

GRÁFICOS DE CONTROL PARA A DETECCIÓN DE ANOMALÍAS, PATRÓNS DE APRENDIZAXE E MONITORIZACIÓN DA EFICIENCIA NO TRÁFICO MARÍTIMO A TRAVÉS DO CANAL DE PANAMÁ

Eva Soto-Antonio¹, Salvador Naya², Mario Francisco-Fernández³, Luis Carral⁴, Javier Tarrío-Saavedra²

¹Cátedra UDC-Inditex de IA en Algoritmos Verdes, CITIC, Universidade da Coruña, Coruña, España.

²CITIC, Grupo MODES, Departamento de Matemáticas, Escola Politécnica de Enxeñaría de Ferrol, Universidade da Coruña, Ferrol, España.

²CITIC, Grupo MODES, Departamento de Matemáticas, Facultade de Informática, Universidade da Coruña, A Coruña, España.

³CITENI, Campus Industrial de Ferrol, Grupo de Enxeñaría Mixto – GEM, 15471, Universidade da Coruña, Ferrol, España.

RESUMO

Desde a súa inauguración en xuño de 2016, a Canle de Panamá Ampliada (EPC) posibilitou un transporte marítimo máis sustentable, ofrecendo aforros significativos de tempo, enerxía e custo, especialmente para buques portacontedores, metaneiros de GNL e gaseros de GLP. Os dous complexos de esclusas Neopanamax da EPC, Cocolí (Pacífico) e Agua Clara (Atlántico), presentan un desafío operativo crítico: xestionar e monitorizar os tempos de tránsito de cada esclusa, que dependen de múltiples factores como as dimensións do buque, a dirección do tránsito e as condicións operativas.

Este estudo propón o uso de gráficos de control de perfís para monitorizar os tempos de tránsito nas esclusas a través da aplicación dun único gráfico, eliminando a necesidade de múltiples gráficos simultáneos e evitando as complicacións das probas múltiples de hipóteses. Ao modelar os tempos de tránsito mediante regresión (desde modelos lineais multivariantes e Modelos Aditivos Xeneralizados, GAM, ata métodos de aprendizaxe automática como Random Forest, XGBoost e Support Vector Machines) e despois aplicar gráficos de control aos residuos, identificamos tanto efectos de aprendizaxe como anomalías operativas. O desempeño dos gráficos se analiza a partir do cálculo de métricas como son a proporción de alarmas correctamente detectadas, a proporción de falsas alarmas e o Average Run Length (ARL).

Os resultados amosan que combinar modelos interpretables (lineal e GAM) con gráficos de control EWMA proporciona a detección temperá máis eficaz dos patróns de aprendizaxe, revelando que a segunda esclusa presenta melloras de aprendizaxe significativamente maiores debido ás manobras máis complexas do mar á canle. Esta metodoloxía ofrece unha ferramenta práctica, eficiente e adaptábel para monitorizar e mellorar as operacións na EPC, con aplicabilidade directa a outras infraestruturas con esclusas en todo o mundo.

Palabras e frases chave: Control Estatístico de Procesos, Gráficos de Control, Gráficos de Perfís, Canal de Panamá, Tráfico Marítimo, Eficiencia, Patrón de Aprendizaxe.

REFERENCIAS

- Carral, L., Tarrío-Saavedra, J., Sáenz, A. V., Bogle, J., Alemán, G., Naya, S. (2021). Modelling operative and routine learning curves in manoeuvres in locks and in transit in the expanded Panama Canal. *The Journal of Navigation*, 74(3), 633-655.
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control* (8th ed.). Wiley.
- Noorossana, R., Saghaei, A., Amiri, A. (2010). *Statistical Analysis of Profile Monitoring*. Wiley.
- Woodall, W. H., Spitzner, D. J., Montgomery, D. C., Gupta, S. (2004). Using control charts to monitor process and product quality profiles. *Journal of Quality Technology*, 36(3), 309-320.
- Woodall, W. H. (2007). Current research on profile monitoring. *Production*, 17(3), 420-425.