

Akoestische modelvorming

Ysbrand Wijnant
Vakgroep Engineering Fluid Dynamics
Universiteit Twente
de Horst, N242
Postbus 217
7500 AE Enschede

In deze presentatie zal een overzicht worden gegeven van verschillende methoden om de geluidsoverdracht van een bron naar een ontvanger te simuleren.

Vrijwel alle methoden die deze geluidsoverdracht beschrijven gebruiken een (bekende) oplossing van de golfvergelijking of berekenen een oplossing van de golfvergelijking. Voor de eenvoud wordt de golfvergelijking vaak getransformeerd naar het frequentie domein (de Helmholtz vergelijking). In een beperkt aantal gevallen is het nodig om complexere modellen te gebruiken.

Vanwege hun eenvoud worden (semi-)analytische methoden vaak gebruikt in een wetgevend kader. In verband met de complexiteit van de gebouwde omgeving is het vaak ondoenlijk/onwenselijk om een exacte oplossing te bepalen. Sferische uitbreiding en de formule van Meakawa zijn een voorbeeld van dergelijke methodieken. De oplossingen zijn op zich nauwkeurig maar worden, noodzakelijkerwijs, toegepast in complexere situaties waar de oplossing dan niet voor geldt. Zolang men zich bewust is van deze tekortkomingen zijn deze methoden zeer bruikbaar.

Bij de stralen-theorie (ray-tracing) wordt de geluidsuitbreiding gemodelleerd als, zoals het woord al zegt, een straal die van de bron afkomstig is. Deze straal wordt gevolgd tot aan een oppervlak, waarop deze, al dan niet met absorptie en/of verstrooiing, als door een spiegel wordt gereflecteerd en wederom gevolgd. Door de dichtheid van stralen te volgen zijn veel akoestische eigenschappen in de ruimte te bepalen. Deze techniek wordt veelvuldig gebruikt in de bouw/ruimte-akoestiek in verband met de eenvoud en snelheid. Hoewel nu ook diffractie tot op zekere hoogte kan worden meegenomen, zijn de modellen wellicht iets minder nauwkeurig.

Met behulp van de eindige-differentie-tijd-domein methode wordt de oplossing van de golfvergelijking bepaald die voldoet aan alle randvoorwaarden rondom het domein. De differentiaal vergelijking wordt benaderd, met behulp van eindige differenties, in een eindig stelsel van vergelijkingen die op elke tijdstap kan worden opgelost. De oplossing is uiteraard erg nauwkeurig maar de bepaling ervan is zeer rekenintensief en tijdrovend. De methode wordt gebruikt wanneer detail informatie in een overdracht gewenst is.

De eindige elementen methode is een algemene methode waarmee differentiaal vergelijkingen kunnen worden opgelost. De methode lijkt erg op de eindige differentie methode. Een verschil is dat in deze methode eerst een, zogenaamde, zwakke formulering van de differentiaal vergelijking wordt bepaald en gebruik wordt gemaakt van weeg- en interpolatie-functies om een eindige stelsel van vergelijkingen op te stellen. Er wordt hiermee een oplossing gezocht die bij benadering aan de differentiaal vergelijking voldoet maar exact aan de randvoorwaarden. De methode is robuust en zeer flexibel maar ook rekenintensief en tijdrovend. Groot voordeel van deze methode is de eenvoudige model-koppeling van de akoestiek met andere fysica, zoals bijvoorbeeld trillingen.

Een methode die wel wat lijkt op de eindige elementen methode is de golf-gebaseerde methode. Deze methode gaat uit van een groot aantal analytische functies die al aan de differentiaal vergelijking (de golfvergelijking) voldoen. De oplossing van het akoestisch probleem wordt nu beschreven als een gewogen som van deze (golf-)functies, waarbij “gewogen” betekent dat elke functie met een constante factor wordt vermenigvuldigt voordat deze wordt opgeteld bij de som. De factoren volgen uit een stelsel vergelijkingen die beschijft dat zo “goed mogelijk” aan de randvoorwaarden rondom het domein wordt voldaan. Er wordt dus een oplossing bepaald die exact aan de differentiaal vergelijking voldoet maar bij benadering aan de randvoorwaarden. Deze methode heeft als voordeel dat de modelgrootte klein is en het model geschikt (sneller) is voor de mid-frequenties.

De rand elementen methode is een methode gebaseerd op de Helmholtz integraal vergelijking (deze volgt direct uit de golfvergelijking). Door de integraal vergelijking toe te passen op een domein dat is ingesloten door de bron en het verre veld (waarbij de aanname is gedaan dat golven die naar het verre veld propageren niet reflecteren), kan worden volstaan met een oppervlakte discretisatie van de bron (een oppervlakte in 3D, een lengte in 2D). De akoestische ruimte tussen bron en ontvanger hoeft dus niet te worden gediscetiseerd wat leidt tot een zeer klein model. Het bepalen van de oplossing is echter complex en rekenintensief waardoor, bijvoorbeeld, een eindige elementen methode in veel gevallen is te prefereren.

Referenties:

<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/brochures/2011/03/22/handleiding-meten-en-rekenen-industrielawaai/handleiding-meten-en-rekenen-inustrielawaai.pdf>

Overview of geometrical room acoustic modeling techniques. Lauri Savioja, U. Peter Svensson, J. Acoust. Soc. Am. 138 (2), August 2015.

<https://odeon.dk/product/ray-tracing/>

W. Desmet, D. Vandepitte, 'Finite Element Method in Acoustics' in ISAAC 13- International Seminar on Applied Acoustics, Leuven, 2002, ISBN 90-73802-73-3

The Wave Based Method: an overview of 15 years of research. Elke Deckers, Onur Atak, Laurens Coox, Roberto D'Amico, Hendrik Devriendt, Stijn Jonckheere, Kunmo Koo, Bert Pluymers, Dirk Vandepitte, Wim Desmet KU Leuven - Dept. of Mechanical Engineering, Celestijnenlaan 300B - box 2420, 3001 Heverlee (Leuven), Belgium.

The Boundary Element Method in Acoustics: A Survey. Stephen Kirkup, Appl. Sci. 2019, 9.