



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102722621 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 10

(21) 申请号 201210188110. 6

(22) 申请日 2012. 06. 08

(66) 本国优先权数据

201110362189. 5 2011. 11. 16 CN

(71) 申请人 中国电子科技集团公司第三十八研究所

地址 230088 安徽省合肥市高新区香樟大道199号 9023 信箱

(72) 发明人 张红旗 周红桥 陈帝江 陈兴玉 王梅 张祥祥 程五四 孙宁 苏建军

(74) 专利代理机构 西安吉盛专利代理有限责任公司 61108

代理人 张培勋

(51) Int. Cl.

G06F 17/50 (2006. 01)

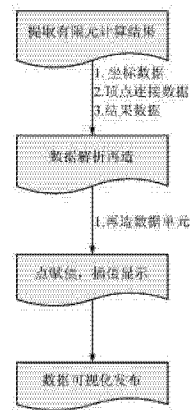
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种有限元法计算结果的可视化处理方法

(57) 摘要

本发明涉及一种有限元法计算结果的可视化处理方法,用于 CAD / CAE 工程师协同工作,将有限元计算结果直观、准确的呈现在 CAD 工程师面前的技术。首先,提取有限元仿真计算的结果数据,包括坐标数据、顶点连接关系数据、结果数据等,为后续操作做准备;其次,对提取的结果数据进行解析再造,构建再造数据单元;第三,采用“点赋值”的方法,对再造数据单元进行插值显示;最后,将经过赋值和插值显示的数据发布出来,实现有限元仿真分析结果的可视化。



1. 一种有限元法计算结果的可视化处理方法,其特征是:

首先,提取有限元仿真计算的结果数据,包括坐标数据、顶点连接关系数据、结果数据等,为后续操作做准备;

其次,对提取的结果数据进行解析再造,构建再造数据单元;

第三,采用“点赋值”的方法,对再造数据单元进行插值显示;

最后,将经过赋值和插值显示的数据发布出来,实现有限元仿真分析结果的可视化。

2. 根据权利要求1所述的一种有限元法计算结果的可视化处理方法,其特征是:所述的对提取的结果数据进行解析再造,包括将数据进行分类,再分别进行提取、解析,不同类型的数据采用不同的解析方法。

3. 根据权利要求1所述的一种有限元法计算结果的可视化处理方法,其特征是:所述的数据类型按坐标数据、顶点连接关系数据、结果数据进行分类。

4. 根据权利要求1所述的一种有限元法计算结果的可视化处理方法,其特征是:所述的坐标数据满足的约束条件是:a)必须是Excel CSV格式;b)至少有2列数据,其中某列数据表示数据编号,是整数类型;另一列数据表述顶点坐标值,须是以空格符分割三个浮点型数据。

5. 根据权利要求1所述的一种有限元法计算结果的可视化处理方法,其特征是:所述的顶点连接关系数据满足的约束条件是:a)必须是Excel CSV格式;b)至少有2列数据,其中某列数据表示单元类型,必须是整数类型;另一列数据构成某类型单元的顶点坐标索引,必须是以空格符分割的若干个( $\geq 1$ )整数。

6. 根据权利要求1所述的一种有限元法计算结果的可视化处理方法,其特征是:所述的结果数据必须满足的约束条件是:a)必须是Excel CSV格式;b)至少有2列数据,其中第1列数据表示顶点编号,必须是整数类型;另一列数据必须是浮点型整数;c)第1行必须是字符型列名。

7. 根据权利要求1所述的一种有限元法计算结果的可视化处理方法,其特征是:数据单元的再造主要通过result\_E.csv文件实现,其中的Element列为再造单元的索引列,各数值再造单元解析如下:

①若Element=55,则表示该单元类型为一维线单元,在建构单元时,用第1个点分别与后面的各点相连构成线单元;相应点的序号在Element Connectivity列中读取;

②若Element=103,则表示该单元类型为3点构成的面单元,在建构单元时,3个点的序号在Element Connectivity列中读取;若Element=104,则表示该单元类型为4点构成的面单元,在建构单元时,4个点的序号在Element Connectivity列中读取;

③若Element=204,则表示该单元类型4点体单元,在建构单元时,4个点的序号在Element Connectivity列中读取示;

④若Element=206,则表示该单元类型为6点构成的体单元,在建构单元时,6个点的序号在ElementConnectivity列中读取;

⑤若Element=208,则表示该单元类型为8点构成的体单元,在建构单元时,8个点的序号在ElementConnectivity列中读取。

## 一种有限元法计算结果的可视化处理方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种有限元法计算结果的可视化处理方法,用于 CAD / CAE 工程师协同工作,将有限元计算结果直观、准确的呈现在 CAD 工程师面前的技术。

### 背景技术

[0002] 有限元法计算结果可视化技术是指对工程分析软件的计算结果数据进行轻量化处理、解析并重构数据单元,通过赋值算法可视化再现有限元计算结果的一门技术,同时其可视化结果可以生成脱离软件环境的 IE 发布格式。

[0003] 目前,在产品的设计过程中,仿真技术的推广和普及方面面临着很多具体问题,例如:CAD 工程师不能很快速、准确地获取 CAE 仿真工程师的分析数据,进而有效指导产品的设计过程;CAE 工程师之间在使用异构分析软件的情况下,则存在着协同交流效率低的问题等。

[0004] 为了解决这些问题,首先需要 CAD 工程师可以直观的读懂有限元仿真分析的结果,而不是通过 CAE 工程师面对面的解读;但由于学科专业的不同,CAD 工程师不可能在短时间内完全掌握有限元仿真分析技术。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种有限元法计算结果的可视化处理方法,便于 CAD / CAE 工程师的协同工作,将有限元计算结果直观、准确的呈现在 CAD 工程师面前的技术。

[0006] 本发明的目的是这样实现的,一种有限元法计算结果的可视化处理方法,其特征是:

首先,提取有限元仿真计算的结果数据,包括坐标数据、顶点连接关系数据、结果数据等,为后续操作做准备;

其次,对提取的结果数据进行解析再造,构建再造数据单元;

第三,采用“点赋值”的方法,对再造数据单元进行插值显示;

最后,将经过赋值和插值显示的数据发布出来,实现有限元仿真分析结果的可视化。

[0007] 所述的对提取的结果数据进行解析再造,包括将数据进行分类,再分别进行提取、解析,不同类型的数据采用不同的解析方法。

[0008] 所述的数据类型按坐标数据、顶点连接关系数据、结果数据进行分类。

[0009] 所述的坐标数据满足的约束条件是:a) 必须是 Excel CSV 格式;b) 至少有 2 列数据,其中某列数据表示数据编号,是整数类型;另一列数据表述顶点坐标值,须是以空格符分割三个浮点型数据。

[0010] 所述的顶点连接关系数据满足的约束条件是:a) 必须是 Excel CSV 格式;b) 至少有 2 列数据,其中某列数据表示单元类型,必须是整数类型;另一列数据构成某类型单元的顶点坐标索引,必须是以空格符分割的若干个 ( $\geq 1$ ) 整数。

[0011] 所述的结果数据必须满足的约束条件是:a) 必须是 Excel CSV 格式;b) 至少有 2

列数据,其中第 1 列数据表示顶点编号。必须是整数类型;另一列数据必须是浮点型整数;  
c) 第 1 行必须是字符型列名。

#### [0012] 数据单元的再造

数据单元的再造主要通过 result\_E.csv 文件实现,其中的 Element 列为再造单元的索引列,各数值再造单元解析如下:

①若 Element=55,则表示该单元类型为一维线单元,在建构单元时,用第 1 个点分别与后面的各点相连构成线单元;相应点的序号在 Element Connectivity 列中读取;

②若 Element=103,则表示该单元类型为 3 点构成的面单元,在建构单元时,3 个点的序号在 Element Connectivity 列中读取;若 Element=104,则表示该单元类型为 4 点构成的面单元,在建构单元时,4 个点的序号在 Element Connectivity 列中读取;

③若 Element=204,则表示该单元类型 4 点体单元,在建构单元时,4 个点的序号在 Element Connectivity 列中读取;

④若 Element=206,则表示该单元类型为 6 点构成的体单元,在建构单元时,6 个点的序号在 ElementConnectivity 列中读取;

⑤若 Element=208,则表示该单元类型为 8 点构成的体单元,在建构单元时,8 个点的序号在 ElementConnectivity 列中读取。

[0013] 传统的有限元仿真分析对结果数据的管理和利用一直处于无序状,造成有限元计算结果数据的可重复利用性差,并造成重复劳动和不必要的浪费,同时造成了对于同一结构系统的不同工况的计算占用了大量的计算机资源,大大降低了工作效率。

[0014] 本发明的有限元计算结果可视化模块可以集成到协同设计过程中,它可以最大限度减轻分析工程师的工作量,避免重复性劳动,提高了仿真的效率和精度;实现了 CAD 和 CAE,以及 CAE 工程师之间的有效协同,缩短了设计周期。

#### 附图说明

[0015] 下面结合实施例对本发明作进一步说明:

图 1 是本发明的有限元计算结果可视化处理流程;

图 2 是单元构造示意图;

图 3 是某型雷达结构天线转台 X 方向的变形量可视化结构图;

图 4 某型雷达结构有限元计算结果在协同设计平台中的应用;

图 5 有限元计算结果可视化实施方式。

#### 具体实施方式

[0016] 如图 1 所示,首先,提取有限元仿真计算的结果数据,包括坐标数据、顶点连接关系数据、结果数据等,为后续操作做准备;其次,对提取的结果数据进行解析再造,构建再造数据单元;第三,采用“点赋值”的方法,对再造数据单元进行插值显示;最后将经过赋值和插值显示的数据发布出来,最终实现有限元仿真分析结果的可视化。要实现有限元计算结果的可视化处理,核心问题之一是从有限元计算结果中提取分析数据,本发明采取将数据进行分类,再分别进行提取、解析的方法,不同类型的数据采用不同的解析方法,显著提高了数据解析的效率和稳定性。

[0017] 下面以 HyperWorks 数据为例,具体说明数据的解析过程。HyperWorks 数据包括坐标数据、顶点连接关系数据、结果数据等。

[0018] 下面以 HyperWorks 数据为例,具体说明数据的解析过程。HyperWorks 数据包括坐标数据、顶点连接关系数据、结果数据等。

#### [0019] 坐标数据

合格的坐标数据必须满足的约束条件是:a)必须是 Excel CSV 格式;b)至少有 2 列数据,其中某列数据表示数据编号,必须是整数类型;另一列数据表述顶点坐标值,须是以空格符分割三个浮点型数据。如表 1 所示为某个 HyperWorks CSV 坐标数据文件。由表 1 可以看出第 1 列数据编号列的数值均为整数,第 4 列是空格符分割的三个浮点型数值,所以这是一个合法的 HyperWorks CSV 坐标文件。假定该文件名为:result\_DX / Y / Z. csv,则对应的坐标信息描述可以为:coordinate file=result\_DX / Y / Z. csv skip=2 offset=3。

[0020] 表 1 某个 HyperWorks CSV 坐标数据文件

1	NodeID	ReferenceSystem	AnalysisSystem	NodeCoordinates
2				
3	1	0	0	2916. 711961-1600. 01
4	2	0	0	2358. 121608. 92260. 007
5	3	0	0	2358. 121608. 93165. 007
6	4	0	0	2358. 131608. 92-1556. 99
7	5	0	0	2358. 121608. 93207. 007
8	6	0	0	2916. 711961-1550. 01
9	7	0	0	2358. 121608. 91322. 007
10	8	0	0	2916. 71961200. 031
11	9	0	0	3000. 912081. 8282. 42
12	821	0	0	3000. 92081. 8192. 961
13	933	0	0	3000. 992081. 21-1532. 2
14	951	0	0	3001. 2081. 21-1631. 66
15	1950	0	0	2763. 993788. 61-1583. 41
16	2518	0	0	2763. 983755. 61233. 425
17	2559	0	0	2916. 71961250. 031
18	2660	0	0	2358. 131608. 93. -1514. 99
19	2561	0	0	2358. 131608. 93-1514. 99
20	32062	0	0	2341. 651599. 45322. 005

#### 顶点连接关系数据

合格的坐标数据必须满足的约束条件是:a)必须是 Excel CSV 格式;b)至少有 2 列数据,其中某列数据表示单元类型,必须是整数类型;另一列数据构成某类型单元的顶点坐标索引,须是以空格符分割的若干个 (>=1) 整数。如表 2 所示为某个 HyperWorks CSV 顶点连接数据。由表 2 可以看出至少有 2 列数据,第二列数据都是整数表示,第三列是以空格符分割的若干个整数,所以这是一个合法的 HyperWorks CSV 顶点连接关系文件。假定改文件名为:result\_E. csv,则对应的顶点联系关系信息描述可以为:element connect file = result\_E. csv skip=2 offset 2=1。

[0021] 表 2 某个 HyperWorks CSV 顶点连接数据文件

1	ElementID	Element	ElementConnectivity
2			
3	2451	55	25593263032631326323263332635326363268032753
4	2452	55	83254632549325553255632558326083261732854
5	2453	55	63913739134391243912239118390823905538646
6	2454	55	13899339044384673904339029384753831037502
7	2455	55	732062328913289232893328943289532930
8	2456	55	232180321863290232906329123291332916
9	2457	55	5322443227532277322823236632368
10	2458	55	3322583225932260322623226332264
11	2459	55	2561375373754237540375413753837536
12	2460	55	4375543678036782367673629836493
13	2461	55	256036487364813552535396354323545635402
14	2462	55	4805637406355, 533554935497355593499435463

### 结果数据

合格的结果数据必须满足的约束条件是 :a) 必须是 Excel CSV 格式 ;b) 至少有 2 列数据,其中第 1 列数据表示顶点编号。必须是整数类型 ;另一列数据必须是浮点型整数 ;c) 第 1 行必须是字符型列名。表 3 所示为某个 HyperWorks CSV 结果数据文件。由表 3 可以看出至少有 2 列数据,第 1 列都是整数表示,第 4 列都是浮点型整数,所以这是一个合法的 HyperWorks CSV 结果文件。假定该文件名为 :result\_DM. CSV,则对应的结果信息描述可以为 :variable 1 file=result\_DM.csv skip=2 offset=1。

[0022] 表 3 某个 HyperWorks CSV 结果数据文件

1	NodeID	ReferenceSystem	AnalysisSystem	Result_DM
2				
3	1	0	0	1.980000
4	2	0	0	1.127000
5	3	0	0	1.125000
6	4	0	0	1.132000
7	5	0	0	1.124000
8	6	0	0	1.979000
9	7	0	0	1.125000
10	8	0	0	1.971000
11	9	0	0	2.246000
12	821	0	0	2.239000
13	933	0	0	2.245000
14	951	0	0	2.254000
15	1950	0	0	4.882000
16	2518	0	0	4.873000
17	2559	0	0	1.972000

### 数据单元的再造

数据单元的再造主要通过 result\_E.csv 文件实现,如表 2 所示,其中的 Element 列为再造单元的索引列,各数值再造单元解析如下 :

①若 Element=55,则表示该单元类型为一维线单元,在建构单元时,用第 1 个点分别与后面的各点相连构成线单元 ;相应点的序号在 Element Connectivity 列中读取 ;

②若 Element=103,则表示该单元类型为 3 点构成的面单元,在建构单元时,3 个点的序号在 Element Connectivity 列中读取 ;若 Element=104,则表示该单元类型为 4 点构成的面单元,在建构单元时,4 个点的序号在 Element Connectivity 列中读取 ;

③若 Element=204,则表示该单元类型 4 点体单元,在建构单元时,4 个点的序号在

Element Connectivity 列中读取,形状示意如图 2(a)所示;

④若 Element=206,则表示该单元类型为 6 点构成的体单元,在建构单元时,6 个点的序号在 ElementConnectivity 列中读取,形状示意如图 2(b)所示;

⑤若 Element=208,则表示该单元类型为 8 点构成的体单元,在建构单元时,8 个点的序号在 ElementConnectivity 列中读取,形状示意如图 2(c)所示。

[0023] 经有限元分析软件计算得出合格有效的坐标数据 (result\_DX / Y / Z. csv)、顶点连接关系数据 (result\_E.csv) 及结果数据 (result\_DM.csv)。

[0024] 一般来说,数据的赋值有“点赋值”方式与“线赋值”方式,本发明中对于位移、应力数据等的赋值采用“点赋值”的方式,位移、连接关系、应力等数据都在各数据点上表达;同时,对于“点”上数据的插值有一次插值、二次插值等插值方法,本发明中插值算法如下:

```
coordinate file=zt \ result_DX.csv skip=2 offset=3 stride=13
elementconnect file=zhuantai \ result_E.csv skip=2 offset=2 stride=10
variable 1 file=zt \ result_DX.csv skip=2 offset=7 stride=13
variable 2 file=zt \ result_DY.csv skip=2 offset=7 stride=13
variable 3 file=zt \ result_DZ.csv skip=2 offset=7 stride=13
variable 4 file=zt \ result_DM.csv skip=2 offset =7 stride=13
variable 5 file=zt \ result_S.csv skip=2 offset=7 stride=13
```

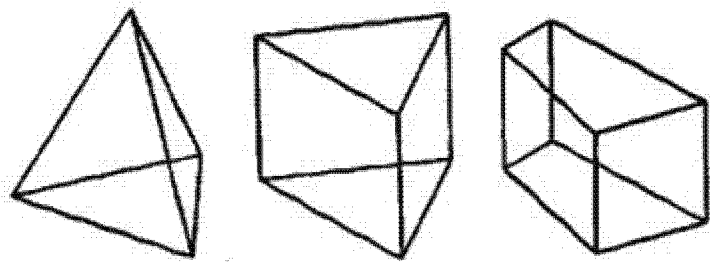
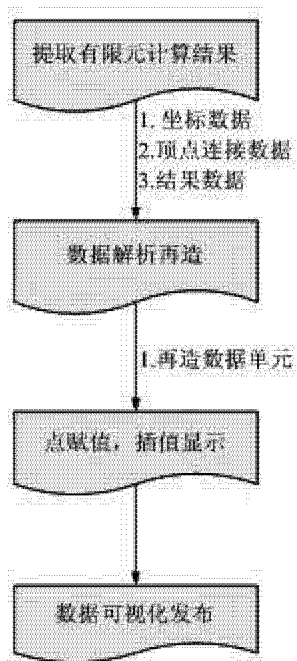
该算法通过读取结果文件进行插值显示,得出某型雷达结构天线转台的显示结果如图 3 所示。

[0025] 传统的有限元仿真分析对结果数据的管理和利用一直处于无序状,造成有限元计算结果数据的可重复利用性差,并造成重复劳动和不必要的浪费,同时造成了对于同一结构系统的不同工况的计算占用了大量的计算机资源,大大降低了工作效率。

[0026] 本发明申请中开发的有限元计算结果可视化模块可以集成到雷达协同设计过程中,如图 4 所示为某型雷达结构有限元计算结果发布在雷达协同设计平台中的应用界面。应用了该模块的雷达协同设计平台可以最大限度减轻分析工程师的工作量,避免重复性劳动,提高了仿真的效率和精度;实现了 CAD 和 CAE,以及 CAE 工程师之间的有效协同,缩短了设计周期。

[0027] 本申请提出了有限元计算结果可视化技术,开发了支持有限元计算结果可视化模块,该模块支持 HyperWorks 等工程分析软件的计算结果可视化,解决了对于海量有限元计算结果数据的轻量化问题,该模块同时可以集成到雷达协同设计平台中,实现了对于设计流程中有限元分析结果的实时可视化功能,提高了 CAE 工程师的分析效率,更重要的是提高了 CAD 与 CAE、以及 CAE 工程师之间的协同工作效率。

[0028] 其基本步骤如图 5 所示:1)生成有限元计算数据。由 CAE 分析人员,根据产品设计要求,进行产品结构分析,建立产品有限元分析模型,完成产品结构分析,生成有限元计算数据;2)进行有限元数据解析。由 CAE 数据处理人员,对有限元计算数据进行分类解析,对于 HyperWorks 数据,可以解析为坐标数据、顶点连接数据和结果数据;3)数据单元再造。由有限元数据处理人员对解析数据,根据不同单元类型完成数据的单元再造,单元类型分为线单元、面单元、体单元等;3)赋值与显示。由 CAE 数据处理人员完成数据的赋值与插值显示,数据的赋值分为“点赋值”和“线赋值”方式,对点上的插值可以应用一次插值、二次插值的方法。4)数据发布。最终生成的数据发布给 CAD 设计人员。



(a) Element=204 (b) Element=206 (c) Element=208

图 2

图 1



图 3

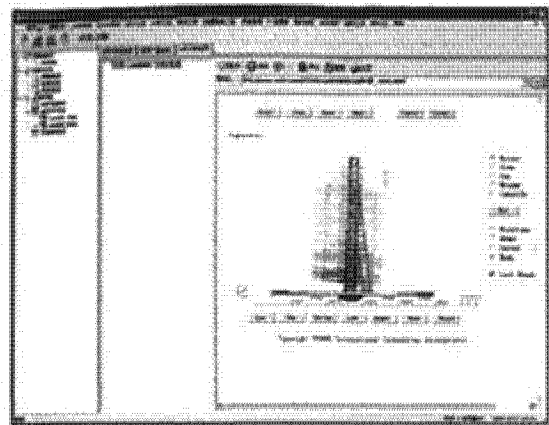


图 4



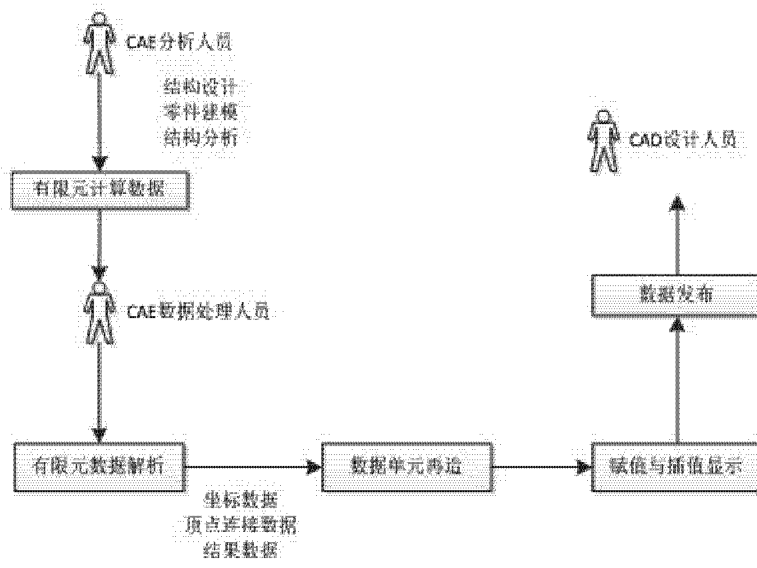


图 5