

Einfluß von Seeding-Parametern und Prozessor-Eigenschaften auf gemessene Turbulenzspektren beim LDA

H. Nobach, E. Müller, W. Fuchs
Universität Rostock, Fachbereich Elektrotechnik ¹

C. Tropea
Universität Erlangen, Lehrstuhl für Strömungsmechanik ²

Die Bestimmung des Turbulenzspektrums aus dem LDA-Meßwertensemble unterscheidet sich von herkömmlichen Anwendungen zur Ermittlung der spektralen Leistungsdichte durch

1. Die Geschwindigkeitswerte liegen in zufälligen Abständen vor.
2. Die Häufigkeit der Meßwerte der Momentangeschwindigkeiten ist funktionell mit der Meßgröße selbst verbunden (Geschwindigkeitsbias).

Es sind mehrere Möglichkeiten bekannt, das Turbulenzspektrum unter diesen Bedingungen zu schätzen. Abbildung 1 zeigt eine mögliche Einteilung der bisher üblichen Verfahren. Die Verbindung zwischen Turbulenzspektrumsbestimmung und dem gut erforschten Geschwindigkeitsbias wird selten vorgenommen, z.B. in [1].

Es wird über Untersuchungen zur Einbeziehung bekannter Wichtungsalgorithmen in die Spektralschätzung sowie deren Wirksamkeit in Abhängigkeit von allgemeinen Strömungs- und Prozesseigenschaften wie Datendichte, homogenes und inhomogenes Seeding, Shiftfrequenz, Einfach- und Mehrfachmessung im Burst, Totzeiten berichtet.

¹Einsteinstr. 2, O-2500 Rostock

²Cauerstr. 4, W-8520 Erlangen

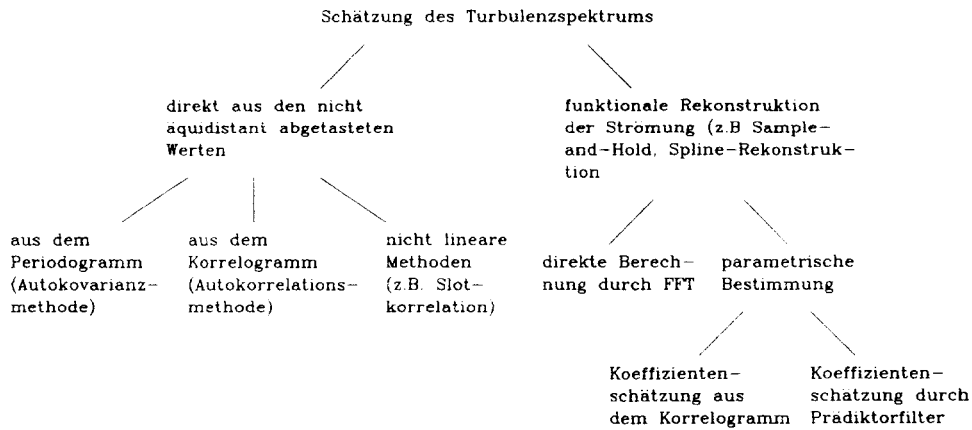


Abbildung 1: Einteilung der Algorithmen zur Bestimmung des Turbulenzspektrums

Lösungsansatz

Die Einbeziehung der genannten Wichtungsalgorithmen in die Spektralschätzung erfolgt mit Hilfe folgender Berechnungsvorschriften:

Kovarianzmethode:
$$S(f) = \frac{T \left| \sum_{i=1}^n \frac{u(t_i)w(t_i)e^{2\pi j f t_i}}{\gamma_i} \right|^2}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\gamma_i} \right)^2}$$

Autokorrelationsmethode:
$$S(f) = \frac{T \sum_{k>r}^n \frac{u(t_k)u(t_r)}{\gamma_k \gamma_r} w(t_k - t_r) \cos(\omega(t_k - t_r))}{\sum_{k>r}^n \frac{1}{\gamma_k \gamma_r}}$$

Die γ_i sind durch die Wichtungsverfahren definiert:

keine Wichtung: $\gamma_i = 1$
 Geschwindigkeitswichtung: $\gamma_i = u_i$

Aufenthaltszeitwichtung: $\gamma_i = \frac{1}{\tau_{mi}}$
 Zeitdifferenzwichtung: $\gamma_i = \frac{1}{t_i - t_{i-1}}$

Verifikation

Die experimentelle Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Wirksamkeit der Algorithmen zur Spektralschätzung ist nur mit erheblichem technischen Aufwand möglich.

Daher wurde eine Näherung durch numerische Simulation als kostengünstige Alternative gewählt. Des Weiteren ist bei der Simulation, im Gegensatz zu experimentellen Untersuchungen, das Leistungsdichtespektrum der Eingangsdaten bekannt.

Bei der Simulation des zeitlichen Verlaufs eines 3D-Geschwindigkeitsvektors wird ein AR-Modell verwendet [2]. Für das theoretische Turbulenzspektrum in Meßrichtung gilt dann:

$$S_{xx}(f) = \frac{2c_{xr}^2(1 - \phi_r^2)}{1 + \phi_r^2 - 2\phi_r \cos(2\pi f)} + \frac{2c_{xs}^2(1 - \phi_s^2)}{1 + \phi_s^2 - 2\phi_s \cos(2\pi f)} + \frac{2c_{xt}^2(1 - \phi_t^2)}{1 + \phi_t^2 - 2\phi_t \cos(2\pi f)}$$

Die c_{xi} sind Elemente einer Koppelmatrix, die sich aus dem Reynolds-Spannungstensor ergibt. Die ϕ_i sind Koeffizienten dreier 1D-AR-Modelle 1. Ordnung und werden durch die Vorgabe der Integralzeitmaße bestimmt.

Das in [2] vorgestellte Programm wird um die vorgestellten Algorithmen erweitert. Ausgewählte Ergebnisse der Spektralschätzung der simulierten Geschwindigkeitsverläufe werden in Abhängigkeit o. g. Parameter gezeigt.

Literatur

- [1] Bell, W. A.: Spectral Analysis Algorithms for the Laser Velocimeter: A Comparativ Study. AIAA Journal 21, 714-719
- [2] Fuchs, W.; Nobach, H.; Tropea, C. 1993: The Simulation of LDA Data and its Use to Investigate the Accuracy of Statistical Estimators. (in Bearbeitung)