

Utiliser un émetteur-récepteur RF agile dans un système de communication SDR adaptatif pour l'aérospatiale et la défense

Auteur : Rolf Horn, ingénieur d'applications chez Digi-Key Electronics

Les concepteurs de systèmes dans le domaine de l'aérospatiale et de la défense (ADEF) sont confrontés à une demande constante de systèmes de communication plus compacts et à plus basse consommation, capables de répondre avec agilité aux environnements de signaux dynamiques. Au-delà des architectures radio traditionnelles, la technologie de radio logicielle (SDR) peut aider à répondre aux exigences en évolution rapide des radios ADEF, mais l'implémentation de SDR présente de multiples défis pour répondre à la fois aux exigences fonctionnelles et à la nécessité de réduire la taille, le poids et la puissance (SWaP).

Cet article décrit une solution SDR plus efficace d'[Analog Devices](#) qui peut simplifier la conception de systèmes de communication basse consommation, compacts et agiles sans compromettre les performances.

Les défis émergents entraînent des exigences plus élevées

Les concepteurs sont confrontés à une demande de communications plus efficaces dans un nombre croissant d'applications industrielles et stratégiques, notamment les communications radio sécurisées, les radars adaptatifs, la guerre électronique et la navigation GPS améliorée. Ces nouveaux défis nécessitent un fonctionnement à large bande amélioré, une plage dynamique plus étendue, une agilité de fréquence supérieure et une capacité de reconfiguration. Cependant, ces exigences fonctionnelles plus strictes peuvent se heurter à la nécessité de réduire la taille, le poids et la puissance à mesure que les systèmes de communication évoluent vers des plateformes alimentées par batterie plus petites, notamment les véhicules aériens sans pilote (UAV) et les unités portables.

Les solutions de conception basées sur les architectures radio superhétérodynes discrètes traditionnelles offrent des performances élevées, une large plage dynamique et un bruit parasite minimal. Pour les concepteurs, le défi consistant à isoler le signal souhaité de la fréquence intermédiaire (FI) au cœur de cette approche se traduit généralement par des conceptions complexes avec des valeurs SWaP élevées et peu ou pas de capacité de reconfiguration (Figure 1).

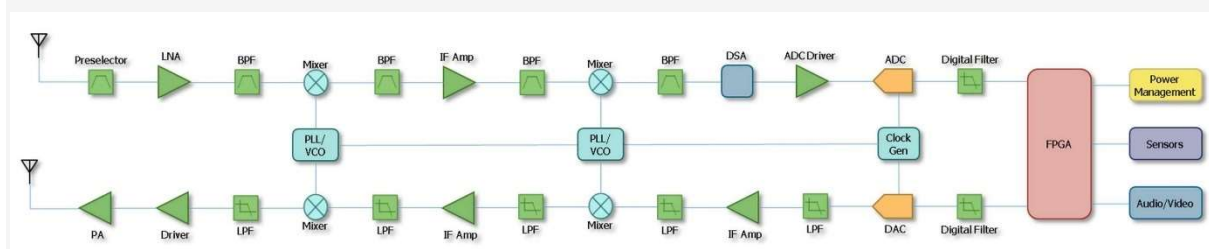


Figure 1 : Les architectures radio superhétérodynes traditionnelles peuvent atteindre les objectifs de performances, mais leur complexité ne leur permet pas d'atteindre les objectifs émergents pour des valeurs SWaP minimales. (Source de l'image : Analog Devices)

En revanche, les architectures à conversion directe (zero-IF) réduisent à la fois les exigences de filtrage et le besoin de convertisseurs analogique-numérique (CAN) à très large bande passante,

ce qui se traduit par une conception plus simple pouvant être implémentée sur une seule puce (Figure 2).

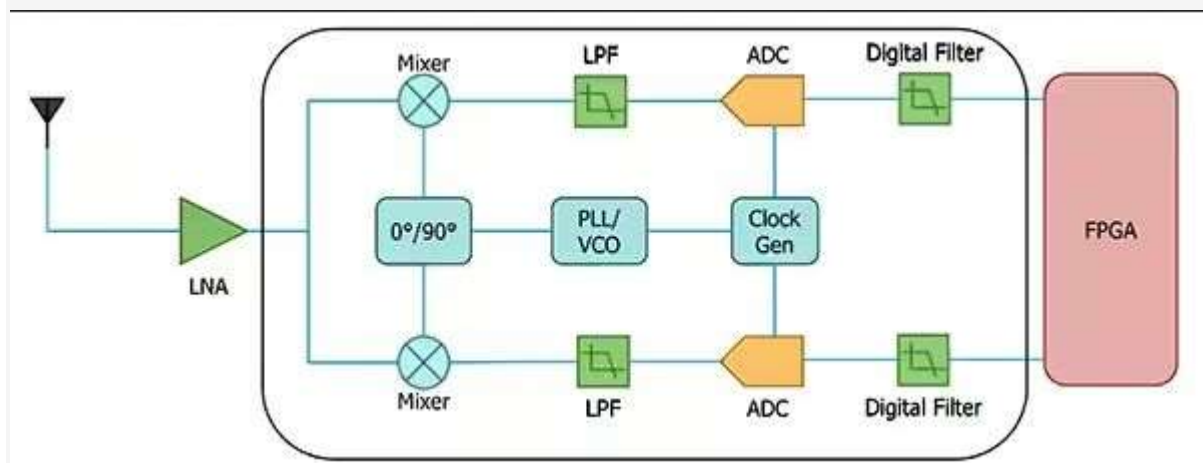


Figure 2 : Les architectures radio zero-IF peuvent répondre aux besoins de performances supérieures et de valeurs SWaP inférieures, mais l'isolement du signal est un défi. (Source de l'image : Analog Devices)

Malgré ses avantages apparents, l'architecture de conversion directe présente ses propres défis de mise en œuvre qui ont limité son adoption généralisée. Dans cette architecture, le signal est converti en une porteuse radiofréquence (RF) à la fréquence de l'oscillateur local (LO), mais les erreurs de décalage du courant continu (CC) et les fuites de l'oscillateur local peuvent entraîner la propagation d'erreurs dans la chaîne de signaux. De plus, les différences dans les trajets des signaux, même au sein d'une même puce, peuvent introduire une désadaptation de gain ou de phase entre le signal en phase (I) et en quadrature (Q), entraînant une erreur de quadrature pouvant compromettre l'isolement du signal.

La technologie SDR offre le potentiel de surmonter les limites des architectures radio traditionnelles, mais peu de solutions peuvent répondre aux exigences plus larges associées aux applications ADEF. En utilisant les émetteurs-récepteurs RF [ADRV9002](#) d'Analog Devices, les développeurs peuvent facilement répondre aux besoins de performances et de fonctionnalités accrues avec les valeurs SWaP inférieures requises dans ces applications.

Les fonctionnalités intégrées offrent des performances optimisées avec des valeurs SWaP réduites

Prenant en charge une gamme de fréquences de 30 mégahertz (MHz) à 6000 MHz, l'ADRV9002 est un émetteur-récepteur hautement intégré qui contient toutes les fonctionnalités RF, à signaux mixtes et numériques requises pour prendre en charge un large éventail d'exigences applicatives. Capable de fonctionner à la fois en duplex à répartition dans le temps (TDD) et en duplex à répartition en fréquence (FDD), le dispositif est doté de sous-systèmes distincts d'émetteur et de récepteur à conversion directe à deux canaux incluant des filtres numériques programmables, une correction de décalage CC et une correction d'erreur de quadrature (QEC).

Dans son sous-système de synthétiseur intégré, l'ADRV9002 comporte deux trajets de boucle à verrouillage de phase (PLL) distincts : un pour le trajet RF haute fréquence et l'autre pour les horloges numériques et les horloges d'échantillonnage de convertisseur. Enfin, le bloc de traitement des signaux numériques du dispositif inclut un processeur embarqué [Arm® M4](#) qui gère les fonctions d'auto-étalonnage et de contrôle (Figure 3).

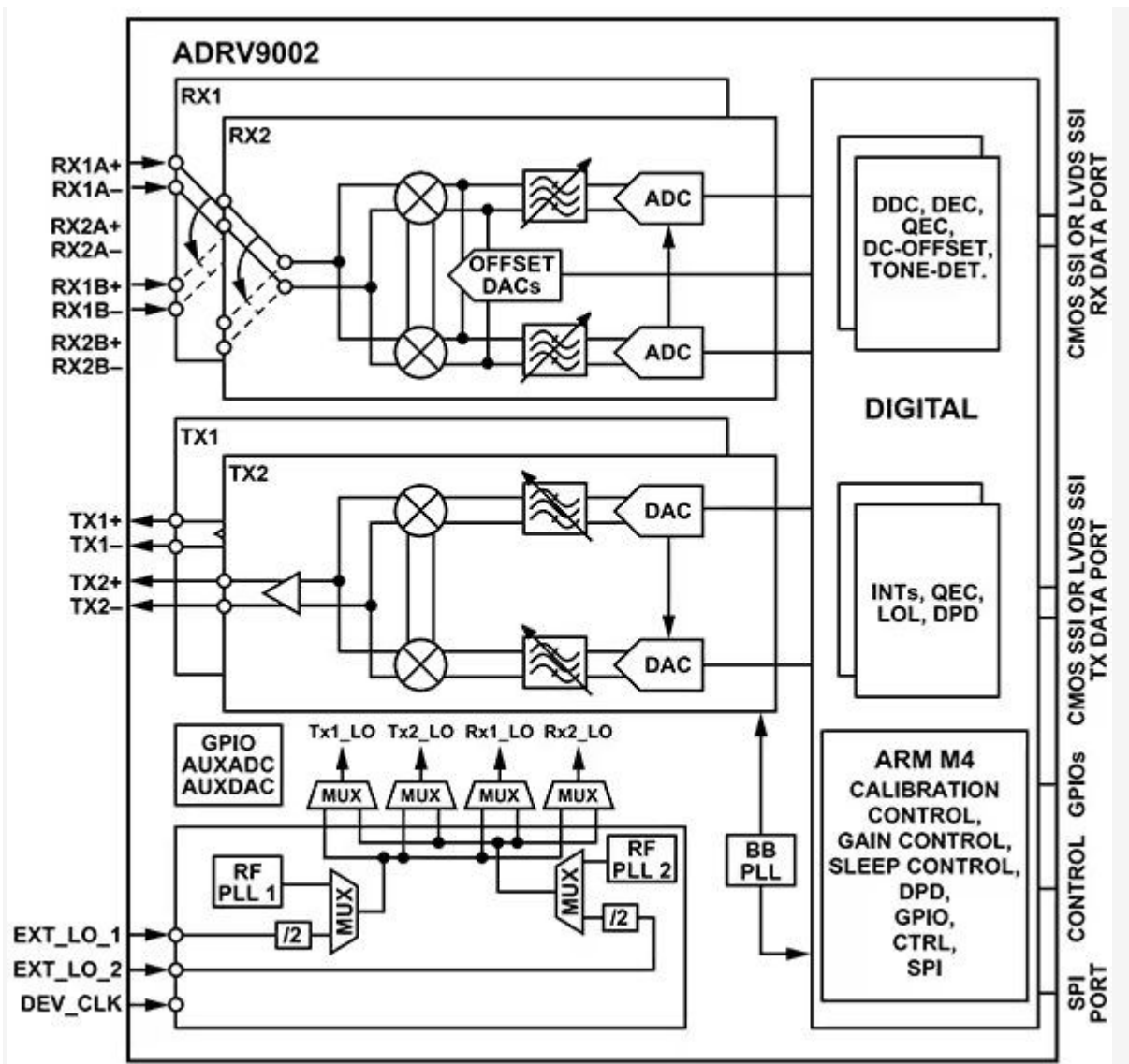


Figure 3 : L'émetteur-récepteur RF ADRV9002 intègre deux sous-systèmes de réception (RX) et de transmission (TX). (Source de l'image : Analog Devices)

Capable de fonctionner en mode zero-IF ou en mode low-IF pour les applications sensibles au bruit de phase, l'ADRV9002 comprend des sous-systèmes d'émetteur et de récepteur offrant des chaînes de signaux complètes. Chaque sous-système d'émetteur fournit deux convertisseurs numérique-analogique (CNA), des filtres et des mélangeurs qui recombinaient les signaux I et Q et les modulent sur la fréquence porteuse pour la transmission.

Chaque sous-système de récepteur intègre un réseau d'entrée résistif pour le contrôle du gain qui alimente un mélangeur passif en mode courant. Un amplificateur d'adaptation d'impédance convertit à son tour la sortie de courant du mélangeur en un niveau de tension qui est numérisé par un CAN avec une plage dynamique élevée. Pendant les créneaux d'émission disponibles en mode TDD ou dans les applications FDD où un seul système de récepteur est utilisé, les entrées de récepteur inutilisées peuvent être utilisées pour surveiller les canaux d'émetteur pour les fuites d'oscillateur local et la correction QEC, ou les entrées de récepteur inutilisées peuvent être utilisées pour surveiller les niveaux de signaux de sortie de l'amplificateur de puissance (PA).

Cette dernière capacité entre en jeu dans la fonctionnalité de pré-distorsion numérique (DPD) intégrée de l'ADRV9002, qui utilise ses niveaux de signaux PA surveillés pour appliquer la pré-distorsion appropriée requise pour linéariser la sortie. Cette capacité permet à l'ADRV9002 de commander l'amplificateur de puissance plus près de la saturation, optimisant ainsi son efficacité.

Ajustement de la puissance et des performances

Le dispositif ADRV9002 fournit une solution entièrement intégrée dans un boîtier BGA CSP à 196 billes, tout en minimisant la taille et le poids des systèmes de communication SDR ADEF. Pour aider les développeurs à optimiser davantage la consommation d'énergie, l'ADRV9002 intègre plusieurs fonctionnalités conçues spécifiquement pour aider les développeurs à trouver un équilibre approprié entre performances et puissance.

Au niveau bloc, les développeurs peuvent déployer une mise à l'échelle de la puissance sur les blocs de trajets de signaux individuels pour échanger des performances réduites contre une consommation d'énergie inférieure. De plus, les blocs dans les trames de transmission (TX) et de réception (RX) TDD peuvent être désactivés afin de sacrifier les temps d'exécution RX/TX ou TX/RX pour une consommation d'énergie inférieure. Pour aider davantage les développeurs à optimiser la puissance par rapport aux performances, chaque sous-système de récepteur ADRV9002 inclut deux paires de CAN. Une paire comprend des CAN sigma-delta hautes performances, tandis que la deuxième paire peut servir de remplacement lorsque la consommation d'énergie est critique.

Pour les applications caractérisées par des périodes d'inactivité périodiques, le mode de surveillance RX de l'ADRV9002 peut être utilisé. Dans ce mode, l'ADRV9002 alterne entre un état de veille à consommation minimale et un état de détection à un rapport cyclique programmé. Dans l'état de détection, le dispositif active un récepteur et tente d'acquérir un signal sur une bande passante et une fréquence d'oscillateur local RX programmées par le développeur. Si le dispositif mesure le niveau de puissance du signal au-dessus du seuil programmé, le dispositif quitte le mode de surveillance et les blocs de l'ADRV9002 sont mis sous tension pour gérer le signal souhaité.

Prototypage et développement rapides

Pour aider les ingénieurs à passer rapidement à l'évaluation, au prototypage et au développement, Analog Devices fournit un support matériel et logiciel complet pour les systèmes basés sur l'ADRV9002.

Pour le support matériel, Analog Devices propose deux cartes basées sur l'ADRV9002 :

- [ADRV9002NP/W1/PCBZ](#) pour les applications à faible bande fonctionnant dans la plage de 30 MHz à 3 gigahertz (GHz)
- [ADRV9002NP/W2/PCBZ](#) pour les applications à bande élevée dans la plage de 3 à 6 GHz

Équipées de connecteurs FMC, ces cartes prennent en charge l'ADRV9002 embarqué avec la régulation de puissance et les interfaces matérielles, ainsi que la distribution d'horloge et de synchronisation multipuce (MCS). Les cartes se connectent via leur connecteur FMC à une carte mère FPGA, telle que la carte d'évaluation [ZCU102](#) d'[AMD](#) pour le contrôle de l'alimentation et des applications.

Analog Devices fournit une nomenclature (BOM) et un schéma complets pour ses cartes radio ADRV9002NP dans son pack de support. Le schéma et la nomenclature constituent un point de départ efficace pour le développement de matériel personnalisé pour la plupart des applications. Certaines applications requièrent un circuit d'entrée RF supplémentaire pour répondre à des exigences de mise en forme des signaux spécifiques. Pour ces applications, les développeurs n'ont besoin que de quelques composants supplémentaires pour compléter leur conception (Figure 4).

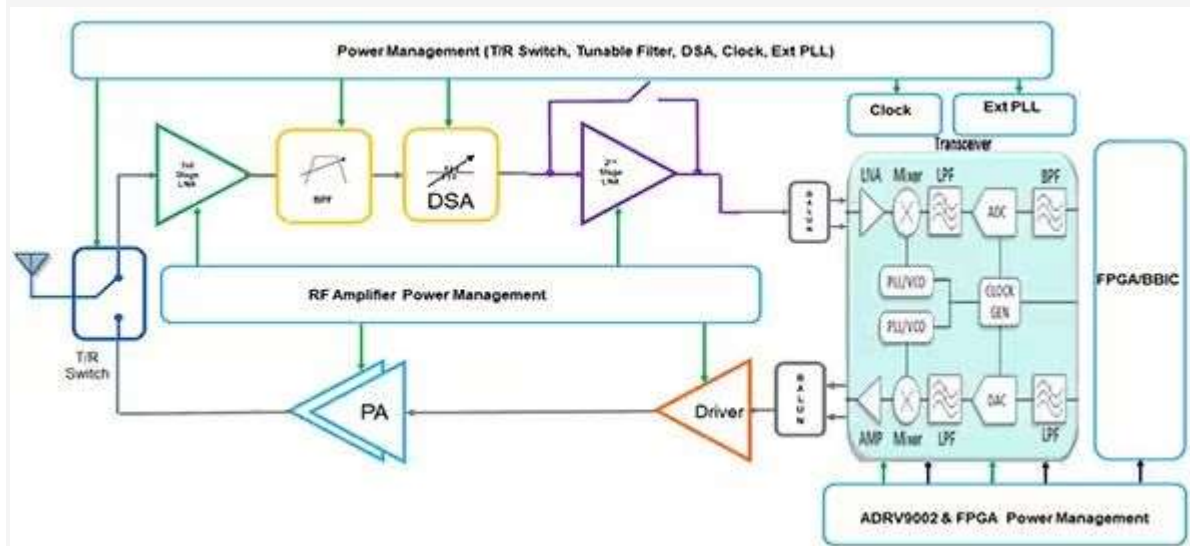


Figure 4 : L'émetteur-récepteur ADRV9002 hautement intégré permet aux développeurs de rapidement mettre en œuvre des conceptions spécialisées. (Source de l'image : Analog Devices)

Dans cet exemple, les développeurs peuvent rapidement implémenter un circuit d'entrée RF approprié à l'aide des composants de gestion de l'alimentation suivants d'Analog Devices :

- Commutateur RF [ADRF5160](#)
- Amplificateur à faible bruit (LNA) [HMC8411](#)
- Filtre passe-bande accordable numériquement [ADMV8526](#)
- Atténuateur à plots numérique (DSA) RF [HMC1119](#)
- Amplificateur d'attaque [HMC8413](#)
- Amplificateur de puissance [HMC8205B](#)

Analog Devices fournit un support de développement logiciel complet via une documentation et des progiciels téléchargeables. Les développeurs utilisant le matériel de développement mentionné ci-dessus peuvent procéder au prototypage et au développement en se basant sur les logiciels de la ligne de produits d'Analog Devices ou sur des progiciels open-source.

Cet article limite la discussion suivante aux logiciels de la ligne de produits. Pour plus d'informations sur la méthodologie de développement open-source, consultez le guide ADRV9001/2 Prototyping Platform User Guide d'Analog Devices. Analog Devices stipule que le terme « ADRV9001 » dans la documentation de support de l'entreprise est destiné à désigner une famille englobant l'ADRV9002 et d'autres membres de la famille ADRV9001. Par conséquent, les références à l'ADRV9001 dans le texte ou les figures ci-dessous s'appliquent au dispositif ADRV9002 qui fait l'objet de cet article.

Disponible via la distribution du kit de développement logiciel (SDK) de la ligne de produits d'Analog Devices, l'outil [Transceiver Evaluation Software](#) (TES) basé sur Windows de l'entreprise fournit un point de départ accessible pour configurer et évaluer rapidement les performances de l'émetteur-récepteur.

Lors de l'évaluation et du prototypage avec les cartes basées sur l'ADRV9002 d'Analog Devices et la carte d'évaluation ZCU102 d'AMD, l'outil TES fournit une interface utilisateur graphique (GUI) pour configurer le matériel et observer les données capturées (Figure 5).

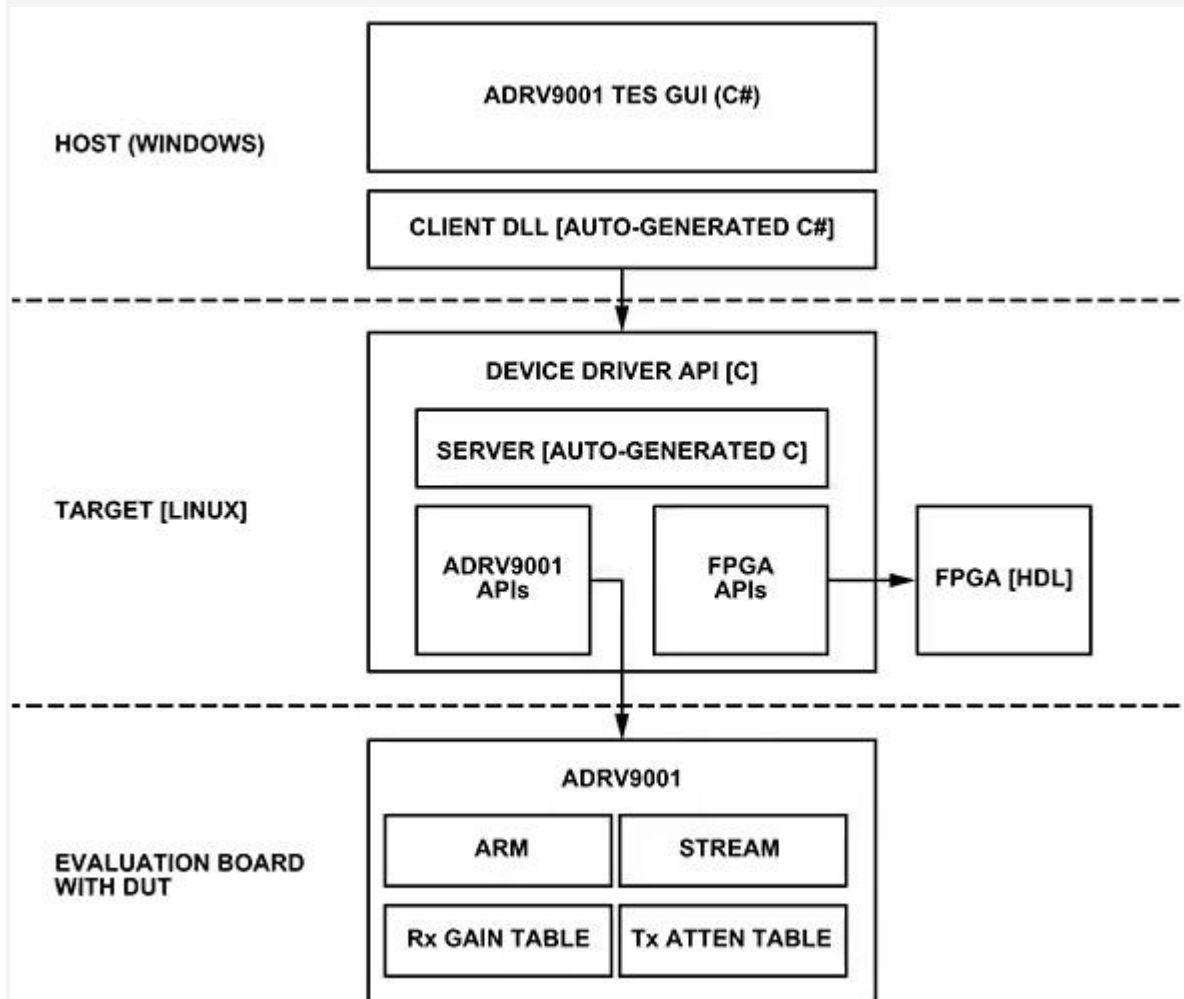


Figure 5 : L'outil TES du pack SDK permet aux développeurs de commencer rapidement à évaluer l'émetteur-récepteur ADRV9002 sur la plateforme d'évaluation prise en charge. (Source de l'image : Analog Devices)

À son tour, l'outil TES génère automatiquement le code C# qui peut être compilé dans l'environnement Linux, l'environnement MATLAB ou Python. Le SDK fournit un ensemble complet de bibliothèques logicielles et d'interfaces de programmation (API), notamment le pack API ADRV9001 développé pour la plateforme AMD ZCU102.

Le flux SDK prend également directement en charge la migration de l'évaluation et du prototypage avec la carte d'évaluation vers l'environnement cible personnalisé du développeur (Figure 6).

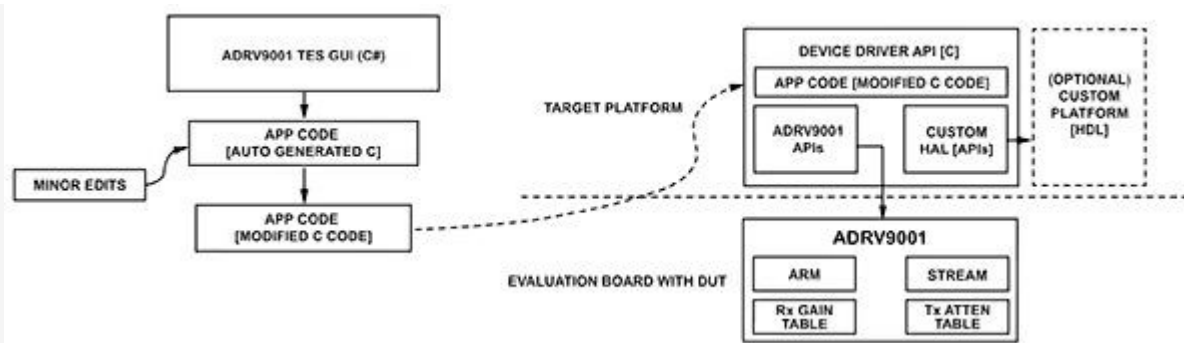


Figure 6 : L'architecture du SDK permet aux développeurs d'étendre facilement les résultats de leur évaluation à leur propre plateforme cible. (Source de l'image : Analog Devices)

Dans ce flux de migration, le développeur laisse l'outil TES générer automatiquement le code comme avant. Cependant, au lieu de l'utiliser directement, le développeur déploie une version modifiée du code généré sur la plateforme cible. En pratique, les modifications requises se limitent principalement à la suppression des appels de fonction faisant référence à des composants matériels reconnus par l'outil TES mais non nécessaires dans le système cible. L'architecture du SDK inclut une interface de couche d'abstraction matérielle (HAL) entre la bibliothèque ADRV9001 et le matériel des développeurs, de sorte que les développeurs doivent uniquement fournir du code personnalisé qui implémente le code d'interface HAL pour leur matériel spécifique. En conséquence, les développeurs peuvent rapidement passer de l'évaluation à l'aide des cartes d'Analog Devices et de la carte d'AMD au développement pour leur environnement cible personnalisé.

Conclusion

Les applications ADEF sont confrontées à des défis croissants dans des environnements de signaux de plus en plus complexes. Outre la demande de performances accrues sur une gamme de fréquences plus large, les développeurs doivent réduire les valeurs SWaP pour prendre en charge la migration de ces applications vers des systèmes alimentés par batterie. Grâce à un émetteur-récepteur hautement intégré d'Analog Devices, les développeurs peuvent implémenter des solutions SDR pour répondre plus efficacement à ces exigences.