

به نام خدا



Market Code

تحلیل اجزاء محدود سازه‌های سه‌بعدی

نسخه: ۱.۰

	محمد رحمانیان: دکترا، دانشجو	توسعه دهندگان:
	مجید احمدی تهرانی: دکترا، دانشجو	
	روح الله دهقانی فیروزآبادی: دکتری، دانشیار	
محمد رحمانیان		تهیه کننده مستند:
۱۳۹۴/۰۴ / ۳۱		تاریخ تنظیم سند:

فهرست مطالب

فصل ۱: راهنمای کاربری ۵

۵	۱-۱. ورودی های کد
۶	۲-۱. الزامات اجرای برنامه
۷	۳-۱. خروجی برنامه
۸	۴-۱. معرفی قسمت های مختلف برنامه
۸	1-4-1. Mesh.cpp
۱۱	1-4-2. ElementType.cpp
۱۴	1-4-3. MathTools.cpp
۱۷	۴-۴-۱. Kernel.cpp
۲۴	۵-۴-۱. Main.cpp

فصل ۲: مستند آموزشی ۲۶

۲۶	۱-۲. مقدمه
۲۷	۲-۲. معادلات و روابط حاکم
۲۷	۱-۲-۲. معادلات تعادل خارجی
۲۸	۲-۲-۲. معادلات تعادل داخلی
۲۹	۳-۲-۲. روابط ساختاری (تنش - کرنش)
۳۴	۴-۲-۲. روابط کرنش - جابجایی
۳۵	۵-۲-۲. شرایط مرزی
۳۵	۶-۲-۲. معادلات سازگاری
۳۷	۳-۲. آشنایی با مواد هدفمند
۳۸	۱-۳-۲. ویژگی های مؤثر و حائز اهمیت مواد FG
۳۹	۲-۳-۲. مدل سازی خواص ماده FG
۴۱	۴-۲. تحلیل المان محدود سازه های سه بعدی
۴۲	۱-۴-۲. المان Tetrahedron
۴۵	۲-۴-۲. المان Hexahedron
۴۹	۳-۴-۲. المان مکعبی ۲۰ گرهی

۴۹	۴-۴-۲. المان مکعبی ۳۲ گرهی.....
۵۰	۵-۲. تحلیل دینامیکی.....
۵۳	۱-۵-۲. ماتریس‌های جرم Lumped و Consistent.....
۵۴	۲-۵-۲. روش حل نیومارک.....
۵۵	۶-۲. ارتعاشات آزاد (تحلیل مودال).....
۵۵	۱-۶-۲. سیستم‌های یک درجه آزادی.....
۵۶	۲-۶-۲. سیستم‌های چنددرجه آزادی.....
۵۷	۳-۶-۲. میرایی.....
۶۰	۷-۲. تحلیل کمانش.....
۶۲	۱-۷-۲. کمانش خطی.....
۶۳	۲-۷-۲. کمانش غیرخطی.....
۶۳	۸-۲. پاسخ فرکانسی.....
۶۴	۱-۸-۲. پاسخ فرکانسی مختلط.....

۶۶ فصل ۳: اعتبارسنجی

۶۶	۱-۳. مثال اول: تحلیل مودال.....
۶۹	۲-۳. مثال دوم: تحلیل استاتیکی.....
۷۰	۳-۳. مثال سوم: تحلیل استاتیکی.....

۷۳ مراجع

چکیده

هدف از کد مهندسی حاضر تحلیل اجزا محدود سازه‌های سه‌بعدی است. بدین منظور، تحلیل‌های استاتیکی، دینامیکی، مودال، پاسخ فرکانسی و کماتش برای مواد همگن، ارتوتروپیک و هدفمند مورد بررسی قرار گرفته است. در تحلیل سازه‌های سه‌بعدی از المان‌های سه‌بعدی با سه درجه آزادی در هر نود استفاده شده است. به منظور استفاده از کد مهندسی حاضر، بایستی فایل ورودی شامل موقعیت نودها، شماره و ارتباط المان‌ها با یکدیگر به کد داده شود تا نتایج مورد نظر در هر بخش به دست آیند. در گزارش حاضر جزئیات کامل از روال توسعه، ارزیابی و به کارگیری کد بیان شده است.

کلمات کلیدی: روش اجزا محدود، سازه سه‌بعدی، تحلیل مودال، تحلیل دینامیکی، تحلیل پاسخ فرکانسی

فصل ۱: راهنمای کاربری

۱-۱. ورودی‌های کد

در آغاز و قبل از شروع تحلیل، بایستی صورت مسئله به صورت فایل ورودی در فرمت مشخص آماده شود. بدین منظور در هر یک از مدل‌های سه بعدی، کافی است فایل با پسوند *.txt و حاوی مشخصات نودها و Element Connectivity فراهم شود. بدین منظور در سطرهای اول و دوم از فایل مذکور، تعداد نودها و تعداد المان‌ها نوشته می‌شود. در ادامه مختصات X, Y, Z هر نود در یک سطر درج خواهد شد. بالاخره مشخصه Element Connectivity در بخش پایانی فایل ورودی و به صورت سطر به سطر درج می‌شود.

57	149	55	56	1083	2371	1055	1069	2384			
1083	2371	1055	1069	1084	2372	1056	1070	1830	1.000000000000	0.000000000000	0.000000000000
1084	2372	1056	1070	1085	2373	1057	1071		0.600000000000	0.000000000000	0.000000000000
1085	2373	1057	1071	1086	2374	1058	1072		0.920000000000	0.000000000000	0.000000000000
1086	2374	1058	1072	1087	2375	1059	1073		0.840000000000	0.000000000000	0.000000000000
1087	2375	1059	1073	1088	2376	1060	1074		0.760000000000	0.000000000000	0.000000000000
1088	2376	1060	1074	1089	2377	1061	1075		0.680000000000	0.000000000000	0.000000000000
1089	2377	1061	1075	1090	2378	1062	1076		1.000000000000	1.000000000000	0.000000000000
1090	2378	1062	1076	1091	2379	1063	1077		1.000000000000	0.666666666667E-01	0.000000000000
1091	2379	1063	1077	1092	2380	1064	1078		1.000000000000	0.133333333333	0.000000000000
1092	2380	1064	1078	1093	2381	1065	1079		1.000000000000	0.200000000000	0.000000000000
1093	2381	1065	1079	1094	2382	1066	1080		1.000000000000	0.266666666667	0.000000000000
1094	2382	1066	1080	1095	2383	1067	1081		1.000000000000	0.333333333333	0.000000000000
1095	2383	1067	1081	1096	2384	1068	1082		1.000000000000	0.400000000000	0.000000000000
1096	2384	1068	1082	206	298	204	205		1.000000000000	0.466666666667	0.000000000000
148	149	57	58	2357	2371	1083	1097		1.000000000000	0.533333333333	0.000000000000
2357	2371	1083	1097	2358	2372	1084	1098		1.000000000000	0.600000000000	0.000000000000
2358	2372	1084	1098	2359	2373	1085	1099		1.000000000000	0.666666666667	0.000000000000
2359	2373	1085	1099	2360	2374	1086	1100		1.000000000000	0.733333333333	0.000000000000
2360	2374	1086	1100	2361	2375	1087	1101		1.000000000000	0.800000000000	0.000000000000
2361	2375	1087	1101	2362	2376	1088	1102		1.000000000000	0.866666666667	0.000000000000
2362	2376	1088	1102	2363	2377	1089	1103		1.000000000000	0.933333333333	0.000000000000
2363	2377	1089	1103	2364	2378	1090	1104		0.000000000000	1.000000000000	0.000000000000
2364	2378	1090	1104	2365	2379	1091	1105		0.933333333333	1.000000000000	0.000000000000
									0.866666666667	1.000000000000	0.000000000000

ب- Element Connectivity

الف- مختصات هر نود به همراه تعداد نود و المان

شکل (۱) نمونه‌ای از فرمت فایل ورودی در یک مسئله سه‌بعدی

۱-۲. الزامات اجرای برنامه

پس از آماده‌سازی فایل‌های ورودی، برنامه قابل اجرا خواهد بود. باید دقت داشت که برنامه حاضر به زبان C نوشته شده و در آن به منظور انجام عملیات ریاضی از کتابخانه متن‌باز EIGEN استفاده شده است. لذا برای اجرای برنامه می‌بایست کتابخانه مذکور در نرم‌افزار Microsoft Visual Studio افزوده شده و سپس اقدام به اجرای برنامه نمود. منبع کتابخانه موردنظر از آدرس ذیل قابل دانلود و استفاده است.

http://eigen.tuxfamily.org/index.php?title=Main_Page

۳-۱. خروجی برنامه

برنامه حاضر در هر یک از بخش‌های خود، خروجی‌ها مناسب را در فرمت مشخص و در متغیرهای معلوم ذخیره نموده و نتیجه را در قالب فایل‌های گرافیکی Techplot ارائه می‌نماید. به‌عنوان مثال در تحلیل استاتیکی، مقادیر تنش، جابجایی و نیرو به‌عنوان خروجی محسوب می‌شوند. در تحلیل مودال شکل مودها و فرکانس طبیعی سازه در خروجی نمایش داده‌شده و بالاخره در تحلیل دینامیکی و فرکانسی به ترتیب پاسخ زمانی و Receptance به‌عنوان خروجی نمایش داده خواهند شد.

۴-۱. معرفی قسمت‌های مختلف برنامه

برنامه حاضر دارای ۵ بخش عمده است که در هر بخش، عملیات خاصی انجام می‌شود. قسمت‌های پنج‌گانه عبارت‌اند از:

- ۱- Mesh.cpp
- ۲- ElementType.cpp
- ۳- MathTools.cpp
- ۴- Kernel.cpp
- ۵- Main.cpp

در ادامه به تشریح هر یک از بخش‌های مذکور پرداخته شده است.

۴-۱-۱. Mesh.cpp

در این بخش از برنامه، فایل ورودی مشخصات نودها و المان‌ها که توسط نرم‌افزار Ansys تولید شده، فراخوانی خواهند شد. پس از فراخوانی متغیرهای موردنیاز و انجام محاسبات، نتایج در فرمت استاندارد ذخیره خواهند شد. در ادامه به تشریح توابع و متغیرهای مورد استفاده در این بخش پرداخته شده است.

۴-۱-۱-۱. تابع LoadFromANSYS

بارگذاری اطلاعات شبکه همچون تعداد نود، تعداد المان، مختصات هر نود، شماره و

هدف

تعداد المان‌های متصل به هر نود، شماره نودهای متصل به هر المان

ورودی: Filename: متغیری رشته‌ای حاوی نام و آدرس فایل ورودی موردنظر.

خروجی

از نوع Void و شامل:

خروجی

Nodes: آرایه نودهای موجود در شبکه (Data Type Struct)

nNodes: متغیری صحیح از تعداد نودهای موجود در شبکه

Elements: آرایه المان‌های موجود در شبکه (Data Type Struct)

nElems: متغیری صحیح از تعداد المان‌های موجود در شبکه

۱-۴-۲. تابع ExportMesh

ذخیره اطلاعات (مختصات نودها، شماره نودها و المان‌ها) مسئله موردبررسی به همراه

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل (تنش، کرنش، نیرو، جابجایی در هر نود و المان مشخص) در

فرمت استاندارد نرم‌افزار Techplot.

هدف

Filename: متغیری رشته‌ای حاوی نام و آدرس فایل ورودی موردنظر

Nodes: آرایه نودهای موجود در شبکه (Data Type Struct)

nNodes: متغیری صحیح از تعداد نودهای موجود در شبکه

Elements: آرایه المان‌های موجود در شبکه (Data Type Struct)

nElems: متغیری صحیح از تعداد المان‌های موجود در شبکه

ورودی

از نوع Void و شامل فایلی با فرمت استاندارد و حاوی اطلاعات کامل از ورودی و

خروجی

خروجی‌های تحلیل.

۱-۴-۳. تابع ExportMesh_ModalResult

ذخیره اطلاعات (مختصات نودها، شماره نودها و المان‌ها) مسئله موردبررسی به همراه

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل مودال (شکل مود و فرکانس طبیعی) در فرمت استاندارد

نرم‌افزار Techplot.

هدف

Filename: متغیری رشته‌ای حاوی نام و آدرس فایل ورودی موردنظر	
Nodes: آرایه نودهای موجود در شبکه (Data Type Struct)	
nNodes: متغیری صحیح از تعداد نودهای موجود در شبکه	
Elements: آرایه المان‌های موجود در شبکه (Data Type Struct)	
nElems: متغیری صحیح از تعداد المان‌های موجود در شبکه	ورودی
Modes: عددی صحیح حاوی تعداد شکل مودها جهت ذخیره‌سازی در فایل	
VectorXcd & lambda: آرایه‌ای از نوع VectorXcd فرکانس‌های طبیعی (مقادیر ویژه)	
MatrixXcd & x: آرایه‌ای از نوع MatrixXcd حاوی شکل مودها (بردارهای ویژه)	
از نوع Void و شامل فایلی با فرمت استاندارد، حاوی اطلاعات کامل از ورودی و خروجی‌های تحلیل مودال.	خروجی

۴-۱-۴-۱. تابع ExportMesh_DynamicResponse

ذخیره اطلاعات (مختصات نودها، شماره نودها و المان‌ها) مسئله موردبررسی به همراه نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل دینامیکی (پاسخ زمانی) در فرمت استاندارد نرم‌افزار Techplot.	هدف
--	-----

Filename: متغیری رشته‌ای حاوی نام و آدرس فایل ورودی موردنظر	
Nodes: آرایه نودهای موجود در شبکه (Data Type Struct)	
nNodes: متغیری صحیح از تعداد نودهای موجود در شبکه	ورودی
Elements: آرایه المان‌های موجود در شبکه (Data Type Struct)	
nElems: متغیری صحیح از تعداد المان‌های موجود در شبکه	