
Utilisation du filtre de Kalman dans l'assurance qualité en radiothérapie

Dimitri Reynard^{*†}, Jean-Baptiste Billet², Clément Pereira³, and Christophe Mazzara¹

¹Institut Daniel Hollard – Groupe Hospitalier Mutualiste [Grenoble] – France

²Université Grenoble Alpes – , University of Grenoble Alpes (UGA) – France

³Institut polytechnique de Grenoble - Grenoble Institute of Technology – Université Grenoble Alpes – France

Résumé

Introduction :

Les méthodes classiques d'assurance qualité (AQ) présentent des limites: réponses tardives, insensibilité aux dérives progressives, et analyse empirique 1,2. Le filtre de Kalman (KF), outil mathématique puissant issu de l'ingénierie³, propose un changement de paradigme. Il suit l'évolution d'un système en temps réel à partir de données bruitées, alliant prédiction, adaptabilité, et explicabilité. Ce travail propose une application concrète du KF au **contrôle qualité quotidien de dose (TOP)** sur accélérateur Varian® Halcyon, montrant que l'intelligence algorithmique peut transformer notre approche du QA en radiothérapie.

Matériel et méthodes :

L'étude repose sur 30 mois de données issues d'un Halcyon 6FFF. Les mesures de dose sont obtenues via le DailyQA3 associées aux MU délivrés, au gain de la chambre de mesure et aux conditions atmosphériques. Deux modèles dynamiques ont été définis, incluant vieillissement de la chambre et corrections environnementales 4.

Six configurations de KF ont été implémentées pour prédire la stabilité du faisceau, détecter les dérives et identifier les anomalies. L'erreur quadratique moyenne (RMSE) est utilisée comme indicateur de performance⁵. Les événements techniques (maintenance, recalibrations, remplacements) ont été corrélés aux sorties du KF pour évaluer sa capacité à détecter des déviations cliniquement pertinentes.

Résultats :

Les KFs avec pas MU fixe et intégration des données météo surpassent toutes les autres configurations (% , i.e. capacité de prédiction du filtre à 10 et 50 jours respectivement). Ils détectent automatiquement 100 % des outliers identifiés manuellement, mais aussi des anomalies subtiles non visibles autrement.

Comparé à ARIMA⁵, le KF fournit une meilleure précision avec beaucoup moins de points d'apprentissage, et sans nettoyage préalable des données. Il permet aussi d'associer certaines

^{*}Intervenant

[†]Auteur correspondant: dimitri.reynard@avec.fr

dérives à des événements techniques spécifiques (magnetron, MLC), prouvant sa capacité à **expliquer** les écarts observés, et non simplement les constater.

Conclusions :

Ce travail démontre que le filtre de Kalman est **bien plus qu'un algorithme**: c'est un outil de pilotage intelligent du contrôle qualité en radiothérapie. Léger, explicable, peu coûteux en calcul, il permet un AQ proactif, adaptatif, et prédictif, capable de prévenir plutôt que de réagir. Son intégration dans les flux cliniques pourrait transformer notre manière de surveiller les LINACs, en combinant données internes, environnementales, et historiques de maintenance. L'ajout automatisé des journaux d'événements et la standardisation inter-centres ouvrent la voie vers une nouvelle génération d'outils AQ, **robustes, transparents, et cliniquement pertinents**.

References

1. T. Pawlicki, M. Whitaker, and A. L. Boyer, "Statistical process control for radiotherapy quality assurance," *Med Phys*, vol. 32, no. 9, pp. 2777–2786, 2005.
2. D. Binny, C. M. Lancaster, T. Kairn, J. V. Trapp, and S. B. Crowe, "Radiotherapy Quality Assurance Using Statistical Process Control," 2019, pp. 437–442.
3. R. E. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," *Journal of Basic Engineering*, vol. 82, no. 1, pp. 35–45, Mar. 1960.
4. M. Takagi, Y. Narita, H. Chai, T. Kimura, K. Soda, and K. Kattou, "Correcting for the effect of ambient pressure fluctuations on measured output from a linear accelerator with a sealed monitor chamber," *Biomed Phys Eng Express*, vol. 9, no. 2, p. 027002, Mar. 2023.
5. W. Puyati, A. Khawne, M. Barnes, B. Zwan, P. Greer, and T. Fuangrod, "Predictive quality assurance of a linear accelerator based on the machine performance check application using statistical process control and ARIMA forecast modeling," *J Appl Clin Med Phys*, vol. 21, no. 8, pp. 73–82, Aug. 2020.

Mots-Clés: Filtre de Kalman, modèle, estimation, prédiction, contrôle qualité