données, paramètres et captures d'écran sont enregistrés sur la mémoire interne, mais peuvent aussi être directement partagés avec un service cloud comme Dropbox ou envoyés par e-mail.

Sur le panneau avant se trouvent quatre connecteurs BNC. À droite, les sorties analogiques avec un taux d'échantillonnage de 1 GSa/s par canal à une résolution de 16 bits et une bande passante (-3 dB) de > 300 MHz. À gauche, les entrées analogiques avec une bande passante (-3 dB) de 200 MHz sur 50 Ω et un taux d'échantillonnage de 500 MSa/s par canal à une résolution de 12 bits. La base de temps interne affiche une précision supérieure à 500 ppb (**figure 1**).

À l'arrière du boîtier, deux connecteurs BNC offrent une entrée de 10 MHz pour une horloge de référence externe pour l'un et une sortie de 10 MHz pour l'autre. Ces connecteurs permettent de synchroniser entre eux les signaux capturés par différents appareils Moku. On notera également la présence d'un connecteur d'entrée de déclenchement. Outre ces connecteurs BNC, on trouvera également un port Ethernet, une interface USB, un port d'alimentation USB (pour charger une tablette), une

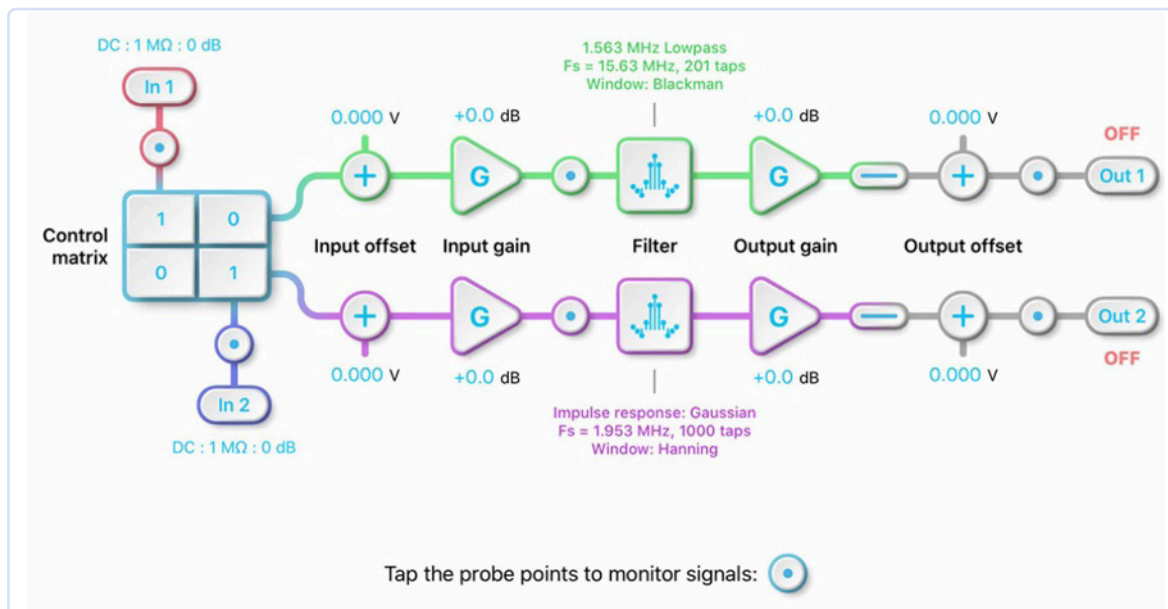


Figure 2. L'interface du générateur de filtres RIF du Moku:Lab est simple à configurer et offre une image plus claire de ce qui se passe dans le chemin du signal.

baie pour carte SD et l'entrée d'alimentation CC. L'appareil dispose aussi d'une connectivité Wi-Fi (802.11 b/g/n). Parmi les 12 instruments regroupés dans cet appareil unique, on trouvera, outre les instruments courants auxquels on peut s'attendre dans pareil dispositif, des outils qui utilisent simultanément les entrées et les sorties. Il s'agit entre autres d'un régulateur PID avec deux chemins entièrement configurables et un générateur de filtres RIF (filtres à réponse impulsionnelle finie) avec 14 819 coefficients (**figure 2**). Notons la présence du Laser Lock Box, un dispositif permettant de stabiliser la fréquence laser

grâce à la technique Pound-Drevel-Hall [2] (notamment utilisée dans des domaines d'application tels que les détecteurs d'ondes gravitationnelles, la mesure du temps et la physique atomique). Des API sont fournies pour MATLAB, LabVIEW et Python afin d'offrir de multiples possibilités pour l'implémentation de tests automatisés et de la journalisation des données, lesquels sont pris en charge avec des exemples hébergés sur GitHub [3]. Enfin, une application à deux canaux robuste et simple permet de programmer l'enregistrement de données en quelques lignes de code Python seulement (**figure 3**).

Test à long terme de problèmes thermiques

Supposons que vous voulez examiner l'autoéchauffement ou la dissipation thermique à long terme du boîtier de votre appareil. Des caméras infrarouges peuvent alors vous aider à localiser les points chauds et froids. Teledyne FLIR est un acteur majeur dans le domaine de la mesure visuelle de la température. Ses produits sont compatibles avec un grand nombre de logiciels permettant de simplifier la collecte et l'analyse de données et de faciliter la collaboration. Des appareils comme le MR265 [4] (**figure 4**) sont dotés du système d'amélioration de l'imagerie dynamique multispectrale [5] MSX™ qui associe une caméra thermique 160 × 120 (19 200 pixels) à une caméra visuelle 2 MP. La technologie MSX™ offre ainsi une image plus claire que les caméras reposant uniquement sur des capteurs

```
from pymoku import Moku, StreamException
from pymoku.instruments import Datalogger
import time

m = Moku.get_by_name('Moku')

try:
    i = m.deploy_or_connect(Datalogger)

    # 100 samples per second
    i.set_samplerate(100)

    # Start data logger
    i.start_data_log(duration=10, use_sd=True, ch1=True, ch2=True,
                    filetype='bin')

    # Upload the log file to the local directory
    i.upload_data_log()

    # Clean up
    i.stop_data_log()

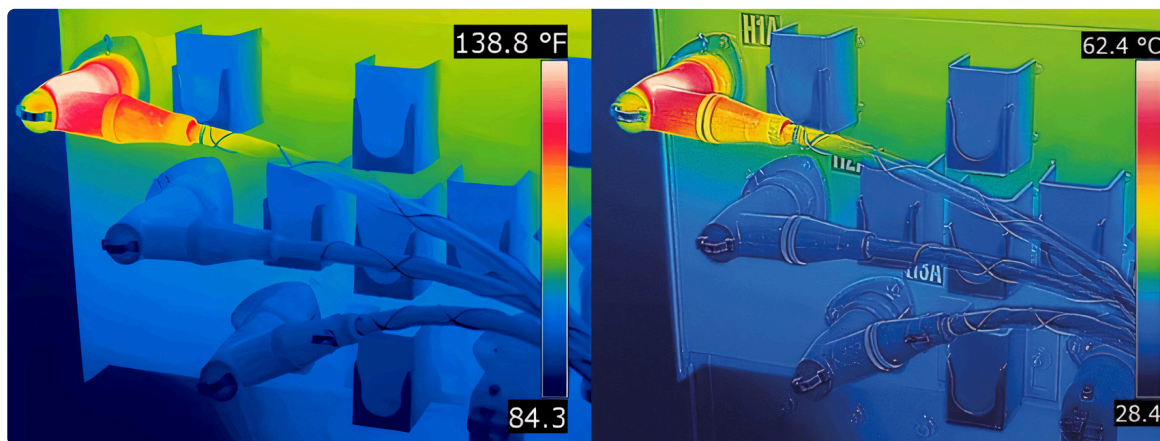
except StreamException as e:
    print("Error occurred: %s" % e)
finally:
    m.close()
```

Figure 3. Exemple d'enregistreur de données simple capturant les signaux des deux entrées analogiques, écrit en Python pour Moku:Lab.



Figure 4. Caméras thermiques telles que la Teledyne FLIR MR265.

Figure 5. À gauche, sans MSX™, les dénominations sur le panneau de connexion n'apparaissent pas. À droite, avec MSX™, les dénominations apparaissent clairement et la qualité globale de l'image est bien meilleure.



d'image thermique, qui ont une résolution plus basse et fournissent par conséquent des images plus floues.

Ces caméras classiques produisent parfois des images si médiocres qu'il devient presque impossible d'en comprendre le contenu sans savoir où l'image a été prise. MSX™ remédie à ce problème en associant l'imagerie thermique à une image à contraste élevée produite par la caméra pour lumière visible (figure 5). La combinaison de ces deux images permet de rendre les détails visibles plus clairs et la mesure thermique plus cohérente.

Ces caméras sont évidemment prises en

charge par la suite logicielle FLIR Thermal Studio [6]. Cette suite permet de collecter des images individuelles comme des vidéos en streaming. L'utilisateur peut appliquer des deltas et des formules en vue de produire une analyse d'images, définir des alarmes de mesure et partager facilement les résultats avec ses collègues. Avec les appareils qui le permettent, le logiciel prend en charge le double flux, c'est-à-dire qu'il enregistre à la fois le flux vidéo radiométrique et celui en lumière visible de la cible mesurée.

Le MR265 offre une fréquence d'actualisation d'image de 9 Hz et une plage de mesure des températures de 0 à 100 °C (32-212 °F)

pour des objets à une distance supérieure à 10 cm. Doté d'un capteur de mesure intégré sans broches (ou de sondes à billes et à broches disponibles séparément), l'appareil peut aussi mesurer le taux d'humidité de 7 à 100 %. Les résultats s'affichent sur l'écran TFT couleur intégré de 7,1 cm (2,8 po) avec une résolution de 320 × 240 pixels.

La mesure automatisée avec les équipements de laboratoire traditionnels

Même si les outils de mesure *headless* hautement configurables présentent un certain attrait dans bon nombre de situations,

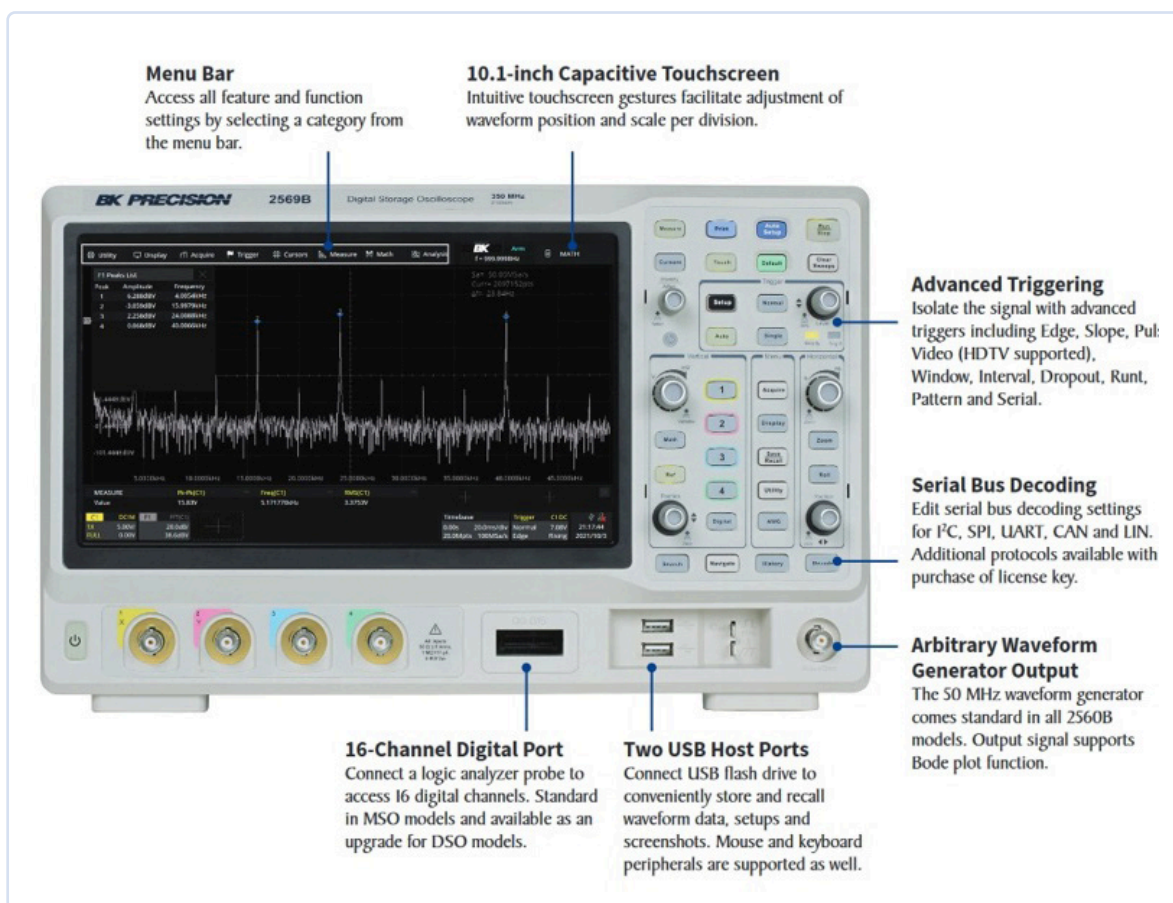


Figure 6. Le 2569B-MSO de B&K Precision dispose de quatre canaux de 350 MHz et d'un analyseur logique numérique 16 bits.

le simple fait de devoir acheter en plus une tablette ou un ordinateur portable pour en afficher les résultats peut être rédhibitoire. Surtout s'il suffit parfois de se fier tout simplement à ce qu'on connaît. Par exemple, la série d'oscilloscopes à signaux mixtes 2560B [7] de B&K Precision avec leur grand écran tactile capacitif de 25,65 cm (10,1 po) associé à des boutons tactiles et des boutons rotatifs. De plus, avec seulement 111 mm (4,4 po) de profondeur, on ne pourra pas leur reprocher d'être trop encombrants sur le banc.

Le modèle haut de gamme est le 2569B-MSO. Il dispose de quatre canaux d'entrées avec une bande passante de 350 MHz et un port numérique à 16 canaux (figure 6). Il intègre également un générateur de formes d'onde de 50 MHz qui prend en charge une fonction de tracé de Bode et propose différents modes de déclenchement avancés (bord, pente, impulsion et vidéo – y compris HDTV) ainsi que le décodage de bus série pour les interfaces courantes utilisées dans les systèmes embarqués. D'autres interfaces série (CAN FD, FlexRay, I2S, MIL-STD-1553B et SENT) peuvent être achetées sous forme de mises à niveau.

Le contrôle à distance et la capture de données sont pris en charge par les interfaces USB et Ethernet. Pour la prise en

charge par USB, un pilote USBTMC (USB Test & Measurement Class) est nécessaire. L'interface de programmation recommandée est la NI-VISA de National Instruments [8], mais d'autres choix existent si vous prenez la peine de vous renseigner. GitHub propose une série de projets prenant en charge les périphériques USBTMC en Python [9]. Grâce au manuel de programmation de la série 2560B [10], il vous sera possible de créer des scripts (figure 7) pour automatiser la capture et l'enregistrement des données et pour décoder les données sérielles, effectuer des mesures ou même définir des masques pour les tests de limite réussite/échec de signaux.

Tester, encore tester, toujours tester

Même si la plupart des ingénieurs en développement considèrent le travail sur le banc d'essai comme le meilleur moment de la journée, il faut bien admettre que s'évertuer à identifier les pannes intermittentes dont la cause n'est pas bien définie tient parfois du chemin de croix. Heureusement, une grande partie des équipements de test et de mesure disponibles aujourd'hui sur le marché (notamment les instruments vus plus haut) peuvent être associés à des logiciels en vue de programmer des tests

automatisés ou l'enregistrement des données. Grâce à leur simplicité et leur flexibilité, ces outils ne nécessitent que des scripts simples ou des procédures de test qui peuvent être créées en quelques instants à l'aide d'un logiciel open source pour tester une hypothèse. Une fois la cause de la panne trouvée, ces tests peuvent être enregistrés en vue d'être réutilisés dans le cadre des tests d'intégration continue pour vérifier que la panne ne se reproduit plus. De plus, les résultats peuvent être facilement partagés sous forme de fichiers journaux par e-mail, à l'aide d'un service de partage de fichiers ou sur la plateforme cloud du fabricant. Les équipes de développement peuvent ainsi faire appel à des collègues qualifiés du monde entier pour examiner et évaluer leurs résultats. ◀

230189-04

```
import usbترمc
instr = usbترمc.Instrument(<VID>, <PID>, <SERIAL NUMBER>)
print(instr.ask("*IDN?"))
# returns 'BK Precision,2569B-MSO,XXXXXXXXXXXXXX,5.0.1.3.9R3'
```

Figure 7. La prise en charge de l'USBTMC peut être trouvée dans des projets open source. Ce code, écrit en Python, accède à l'oscilloscope en fonction de son VID et de son PID pour acquérir son nom et son numéro de série.



À propos de l'auteur

Stuart Cording est un journaliste indépendant qui écrit pour Mouser

Electronics. Spécialiste de contenu vidéo, il se concentre sur la recherche technique approfondie. Il s'intéresse particulièrement à une technique, à son intégration dans des applications pratiques et aux perspectives d'évolution... Mouser Electronics est un distributeur agréé de semi-conducteurs et de composants électroniques qui se concentre sur l'introduction de nouveaux produits par ses principaux partenaires fabricants.

LIENS

- [1] The Moku:Lab from Liquid Measurement: <https://bit.ly/3FI0BAW>
- [2] Pound-Drevel-Hall technique: https://en.wikipedia.org/wiki/Pound%E2%80%93Drever%E2%80%93Hall_technique
- [3] Liquid Instruments GitHub: <https://github.com/liquidinstruments>
- [4] MR265 : <http://bit.ly/3Zb4OUK>
- [5] Multi-Spectral Dynamic Imaging enhancement: <https://flir.com/globalassets/industrial/instruments/flir-msx-tech-note.pdf>
- [6] FLIR Thermal Studio Suite: <https://flir.eu/products/flir-thermal-studio-suite/>
- [7] B&K Precision 2560 B Mixed Signal Oscilloscope series: <http://bit.ly/40tFNW7>
- [8] National Instruments NI-VISA product: <https://ni.com/en-gb/shop/software/products/ni-visa.html>
- [9] USBTMC devices in Python: <https://github.com/python-ivi/python-usbtmc>
- [10] 2560B Series Programming Manual: <https://bit.ly/40lx6gi>