

## Modelos Matemáticos y Métodos Computacionales en Ingeniería

Javier Giacomantone - Oscar Bria

Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI)  
Facultad de Informática – UNLP

Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)  
La Plata, Buenos Aires

{jog, onb}@lidi.info.unlp.edu.ar

### Resumen

Este trabajo describe brevemente el contexto y los objetivos generales de un tema principal y sus líneas de investigación particulares. Su objetivo principal es estudiar y evaluar modelos matemáticos y métodos numéricos que permitan abordar problemas específicos en ingeniería. También se estudian sistemas y procesos, que por su nivel de complejidad, requieren abordajes y trabajos multidisciplinarios para operar en el dominio del problema de interés. Los modelos abordados son dependientes del tipo de sistema estudiado, del fenómeno analizado y del área particular de ingeniería que originó el requerimiento. Determinar el tipo de sistema, el método para evaluar su rendimiento y las soluciones numéricas óptimas o sub-óptimas forma parte de los objetivos generales.

**Palabras Clave:** modelos matemáticos aplicados, métodos computacionales, modelos probabilísticos, desempeño de sistemas, confiabilidad de sistemas.

### Contexto

Las líneas de investigación y desarrollo (I/D) forman parte del proyecto “Computación de Alto Desempeño: Arquitecturas, Algoritmos, Métricas de rendimiento y Aplicaciones en HPC, Big Data, Robótica, Señales y Tiempo Real”. En particular del sub-proyecto “Mode-

los y métodos computacionales. Procesamiento de señales y reconocimiento de patrones”.

### 1. Introducción

En ingeniería y en ciencias básicas se utilizan distinto tipo de modelo para estudiar y caracterizar objetos y fenómenos de interés. Los modelos matemáticos nos permiten predecir fenómenos naturales y el comportamiento de estructuras, dispositivos, procesos y sistemas diseñados por el hombre. Los métodos computacionales asociados a modelos determinísticos y probabilísticos permiten estudiar el dominio del problema considerando distintas condiciones estructurales y funcionales. El análisis del comportamiento a medida que el objeto o fenómeno real se aleja de las hipótesis fundamentales del modelo permite determinar su alcance, su validez y su utilidad respecto a los objetivos iniciales [1][2]. Este abordaje permite implementaciones en *hardware* o *software* que ofrezcan soluciones viables. Los sistemas estudiados pueden ser lineales o no lineales requiriendo modelos sofisticados [3][4]. Determinar si una solución es viable con fundamento científico, es una tarea compleja y dependiente del problema particular analizado [5]. Involucra estudiar el dominio del problema, los objetos o los fenómenos modelados, y por lo tanto eventualmente requiere soporte multidisciplinar. Este proyecto tiene como primer objetivo analizar y proponer modelos computacionales, métodos y las soluciones

particulares derivadas de los mismos. Alcanzar los objetivos anteriores requiere estudiar los fundamentos que subyacen a cada modelo, evitando soluciones, que por su nivel de encapsulamiento, limiten una verdadera comprensión y abordaje científico de los mismos [6]. El tipo de problema de interés en esta línea de investigación requiere la integración de soluciones de tres áreas, ciencias de la computación, matemáticas aplicadas y un área de ingeniería o ciencia básica en particular. La evaluación de rendimiento es un aspecto fundamental para poder validar las soluciones propuestas o los modelos analizados [7]. Por lo tanto, otro aspecto fundamental es el estudio de las métricas y paradigmas de desempeño en sistemas específicos.

En la sección 2 se presenta un breve resumen de los temas de I/D específicos en el período actual. La sección 3 enumera resultados obtenidos y esperados. Finalmente, la sección 4 resume los objetivos con respecto a la formación de recursos humanos.

## 2. Líneas de Investigación

### 2.1 Modelos Probabilísticos

El primer objetivo de esta línea de investigación es estudiar si un determinado modelo es viable en el contexto de un sistema particular. El segundo objetivo general es determinar si es robusto cuando compromisos de diseño implican apartarse de las hipótesis iniciales del modelo.

#### 2.1.1 Imágenes de Tiempo de Vuelo (TOF)

Las cámaras de TOF permiten obtener imágenes de rango, también denominadas  $2 \frac{1}{2} D$ . El ruido y los artefactos en este tipo de imagen requieren de modelos probabilísticos adecuados para caracterizar, filtrar y eventualmente reducir efectos indeseados. Segmentar imágenes de tiempo de vuelo requiere modelos de segmentación con características específicas [8][9][10]. En particular métodos estadísticamente robustos [11][12].

#### 2.1.2 Datos Fuertemente Desbalanceados

Cuando el conjunto de patrones de entrenamiento de un clasificador probabilístico es marcadamente asimétrico, esta línea de investigación estudia el dominio específico del problema y la capacidad de generalización del sistema de clasificación. Se analizan paradigmas de aprendizaje automático estadístico supervisado y semi-supervisado [13][14][15].

#### 2.1.3 Generación de Descriptores

El objetivo de esta línea de trabajo es mejorar la calidad de los descriptores obtenidos a partir de modelos probabilísticos y modelos espectrales, considerando: unicidad, invariancia, sensibilidad y su impacto en el sistema de clasificación.

### 2.2 Desempeño de Sistemas de Posicionamiento, Navegación y Vigilancia.

En los sistemas de posicionamiento, de navegación y de localización [16][17], el concepto de desempeño excede al habitual que está limitado a la calidad nominal de la estimación de ubicación y eventualmente a la confiabilidad [18][19]. En estos sistemas deben considerarse además los parámetros de integridad y continuidad que le garanticen al usuario que la información proporcionada por el sistema es correcta para que una operación crítica pueda realizarse en forma segura [20][21].

Un tema relacionado con el desempeño de los sistemas vigilancia es el volumen de transacciones con características aleatorias [22].

Esta línea de trabajo se avoca al estudio de problemas puntuales de desempeño en los sistemas mencionados, utilizando criterios y métodos diversos de modelado y procesamiento de señales [23][24].

## 3. Resultados y Objetivos

### 3.1 Resultados publicados

- Se estudiaron y propusieron métodos para detección en series temporales de fMRI [25][26].
- Se desarrollaron métodos de segmentación de imágenes de rango y supresión del plano de fondo [27][28][29][30].
- Se analizaron y propusieron alternativas para el agrupamiento de objetos de interés en video [31].
- Se estudió el desempeño de un método de exclusión de satélites en un sistema de ayuda a la aeronavegación basado en GNSS [32].
- Se presentaron resultados experimentales de un método de aprendizaje en aritmética computacional [33].
- Se propuso un método de segmentación espectral para imágenes TOF [34].
- Se estudió el comportamiento bajo carga de un algoritmo para programar transacciones de radares aeroportuarios [35].

### 3.2 Objetivos generales

- Desarrollar modelos y optimizar algoritmos particulares de clasificación supervisada y no supervisada.
- Evaluar métodos de análisis de desempeño y su aplicación sobre los clasificadores y conjuntos de datos particulares.
- Evaluar la monitorización de la integridad de los sistemas de ayuda a la navegación aérea basados en sistemas GNSS.
- Estudiar métodos de selección y extracción de características.
- Promover la interacción con otros grupos y líneas de I/D resultando en un mecanismo de permanente consulta y transferencia.

### 4. Formación de Recursos Humanos

La formación de recursos humanos en primer lugar implica la transferencia de los resultados

de cada línea de investigación a las asignaturas de grado y cursos de postgrado que los integrantes dictan. Los alumnos también tienen la posibilidad de realizar trabajos supervisados de investigación, resultantes en tesinas y tesis en el área. Debido al carácter trans-disciplinar de las líneas de I/D expuestas, se espera orientar y brindar apoyo a investigadores y alumnos de otras líneas de investigación relacionadas.

### BIBLIOGRAFIA

1. Zaluzniak V. Essentials of Scientific Computing – Numerical Methods for Science and Engineering. Woodhead Publishing, 2008.
2. Juergen G. Coupled Systems: Theory, Models, and Applications in Engineering. CRC, 2014.
3. Torokhti A., Howlett P. Computational Methods for Modelling of Nonlinear Systems. Elsevier, 2007.
4. Canuto C., et al. Spectral Methods. Evolution of Complex Geometries and Applications to Fluids Dynamics Scientific Computation. Springer, 2007.
5. Ciurpina G. Scientific Computing in Electrical Engineering Springer, 2007.
6. Gustafsson B. Fundamentals of Scientific Computing Springer, 2011.
7. Aslak T., et al. Elements of Scientific Computing. Springer, 2010.
8. Von Luxburg U. A Tutorial on Spectral Clustering. Statistics and Computing, v.17(4), 2007.
9. Kim H.Y., Giacomantone J. O., Cho, Z. H. Robust Anisotropic Diffusion to Produce Enhanced Statistical Parametric Map, Computer Vision and Image Understanding, v.99, pp.435-452, 2005.
10. Han Y., Feng X., Baci G. Variational and PCA based natural image segmentation. Pattern Recognition 46, pp. 1971-1984, 2013.
11. Fukunaga K. Introduction to Statistical Pattern Recognition. Second Edition. Academic Press, 1990.
12. Devijer P, Kittler, J. Pattern Recognition: theory and applications. Springer, 1986.
13. Cortes C, Vapnik V, Support vector networks. Machine Learning v.20, pp.273-297, 1995.

14. Vapnik, V. *The Nature of Statistical Learning Theory*. N. Y. Springer, 1995.
15. Aytug H. Feature selection for support vector machines using Generalized Benders Decomposition. *European Journal of Operational Research*, v. 244(1), pp. 210-218, 2015.
16. Partap Misra, Per Enge. *Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance*, Ganga-Jamuna Press, 2010.
17. Hakan Koyuncu, Shuang Hua Yang. *A Survey of Indoor Positioning and Object Locating Systems Indoor Positioning System*, International Journal of Computer Science, 2010.
18. Petevelo Mark. *Quantifying the performance of Navigation Systems and Standards for assisted-GNSS, Inside GNSS*, 2008.
19. Morurikis A., Roumeliotis S. *Performance Analysis of Multirobot Cooperative Localization*, IEEE, 2005.
20. Murphy T., et. al., *Fault Modeling for GBAS Airworthiness Assessments*, Navigation, 2012.
21. Cosmen-Schortmann J., Azaola-Sáenz, Martínez-Olagüe M. A., Toledo-López M., *Integrity in Urban and Road Environments and its use in Liability Critical Applications*, IEEE, 2008.
22. Pengfei Duan, Maarten Uijy De Haa. *Flight Test Results of a Measurement-Based ADS-B System for Separation Assurance*, Navigation, 2013.
23. Shuo-Ju Yeh1, Shau-Shiun, *GBAS airport availability simulation tool*, GPS Solutions, 2015.
24. Sam Pullen, Todd Walter, Per Enge. *SBAS and GBAS Integrity for Non-Aviation Users: Moving Away from "Specific Risk," International Technical Meeting of The Institute of Navigation*, 2011.
25. Giacomantone J., Tarutina T. *Diffuse Outlier Detection Technique for Functional Magnetic Resonance Imaging*. Computer Science and Technology Series. XVI Argentine Congress of Computer Science Selected Papers. pp. 255-265, 2011.
26. Giacomantone J., De Giusti A. *Detección de áreas de interés bajo la hipótesis de relación espacial de voxels activados en fMRI*. XX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. San Justo. Argentina, 2014.
27. Lorenti L., Giacomantone J. *Segmentación espectral de imágenes utilizando cámaras de tiempo de vuelo*. XI Workshop Computación Gráfica, Imágenes y Visualización. pp. 430-439. Mar del Plata, Argentina, 2013.
28. Lorenti L., Giacomantone J. *Time of flight image segmentation through co-regularized spectral clustering*. Computer Science & Technology Series. XX Argentine Congress of Computer Science. Selected papers. La Plata, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, 2015.
29. Giacomantone J., et al. *Supresión del plano de fondo en imágenes de tiempo de vuelo*. VII Workshop Procesamiento de Señales y Sistemas de Tiempo Real, 2016.
30. Lorenti, L., Giacomantone, J., Bria, O. N., De Giusti, A. E. (2017). *Fusión de información de geometría e intensidad para segmentación de imágenes TOF*. XXIII CACIC. La Plata, Argentina, 2017.
31. Lorenti L., Giacomantone J., De Giusti A. *Agrupamiento de trayectorias vía clustering espectral incremental*. XXII CACIC, pp. 222-231, 2016.
32. Bria, O., Giacomantone, J., Lorenti, L., *Excluding Ionospherically Unsafe Satellite Geometries in GBAS CAT-I*. XXII CACIC. CCIS 790: Revised CACIC Selected Papers, 790, pp. 243-252, 2018.
33. Giacomantone, J., Bria, O., *Proactive Independent Learning Approach: A case study in computer arithmetic*. XXII CACIC. La Plata, Argentina, 2017.
34. Lorenti L., Giacomantone J., Bria O., *Unsupervised TOF Image Segmentation through Spectral Clustering and Region Merging*. *Journal of Computer Science & Technology*, v.18(2), pp. 97-104, 2018.
35. Bria O., Giacomantone J., Villagarcía H., *Compound Interleaving Scheduling Algorithm for SLM Transactions in Mode S Surveillance Radar*. *Communications in Computer and Information Science* 995, pp. 297-312. Springer, 2019.