

REACTIE NAAR AANLEIDING VAN HET COMMENTAAR VAN TOM SNIJDERS

De twee hoofdpunten van kritiek zijn voor Snijders de wijze waarop de metamodellen gevalideerd zijn en het ten onrechte toepassen van statistische toetsen bij metamodellen. Om bij het eerste te beginnen, wij noemen een meta-model valide, als het een voldoende benadering van het simulatiemodel geeft. Wat voldoende is wordt bepaald door degenen, die de gevoeligheidsanalyse uitvoeren en evalueren, derhalve veelal de modelbouwers. Snijders betoogt dat het aantal uitgevoerde runs aan de magere kant is, voor een analyse van een model "waar je niet bij voorbaat heel erg zeker van kunt zijn". Nu heeft het ons inziens betrekkelijk weinig zin om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren op modellen waar je bij voorbaat heel erg zeker van bent. We hebben hier te maken met redelijk complexe simulatiemodellen: het draaien van één run van een dergelijk model op een PC kan oplopen tot een half uur. Inmiddels draaien de modellen eveneens op een SUN 4 SPARC station. Bij het uitvoeren van een analyse van complexe simulatiemodellen met metamodellen dient het aantal runs derhalve tot een minimum beperkt te blijven. In totaal zijn, zelfs bij gebruikmaking van fractionele factoriële proefopzetten, honderden runs uitgevoerd, hetgeen ettelijke weken in beslag heeft genomen. Het aantal validatieruns is ongeveer 10 %, van het totaal aantal runs, wat gezien het genoemde tijdsperspectief beslist niet te weinig is. Bovendien is het uitvoeren van kruisvalidatieruns technisch extra gecompliceerd. De gesuggereerde mogelijkheid om bij extra runs veel designpunten in het inwendige van de hyperkubus te kiezen, is theoretisch zinvol. De praktische betekenis dient echter niet te worden vergeten (het moeten in fysisch-chemisch opzicht wel realistische waarden zijn).

Samenvattend is het juist de kunst om bij complexe simulatiemodellen een zo effectief en efficiënt mogelijke gevoeligheidsanalyse uit te voeren, waarbij de factor tijdsbesparing een doorslaggevende kan zijn.

Ten aanzien van het ten onrechte toepassen van statistische toetsen bij metamodellen het volgende. Bij het opstellen van een meta-model als benadering voor een simulatiemodel worden twee typen fouten geïntroduceerd.

Ten eerste de keus van de response variabele als lineaire benadering van de response van het simulatiemodel. De keuze van zo'n benadering is gebaseerd op de á priori ideeën van de modelbouwer. Ten tweede, de min of meer willekeurige keuze van de factoren die worden gebruikt in de schattingsprocedure. Beide fouten zijn moeilijk te detecteren, maar wij nemen als statistisch submodel aan, dat de afwijkingen tussen het metamodel en het simulatiemodel voldoen aan een normale verdeling met verwachting 0 en variantie s^2 .

het toepassen van statistische toetsen bij deterministische modellen wordt door sommigen als onzin betiteld, terwijl anderen zonder enige aarzeling zulke toetsen gebruiken. Niet alleen Jansen en Snijders hebben grote moeite met die toepassingen: tijdens diverse voordrachten, bijvoorbeeld op de 1989 Winter Simulation Conference in Washington D.C., werd deze kritiek ook gespuid. Nochtans is er bijvoorbeeld een aantal gerenommeerde statistici, dus niet "halfzachte economistristen", die statistische toetsen loslaten op deterministische simulatiemodellen, zie Sacks et al., 1989a en b. Kortheidshalve nodigen wij de geïnteresseerde lezer uit om een overdrak aan te vragen bij ons, waarin wij uitgebreid uiteenzetten hoe wij over dit controversiële onderwerp denken. Het zal duidelijk zijn dat onze conclusie is: statistische modellen mogen worden toegepast op deterministische simulatiemodellen.

REACTIE NAAR AANLEIDING VAN HET COMMENTAAR VAN A.A.M. JANSEN

Het commentaar van Jansen behelst twee punten, nl. het niet duidelijk zijn waarvoor de analyse met metamodellen is gebruikt, en het stochastisch modelleren van systematische afwijkingen tussen een metamodel en een simulatiemodel. Als reactie op het eerstgenoemde punt van kritiek kan worden gesteld, dat een aantal keren expliciet in de tekst is vermeld, dat de primaire doelstelling van dit onderzoek was het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse. Dit impliceert, dat voor ons van belang was na te gaan hoe gevoelig de responsies zijn voor variaties in de waarden van de parameters. Aan de hand van series uit te voeren experimenten kan dan vervolgens een soort prioriteitsvolgorde van parameters worden gedestilleerd. Op grond van het aldus verkregen inzicht kunnen een aantal

als belangrijk geschatte parameters worden geselecteerd voor een te ontwikkelen interactieve versie van IMAGE. Dit heeft verder niets van doen met een andersoortige toepassing van van metamodellen, in de zin dat een interactief meta-model wordt ontwikkeld, zoals gesuggereerd door Jansen!! Waar het hier om gaat is om, met handhaving van de essentiële fysische procesbeschrijving, een eenvoudiger versie van het simulatiemodel te ontwikkelen, op basis van de verkregen inzichten uit experimenten met metamodellen van het betreffende simulatiemodel. Dit soort beleidswetenschappelijke simulatiemodellen bestrijkt het grensvlak tussen beleid en wetenschap. Een belangrijke taak van dit soort modellen is om het complexe veld van grootschalige milieuproblemen overzichtelijk te maken voor beleidsmakers en hun een, voor zover mogelijk, kwantitatief, helder beeld te schetsen van ondoorzichtige problemen. Het door Jansen aangehaalde voorbeeld betreffende de oceaanmodule, waarin geconcludeerd wordt dat de dikte van de oceaanlagen van groot belang is, is een treffend voorbeeld hiervan. Jansen vraagt zich, heel naïef, af of dit voor beleidsmakers interessante aspecten biedt! Nee, uiteraard niet, maar het is voor de modelbouwers uitermate interessant om te weten dat de dikte van gesimuleerde oceaanlagen belangrijker is dan allerlei andere fysische parameters die beschouwd zijn in de analyse. Dit betekent onder meer, dat in een te ontwikkelen interactieve versie de stratificatie van de oceaan mede bepalend is voor de verkregen uitkomsten.

Ten slotte plaatst Jansen vraagtekens bij de kennis welke vooraf nodig is bij het opstellen van metamodellen. Gedurende het gehele proces van de gevoeligheidsanalyse heeft inderdaad continu interactie plaats gevonden tussen modelbouwers en degene die de analyse daadwerkelijk uitvoerde. Dit is, gezien de verschillen in kennisniveau's van de betrokkenen ook een absolute noodzaak voor het welslagen van de operatie. Daarbij is het van groot belang dat a priori kennis omtrent de selectie van te wegen factoren, en over interacties welke al dan niet van belang worden geacht, expliciet wordt gemaakt, en in het meta-model wordt verwerkt. Deze a priori kennis kan dan vervolgens op juistheid worden getoetst via het uitvoeren van experimenten, hetgeen ook is gebeurd. Vervolgens wordt, indien noodzakelijk, het meta-model aangepast aan de bevindingen op grond van de uitgevoerde experimenten. Deze aanpassingen kunnen bestaan uit het kiezen van andere, of

meer interacties, het toevoegen of weglaten van factoren, het verkleinen of vergroten van het domein, etc. Dit behoort, mits dit geschiedt op verantwoorde wijze, inderdaad tot het toelaatbare gereedschap van de metamodelbouwer (Kleijnen, 1987). Dan volgt weer een nieuwe serie experimenten, etc. Dit iteratieve proces kan weken, zoniet maanden in beslag nemen, en het moge duidelijk zijn dat permanente uitwisseling van kennis en resultaten tussen modelbouwers en "metamodelbouwers" een eerste vereiste is. Dus, in tegenstelling tot wat Jansen beweert, zijn de verschillende experimenteertechnieken juist bij uitstek wél gebruikt voor het verifiëren van a priori kennis. Met betrekking tot de standaardisatie van factoren zij verwezen naar de diverse artikelen hierover van de hand van Kleijnen en Rotmans.

Voor het commentaar op het toepassen van statistische toetsen op deterministische simulatiemodellen, zie onze eerder reactie naar aanleiding van het commentaar van Snijders.

J. Rotmans
J.P.C. Kleijnen

Ontvangen: 19-09-1990
Geaccepteerd: 19-09-1990