



en colaboración con



## Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

[www.elsevier.es/rimni](http://www.elsevier.es/rimni)



# Algoritmos de punto de cambio aplicados a la detección de estructuras vorticosas en flujos turbulentos

J. Marañón Di Leo<sup>a,c,\*</sup>, M.V. Calandra<sup>b</sup> y J.S. Delnero<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup> Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental (UIDET LaClyFA), Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, calle 116 entre 47 y 48, 1900, La Plata, Argentina

<sup>b</sup> Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia Grupo de Aplicaciones Matemáticas y Estadísticas de la Facultad de Ingeniería (UIDET GAMEFI), Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, calle 115 y 50, 1900, La Plata, Argentina

<sup>c</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Avda. Rivadavia 1917, C1033AAJ, Ciudad de Buenos Aires, Argentina

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 8 de octubre de 2015

Aceptado el 25 de abril de 2016

On-line el xxx

#### Palabras clave:

Turbulencia

Escala temporal

Frecuencia característica

Algoritmo de detección

Punto de cambio

#### Keywords:

Turbulence

Temporal scale

Characteristic frequency

Detection algorithm

Change point

### R E S U M E N

En este trabajo se presenta el análisis de la aplicación del modelo de un algoritmo de punto de cambio (Change Point Model, CPM), basado en tests no paramétricos, para la detección de estructuras turbulentas en un flujo de aire. Se busca detectar los vórtices generados en la estela de un perfil aerodinámico dotado de un dispositivo de control pasivo de flujo (mini flap de Gurney) ubicado en el borde de fuga. De la muestra de datos obtenida se analiza la aplicación de modelos CPM, con el fin de determinar los posibles cambios de la fluctuación de la velocidad sensada, comparando los resultados con análisis tradicionales.

El objetivo principal del estudio es el de detectar las frecuencias características de las estructuras turbulentas inmersas en el campo del flujo.

De los resultados obtenidos se desprende que el modelo CPM basado en el test de Cramer-von Mises (CPM-CvM) presenta una buena concordancia con las detecciones esperadas (diferencias menores al 9,5%), mostrando ser una herramienta alternativa para el análisis de estos tipos de flujo en tiempo real.

Este trabajo muestra, finalmente, una nueva aplicación para CPM en la detección de cambios en señales aleatorias dependientes del tiempo que tienen una distribución, a priori, desconocida.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

### Change point algorithms applied to the detection of vortex structures in turbulent flows

#### A B S T R A C T

The present work shows the application of a change point model (CPM) algorithm, based on non-parametric tests, to turbulent structures detection in an airflow. It seeks to detect the vortices generated in the wake of an airfoil, equipped with a passive flow control device (Gurney mini flap) in its trailing edge. By applying CPM models to the sample data, this paper seeks to determine the possible changes to the velocity fluctuations and compare the model's effectiveness to traditional methods.

The main objective of this study is to detect the characteristic frequencies of the turbulent structures immersed in the airflow.

The results show that the CPM methodology, based on the Cramer-von Mises (CPM-CvM) test, produces results that coincide with values predicted by traditional methods (less than 9.5% of mismatch), validating its use as a real time alternative tool for the analysis of these types of flows.

Finally, this work shows a new application of CPM for detecting changes in a time-dependent random signal, which has an a priori unknown distribution.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

\* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: [jmaranon@ing.unlp.edu.ar](mailto:jmaranon@ing.unlp.edu.ar) (J. Marañón Di Leo), [mava@mate.unlp.edu.ar](mailto:mava@mate.unlp.edu.ar) (M.V. Calandra).

URL: <http://www.laclyfa.ing.unlp.edu.ar> (J. Marañón Di Leo).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2016.04.009>

0213-1315/© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Cómo citar este artículo: J. Marañón Di Leo, et al. Algoritmos de punto de cambio aplicados a la detección de estructuras vorticosas en flujos turbulentos, Rev. int. métodos numér. cálc. diseño ing. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2016.04.009>

## 1. Introducción

Se denomina flujo turbulento en un fluido a aquel en el que las variables: velocidad, densidad, presión, temperatura, etc. se comportan en forma aleatoria en cada punto del fluido y en cada instante de tiempo [1].

El estudio de los flujos turbulentos es de gran importancia en muchas aplicaciones tecnológicas: Ingenierías Aeronáutica, Naval, Mecánica y Estructural, fenómenos de flujo interno, transferencia, combustión, etc.

Existen características particulares de la estructura turbulenta de un flujo que cambian la forma en que se mueve el fluido en el entorno de los objetos generando fuerzas de carácter fluidodinámico sobre ellos. Dichos cambios pueden ser pérdidas de cantidad de movimiento en el flujo, generadas por la aparición de remolinos y disipación viscosa, siendo estos efectos comúnmente observados en aplicaciones aeronáuticas, navales, flujos internos, etc. [1].

Si se pretende mejorar u optimizar un problema de ingeniería que involucre turbulencia será preciso entender y controlar el conjunto de eventos o estructuras turbulentas que lo gobiernan [2].

Un análisis meticuloso de un flujo turbulento global permitiría detectar la existencia de estructuras turbulentas particulares en el mismo, normalmente ocultas.

Desde mediados de 1960 el análisis de la turbulencia fue revolucionado gracias al empleo de sofisticadas metodologías de análisis de datos experimentales. Existe una vasta bibliografía sobre metodologías para el análisis de mediciones de flujos en régimen turbulento, entre las más recientes, podemos mencionar las llamadas funciones ortogonales propias (POD-*Proper Orthogonal Decomposition*) [3], los métodos de análisis multiresolución [4], el uso del ARMA (*Auto Regressive Moving Average*) [5], etc. Todas estas metodologías precisan de un importante poder computacional para su implementación, lo cual las hace importantes a la hora de realizar análisis de turbulencia en tiempo no real, no así en las condiciones del ensayo experimental.

A partir de la aplicación de dichas metodologías se comprendió que en muchos casos la turbulencia, que contenía una importante porción de la energía cinética, estaba organizada en estructuras diferentes y particulares. Dicha organización ocurre, por ejemplo, en remolinos de forma y tamaño muy diversos.

El enfoque moderno de la turbulencia se concentra en el estudio meticuloso de las diversas estructuras turbulentas, mediante el análisis de la forma en que se desenvuelve el flujo en el entorno de los objetos. La determinación de dicho comportamiento permite inferir los efectos sobre un objeto en movimiento. Es de interés la detección de las formas particulares del movimiento del fluido detectando, por ejemplo, la aparición de eventos turbulentos específicos (remolinos) que se generan al desprenderse el flujo del objeto. Dichos remolinos nos permiten inferir efectos importantes referidos a las fuerzas actuantes sobre dicho objeto, dichos remolinos, habitualmente, están inmersos en el movimiento del flujo turbulento [1].

Cuando las mediciones, en particular en experimentos en túnel de viento, son realizadas con equipos de medición puntual de la velocidad (Anemómetros de hilo caliente/*Hot Wire Anemometry-HWA* [6] o basados en técnicas láser doppler, *Laser Doppler Anemometry-LDA* [7]) resulta interesante la posibilidad de realizar un procesamiento de la señal aleatoria sensada, con el fin de lograr la detección de este tipo de eventos turbulentos y caracterizar sus frecuencias de aparición e intermitencia. A partir de ello, se trata de analizar y comprender la forma en que un objeto procesa el fluido en el que se mueve, y de esta manera permite predecir el comportamiento del objeto en movimiento.

Nuestro objetivo, entonces, es aplicar técnicas estadísticas de detección de cambios en una señal sensada en el tiempo [8], en particular para las fluctuaciones de la velocidad en un flujo turbulento.

Se consideran dos objetivos principales, por un lado, el empleo de estas metodologías con el fin de analizar mediciones realizadas con anemometría de hilo caliente, incorporándolas como una herramienta más que nos permita determinar la aparición de eventos particulares en un campo fluidodinámico, con el fin de realizar su análisis y estudio. En segunda instancia, nos parece importante su posibilidad de aplicación como una herramienta en el software de adquisición de datos con el objetivo final de optimizar las mediciones que se realizan, aprovechando las posibilidades de detección de algún cambio particular en la señal en forma rápida.

## 2. Metodologías de punto de cambio

El problema de la detección de un cambio ha sido una vasta área de investigación desde la década de 1950 [9–11]. Debido a que el problema tiene una naturaleza muy general, la literatura es muy diversa y se desarrolla en campos muy diversos. En particular, muchos de los métodos tienen su origen en la comunidad del control de calidad, donde el objetivo principal es monitorear los resultados de un proceso de manufactura industrial, buscando la detección de fallas en el mismo lo más tempranamente posible [8]. Sin embargo, existen muchas otras aplicaciones donde las técnicas de detección de cambios resultan importantes, por ejemplo, en el estudio de secuencias genéticas, estudios climatológicos, aplicaciones bioinformáticas, intrusión en redes de computadoras, evoluciones de mercados financieros, etc. De todos estos temas existe mucha bibliografía que hace referencia a la temática, pero su aplicación al análisis de señales anemométricas no es conocido. Para nuestro caso, la señal sensada corresponde a los valores fluctuantes de la velocidad del aire en un flujo turbulento.

En los últimos años [12] se ha comenzado a trabajar exhaustivamente en la temática de detección de cambios en un proceso y se han definido ciertos criterios básicos. Muchos problemas estadísticos requieren la identificación de puntos de cambio en una secuencia de datos. El control estadístico de procesos (SPC–*Statistical Process Control*) se refiere al monitoreo de procesos debido a un cambio en su distribución. En los métodos tradicionales se asume que la distribución del proceso es totalmente conocida previo a cualquier cambio, incluyendo todos sus parámetros, en cuyo caso se dice que el proceso está “en control”, y “fuera de control” si ocurre un cambio que causa que el proceso se corresponda a una distribución diferente. Se busca diseñar cartas de control que puedan detectar desviaciones de la distribución de base. Usualmente, en cartas de control, se emplea la función de Longitud de Corrida Promedio (ARL–*Average Run Length*), donde  $ARL_0$  indica el número promedio de observaciones entre la detección de falsos positivos asumiendo que no ha ocurrido un cambio y  $ARL_\delta$  que indica el retraso medio antes que un cambio de tamaño  $\delta$  sea detectado. Esto es análogo a la idea clásica aplicada en el diseño de test de hipótesis de tener un error de Tipo1 acotado y un error de Tipo 2 controlado.

Históricamente las cartas de control fueron desarrolladas con el propósito de monitorear cambios en el valor medio de un proceso, pero hoy día se han desarrollado variaciones que permiten, además, monitorear los cambios en la desviación estándar, tanto en distribuciones gaussianas como no gaussianas, este hecho nos impulsó a investigar la aplicabilidad de dichas nuevas metodologías a la detección de cambios en una señal aleatoria turbulenta.

Las cartas de control, tradicionalmente, requieren el conocimiento total del proceso “en control”, pero ello no es un problema si existe una muestra de referencia grande de observaciones que son conocidas para generar la distribución “en control”. En el caso de tratarse de muestras de tamaño fijo se considera el llamado análisis Fase I, mientras que si se realiza un monitoreo secuencial del

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/8050698>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/8050698>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)