

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 50397/2013
(22) Anmeldetag: 18.06.2013
(43) Veröffentlicht am: 15.10.2013

(51) Int. Cl. : **G06F 17/50** (2006.01)

(73) Patentanmelder:
AVL LIST GMBH
8020 GRAZ (AT)

(54) Verfahren zur Erstellung eines dreidimensionalen, akustischen Netzes

(57) Um ein akustisches Netze (8) zur Durchführung einer WBT-Methode auf einfache und rasche Weise zu erstellen ist vorgeschlagen, ein dreidimensionales, schallabstrahlendes Objekts (1) mit einem Volumennetz (7) aus konvexen Hexaelementen (2) vollständig zu umgeben und anschließend die Hexaelemente (2) des Volumennetzes (7) in Hexaelemente (2) des Objektes (1), in Hexaelemente (2) des umgebenden Raumes (6) und in Schnittelemente (5), die sowohl dem Objekt (1), als auch dem umgebenden Raum (6) angehören, einzuteilend und die Schnittelemente (5) anhand eines Zuordnungskriteriums entweder dem Objekt (1) oder dem umgebenden Raum (6) zuzuordnen.

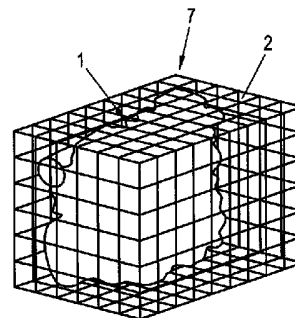


Fig. 2

Zusammenfassung

Um ein akustisches Netze (8) zur Durchführung einer WBT-Methode auf einfache und rasche Weise zu erstellen ist vorgeschlagen, ein dreidimensionales, schallabstrahlendes Objekts (1) mit einem Volumennetz (7) aus konvexen Hexaelementen (2) vollständig zu umgeben und anschließend die Hexaelemente (2) des Volumennetzes (7) in Hexaelemente (2) des Objektes (1), in Hexaelemente (2) des umgebenden Raumes (6) und in Schnittelemente (5), die sowohl dem Objekt (1), als auch dem umgebenden Raum (6) angehören, einzuteilend und die Schnittelemente (5) anhand eines Zuordnungskriteriums entweder dem Objekt (1) oder dem umgebenden Raum (6) zuzuordnen.

Fig. 2

Verfahren zur Erstellung eines dreidimensionalen, akustischen Netzes

Die gegenständliche Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erstellung eines dreidimensionalen, akustischen Netzes für die akustische Berechnung eines dreidimensionalen, schallabstrahlenden Objekts.

- 5 In der heutigen Produktentwicklung kommen vermehrt numerische Simulationsmethoden zum Einsatz, um die Entwicklungszeiten und –kosten zu reduzieren. Unter diesen sehr vielschichtigen Simulationsanwendungen ist beispielsweise in der Fahrzeugentwicklung die Vorhersage des Fahrzeuginnengeräusches oder der Geräuschabstrahlung eines Bauteils, z.B. eines Verbrennungsmotors, anhand von vibro-akustischen Simulationen eine der herausforderndsten.

Für solche vibro-akustischen Simulationen wurden bisher Finite Element Methoden (FEM) oder Bounded Element Methoden (BEM) eingesetzt, die allerdings auf Frequenzen im Bereich von 150 bis 200Hz beschränkt waren. Für höhere Frequenzen würden feinere FEM-Netze benötigt, was den Rechenaufwand zur Lösung solcher Modelle signifikant erhöht. Für
15 die Simulation des Fahrzeuginnengeräusches wurden auch sogenannte Statistical Energy Analysis (SEA) Methoden entwickelt, die allerdings nur für Frequenzen von größer 400Hz brauchbare Ergebnisse liefern. Außerdem liefern SEA Methoden keine Phaseninformation, was aber im interessierenden Frequenzbereich eine wichtige Information darstellt.

Daneben wurde für vibro-akustische Simulationen auch sogenannte Wave Based Technique
20 (WBT) Methoden entwickelt. Diese Methoden erlauben die Simulation bis zu Frequenzen von 3kHz. Für die Generierung des akustischen Netzes, das für die Verwendung der WBT-Methode notwendig ist, wird der Luftraum zwischen schallabstrahlendem Objekt, z.B. einem Verbrennungsmotor, und dem kleinsten, das Objekt umschließenden quaderförmigen Raum in konvexe Subvolumina unterteilt. Konvexität eines Subvolumens bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Verbindung beliebiger Randpunkte der Oberfläche des Subvolumens
25 jeweils auch vollständig innerhalb des Subvolumens liegt. Das ist z.B. aus T. Mocsai, et al., „Engine Radiation Simulation up to 3kHz using the Wave Based Technique“, ICSV16 2009 - International Congress on Sound And Vibration, Krakow, Poland, July 5-9, 2009 oder aus A. Hepberger, et al., „Application of the Wave Based Technique to Predict the Engine Noise
30 Radiation under Anechoic Conditions“, SAE 2009 - Noise and Vibration Conference and Exhibition, St. Charles, Illinois, USA, May 19-21, 2009, bekannt. Bisher erfolgte diese Unterteilung händisch bzw. mit CAE-Unterstützung, d.h. es wurde je nach Erfahrung des Ausführenden ein Netz an konvexen Elementen definiert, was sehr langwierig ist und bis zu zwei Wochen dauern konnte. Außerdem war die manuelle Generierung nicht reproduzierbar bzw.
35 dokumentierbar.

Es ist nun eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, ein Verfahren zur Generierung eines akustischen Netzes aus konvexen Elementen zur Durchführung einer WBT-Methode anzugeben, das es ermöglicht, auf einfache und rasche Weise ein solches Netz zu erstellen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, indem für das Objekt in einem ersten Schritt ein Volumennetz aus Hexaelementen erstellt wird, das das Objekt vollständig umgibt und anschließend in einem zweiten Schritt eine Zuordnung der Hexaelemente des Volumennetzes in Hexaelemente des Objektes, in Hexaelemente des umgebenden Raumes und in Schnittelemente, die sowohl dem Objekt, als auch dem umgebenden Raum angehören, vorgenommen wird und die Schnittelemente anhand eines Zuordnungskriteriums entweder dem Objekt oder dem umgebenden Raum zugeordnet werden. Diese Vorgehensweise erlaubt eine automatisierte Erstellung des akustischen Netzes des das schallabstrahlende Objekt umgebenden Raumes, was die Erstellung sehr rasch und einfach macht. Damit wird es möglich ein akustisches Netz innerhalb weniger Minuten zu erstellen.

Wenn zumindest ein Hexaelement oder das Volumennetz vor der Zuordnung im zweiten Schritt in seiner Dimension in zumindest einer Raumrichtung geändert wird, kann das Volumennetz schon vor der Zuordnung besser an das Objekt angenähert werden, was die nachfolgenden Verfahrensschritte vereinfachen kann. Unter Dimension wird hier die Erstreckung des Hexaelementes in zumindest einer der Raumrichtungen, also z.B. der x-, y- und z-Richtung, verstanden.

Für das erstellte akustische Netz ist es vorteilhaft, wenn insbesondere die Grenzregion zwischen Objekt und umgebenden Raum feiner modelliert wird, indem ein Schnittelement vor der Zuordnung in eine Mehrzahl von Subelementen unterteilt wird und die entstandenen Subelemente dem Objekt oder dem umgebenden Raum zugeordnet werden. Dieser Schritt kann die Genauigkeit des akustischen Netzes besonders an der Grenzfläche zwischen Objekt und umgebenden Raum, und damit auch die Qualität der nachfolgenden akustischen Berechnung des Objektes, erhöhen.

Um eine variablere Entscheidung zu ermöglichen, ob ein Schnittelement dem Objekt oder dem umgebenden Raum zugeordnet wird, kann vorgesehen sein, dass ein Schnittelement vor der Zuordnung im zweiten Schritt in eine Mehrzahl von Subelementen unterteilt wird und anhand eines Zuordnungskriterium geprüft wird, ob zumindest ein definierter Anteil seiner Subelemente innerhalb des Objektes oder innerhalb des umgebenden Raumes liegt, um das gesamte Schnittelement dem Objekt oder dem umgebenden Raum zuzuordnen.

Wenn für ein Schnittelement und/oder Subelement als Zuordnungskriterium geprüft wird, ob der geometrische Mittelpunkt des Schnittelementes und/oder Subelementes innerhalb des

Objektes oder innerhalb des umgebenden Raumes liegt, kann die Zuordnung mit wenig Berechnungsaufwand durchgeführt werden.

- Um die nachfolgende akustische Berechnung des akustischen Netzes effizienter und mit weniger Rechenaufwand durchführen zu können, ist es vorteilhaft, wenn die Hexaelemente des umgebenden Raumes in konvexe Supraelemente zusammengefasst werden, da dann mit weniger Hexaelementen gerechnet werden muss und der Rechenaufwand deutlich reduziert werden kann.

Die Hexaelemente des Objekts werden vorzugsweise verwendet, um aus den Hexaelementen des Objekts die Außenhaut des Objektes zu ermitteln.

- Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 7 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

Fig.1 ein dreidimensionales Modell des schallabstrahlenden Objekts,

Fig.2 das Objekt mit dem umgebenden Volumennetz aus Hexaelementen,

- Fig.3 das Volumennetz des umgebenden Raumes,

Fig.4 das Volumennetz des umgebenden Raumes aus mehreren Hexaelementen gebildeten Supraelementen,

Fig.5 die ermittelte Außenhaut des Objekts,

- Fig.6 die Zuordnung der Schnittelemente zum Objekt oder zum umgebenden Raum und

Fig.7 die Unterteilung eines Hexaelementes in eine Mehrzahl von Subelementen.

- Das schallabstrahlende Objekt 1, hier ein Verbrennungsmotor, der in Fig.1 stilisiert dargestellt ist, und der das Objekt umgebende Raum 6 (Fig.1) werden in einem ersten Verfahrensschritt durch ein Volumennetz 7 aus konvexen Hexaedern (in weiterer Folge Hexaelement 2), z.B. Quader oder Würfel, vollständig ausgefüllt, wobei das Objekt 1 vollständig überdeckt sein soll. Die Dimension des Hexaelements 2, also seine Erstreckung in den verschiedenen Raumrichtungen, vorzugsweise in x-, y- und z-Richtung, ist dabei frei wählbar oder kann vorgegeben sein. Dieser Schritt kann anhand eines Modells des Objektes, z.B. einem diskretisierten bzw. elementierten Modell (z.B. ein FEM-Modell) oder einem CAD-Modell, automatisiert von einer Berechnungseinheit vorgenommen werden. Das Ergebnis dieses ersten Schrittes ist in Fig.2 dargestellt.

Optional kann das so erstellte Volumennetz 7 an das schallabstrahlende Objekt 1 angenähert werden, indem eine oder mehrere Raumebenen, z.B. die x-, y- und/oder z-Ebene, des Volumennetzes 7 oder einzelner Hexaelemente 2 verschoben werden, was zu Hexaelemen-

ten 2 unterschiedlicher Dimensionen führt. Dieser Schritt kann entweder manuell von einem Anwender oder wieder automatisiert von der Berechnungseinheit durchgeführt werden.

Im nächsten Verfahrensschritt wird festgelegt, welche Hexaelemente 2 dem schallabstrahlenden Objekt 1 zuzuordnen sind und welche dem umgebenden Raum 6. Alle Hexaelemente 2, die vollständig im umgebenden Raum 6 liegen, werden als diesem Raum 6 zugehörig angesehen. Alle Hexaelemente 2, die vollständig im Objekt 1 liegen, werden diesem zugeordnet. Für Hexaelemente 2, die teilweise im Objekt 1 liegen und teilweise im umgebenden Raum 6, sogenannte Schnittelemente 5, wird zur Zuordnung ein Zuordnungskriterium definiert. Beispielsweise wird überprüft, wo ihr geometrischer Mittelpunkt M liegt, was anhand der Fig.6 näher erläutert wird. Liegt der geometrische Mittelpunkt M im Objekt 1, wird dieses Hexaelement 2 dem Objekt 1 zugeordnet, liegt der Mittelpunkt M außerhalb des Objekts, wird das Hexaelement 2 dem umgebenden Raum 6 zugeordnet. Anhand des dreidimensionalen Modells des Objekts 1, (z.B. ein diskretisiertes bzw. elementiertes Modell oder ein CAD-Modell) kann dieser Schritt automatisiert ausgeführt werden. Das Ergebnis ist in Fig.3 beispielhaft für den umgebenden Raum 6 dargestellt.

Bevorzugt kommt vor der oben beschriebenen Zuordnung der Schnittelemente 5 zumindest ein Verfeinerungsschritt zur Anwendung. Dazu wird ein Schnittelement 5 in konvexe Subelemente 5' unterteilt, z.B. indem ein Hexaelement 2 in einer oder mehreren Raumebenen unterteilt wird. Bei einer Unterteilung in z.B. allen drei Raumebenen durch den geometrischen Mittelpunkt, entstehen aus einem Hexaelement 2 (Schnittelement 5) acht Subelemente 5', wie in Fig.7 dargestellt, die in weiterer Folge als Hexaelemente 2 kleinerer Dimension verarbeitet werden. Für diese entstandenen Hexaelemente 2 (Subelemente 5') wird dann wieder die Einteilung in Hexaelemente 2 des Objekts 1, des umgebenden Raumes 6 und in Schnittelemente 5 vorgenommen. Die entstehenden Schnittelemente 5 können dann erneut wie beschrieben verfeinert werden. Ebenso ist es aber möglich, ein Hexaelement 2 mehrfach auf die beschriebene Weise zu unterteilen, bevor die beschriebene Zuordnung vorgenommen wird. Wenn ein Hexaelement 2 z.B. mit drei Teilungsschritten in jeweils allen drei Raumebenen unterteilt wird, erhält man 512 Subelemente 5', die dann zugeordnet werden können.

Damit gelingt es vor allem die Grenzregion zwischen Objekt 1 und umgebenden Raum 6 genauer zu modellieren, indem je nach oben beschriebener Zuordnung Subelemente 5' dem umgebenden Raum 6 und damit dem akustischen Netz 8 zugeordnet werden. Die benötigte Genauigkeit wird dabei von der jeweiligen Anwendung bestimmt.

Anstelle des geometrischen Mittelpunktes M als Zuordnungskriterium kann aber auch ein anderes Kriterium verwendet werden. Z.B. könnte der Volumenanteil eines Schnittelementes

5 im Objekt 1 festgestellt werden. Übersteigt der Volumenanteil einen bestimmten Prozentsatz, wird das gesamte Schnittelement 5 dem Objekt 1 zugeordnet, ansonsten dem umgebenden Raum 6.

Eine weitere Variante der Zuordnung eines Schnittelements 5 kann dadurch umgesetzt werden, indem bei Unterteilung des Schnittelementes 5 in Subelemente 5' definiert wird, wie viele der Subelemente 5' dem das Objekt 1 umgebenden Raum 6 oder dem Objekt 1 gemäß einem Zuordnungskriteriums zugeordnet sein müssen (also z.B. wie viele Subelemente 5' ihren geometrischen Mittelpunkt M im umgebenden Raum 6 haben), damit das gesamte Schnittelement 5 dem Raum 6 oder dem Objekt 1 zugeordnet wird.

- 10 Die Summe der Hexaelemente 2 des umgebenden Raumes 6 bildet dann das akustische Netz 8 für die akustische Berechnung.

Für eine effiziente Berechnung des schallabstrahlenden Objekts 1 ist es vorteilhaft, wenn die entstandenen Hexaelemente 2 des umgebenden Raumes 6 zu größeren konvexen Supraelementen 3, die dann wieder als Hexaelemente 2 größerer Dimension verwendet werden, zusammengefasst werden, wie in Fig.4 dargestellt. Die Summe der Supraelemente 3 des umgebenden Raumes 6 bildet hier dann das akustische Netz 8 für die akustische Berechnung. Das Zusammenfassen von konvexen Raumelementen in größere Raumelemente ist aus dem Stand der Technik bekannt, z.B. aus Anuj J., et al., „Partitioning 3D Phantoms Into Homogeneous Cuboids“, International Journal of Foundation of Computer Science 14, 905 (2003), und wird daher hier nicht näher erläutert.

Das derart entstandene Volumennetz für das Objekt 1 wird an sich nicht weiter benötigt, da für das Objekt 1 nur die schallabstrahlende Oberfläche, also die aus den Hexaelementen 2 des Objekts 1 gebildete Außenhaut 4, wie in Fig.5 dargestellt, benötigt wird. Dazu werden z.B. alle Grenzflächen der Hexaelemente 2 des Objekts 1 zwischen Objekt 1 und umgebenden Raum 6 bestimmt. Die Hexaelemente 2 des Objekts 1 selbst können auch gelöscht werden.

Damit liegen das für die WBT-Methode benötigte akustische Netz 8 des schallabstrahlenden Objekts 1 und die Grenzfläche zwischen Objekt 1 und dem umgebenden Raum (Außenhaut 4) vor. Die beschriebene Erstellung des akustischen Netzes 8 kann dabei automatisiert in wenigen Minuten erstellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erstellung eines dreidimensionalen, akustischen Netzes (8) für die akustische Berechnung eines dreidimensionalen, schallabstrahlenden Objekts (1) bei dem für das
5 Objekt (1) in einem ersten Schritt ein Volumennetz (7) aus konvexen Hexaelementen (2) erstellt wird, das das Objekt (1) vollständig umgibt und anschließend in einem zweiten Schritt eine Zuordnung der Hexaelemente (2) des Volumennetzes (7) in Hexaelemente (2) des Objektes (1), in Hexaelemente (2) des umgebenden Raumes (6) und in Schnittelemente (5), die sowohl dem Objekt (1), als auch dem umgebenden Raum (6) angehören, vorgenommen wird
10 und die Schnittelemente (5) anhand eines Zuordnungskriteriums entweder dem Objekt (1) oder dem umgebenden Raum (6) zugeordnet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dimension des Volumennetzes (7) oder zumindest eines Hexaelementes (2) in zumindest einer Raumrichtung vor der Zuordnung im zweiten Schritt geändert wird.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Schnittelement (5) vor der Zuordnung im zweiten Schritt in eine Mehrzahl von konvexen Subelementen (5') unterteilt wird und die entstandenen Subelemente (5') anhand eines Zuordnungskriteriums dem Objekt (1) oder dem umgebenden Raum (6) zugeordnet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Schnittelement (5) vor der Zuordnung im zweiten Schritt in eine Mehrzahl von Subelementen (5') unterteilt wird und anhand eines Zuordnungskriterium geprüft wird, ob zumindest ein definierter Anteil seiner Subelemente (5') innerhalb des Objektes (1) oder innerhalb des umgebenden Raumes (6) liegt, um das gesamte Schnittelement (5) dem Objekt (1) oder dem umgebenden Raum (6) zuzuordnen.
20
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** für ein Schnittelement (5) und/oder Subelement (5') als Zuordnungskriterium geprüft wird, ob der geometrische Mittelpunkt (M) des Schnittelementes (5) und/oder Subelementes (5') innerhalb des Objektes (1) oder innerhalb des umgebenden Raumes (6) liegt.
25
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Zuordnung im zweiten Schritt die Hexaelemente (2) des umgebenden Raumes (6) in konvexe Supraelemente (3) zusammengefasst werden.
30

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus den Hexaelementen (2) des Objekts (1) die Außenhaut des Objekts (1) ermittelt wird.

1/3

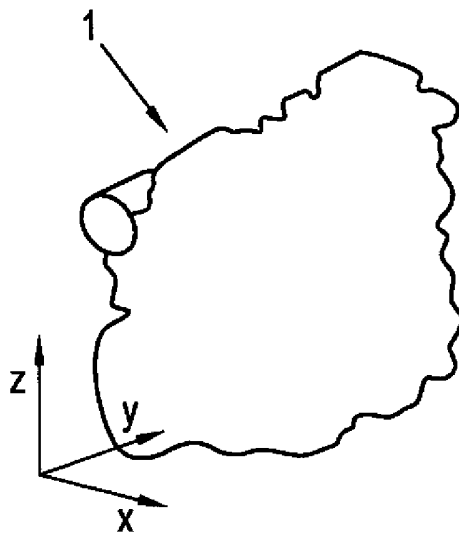


Fig. 1

6

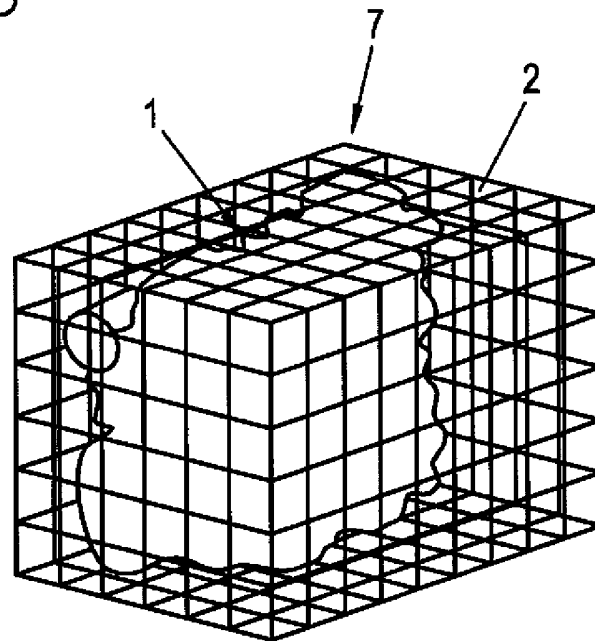


Fig. 2

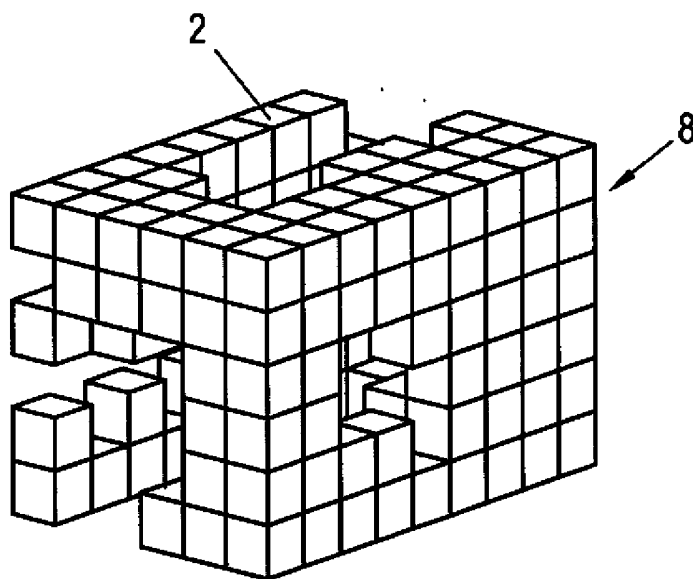


Fig. 3

2/3

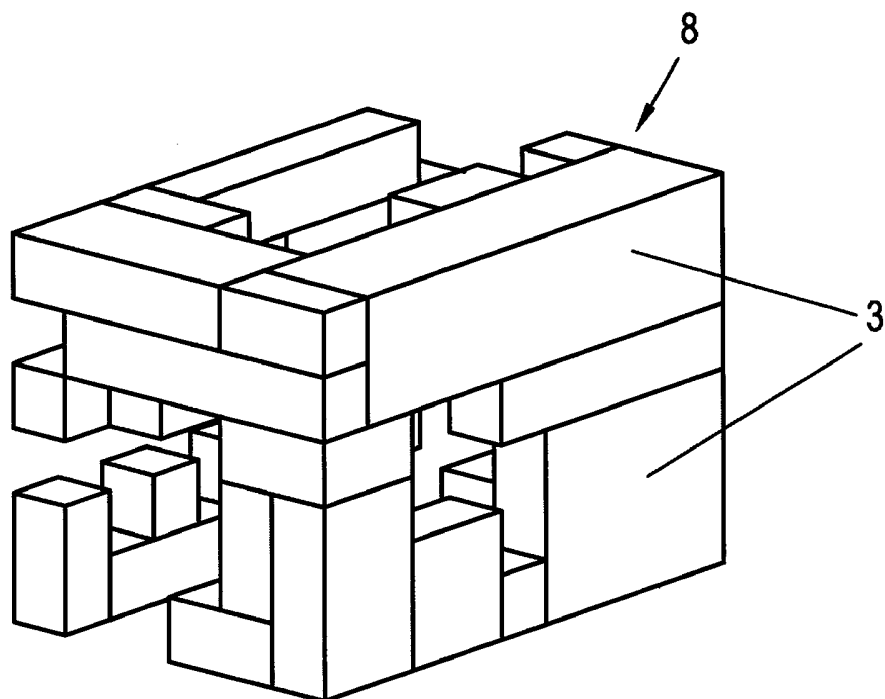


Fig. 4

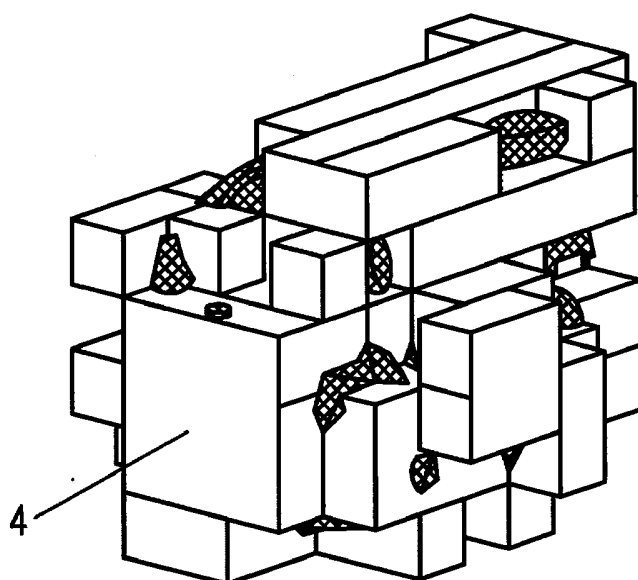


Fig. 5

3/3

