

Amélioration de l'estimation du débit de dose Halcyon à partir des TrajectoryLogs par filtrage dynamique et métriques avancées

Mots-clés : radiothérapie, Halcyon, TrajectoryLogs, python, filtrage, modélisation, estimation de débit

Candidat : étudiant(e) en Master 2^{ème} année

Encadrement académique : Dimitri Reynard, Christophe Mazzara, IDH Grenoble

Contact : christophe.mazzara@avec.fr, dimitri.reynard@avec.fr

Contexte et description générale:

L'analyse fine des TrajectoryLogs des accélérateurs Varian Halcyon a récemment permis de démontrer que la dérive de la chambre moniteur (MU) laisse une trace mesurable dans ces fichiers. Pour le montrer, un modèle complet du faisceau a été établi, incluant le mécanisme d'intégration des signaux toutes les 20 ms, afin de comprendre la structure temporelle et spectrale de l'information contenue dans les logs.

Un modèle simplifié en signal en dents de scie sous-échantillonné a ensuite été développé, réduisant le nombre de paramètres à deux tout en reproduisant fidèlement la dynamique du faisceau. Cette simplification a permis de générer rapidement des simulations réalistes du signal intégré et d'élaborer un filtre sawtooth (en dents de scie), rephasé par intercorrélation, pour analyser la cohérence temporelle des mesures.

Les premières analyses ont montré que la moyenne de l'erreur filtrée présente des dérives et des ruptures analogues à celles mesurées sur le débit réel de la machine, confirmant la présence d'une empreinte physique de la dérive MU dans les TrajectoryLogs.

Cependant, les métriques actuelles sont encore trop simples et les signaux obtenus restent fortement bruités.

Objectifs du stage :

L'objectif du stage est d'améliorer l'estimation du débit de dose (output) de l'accélérateur Halcyon à partir des données TrajectoryLogs, en développant des méthodes de traitement du signal plus robustes et des métriques plus sensibles.

Le travail comportera les volets suivants :

- 1- Analyse critique du modèle actuel : comprendre les limites du filtrage sawtooth et des métriques utilisées.
- 2- Implémentation de filtres dynamiques avancés : filtres adaptatifs, filtrage fréquentiel ou par ondelettes pour réduire le bruit et détecter les tendances lentes.
- 3- Définition de nouvelles métriques : plutôt que l'erreur moyenne, on peut imaginer repérer les moments où la machine régule (comportement inattendu) et intégrer ces instants.
- 4- Validation croisée avec les mesures de débit réelles issues des contrôles qualité quotidiens (DailyQA3, TOP).

Les outils Python pour l'accès aux TrajectoryLogs et la modélisation du faisceau sont déjà disponibles, permettant à l'étudiant(e) de se concentrer sur l'aspect algorithmique et interprétatif du problème.

Compétences développées au cours du stage :

- Analyse avancée de signaux physiques et compréhension des mécanismes d'intégration du faisceau.
- Programmation scientifique Python (NumPy, SciPy, pandas, Matplotlib). Compréhension des systèmes de régulation et d'automatisation
- Modélisation et interprétation physique des dérives instrumentales.
- Application directe aux contrôles qualité en radiothérapie et à la surveillance des accélérateurs Halcyon.