



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 88757

(13) C2

(51) МПК (2009)

B25J 9/16

G06T 17/40

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ОБ'ЄКТА У ВІРТУАЛЬНОМУ НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ БЕЗ ВЗАЄМНИХ ПЕРЕШКОД МІЖ ЙОГО ЗЧЛЕНОВАНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

1

2

(21) 20041008813

(22) 28.10.2004

(24) 25.11.2009

(31) 0312640

(32) 29.10.2003

(33) FR

(46) 25.11.2009, Бюл.№ 22, 2009 р.

(72) МАЙЄ БРЮНО, FR, ПАМСТАІН ЕДУАР, FR,  
ШЕДМАЙ ПАТРИК, FR

(73) СЕКМА, FR

(56) KUFFNER J ET AL.: "Self-collision detection and prevention for humanoid robots" PROC. IEEE INT'L CONF. ON ROBOTICS AND AUTOMATION, ICRA2002, WASHINGTON DC, USA, MAY 2002, 2002, pages 2265-2270, XP002293107 ISBN: 0-7803-7272-7

KWON S J ET AL: "Self-collision avoidance for n-link redundant manipulators" DECISION AIDING FOR COMPLEX SYSTEMS. CHARLOTTESVILLE, VA., OCT. 13 - 16, 1991, PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, NEW YORK, IEEE, US, vol. VOL. 1, 13 octobre 1991 (1991-10-13), pages 937-942, XP010054847 ISBN: 0-7803-0233-8

TORNERO J ET AL: "Spherical-object representation and fast distance computation for robotic applications" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION SACRAMENTO, APR. 9 - 11, 1991, LOS ALAMITOS, IEEE COMP. SOC. PRESS, US, vol. VOL. 2 CONF. 7, 9 avril 1991 (1991-04-09), pages 1602-1608, XP010023991 ISBN: 0-8186-2163-X

(57) 1. Спосіб переміщення віртуального зчленованого об'єкта, шляхом виконання послідовності елементарних переміщень у віртуальному просторі (13) віртуального зчленованого об'єкта (10), що містить сукупність зчленованих елементів (11), зв'язаних між собою сукупністю зчленувань (12), з визначенням відносних положень зчленованих елементів (11) через кути зчленувань відповідно до ступенів свободи, причому спосіб включає такі етапи:

- вирахування відстані взаємодії між даним зчленованим елементом (11с) та іншими зчленованими елементами (11) зчленованого об'єкта (10);

- визначення за згаданою відстанню взаємодії першої точки (P1), що належить даному зчленованому елементу (11с), і другої точки (P2), що належить одному з інших зчленованих елементів (11) зчленованого об'єкта;

- визначення за першою і другою точками єдиного вектора ( $\vec{v}$ ) відведення;

- відведення даного зчленованого елемента (11с) від інших зчленованих елементів (11) зчленованого об'єкта за допомогою руху, визначеного відповідно до єдиного вектора ( $\vec{v}$ ) відведення і впливаючого на ступені свободи зчленованого об'єкта (10) для запобігання зіткненням даного зчленованого елемента (11с) з іншими зчленованими елементами (11) зчленованого об'єкта.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що згадані етапи вирахування відстані взаємодії, визначення першої і другої точок, визначення вектора ( $\vec{v}$ ) відведення й відведення даного зчленованого елемента повторюють для кожного із зчленованих елементів (11) зчленованого об'єкта (10) для запобігання зіткненню кожного зчленованого елемента з іншими частинами зчленованого об'єкта.

3. Спосіб за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що додатково включає етап визначення наявності зіткнення даного зчленованого елемента (11с) з іншими зчленованими елементами (11) зчленованого об'єкта (10), проведений після кожного елементарного руху в послідовності елементарних рухів.

4. Спосіб за будь-яким з пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що відстань взаємодії відповідає глибини проникнення таким чином, що вектор ( $\vec{v}$ ) відведення дорівнює різниці координат другої точки (P2) і першої точки (P1), причому згадана глибина проникнення забезпечує можливість переміщення зчленованого об'єкта (10) з обмеженими й контрольованими зіткненнями між його зчленованими елементами.

5. Спосіб за будь-яким з пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що відстань взаємодії відповідає мінімальній відстані таким чином, що вектор ( $\vec{v}$ ) відведення дорівнює різниці координат першої точки (P1) і другої точки (P2), причому зазначена мінімальна відстань забезпечує можливість переміщення

(13) C2

(11) 88757

(19) UA

зчленованого об'єкта (10) без зіткнень між його зчленованими елементами.

6. Спосіб за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що додатково включає етап скасування останнього елементарного руху в зазначеній послідовності елементарних рухів за наявності зіткнення даного зчленованого елемента (11с) з іншими зчленованими елементами (11) зчленованого об'єкта (10).

7. Спосіб за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що вказані етапи визначення першої і другої точок ( $P_1$ ,  $P_2$ ), визначення вектора ( $\vec{v}$ ) відведення й відведення даного зчленованого елемента (11с) не здійснюються за відсутності зіткнення даного зчленованого елемента з іншими зчленованими елементами зчленованого об'єкта.

8. Спосіб за будь-яким з пп. 1-6, який **відрізняється** тим, що відведення даного зчленованого елемента (11с) від інших зчленованих елементів (11) зчленованого об'єкта (10) здійснюють обертальним рухом зчленування, що впливає на кожне зі зчленувань (12), які належать до послідовності зчленувань, що передують даному зчленованому елементу, причому обертальний рух, який впливає на кожне зі зчленувань (12а), що належать до зазначеної послідовності, включає такі етапи:

- визначення першого вектора ( $\vec{v}_1$ ) між центром зчленування даного зчленування (12а) і початковою точкою вектора ( $\vec{v}$ ) відведення;

- визначення другого вектора ( $\vec{v}_2$ ) між центром зчленування даного зчленування (12а) і кінцевою точкою вектора ( $\vec{v}$ ) відведення;

- вирахування кута ( $\vec{\theta}$ ) повороту, необхідного для суміщення першого вектора з другим вектором;

- вирахування елементарного кута або елементарних кутів повороту зчленування шляхом розкладання зазначеного кута повороту ( $\vec{\theta}$ ) по осі або осях, що визначають ступінь (ступені) свободи, що відповідає (відповідають) даному зчленуванню;

- поворот зчленованого елемента в даному зчленуванні (12а) на кут або кути, пропорційні згаданому куту або зазначеним кутам зчленування.

9. Спосіб за п. 8, який **відрізняється** тим, що кут повороту вираховують за векторним добутком першого й другого векторів.

10. Спосіб за п. 8 або 9, який **відрізняється** тим, що елементарний кут або елементарні кути зчленування вираховують за скалярним добутком або скалярними добутками зазначеного векторного добутку й осі або осей ступенів свободи даного зчленування.

11. Спосіб за будь-яким з пп. 1-10, який **відрізняється** тим, що відведення зчленованого елемента від інших зчленованих елементів зчленованого об'єкта здійснюють за допомогою фактора (34) внутрішнього ковзання, що впливає на ступені свободи зчленованого об'єкта.

12. Спосіб за будь-яким з пп. 1-11, який **відрізняється** тим, що зчленований об'єкт визначається у віртуальному просторі своїм глобальним положенням і глобальною орієнтацією таким чином, що переміщення зчленованого об'єкта здійснюють за допомогою фактора притягання, що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію, і/або ступені свободи зчленованого об'єкта.

13. Спосіб за будь-яким з пп. 1-12, який **відрізняється** тим, що додатково включає етап переміщення зчленованого об'єкта в режимі реального часу, здійснюваного оператором за допомогою керуючого фактора, що впливає на положення і/або орієнтацію, і/або ступені свободи зчленованого об'єкта.

14. Спосіб за будь-яким з пп. 1-13, який **відрізняється** тим, що зчленований об'єкт являє собою віртуальний манекен (10а), який переміщується по підлозі віртуального простору, причому даний манекен визначається своїм положенням на згаданій віртуальній підлозі, орієнтацією відносно вертикальної осі, яка перпендикулярна зазначеній підлозі і проходить через центр ваги манекена, і ступенями свободи, що визначають сукупність його зчленованих елементів.

Даний винахід належить до галузі імітації переміщення віртуального зчленованого об'єкта у віртуальному просторі. Винахід стосується, зокрема, попередження зіткнень зчленованих елементів зчленованого об'єкта з іншими його частинами.

Моделювання у віртуальному просторі використовується в даний час у багатьох галузях, зокрема, в авіаційній і аерокосмічній промисловості. Наприклад, цифрові моделі часто використовують для оцінки взаємного впливу різноманітних елементів систем.

Крім того, моделювання може використовуватися для імітації дій людини або роботи в певних умовах з метою наочного представлення, наприклад, переміщень, що їх має вчинити технік або робот для виконання таких дій. Ця методика корисна для підтвердження й оптимізації доступності певних елементів устаткування, наприклад, двигуна літака, що вимагають регулярного огляду й обслуговування.

Таким чином, моделювання з використанням віртуального зчленованого об'єкта дозволяє контролювати ступінь досяжності різноманітних елементів конструкції вже на стадії їхнього моделювання.

Віртуальний зчленований об'єкт являє собою сукупність цифрових даних, що визначають кінематичну систему, характеризувану декількома зчленованими елементами, яким відповідає певна кількість ступенів свободи.

Таким чином, кожного моменту віртуальний зчленований об'єкт може бути визначений своєю загальною позицією та орієнтацією в метричному просторі й значеннями ступенів свободи своїх зчленувань (суглобів). Ці дані, а також параметри, які визначають простір, у якому знаходиться віртуальний зчленований об'єкт, можуть бути збережені на носії цифрових даних.

Відомі застосування віртуальних зчленованих об'єктів у використанні такого роду.

Один з прикладів такого застосування наводиться у статті Chedmail, Damay et Le Roy, під назвою "Réalité virtuelle, maquette numérique du produit, outils de distribution et partage de la conception", Journees Priméca, La Plagne, 7-9 avril 1999.

У цій статті пропонується спосіб оцінки легкості монтажу й демонтажу об'єктів у загроможденому просторі за допомогою моделі переміщення двох віртуальних зчленованих рук або віртуально-го манекена у віртуальному просторі.

Цей спосіб дозволяє манекену переміщуватися в просторі, загроможженому перешкодами, не стикаючись з цими перешкодами.

При цьому, проте, поза самого манекена в процесі його переміщення може бути будь-якою, що може призвести до зіткнення якоїсь із кінцівок манекена з іншими частинами його тіла. Ця обставина знижує точність імітації переміщень манекена.

Задача, на вирішення якої спрямовано даний винахід, полягає в усуненні вищеописаних хиб і в пропозиції способу, що дозволяє імітувати переміщення або маніпуляції зчленованого об'єкта з попередженням зіткнень якогось зчленованого елемента з іншими зчленованими елементами зчленованого об'єкта за умови оптимізації часу розрахунків.

Іншою задачею є попередження взаємних зіткнень усіх зчленованих елементів зчленованого об'єкта шляхом забезпечення ковзання різноманітних зчленованих елементів один по одному.

Для вирішення поставлених задач пропонується спосіб переміщення віртуального зчленованого об'єкта у віртуальному просторі виконанням елементарних переміщень. Зчленований об'єкт містить сукупність зчленованих елементів, зв'язаних між собою сукупністю зчленувань, а відносні положення зчленованих елементів визначені кутами зчленувань відповідно до ступенів свободи. Спосіб за винаходом включає такі етапи:

- вирахування відстані взаємодії між даним зчленованим елементом та іншими зчленованими елементами зчленованого об'єкта;
- визначення по зазначеній відстані взаємодії першої точки, що належить даному зчленованому елементу, і другої точки, що належить одному з інших зчленованих елементів зчленованого об'єкта;
- визначення по першій і другій точкам єдиного вектора відведення;
- відведення даного зчленованого елемента від інших зчленованих елементів зчленованого об'єкта за допомогою руху, визначеного відповідно до єдиного вектора відведення і який впливає на ступені свободи зчленованого об'єкта з метою запобігання зіткнення даного зчленованого елемента з іншими зчленованими елементами зчленованого об'єкта.

Таким чином, спосіб за винаходом попереджує зіткнення даного зчленованого елемента з іншими зчленованими елементами зчленованого об'єкта, використовуючи єдине вирахування відстані взаємодії.

Це забезпечує можливість моделювання переміщення зчленованого об'єкта з високою точніс-

тю за умови оптимального часу, що витрачається на вирахування.

В оптимальному варіанті згадані етапи вирахування відстані взаємодії, визначення першої і другої точок, визначення вектора відведення і відведення даного зчленованого елемента повторюються для кожного із зчленованих елементів зчленованого об'єкта з метою запобігання зіткнення кожного зчленованого елемента з рештою частин зчленованого об'єкта.

Таким чином, зчленовані елементи ковзають один по одному без внутрішніх зіткнень.

Спосіб за винаходом додатково включає етап визначення наявності зіткнення даного зчленованого елемента з іншими зчленованими елементами зчленованого об'єкта, проведений після кожного елементарного руху в послідовності елементарних рухів.

За першим варіантом здійснення винаходу відстань взаємодії відповідає глибині проникнення таким чином, що вектор відведення дорівнює різниці координат другої точки й першої точки, причому дана глибина проникнення забезпечує можливість переміщення зчленованого об'єкта з обмеженими й контрольованими зіткненнями між його зчленованими елементами.

За другим варіантом здійснення винаходу відстань взаємодії відповідає мінімальній відстані таким чином, що вектор відведення дорівнює різниці координат першої точки й другої точки, причому дана мінімальна відстань забезпечує можливість переміщення зчленованого об'єкта без зіткнень між його зчленованими елементами.

Спосіб додатково включає етап скасування останнього елементарного руху в зазначеній послідовності елементарних рухів за наявності зіткнення даного зчленованого елемента з іншими зчленованими елементами зчленованого об'єкта.

В оптимальному варіанті зазначені етапи визначення першої і другої точок, визначення вектора відведення й відведення даного зчленованого елемента не здійснюються за відсутності зіткнення даного зчленованого елемента з іншими зчленованими елементами зчленованого об'єкта.

Відведення даного зчленованого елемента від інших зчленованих елементів зчленованого об'єкта може здійснюватися обертальним рухом зчленування, що впливає на кожне зі зчленувань, що належать до послідовності зчленувань, яка передує даному зчленованому елементу, причому обертальний рух, що впливає на кожне із зчленувань, що належать до згаданої послідовності, включає такі етапи:

- визначення першого вектора між центром зчленування даного зчленування й початковою точкою вектора відведення;
- визначення другого вектора між центром зчленування даного зчленування й кінцевою точкою вектора відведення;
- вирахування кута повороту, необхідного для суміщення першого вектора з другим вектором;
- вирахування елементарного кута або елементарних кутів повороту зчленування шляхом розкладання кута повороту по осі або вісях, що визначають ступінь (ступені) свободи, що відповідає (відповідають) даному зчленуванню;

- поворот зчленованого елемента в даному зчленуванні на кут або кути, пропорційні зазначеному куту або зазначеним кутам зчленування.

Кут повороту може бути вирахований за векторним добутком першого й другого векторів.

Елементарний кут або елементарні кути зчленування вираховують за скалярним добутком або скалярними добутками зазначеного векторного добутку й осі або осей ступенів свободи даного зчленування.

За одним з варіантів здійснення винаходу відведення зчленованого елемента від інших зчленованих елементів зчленованого об'єкта може здійснюватися за допомогою фактора внутрішнього ковзання, що впливає на ступені свободи зчленованого об'єкта.

В оптимальному варіанті зчленований об'єкт визначається у віртуальному просторі своїм глобальним положенням і глобальною орієнтацією таким чином, що переміщення зчленованого об'єкта здійснюються за допомогою фактора притягання, що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію, і/або ступені свободи зчленованого об'єкта.

Спосіб може додатково містити етап переміщення зчленованого об'єкта в режимі реального часу, здійснюваного оператором за допомогою керуючого фактора, що впливає на положення і/або орієнтацію, і/або ступені свободи зчленованого об'єкта.

Згідно з одним із аспектів винаходу, зчленований об'єкт являє собою віртуальний манекен, який переміщується по підлозі віртуального простору. При цьому даний манекен визначається своїм положенням на зазначеній віртуальній підлозі, орієнтацією щодо вертикальної осі, перпендикулярної зазначеній підлозі і яка проходить через центр ваги манекена, і ступеням свободи, що визначають сукупність його зчленованих елементів.

Винахід також охоплює комп'ютерну програму, розроблену для здійснення вищеприписаного способу шляхом її виконання на комп'ютері.

Інші особливості й переваги способу й системи за винаходом стануть ясні з нижченаведеного докладного опису, поданого без накладання жодних обмежень з посиланнями на додані креслення. На кресленнях:

- Фіг.1 зображує в перспективі апаратні засоби, які служать для здійснення способу за винаходом;

- Фіг.2А вкрай схематично ілюструє віртуальний зчленований об'єкт, що містить відповідно до винаходу сукупність зчленованих елементів;

- Фіг.2В зображує один з варіантів Фіг.2А;

- Фіг.3А вкрай схематично ілюструє вектор відведення, визначений згідно з винаходом у режимі мінімальної відстані;

- Фіг.3В вкрай схематично ілюструє вектор відведення, визначений відповідно до винаходу в режимі глибини проникнення;

- Фіг.4 вкрай схематично ілюструє рух відведення відповідно до винаходу, що діє на рівні одного конкретного зчленування зчленованого об'єкта;

- Фіг.5А являє собою блок-схему, яка ілюструє основні етапи переміщення зчленованого об'єкта відповідно до винаходу;

- Фіг.5В являє собою модифікацію Фіг.5А;

- Фіг.6 вкрай схематично ілюструє архітектуру багатофакторної системи, використовуваної для переміщення зчленованого об'єкта відповідно до винаходу.

На Фіг.1 зображена система, яка може бути використана для моделювання переміщень зчленованого об'єкта. Ця система містить робочу станцію або комп'ютер 1, що має гарні графічні характеристики й використовується для виконання комп'ютерної програми, розробленої для здійснення способу за винаходом.

Комп'ютер 1 містить звичайні для пристроїв такого типу апаратні засоби. Конкретніше, комп'ютер містить центральний блок 2, який виконує послідовності команд програмного забезпечення, що відповідає способу за винаходом, центральний запам'ятовувачий пристрій 3, що зберігає дані використовуваних програм, носії цифрових даних (жорсткий диск, дисковод 4 для компакт-дисків, дисковод для гнучких дисків тощо), які забезпечують тривале збереження даних і програмного забезпечення, периферійні пристрої вводу (клавіатуру 5, мишу 6 типу "2D" або "3D", джойстик тощо). До складу комп'ютера входять також периферійні пристрої виводу (екран 7, стереоскопічні шоломи або окуляри тощо), які забезпечують відображення переміщень зчленованого об'єкта.

Зрозуміло, для збільшення обчислювальних потужностей моделювання за винаходом може здійснюватися на декількох робочих станціях, що працюють паралельно.

На Фіг.2А вкрай схематично зображений віртуальний зчленований об'єкт 10, визначений сукупністю зчленованих елементів 11, з'єднаних між собою зчленуваннями 12.

Зчленований об'єкт 10 додатково визначається деревоподібною структурою зчленувань таким чином, що зчленовані елементи 11 і зчленування 12 можуть бути віднесені по відомих методиках до тієї або іншої послідовності зчленувань.

Кожне зчленування 12 може містити декілька осей, що визначають декілька ступенів свободи, тим самим дозволяючи визначити внутрішній стан зчленованого об'єкта 10 як сукупність декількох ступенів свободи. Наприклад, на Фіг.2А подано зчленування 12а, що містить три осі, які визначають три ступені свободи, зв'язані з цим зчленуванням 12а.

Таким чином, відносне положення зчленованих елементів 11 у кожний момент може бути визначено сукупністю кутів зчленувань відповідно до сукупності ступенів свободи зчленованого об'єкта 10.

Крім того, зчленованому об'єкту 10 може бути приписана локальна система координат, точка відліку якої знаходиться в його центрі G ваги.

Зокрема, ця локальна система координат може містити єдину вісь  $\bar{Z}$ , що проходить через центр G ваги зчленованого об'єкта 10.

Зчленований об'єкт 10 може пересуватися у віртуальному просторі 13, який може бути загромаджено декількома об'єктами або перешкодами 13а, 13b і 13с, причому зчленований об'єкт 10 може за відовими методиками уникати зіткнення з ними в процесі свого переміщення.

Таким чином, зчленований об'єкт 10 і оточуючий його простір можуть бути визначені в метричному просторі  $(O; x, y, z)$ , відносно якого положення й орієнтація зчленованого об'єкта 10 і різноманітних об'єктів 13a, 13b і 13c оточуючого його простору 13 можуть бути визначені очевидним чином.

Отже, крім відносного положення сукупності зчленованих елементів 11, для зчленованого об'єкта 10 у кожний момент також можуть бути визначені глобальні положення й глобальна орієнтація.

Глобальне положення зчленованого об'єкта 10 може бути визначено декартовими координатами його центру  $G$  ваги по осях  $x, y, z$ .

Глобальна орієнтація може бути визначена за відомою методикою трьома кутами, що визначають орієнтацію приписаної до зчленованого об'єкта осі  $\vec{Z}$  відносно осей  $x, y, z$ .

Зрозуміло, також слід враховувати параметри або обмеження, що накладаються границями рухів зчленувань і фізичними зв'язками між різними частинами тіла, або елементами 11 зчленованого об'єкта 10.

Ці дані й перемінні, що визначають зчленований об'єкт 10, а також параметри, що визначають оточуючий його простір 13, зберігаються в пам'ятуючому пристрої 3 комп'ютера 1.

Як показано на Фіг.2B, зчленований об'єкт може, зокрема, являти собою віртуальний манекен 10a, що переміщується по підлозі у віртуальному просторі 13.

У цьому випадку манекен 10a може бути визначений кутами зчленувань, що визначають сукупність його зчленованих елементів, своїм положенням на віртуальній підлозі та орієнтацією щодо вертикальної осі  $\vec{Z}_1$ , перпендикулярної вказаній підлозі і яка проходить через центр  $G$  ваги манекена 10a.

Зчленований об'єкт 10, наприклад манекен 10a, по відомій методиці може бути переміщений у віртуальному просторі 13 за допомогою послідовності елементарних рухів, наприклад, щоб досягти певної цілі 13c.

Так, для створення траєкторії, що дозволяє зчленованому об'єкту 10 досягти цілі 13c, можна впливати на глобальне положення зчленованого об'єкта 10, використовуючи заздалегідь визначений крок зміни глобального положення, і/або на орієнтацію зчленованого об'єкта, використовуючи заздалегідь визначений крок зміни орієнтації, і/або на ступені свободи зчленованого об'єкта, використовуючи заздалегідь визначений крок переміщення зчленувань  $\Delta\alpha$ .

Щоб попередити внутрішні зіткнення даного зчленованого елемента з іншими зчленованими елементами 11 зчленованого об'єкта 10, необхідно визначити критерій зіткнення.

Критерій зіткнення яких-небудь двох об'єктів може бути визначений по відомій методиці шляхом вираховування відстані взаємодії цих двох об'єктів. Цей критерій зіткнення також може визначити точки, що відповідають цій відстані взаємодії.

Слід зазначити, що відстань взаємодії може відповідати мінімальній відстані між двома об'єктами або глибини їхнього взаємного проникнення.

На Фіг.3A і 3B ілюструється визначення відстані взаємодії між даним зчленованим елементом 11c зчленованого об'єкта 10 і одним з інших зчленованих елементів 11d зчленованого об'єкта 10.

Зокрема, приклад, поданий на Фіг.3A, зображує критерій мініимальної відстані між даним зчленованим елементом 11c і одним з інших зчленованих елементів 11d зчленованого об'єкта 10, а також точки  $P_1$  і  $P_2$ , що визначають цю мінімальну відстань.

Далі, приклад, поданий на Фіг.3B, зображує критерій глибини взаємного проникнення даного зчленованого елемента 11c і одного з інших зчленованих елементів 11d зчленованого об'єкта 10, а також точки  $P_1$  і  $P_2$ , які визначають цю глибину проникнення.

Таким чином, вирахування відстані взаємодії дозволяє визначити точку  $P_1$ , у подальшому описі називану "першою точкою", що належить даному зчленованому елементу 11c зчленованого об'єкта 10, і другу точку  $P_2$ , в подальшому описі називану "другою точкою", що належить одному з інших зчленованих елементів 11d зчленованого об'єкта 10.

Це дозволяє визначити по цих точках по першій точці  $P_1$  і другій точці  $P_2$  єдиний вектор  $\vec{V}$  відведення.

Відповідно до методу, заснованого на вирахуванні мініимальної відстані (Фіг.3A), вектор  $\vec{V}$  відведення дорівнює різниці координат першої точки  $P_1$  і другої точки  $P_2$ . Іншими словами, друга точка  $P_2$  утворює початкову точку вектора  $\vec{V}$  відведення, а перша точка  $P_1$  утворює кінцеву точку вектора  $\vec{V}$  відведення.

В той же час, відповідно до методу, заснованого на вирахуванні глибини проникнення (Фіг.3B), вектор  $\vec{V}$  відведення дорівнює різниці координат другої точки  $P_2$  і першої точки  $P_1$ . Іншими словами, перша точка  $P_1$  утворює початкову точку вектора  $\vec{V}$  відведення, а друга точка  $P_2$  утворює кінцеву точку вектора  $\vec{V}$  відведення.

Нарешті, для попередження зіткнення даного зчленованого елемента 11 c з іншими зчленованими елементами 11 зчленованого об'єкта 10 цей даний зчленований елемент 11c може бути відведений від інших зчленованих елементів 11 рухом, визначеним відповідно до єдиного вектора  $\vec{V}$  відведення і який впливає на ступені свободи зчленованого об'єкта 10.

На Фіг.4 зображено рух відведення даного зчленованого елемента 11 c зчленованого об'єкта 10 за методом мініимальної відстані, але, зрозуміло, принцип залишається тим самим для методу глибини проникнення.

Цей рух відведення являє собою обертальний рух зчленувань, що впливає на ступені свободи зчленованого об'єкта 10.

Слід зазначити, що рух відведення даного зчленованого елемента 11c від інших зчленованих елементів зчленованого об'єкта 10 утворюється

обертальними рухами зчленувань, у яких беруть участь усі зчленування 12, що належать до послідовності зчленувань, що передують елементу 11 с зчленованого об'єкта 10, до якого відноситься визначена вище перша точка P1. У даному прикладі друга точка P2 відноситься до одного з інших зчленованих елементів 11d.

Наприклад, якщо зчленований об'єкт являє собою віртуальний манекен 10a, а відстань взаємодії даного зчленованого елемента 11с з іншими зчленованими елементами зчленованого об'єкта 10 визначено першою точкою P1, що знаходиться на передпліччі, то послідовність зчленувань включає лікоть, плече і ключицю. Іншими словами, обертальний рух зчленувань вираховується таким чином, щоб впливати на всі зчленування 12 руки, що передують передпліччю. Якщо ж перша точка P1 відноситься до плеча, послідовність зчленувань включає тільки зчленування плеча і ключиці. Якщо перша точка P1 відноситься до кисті руки, то в послідовність включаються всі зчленування 12 руки, тобто ця послідовність включає зап'ястя, лікоть, плече і ключицю.

Таким чином, для кожного зчленованого об'єкта 10 послідовність суглобів залежить від зчленованого елемента цього зчленованого об'єкта 10, який містить першу точку P1.

Зокрема, у прикладі, поданому на Фіг.4, показаний обертальний рух, що впливає на дане зчленування 12a, що є частиною послідовності зчленувань 12a, 12b і 12c.

Цей обертальний рух, що впливає на дане зчленування 12a, може бути визначений за допомогою таких етапів.

Визначають перший вектор  $\vec{V1}$ , що з'єднує центр зчленування даного зчленування 12a і початкову точку вектора  $\vec{V}$  відведення. В даному прикладі початковою точкою вектора  $\vec{V}$  відведення є друга точка P2, проте за способом глибини проникнення цією точкою була б перша точка P1.

Аналогічним чином визначають другий вектор  $\vec{V2}$ , що з'єднує центр зчленування даного зчленування 12a і кінцеву точку P1 вектора  $\vec{V}$  відведення.

Потім вираховують кут  $\bar{\theta}$  повороту, необхідно для суміщення першого вектора  $\vec{V1}$  і другого вектора  $\vec{V2}$ . Кут  $\bar{\theta}$  повороту може бути вирахований з використанням векторного добутку першого вектора  $\vec{V1}$  і другого вектора  $\vec{V2}$  за такою формулою:

$$\bar{\theta} = \frac{\vec{V1} \times \vec{V2}}{V1 \cdot V2}$$

Цей кут  $\bar{\theta}$  повороту розкладають на один або декілька елементарних кутів  $\theta_i$  повороту зчленування навколо осі або осей, які визначають ступінь або ступені свободи, що відповідають даному зчленуванню 12a зчленованого об'єкта 10.

У даному прикладі кут  $\bar{\theta}$  повороту розкладають на три елементарні кути  $\theta_i$  повороту зчленування навколо осей  $\vec{x}_a$ ,  $\vec{y}_a$ ,  $\vec{z}_a$ .

Елементарні кути  $\theta_i$  повороту зчленувань можуть бути вираховані за

скалярними добутками розрахованого вище векторного добутку й осі або осей ступенів свободи даного зчленування 12a.

Нарешті, зчленований елемент, зв'язаний з даним зчленуванням, повертається на кут або кути  $\alpha_i$ , пропорційні зазначеним елементарним кутам  $\theta_i$  повороту зчленування.

Елементарні кути  $\theta_i$  повороту зчленування нормуються розмірами, що відповідають кроку  $\Delta\alpha$  переміщення зчленування.

Зчленований елемент повертається в даному зчленуванні 12a на кут або кути  $\alpha_i$ , обумовлені такою формулою:

$$\alpha_i = \sin^{-1} \frac{\vec{x}_i \cdot \bar{\theta}}{\Delta\alpha}, i = a, b, c$$

Зрозуміло, ті самі вищеописані етапи повинні бути здійснені для всіх зчленувань 12a, 12b і 12c, що утворюють розглядувану послідовність зчленувань.

Використання єдиного вектора відведення  $\vec{V}$ , розрахованого виходячи з мінімальної відстані або глибини проникнення, дозволяє запобігти зіткненню даного зчленованого елемента 11с з іншими зчленованими елементами 11 зчленованого об'єкта 10. Це підвищує точність переміщень зчленованого об'єкта 10 при використанні оптимальної кількості обчислень.

Дійсно, для відведення даного зчленованого елемента 11с від інших зчленованих елементів 11 зчленованого об'єкта 10 за винаходом використовується єдине вираховування мінімальної відстані або глибини проникнення.

Крім того, для попередження зіткнень кожного зчленованого елемента 11 з іншими частинами зчленованого об'єкта 10 вищеописані етапи обчислень відстані взаємодії, виділення першої і другої точок, визначення вектора відведення й відведення зчленованого елемента повторюють для кожного зчленованого елемента 11 зчленованого об'єкта 10.

Зокрема, даний зчленований елемент 11с може бути вибраний у певній підмножині даних зчленованих елементів 11, що складають зчленований об'єкт 10.

Дійсно, деякі із зчленованих елементів можуть бути корельовані таким чином, що їхні відносні переміщення залежать одне від одного, й ці елементи не приходять у зіткнення один з одним. У цьому випадку достатньо вибрати даний зчленований елемент у підмножині, що містить лише зчленовані елементи, рухи яких не залежать один від одного.

Наприклад, в разі манекена 10a можна вважати, що ноги зв'язані одна з одною, а зіштовхуватися одна з одною або іншими частинами манекена 10a можуть тільки руки.

На Фіг.5А подана блок-схема, що ілюструє основні етапи моделювання переміщення зчленованого об'єкта 10 з попередженням внутрішніх взаємних зіткнень його зчленованих елементів 11.

На етапі S0 відбувається ініціалізація програми й визначення певних параметрів. Наприклад, ініціалізується лічильник тактових сигналів або етапів обчислень моделювання.

Аналогічним чином на етапі S0 можуть бути визначені елементарні зміни позиції, орієнтації і зчленувань  $\Delta\alpha$ . Наприклад, можуть бути визначені різноманітні кроки залежно від характеристик зчленування 12. Також може бути вибраний оптимальний постійний крок для всіх зчленувань 12 протягом усього руху зчленованого об'єкта 10.

На етапі S1 здійснюється обчислення елементарного руху зчленованого об'єкта 10.

На етапі S2 виконується перевірка на наявність зіткнення даного зчленованого елемента з одним або декількома іншими зчленованими елементами зчленованого об'єкта 10. Критерій зіткнення залежить від розміру відстані взаємодії.

Іншими словами, при використанні методу, заснованого на мінімальній відстані, зіткнення можна вважати таким, що сталося, якщо ця мінімальна відстань менша або дорівнює певній граничній відстані, яка може дорівнювати нулю, щоб забезпечити можливість переміщення зчленованого об'єкта 10 без зіткнень між даним зчленованим елементом і іншими зчленованими елементами зчленованого об'єкта 10.

На відміну від цього, при використанні методу, заснованого на глибині проникнення, зіткнення можна вважати таким, що сталося, якщо ця глибина більша або дорівнює певній граничній глибині проникнення.

Таким чином, залежно від вибору цього граничного значення, можна, з одного боку, забезпечити переміщення зчленованого об'єкта 10 без внутрішніх зіткнень або, з іншого боку, забезпечити переміщення зчленованого об'єкта 10 з обмеженнями й контрольованими зіткненнями між його зчленованими елементами. В цьому останньому випадку можливе моделювання певної пластичності зчленованих елементів при їхньому взаємному зіткненні.

Якщо відповідно до критерію етапу S2 зіткнення відсутнє, на етапі S3 переміщення зчленованого об'єкта 10, вираховане на етапі S1, відображається, наприклад, на екрані 7 комп'ютера 1, після чого відбувається повернення до того ж етапу S1 для вирахування наступного елементарного переміщення.

Таким чином, дії на вибір першої і другої точок, визначення вектора відведення й відведення зчленованого елемента на етапі S3 не виконуються.

В той же час, за наявності зіткнення на етапі S4 здійснюється скасування елементарного переміщення, вирахованого на етапі S1.

Потім, на етапі S5, розраховується рух, визначений на основі єдиного вектора відведення і який впливає на ступені свободи зчленованого об'єкта для відведення даного зчленованого елемента від інших зчленованих елементів зчленованого об'єкта

та 10, після чого відбувається повернення до етапу S1.

На Фіг.5В зображений варіант блок-схеми за Фіг.5А, застосовний винятково за методом обчислень з використанням глибини проникнення.

Блок-схема, подана на цьому кресленні, переважно збігається з блок-схемою за Фіг.5А, але не містить етапу S4.

Таким чином, при виявленні на етапі S2 зіткнення відбувається негайний перехід до етапу S5 відведення даного зчленованого елемента від інших зчленованих елементів зчленованого об'єкта без скасування останнього елементарного переміщення, що забезпечує можливість невеличко-го взаємного проникнення даного зчленованого елемента та інших зчленованих елементів зчленованого об'єкта.

Переміщення віртуального зчленованого об'єкта 10 у віртуальному просторі може бути здійснене за допомогою "багатофакторної" системи або будь-якої іншої відомої системи.

Як укр. схематично показано на Фіг.6, для моделювання переміщення зчленованого об'єкта 10 може бути використана архітектура багатофакторної системи 50. Ця багатофакторна система 50 утворена сукупністю активних елементів (факторів) 20, 21, 22, 23, 30, 31, 32, 33, 34 і 35, що впливають на пасивні об'єкти (елементи 11 і зчленування 12), що утворюють зчленований об'єкт 10, відповідно до оточуючого його простору.

Дані (перемінні) зчленованого об'єкта 10 і оточуючого його простору утворюють загальні дані 15, через які взаємодіють різноманітні фактори.

Архітектура багатофакторної системи може бути здійснена у формі декількох етапів або рівнів, у вигляді піраміди, так що основні фактори вносять свій внесок у дії факторів більш високого рівня.

У даному прикладі багатофакторна система 50 містить перший рівень 51, другий рівень 52 і третій рівень 53.

Перший рівень 51 ілюструє вплив (або глобальний вплив) на зчленований об'єкт 10 і містить внесок першого глобального фактора 20 і внесок другого глобального фактора 30, що впливають на зчленований об'єкт 10 через загальні дані 15.

Перший глобальний фактор 20 впливає на положення й орієнтацію зчленованого об'єкта 10, а другий глобальний фактор 30 впливає на внутрішні ступені свободи зчленувань 12 зчленованого об'єкта 10.

Другий рівень 52 ілюструє різноманітні внески, що надходять від факторів різних типів, що породжують внески першого і другого глобальних факторів 20 і 30 і взаємодіючих через загальні дані 15.

Так, переміщення зчленованого об'єкта 10 може бути здійснене за допомогою фактора притягання, який впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію, і/або сукупність ступенів свободи зчленованого об'єкта.

Крім того, відведення даного зчленованого елемента від інших зчленованих елементів 11 зчленованого об'єкта 10 може бути здійснене за допомогою фактора внутрішнього ковзання, що впливає на сукупність ступенів свободи зчленованого об'єкта.

Далі, по відомій методиці відведення зчленованого об'єкта 10 від елементів оточуючого його простору може бути здійснене за допомогою фактора ковзання, що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію, і/або сукупність ступенів свободи зчленованого об'єкта.

Таким чином, другий рівень 52 багатофакторної системи 50 може містити фактор 21 відштовхувального ковзання, який впливає на глобальне положення і/або на глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта 10, фактор 22 притягання, що впливає на глобальне положення і/або на глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта 10, фактор 31 кінематичного ковзання, що впливає на внутрішні ступені свободи зчленування 12 зчленованого об'єкта 10, і фактор 32 кінематичного притягання, що впливає на внутрішні ступені свободи зчленування 12 зчленованого об'єкта 10.

Третій рівень може містити фактор 34 внутрішнього ковзання і фактор 35 ковзання по перешкоді, які взаємодіють через загальні дані 15 і визначають внесок фактора 31 кінематичного ковзання.

Фактор 35 ковзання по перешкоді запобігає зіткненню зчленованого об'єкта з елементами оточуючого його простору, впливаючи на ступені свободи зчленованого об'єкта 10.

Таким чином, фактор 34 внутрішнього ковзання дозволяє забезпечити відсутність зіткнень або надмірно глибокого взаємного проникнення даного

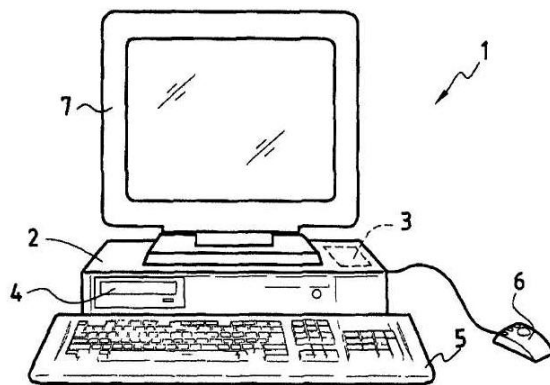
зчленованого елемента та інших елементів зчленованого об'єкта, впливаючи на ступені свободи зчленованого об'єкта 10.

При використанні методики, заснованої на мінімальній відстані, в разі безпосереднього наближення зіткнення запобігається шляхом відведення даного зчленованого елемента від інших зчленованих елементів зчленованого об'єкта після відміни переміщення, що веде до зіткнення.

За використання методики, заснованої на глибині проникнення, в разі неглибокого проникнення відведення даного зчленованого елемента від інших зчленованих елементів зчленованого об'єкта здійснюється без відміни переміщення, що веде до цього неглибокого проникнення. Це дозволяє моделювати пластичність оболонки зчленованого об'єкта. Таким чином, у випадку манекена можна моделювати певний ступінь пружності тіла манекена.

Крім того, зчленований об'єкт 10 може пересуватися оператором, що впливає на положення і/або орієнтацію, і/або ступені свободи цього зчленованого об'єкта, в режимі реального часу.

Так, другий рівень 52 багатофакторної системи 50 може також мати глобальний керуючий фактор 23, що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта 10, і внутрішній керуючий фактор 33, що впливає на внутрішні ступені свободи зчленувань 12 зчленованого об'єкта 10.



ФІГ. 1



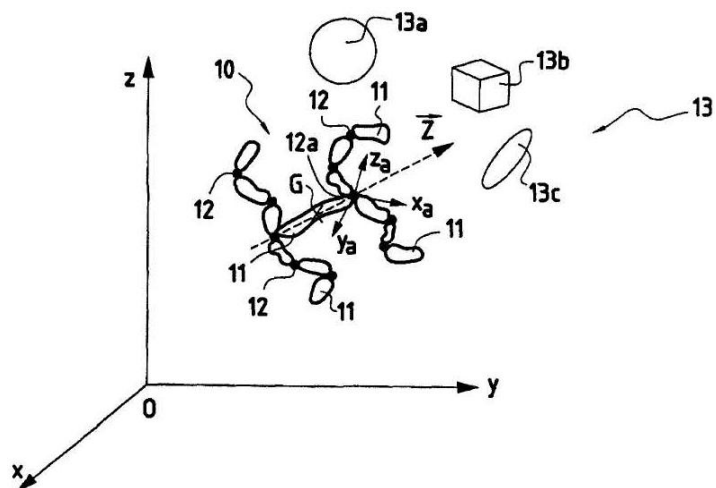


FIG. 2A

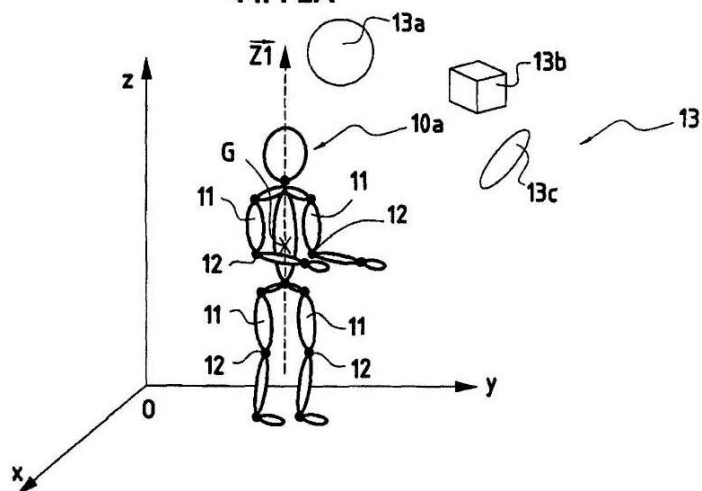


FIG. 2B

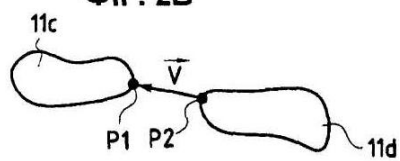


FIG. 3A

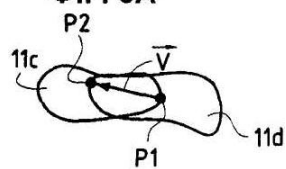
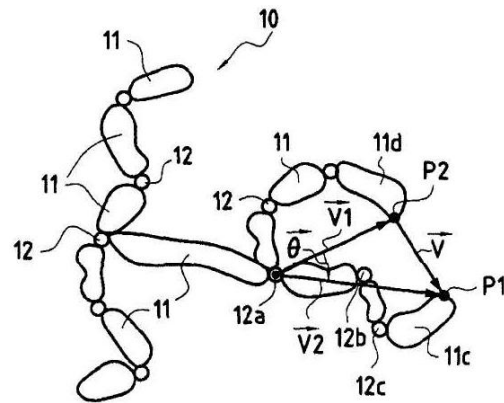


FIG. 3B



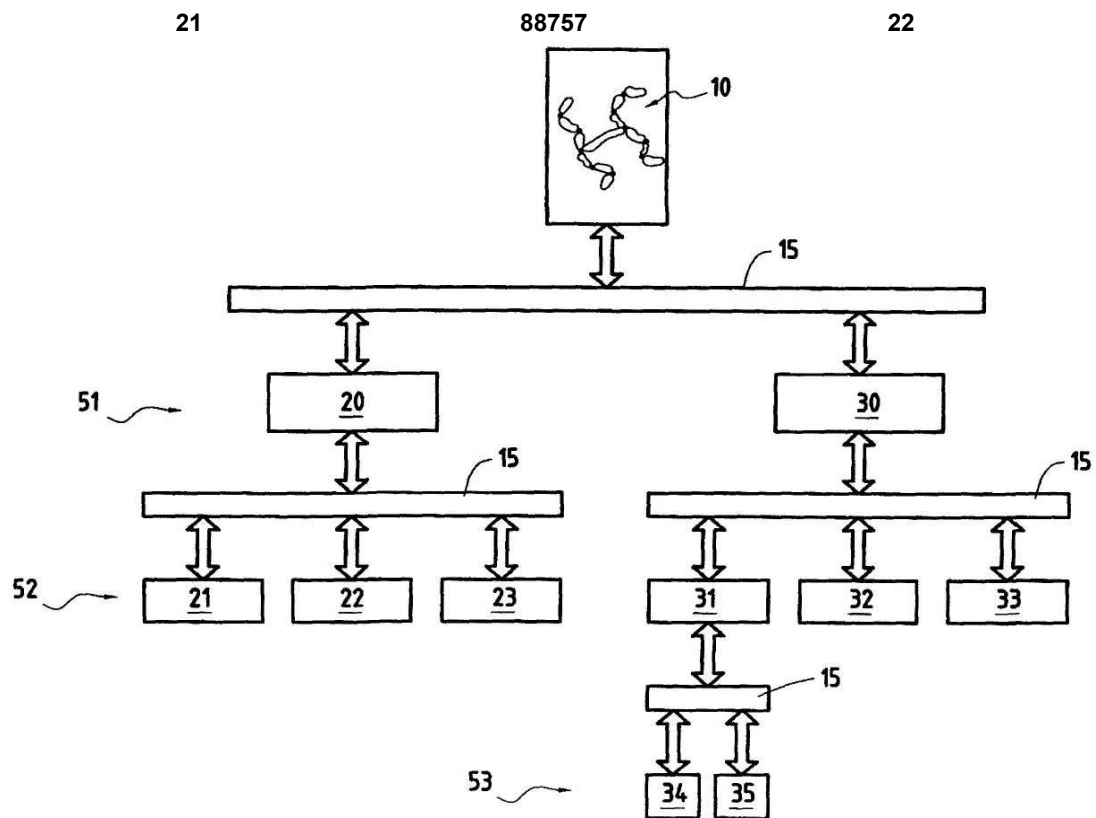
ФІГ. 4



ФІГ. 5А



ФІГ. 5В



ФІГ. 6