

Spojenie systémov FLUENT a COSMOS/M pri komplexnom návrhu.

Ing. Peter Gašparovič

Katedra leteckého inžinierstva

Vojenská letecká akadémia gen. M. R. Štefánika v Košiciach

Resumé:

Na pevnostný a aerodynamický návrh leteckých konštrukcií sa využíva prevažne špecializovaný softvér. Článok vymedzuje typické problémy, ktoré je nutné riešiť simultánnym použitím systémov pre aerodynamické a pevnostné výpočty. V druhej časti načrtáva možnosti prepojenia a problémy pri aplikácii na systémy FLUENT a COSMOS-M.

Úvod

V súvislosti s prudkým rozvojom výpočtovej techniky, hlavne so vzrastom výpočtového výkonu a vďaka jej masovej výrobe, ktorá ruka v ruke kráča s trvalým poklesom cien, sa dostávajú do všetkých fáz vývoja nových konštrukcií sofistikované nástroje pre počítačom podporované navrhovanie (CAD) a počítačom podporované analýzy (CAE). Medzi prostriedky CAE možno zaradiť aj FEM a CFD softvér. Tento softvér je určený na numerické analýzy navrhovaných konštrukcií. Pod označením FEM sa v praxi často rozumie softvér na pevnostné analýzy. Pretože FEM v skutočnosti predstavuje skupinu matematických metód, je správnejšie v prípade pevnostných analýz hovoriť o CSD softvéri (Computational Structural Dynamics)[3]. Nároky na CSD a CFD softvér, ako aj z daného hľadiska optimálne algoritmy spôsobujú pomerne veľkú odlišnosť týchto systémov. Napríklad fyzikálne modely prúdenia tekutín sú v porovnaní s modelmi silovej rovnováhy v pevných telesách zložitejšie, prúdenie Newtonovských tekutín vystačí s pevnou sieťou a Eulerovým popisom rovníc, zatiaľ čo na popis nelineárnych deformácií telies sa využíva Lagrangeov tvar rovníc a deformovateľná sieť. Dôležitý rozdiel je aj v rozsahu typických úloh. Na popis prúdenia je potrebná omnoho hustejšia sieť, než je tomu pri pevnostných problémoch a v prípade rovnakého objektu sa líšia aj v záujmových oblastiach, ktoré musia byť kvôli presnosti riešenia hustejšie sieťované.

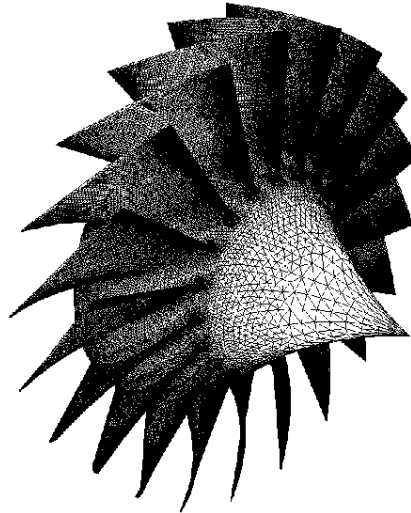
Oblasti využitia spojených metód CFD a CSD.

Nakoľko oblasti použitia systémov CFD a CSD sú značne odlišné, nepredstavujú ich odlišnosti žiadny problém. Najjednoduchší spôsob prepojenia predstavuje prenos výsledkov z CFD systému do systému CSD. Využíva sa deľba: výpočet zaťaženia vzdušnými silami a prúdenie tepla v systéme CFD a výpočet napätosti konštrukcie v CSD systéme. Pri takomto spôsobe spojenia sa ešte tak neprejavujú vzájomné odlišnosti systémov. Pri vzájomnom prepojení týchto dvoch hlavných analytických nástrojov dochádza okrem zvýšenia efektivity aj k rozšíreniu schopností a rozšíreniu rozsahu riešiteľných problémov. Možno uviesť aj príklady úloh z oblasti letectva a turbinárstva, ktoré sú riešiteľné iba pri vhodnom sklbení týchto dvoch metód. Uvedené príklady sú zoradené podľa obtiažnosti pri riešení prepojenia systémov CFD a CSD.

Príklady:

- **1. únavová životnosť disku turbíny prúdového motora.** Problém: vlastnosti materiálu závisia na teplote a táto teplota nie je konštantná ani v čase, ani v priestore. Riešenie: výsledky dynamickej teplotnej CFD analýzy použiť vo forme originálnej výpočtovej siete ako vstup únavovej CSD analýzy.
- **2. pevnosť lopatkového dúchadla leteckého motora s nadzv. prúdením.** Problém: zaťaženie lopatky zložitého geometrického tvaru je spôsobené vzdušnými silami, ktoré majú prestorovo komplikovaný priebeh, meniaci sa navyše so zmenou režimu práce motora. Riešenie: výsledky CFD analýz tlakového poľa pri niekoľkých režimoch použiť ako vstup CSD analýz, pričom je nutné previesť interpoláciu hodnôt medzi dvoma rôznymi sieťami (odstránenie zbytočnej hustoty CFD siete v okolí rázových vln).

- **3. tvar a aerodynamické vlastnosti výsadkového padáku.** Problém: tvar padáku je závislý na rovnováhe medzi vzdušnými zaťažujúcimi silami a elastickými deformačnými silami materiálu padáku. Závislosť síl na tvare a deformácii je nelineárna. Riešenie: Výsledky CFD analýzy zaťaženia počiatočného tvaru využiť ako vstup pre FEM analýzu nelineárnej deformácie tvaru a tento cyklus opakovať v niekoľkých iteráciách.
- **4. aeroelastické kmitanie krídla lietadla.** Problém: ako v 3. príklade, ale navyše je to nestacionárny dej. Riešenie: ako v 3. príklade, ale ide o nestacionárne analýzy v prípade CFD aj CSD.



Spôsob prepojenia systémov CFD a CSD

Pri prepojení CFD a CSD systémov sa ponúkajú tri spôsoby:

1. prepojenie pomocou konverzie výmenných súborov.

Týmto spôsobom je možné prepojiť prakticky každý CFD/CSD softvér, ktorý má verejne dokumentované usporiadanie svojich vstupných a výstupných súborov. Tieto výmenné súbory bývajú v neutrálnom (či inak povedané v textovom) formáte, nezávislom na hardvérovej platforme. Medzi softvér, ktorý má tieto vlastnosti zverejnené patrí napríklad CSD softvér COSMOS/M, alebo CFD softvér FLUENT. Výhodou tohoto riešenia je jednoduchosť, pričom odpadá nutnosť upravovať vlastné riešiče, nevýhodou je určitá ťažkopádnosť pri riešení komplikovaných problémov. Každý systém rieši odlišnú stránku problému a niekedy je potrebné pri konverzii súboru pridať niektoré nové prvky, čo je dosť zdĺhavé. Tento spôsob nie je možné použiť na tie dynamické analýzy, kde je potrebné simultánne riešiť prúdenie a deformáciu.

2. prepojenie pomocou riadiaceho programu a komplexného modelu.

Riešením nevýhod prvého spôsobu je utvorenie špecializovaného programu, ktorý by pracoval nad komplexným modelom. Komplexný model by bol nadmnožinou modelov použitých vo systémoch FEM a CFD. Riadiaci program by vykonával komunikáciu s obidvoma systémami pomocou výmenných súborov a to týmto spôsobom: analýza výstupného súboru - úprava komplexného modelu - extrakcia vstupného súboru z komplexného modelu. Nevýhoda spočíva v tom, že vytvorenie výpočtovej siete je náročný problém, ktorého riešenie je dôležitou súčasťou obidvoch systémov a problémom bude teda aj vytvorenie vhodného programu pre tvorbu komplexných modelov. Nevýhodou zostáva nemožnosť riešenia aeroelastických javov. Na túto vec by museli byť obidva riešiče upravené.

3. interpolácia výsledných hodnôt na vstup druhého systému.

Predchádzajúce dva spôsoby tesne viažu modely v obidvoch výpočtových systémoch. Niekedy sa však ukazuje že miesta ktoré sú dôležité z pevnostného hľadiska a vyžadujú hustú sieť prvkov, z hľadiska prúdenia sú nepodstatné a hustota siete v danom mieste je zbytočne veľká a naopak. Riešením je vytvorenie dvoch nezávislých modelov a výmena hodnôt zaťaženia a deformácie siete nepriamo - interpoláciou. Nevýhodou sú

zdlhavesšie algoritmy pre interpoláciu hodnôt medzi topologicky nezávislými modelmi. Toto fakticky nie je nový spôsob, ale len modifikácia prvých dvoch.

4. združený riešič, simultánne riešiaci rovnice prúdenia a deformácie.

Najdokonalejšie riešenie, pretože umožňuje riešiť aj dynamické aeroelastické javy apod. Oproti predchádzajúcim spôsobom je na vyššej kvalitatívnej úrovni, je to však neschodná cesta, pretože musí byť napísaný nový softvér využívajúci veľmi komplexné numerické metódy. Na trhu už existuje softvér, najčastejšie založený na FEM, ktorý okrem rovníc deformácie počíta aj prúdenie tekutín, tepla apod. Známym je multifyzikálny FEM systém ANSYS a jeho modul FLOTRAN, alebo COSMOS/M so svojim modulom FLOWPLUS. Možnosti týchto modulov však nezodpovedajú nárokom na riešenie typických úloh v letectve.

Odlíšnosti systémov FLUENT a COSMOS/M.

Systém FLUENT je všeobecný CFD softvér založený na metóde konečných objemov. Na popis geometrie modelu sú použité bunky typu šesťsten, päťsten (pyramída, alebo hranol) a štvorsten. Okrajové zóny modelu sú tvorené plôškami štvoruholníkového a trojuholníkového tvaru. Prvky sú definované pomocou svojich vrcholov - uzlov siete. To nepredstavuje problém, pretože rovnakú škálu geometrických prvkov má aj COSMOS/M. Na pevnostné výpočty je možné použiť aj idealizované prvky, ako je škrupina, alebo membrána, tie je však možné transformovať na plôšky okrajových zón. Bunky typu päťsten vo FLUENT-e je možné bez problémov preniesť ako zdegradované šesťsteny v COSMOS/M. Problém predstavuje len prenos hodnôt prúdového a teplotného poľa do COSMOS-u. Vo FLUENT-e sú hodnoty tlak a teplota definované pre bunku a trecia sila pre plôšku okrajovej zóny. Systém COSMOS/M je iný, pretože tlak sa zadáva na povrchu prvkov a sily s teplotami v uzloch siete. Pre prenos deformovanej siete do FLUENT-u sa pri prvom spôsobe musí ručne znovu generovať objemová sieť. Pri použití druhého spôsobu je nutné deformovať originálnu sieť, to znamená posunúť každý uzol siete na základe priestorovo váženého priemeru posunutia CSD siete a nulového posunutia na okrajových zónach.

Záver

Predchádzajúci rozbor ukazuje, že spojením dvoch softvérových systémov typu CFD a FEM je možné riešiť novú triedu úloh, ktorá sa použitím oddelených systémov rieši veľmi neefektívne, alebo sa dokonca musí postupovať experimentálnou cestou. Rovnako je zrejme že toto spojenie je možné realizovať niekoľkými spôsobmi. Na Katedre leteckého inžinierstva riešime prvé dva problémy (viď horeuvedené príklady). Na tento účel sa javí najschodnejší prvý spôsob prepojenia, preto na katedre prebieha vytvorenie vhodného konverzného programu týmto smerom.

Literatúra

- [1] Fluent, Inc., Lebanon: *FLUENT 5. User's Guide*, Volume 1-4, 1998.
- [2] Structural Research and Analysis Corporation: *COSMOS/M. User Guide*, 1997.
- [3] P. de Kermel et al., *Industrial Simulation of Fluid-Structure Interaction*, Engineering Systems International, France, 1994.