

# Simulation of Active Imaging Systems

## (STO-TR-SET-219)

### Executive Summary

Active imaging systems are continually being developed and investigated for their ability to significantly improve tactical target acquisition, particularly under adverse environmental (land/sea/air) conditions. Accurate simulation tools can aid in the design and development, as well as the performance assessment, of active imaging systems. Currently available imaging models are limited in their ability to accurately represent active imaging systems in full spectral simulations, particularly in the atmosphere's effect on laser beam propagation and corresponding radiometric phenomenology on advanced sensor systems. NATO SET-219 addressed this limitation by advancing the modeling and simulation tools and techniques for state-of-the-art 1D/2D/3D active imaging systems. In this context, simulation is understood to mean the generation of synthetic image sequences that include laser illumination/environmental/sensor system parameters.

SET-219 set out with the following set of objectives and goals that would advance the working group's understanding, leveraging much of what was learned through previous groups SET-072 and SET-156, and provide situational awareness of the state-of-the-art in active imaging simulation tools and techniques:

- Perform a robust review of existing active imaging system simulations currently being used throughout NATO SET community.
- Evaluate high resolution physics-based simulations of active imaging system phenomenology, e.g., phase screen propagation and full spectral scene generation; evaluation concentrated on the block components of the simulations, viz.:
  - Laser interaction with atmospheric and underwater environments;
  - Target and background characterization;
  - Sensor system components and subcomponents, i.e., laser illuminator and detector; and
  - Performance limits and capability gaps.
- Demonstrate and exercise simulations on 1D/2D/3D active imaging system applications.
- Recommend improvements to active imaging system simulations.

The current state-of-the-art active sensor modeling tools from France, Canada and Germany are mostly focused on 2D sensing methodologies, namely active laser range gating in the VNIR-SWIR spectral range, and have shown good verification and validation through successful field test campaigns. Sweden and the US Army have introduced simulation tools for 3D Ladar imaging. Sweden has proposed to use the same tool for 1D profiling as well. The US Navy has continued to develop an underwater scene simulation. Each of these tools were utilized to assess utility and address capability gaps, such as measurement of optical properties of materials (targets and backgrounds) for BRDF, operation of tools beyond the weak turbulence regime and allowing for spatially varying  $C_n^2$  for slant path geometries. Computational efficiency was also identified as a gap that can be obviated through the use of CPU/GPU resources as well as optimized code development.

Finally, the recommendation of the group is to perform an image quality assessment and validation by developing appropriate IQ metrics and using them to compare simulated data with existing field data, as well as data obtained from new national and/or joint NATO SET field trials. Further work is suggested by all nations to implement new modules that address and fill each of the identified capability gaps.

# Simulation de systèmes d'imagerie active (STO-TR-SET-219)

## Synthèse

Les systèmes d'imagerie active font l'objet d'un développement et d'études continus, en raison de leur capacité à améliorer considérablement l'acquisition des objectifs, notamment en conditions environnementales hostiles (terre / mer / air). Des outils de simulation précis peuvent faciliter la conception et le développement – ainsi que l'évaluation du fonctionnement – de systèmes d'imagerie active. Les modèles d'imagerie actuellement disponibles ont une capacité limitée à représenter avec précision les systèmes d'imagerie active dans les simulations spectrales complètes, en particulier pour l'effet de l'atmosphère sur la propagation du faisceau laser et pour les effets des phénomènes radiométriques correspondants sur les systèmes de capteurs perfectionnés. Le SET-219 de l'OTAN a traité cette restriction en faisant progresser les outils et techniques de modélisation et simulation relatifs aux systèmes d'imagerie active de pointe en 1D / 2D / 3D. Dans ce contexte, la simulation désigne la production de séquences d'images de synthèse qui incluent les paramètres d'illumination laser / environnementaux / du système de capteurs.

Le SET-219 a été établi pour faire progresser la compréhension sur ce sujet, en utilisant nombre des enseignements des précédents groupes SET-072 et SET-156, et fournir une connaissance de la situation des outils et techniques de pointe en matière de simulation d'imagerie active. Ses objectifs étaient les suivants :

- Réaliser une revue exhaustive des simulations existantes des systèmes d'imagerie active, actuellement utilisées dans toute la communauté SET de l'OTAN.
- Evaluer les simulations basées sur la physique à haute résolution de la phénoménologie des systèmes d'imagerie active, par exemple, la propagation d'écran de phase, la production d'une scène spectrale complète et l'évaluation concentrée sur les composants modulaires des simulations, à savoir :
  - Interaction du laser avec les environnements atmosphériques et sous-marins ;
  - Caractérisation des objectifs et de l'arrière-plan ;
  - Composants et sous-composants des systèmes de capteurs, autrement dit, illuminateur et détecteur laser ; et
  - Limites de performance et lacunes en matière de capacités.
- Démontrer et réaliser des simulations portant sur des applications de système d'imagerie active en 1D / 2D / 3D.
- Recommander des améliorations à apporter aux simulations des systèmes d'imagerie active.

En France, au Canada et en Allemagne, les outils de modélisation à la pointe de la technologie des capteurs actifs se focalisent principalement sur les méthodologies de détection en 2D, à savoir le crénelage spatial laser actif dans le domaine spectral VNIR-SWIR, et ont obtenu de bons résultats de vérification et de validation lors des campagnes d'essai sur le terrain. La Suède et l'armée de terre des Etats-Unis ont introduit des outils de simulation pour l'imagerie Ladar en 3D. La Suède a proposé d'utiliser le même outil pour le profilage en 1D. La marine des Etats-Unis continue de développer une simulation des scènes sous-marines. Chacun de ces outils a été utilisé pour évaluer l'utilité et combler les lacunes de capacité, telles que la mesure des propriétés optiques des matériaux (objectifs et arrière-plan) pour la BRDF, le fonctionnement des outils au-delà du régime de faible turbulence et variation spatiale de  $C_n^2$  pour les géométries de trajet oblique.

---

L'efficacité du calcul a également été identifiée comme une lacune qui peut être comblée par l'utilisation de ressources d'unité centrale / processeur graphique, ainsi que par l'élaboration d'un code optimisé.

Enfin, le groupe recommande de réaliser une évaluation et une validation de la qualité d'image en développant des indicateurs appropriés et en les utilisant pour comparer les données simulées avec les données de terrain existantes, ainsi qu'avec des données obtenues pendant de nouveaux essais de terrain au niveau de chaque pays et/ou du SET de l'OTAN. Il est suggéré que tous les pays entreprennent d'autres travaux pour mettre en œuvre de nouveaux modules comblant chacune des lacunes de capacité identifiées.

