



УКРАЇНА

(19) UA (11) 85820 (13) C2
(51) МПК (2009)
G06T 17/40
G06T 15/70

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПЕРЕМІЩЕННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ЗЧЛЕНОВАНОГО ОБ'ЄКТА У ВІРТУАЛЬНОМУ ПРОСТОРИ ІЗ ЗАПОБІГАННЯМ ЗІТКНЕННЮ ЗЧЛЕНОВАНОГО ОБ'ЄКТА З ЕЛЕМЕНТАМИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРОСТОРУ

1

(21) 20041008811
(22) 28.10.2004
(24) 10.03.2009
(31) 0312641
(32) 29.10.2003
(33) FR
(46) 10.03.2009, Бюл.№ 5, 2009 р.
(72) МАЙЄ БРЮНО, РАМСТАЙН ЕДУАР, ШЕДМАЙ ПАТРИК
(73) СЕКМА
(56) US 6067096, 23.05.2000
ANDERSON R J ET AL: "Using virtual objects to aid underground storage tank teleoperation" ROBOTICS AND AUTOMATION, 1994. PROCEEDINGS., 1994 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAN DIEGO, CA, USA 8-13 MAY 1994, LOS ALAMITOS, CA, USA, IEEE COMPUT. SOC, 8 mai 1994 (1994-05-08), pages 1421-1426.
BON B ET AL: "On-line collision avoidance for the Ranger telerobotic flight experiment" ROBOTICS AND AUTOMATION, 1996. PROCEEDINGS., 1996 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MINNEAPOLIS, MN, USA 22-28 APRIL 1996, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 22 avril 1996 (1996-04-22), pages 2041-2048.
(57) 1. Спосіб переміщення віртуального зчленованого об'єкта (10) у віртуальному просторі (13) послідовністю елементарних переміщень, причому зчленований об'єкт (10) визначений у згаданому просторі (13) глобальним положенням, глобальною орієнтацією й кутами зчленувань, що визначають положення сукупності зчленованих елементів (11), що складають зазначений зчленований об'єкт відповідно до ступенів свободи, при цьому спосіб включає такі етапи: вираховання відстані взаємодії між зчленованим об'єктом (10) і елементами оточуючого його простору (13); визначення за відстанню взаємодії першої точки (P1), що належить одному з елементів (11) зчленованого об'єкта (10), і другої точки (P2), що належить елементу оточуючого його простору (13); визначення за першою й другою точками (P1, P2) унікального вектора (\vec{v}) витягу, причому вектор витягу дорівнює різниці координат указаних першої (P1) та другої (P2) точок; та відведення зчленованого об'єкта (10) від елемента оточуючого його простору

2

(13) за допомогою руху, визначеного відповідно до унікального вектора (\vec{v}) витягу, причому рух відведення здійснюють рухом переносу, що впливає на глобальне положення зчленованого об'єкта, і/або рухом повороту, що впливає на глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта, і/або рухом повороту зчленувань, що впливають на кожне зчленування, що належить послідовності зчленувань, яка передує елементу зчленованого об'єкта, якому належить зазначена перша точка, який **відрізняється** тим, що рух повороту, який впливає на глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта (10), включає такі етапи: визначення першого глобального вектора ($\vec{V1g}$) між центром ваги зчленованого об'єкта (10) і початковою точкою вектора (\vec{v}) витягу; визначення другого глобального вектора ($\vec{V2g}$) між центром ваги зчленованого об'єкта (10) і кінцевою точкою вектора (\vec{v}) витягу; вираховання кута (θg) глобального повороту, необхідного для суміщення першого глобального вектора з другим глобальним вектором; вираховання одного або декількох елементарних кутів глобального повороту шляхом розкладання кута глобального повороту по одній або декількох осях, що визначають глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта (10); та поворот зчленованого об'єкта (10) на один або декілька кутів, пропорційних одному або декільком елементарним кутам глобального повороту.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що додатково включає етап визначення наявності зіткнення зчленованого об'єкта (10) з елементами оточуючого його простору (13), що його проводять після кожного елементарного руху в зазначеній послідовності елементарних рухів.
3. Спосіб за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що відстань взаємодії відповідає глибині проникнення таким чином, що вектор (\vec{v}) витягу дорівнює різниці координат другої точки (P2) і першої точки (P1), причому зазначена глибина проникнення забезпечує можливість переміщення зчленованого об'єкта (10) з обмеженими й контрольованими зіткненнями з елементами оточуючого його простору (13).

(13) C2

(11) 85820

(19) UA

4. Спосіб за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що відстань взаємодії відповідає мінімальній відстані таким чином, що вектор (\vec{v}) витягу дорівнює різниці координат першої точки (P1) і другої точки (P2), причому згадана мінімальна відстань забезпечує можливість переміщення зчленованого об'єкта (10) без зіткнень з елементами оточуючого його простору (13).

5. Спосіб за будь-яким з пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що додатково включає етап скасування останнього елементарного руху в зазначеній послідовності елементарних рухів за наявності зіткнення зчленованого об'єкта (10) з елементом оточуючого його простору (13).

6. Спосіб за будь-яким з пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що згадані етапи визначення першої й другої точок (P1, P2), визначення вектора (\vec{v}) витягу й відведення зчленованого об'єкта (10) не здійснюються за відсутності зіткнення зчленованого об'єкта (10) з елементами оточуючого його простору (13).

7. Спосіб за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що рух переносу пропорційний компонентам вектора (\vec{v}) витягу, що впливає на глобальне положення зчленованого об'єкта (10).

8. Спосіб за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що рух повороту зчленування, що впливає на дане зчленування (12a) кожного із зчленувань, що належать до послідовності зчленувань, які передують елементу зчленованого об'єкта, якому належить згадана перша точка, включає такі етапи:

визначення першого локального вектора (\vec{v}_1) між центром зазначеного зчленування (12a) і початковою точкою вектора (\vec{v}) витягу; визначення другого локального вектора (\vec{v}_2) між центром зазначеного зчленування (12a) і кінцевою точкою вектора (\vec{v}) витягу; вирахування кута (θ_1) локального повороту, необхідного для суміщення першого локального вектора з другим локальним вектором; вирахування одного або декількох елементарних кутів повороту зчленування шляхом розкладання кута локального повороту по одній або декількох осях, що визначають один або декілька ступенів свободи, що відповідають зазначеному зчленуванню; та поворот зчленованого елемента (11) у зазначеному зчленуванні на один або декілька кутів, пропорційних одному або декільком елементарним кутам зчленування.

9. Спосіб за п. 8, який **відрізняється** тим, що кут (θ_g) глобального повороту вираховують за глобальним векторним добутком першого і другого глобальних векторів, а кут (θ_l) локального повороту вираховують за локальним векторним добутком першого й другого локальних векторів.

10. Спосіб за будь-яким з пп. 8, 9, який **відрізняється** тим, що один або декілька елементарних кутів глобального повороту вираховують за одним або декількома скалярними добутками глобального векторного добутку й однієї або декількох осей ступенів глобальної орієнтації, а один або декілька елементарних кутів повороту зчленування вираховують за одним або декількома скалярними добутками локального векторного добутку й однієї або декількох осей ступенів свободи даного зчленування.

11. Спосіб за будь-яким з пп. 1-10, який **відрізняється** тим, що переміщення зчленованого об'єкта (10) здійснюють за допомогою чинника (22, 32) тяжіння, що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію, і/або ступені свободи зчленованого об'єкта.

12. Спосіб за будь-яким з пп. 1-11, який **відрізняється** тим, що відведення зчленованого об'єкта від елементів оточуючого його простору здійснюють за допомогою чинника (21, 31) ковзання, 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 (10) у режимі реального часу, здійснюваного оператором за допомогою керуючого чинника (23, 33), 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 (10) являє собою віртуальний манекен (10a), що переміщується по підлозі віртуального простору, причому даний манекен визначений своїм положенням на зазначеній віртуальній підлозі, орієнтацією щодо вертикальної осі, яка перпендикулярна зазначеній підлозі та проходить через центр ваги манекена, й кутами зчленувань, що визначають сукупність його зчленованих елементів.

Даний винахід належить до галузі імітації переміщення віртуального зчленованого об'єкта у віртуальному просторі. Винахід стосується, зокрема, запобігання зіткненням зчленованих елементів зчленованого об'єкта з елементами оточуючого його простору.

Моделювання у віртуальній реальності використовується в даний час у різноманітних галузях, наприклад, в авіаційній і космічній промисловості. Наприклад, цифрові моделі часто використовують для оцінки взаємодії між різноманітними деталями.

Крім того, моделювання може використовуватися для імітації дій людини або робота за певних

умов з метою унаочнення, наприклад, переміщень, що їх має здійснити технік або робот для виконання таких дій. Ця методика корисна для оцінки й оптимізації доступності певних елементів устаткування, наприклад двигуна літака, що потребують регулярного огляду й обслуговування.

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

Віртуальний зчленований об'єкт являє собою сукупність цифрових даних, що визначають кінематичну систему, характеризувану декількома

зчленованими елементами, що їм відповідає певна кількість ступенів свободи.

Таким чином, кожного моменту віртуальний зчленований об'єкт може бути визначений своїм загальним положенням у метричному просторі й значеннями ступенів свободи своїх зчленувань (суглобів). Ці дані, а також параметри, що визначають простір, у якому знаходиться віртуальний зчленований об'єкт, можуть бути збережені на носії цифрових даних.

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

Один із прикладів такого застосування наводиться у [статті Chedmail, Damay et Le Roy, названий "Réalité virtuelle, maquette numérique du produit, outils de distribution et partage de la conception" (Journées Priméca, La Plagne, -9 avril 1999)].

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

Для запобігання зіткненням зчленованих рук з елементами навколишнього простору за методикою, запропонованою в зазначеній статті, використовується вираховування градієнту лінії зіткнення щодо ступенів свободи зчленованих рук.

Для вираховування градієнтів за методом кінцевих різниць необхідно здійснити численні переміщення кожного зчленування зчленованих рук і розрахувати для кожного переміщення довжину лінії зіткнення. Ця методика вкрай повільна і потребує великих витрат часу на обчислення.

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 із запобіганням, його зіткненням з елементами оточуючого його простору з обмеженням часу розрахунків.

Для вирішення поставлених задач пропонується спосіб переміщення віртуального зчленованого об'єкта у віртуальному просторі послідовністю елементарних переміщень, причому зчленований об'єкт визначений у даному просторі глобальним положенням, глобальною орієнтацією та кутами зчленувань, що визначають положення сукупності зчленованих елементів, що складають зазначений зчленований об'єкт, відповідно до ступенів свободи. Спосіб за винаходом включає такі етапи:

- вираховування відстані взаємодії між зчленованим об'єктом і елементами оточуючого його простору;
- визначення за відстанню взаємодії першої точки, що належить одному із зчленованих елементів зчленованого об'єкта, і другої точки, що належить елементу оточуючого його простору;
- визначення за першою і другою точками унікального вектора витягу;
- відведення зчленованого об'єкта від елемента оточуючого його простору рухом, визначеним відповідно до унікального вектора витягу і що впливає на глобальне положення і/або на глобальну орієнтацію, і/або на ступені свободи зчленованого об'єкта для запобігання зіткненням зчленованого об'єкта з елементом навколишнього простору.

ваного об'єкта з елементом навколишнього простору.

Таким чином, спосіб за винаходом використовує єдине вираховування відстані взаємодії для відведення зчленованого об'єкта від елементів оточуючого його простору. Це забезпечує значне спрощення процедури й істотну економію часу.

Спосіб за винаходом додатково включає етап визначення наявності зіткнення зчленованого об'єкта з елементами оточуючого його простору, проведений після кожного елементарного руху в зазначеній послідовності елементарних рухів.

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

За другим варіантом здійснення винаходу відстань взаємодії відповідає мінімальній відстані таким чином, що вектор витягу дорівнює різниці координат першої точки й другої точки. Дана мінімальна відстань забезпечує можливість переміщення зчленованого об'єкта без зіткнень з елементами оточуючого його простору.

Спосіб додатково включає етап скасування останнього елементарного руху в зазначеній послідовності елементарних рухів за наявності зіткнення зчленованого об'єкта з елементом оточуючого його простору.

В оптимальному варіанті згадані етапи визначення першої й другої точок, визначення вектора витягу й відведення зчленованого об'єкта не здійснюються за відсутності зіткнення даного зчленованого об'єкта з елементами оточуючого його простору.

Відповідно до першої особливості винаходу відведення зчленованого об'єкта від елемента оточуючого його простору може бути здійснено рухом переносу, пропорційним компонентам вектора витягу й що впливають на глобальне положення зчленованого об'єкта.

Відповідно до другої особливості винаходу відведення зчленованого об'єкта від елемента оточуючого його простору здійснюють рухом повороту, що впливає на глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта, причому рух повороту включає такі етапи:

- визначення першого глобального вектора між центром ваги зчленованого об'єкта і початковою точкою вектора витягу;
- визначення другого глобального вектора між центром ваги зчленованого об'єкта й кінцевою точкою вектора витягу;
- вираховування кута глобального повороту, необхідного для суміщення першого глобального вектора з другим глобальним вектором;
- вираховування одного або декількох елементарних кутів глобального повороту шляхом розкладання кута глобального повороту по одній або декільком вісям, що визначають глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта;

- поворот зчленованого об'єкта на один або декілька кутів, пропорційних одному або декільком елементарним кутам глобального повороту.

Відповідно до третьої особливості винаходу відведення зчленованого об'єкта від елемента оточуючого його простору здійснюють рухом повороту зчленування, що впливає на кожне зі зчленувань, що належать послідовності зчленувань, які передують елементу зчленованого об'єкта, якому належить згадана перша точка. При цьому рух повороту зчленування, що впливає на дане зчленування кожного із вказаних зчленувань, включає такі етапи:

- визначення першого локального вектора між центром згаданого зчленування й початковою точкою вектора витягу;
- визначення другого локального вектора між центром згаданого зчленування й кінцевою точкою вектора витягу;
- вирахування кута локального повороту, необхідного для суміщення першого локального вектора з другим локальним вектором;
- вирахування одного або декількох елементарних кутів повороту зчленування шляхом розкладання кута локального повороту по одній або декількох осях, що визначають один або декілька ступенів свободи, що відповідають зазначеному зчленуванню;
- поворот зчленованого елемента в зазначеному зчленуванні на один або декілька кутів, пропорційних одному або декільком елементарним кутам зчленування.

Кут глобального повороту може бути вирахований за глобальним векторним добутком першого й другого глобальних векторів, а кут локального повороту може бути вирахований за локальним векторним добутком першого й другого локальних векторів.

Один або декілька елементарних кутів глобального повороту можуть бути вираховані за одним або декількома скалярним добутками глобального векторного добутку й одною або декількома осями ступенів глобальної орієнтації, а один або декілька елементарних кутів повороту зчленування можуть бути вираховані за одним або декількома скалярними добутками локального векторного добутку й однією або декількома осями ступенів свободи даного зчленування.

Відповідно до одного з варіантів здійснення винаходу переміщення зчленованого об'єкта може бути здійснене за допомогою чинника тяжіння, що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію, і/або ступені свободи зчленованого об'єкта.

Відведення зчленованого об'єкта від елементів оточуючого його простору може бути здійснене за допомогою чинника ковзання, що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію, і/або ступені свободи зчленованого об'єкта.

В оптимальному варіанті спосіб додатково включає етап переміщення зчленованого об'єкта в режимі реального часу, здійснюваного оператором за допомогою керуючого чинника, що впливає на положення і/або орієнтацію, і/або ступені свободи зчленованого об'єкта.

Відповідно до однієї з особливостей винаходу зчленований об'єкт може являти собою віртуальний манекен, що переміщується по підлозі віртуального простору. Даний манекен визначається своїм положенням на віртуальній підлозі, орієнтацією щодо вертикальної осі, перпендикулярної підлозі та що проходить через центр ваги манекена, й кутами зчленувань, що визначають сукупність його зчленованих елементів.

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

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

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

- Фіг.2А вкрай схематично ілюструє віртуальний зчленований об'єкт, визначений відповідно до винаходу в метричному просторі;

- Фіг.2В вкрай схематично ілюструє віртуальний манекен, визначений відповідно до винаходу в метричному просторі;

- Фіг.3А вкрай схематично ілюструє вектор витягу, визначений відповідно до винаходу в режимі мінімальної відстані;

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

- Фіг.4 вкрай схематично ілюструє рух відведення, що впливає відповідно до винаходу на глобальне положення зчленованого об'єкта;

- Фіг.5 вкрай схематично ілюструє рух відведення відповідно до винаходу, що впливає на глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта;

- Фіг.6 вкрай схематично ілюструє рух відведення, що впливає відповідно до винаходу на одне конкретне зчленування зчленованого об'єкта;

- Фіг.7А являє собою блок-схему, яка ілюструє основні етапи переміщення зчленованого об'єкта за винаходом;

- Фіг.7В являє собою модифікацію Фіг.7А;

- Фіг.8 вкрай схематично ілюструє архітектуру багатofакторної системи, використовуваної для переміщення зчленованого об'єкта відповідно до винаходу.

На Фіг.1 зображена система, що 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, що виконує послідовності команд програмного забезпечення, що відповідає способу за винаходом, центральний запам'ятовуючий пристрій 3, який зберігає дані виконуваних програм, носії цифрових даних (жорсткий диск, дисковод 4 для компакт-дисків, дисковод для гнучких дисків тощо), що забезпечують тривале зберігання даних і програмного забезпечення,

периферійні пристрої вводу (клавіатуру 5, миша 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 деревоподібною структурою зчленувань. Таким чином, зчленований об'єкт 10 визначений сукупністю "пасивних об'єктів", тобто зчленованих елементів 11, сполучених між собою зчленуваннями 12, що можуть бути класифіковані за відомими методиками.

Зчленованому об'єкту 10 також може бути приписана локальна система відліку з початком координат у центрі G ваги цього об'єкта.

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

Зчленований об'єкт 10 переміщується у віртуальному просторі 13, загромадженому декількома об'єктами або перешкодами 13a, 13b, 13c, 13d, зіткнення з якими зчленований об'єкт 10 має уникати в процесі свого переміщення. Зчленований об'єкт 10 і оточуючий його простір визначені в метричному просторі (O; x, y, z).

У цьому метричному просторі легко можуть бути визначені положення й орієнтації зчленованого об'єкта 10 і різноманітних об'єктів 13a, 13b, 13c, 13d оточуючого його простору 13.

Так, об'єкт 10 в оточуючому його просторі 13 може бути в будь-який момент визначений глобальним положенням, глобальною орієнтацією й кутами нахилу зчленувань, що визначають положення сукупності зчленованих елементів 11 відповідно до їхніх ступенів свободи.

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} щодо осей x, y, z.

Зрозуміло, також слід урахувати параметри або обмеження, що накладаються межами руху зчленувань і фізичними зв'язками між різноманітними частинами тіла або елементами 11 зчленованого об'єкта 10.

Ці дані і змінні, що визначають зчленований об'єкт 10, а також параметри, що визначають оточуючий його простір 13, зберігають у запам'ятовуючому пристрої 3 комп'ютера 1.

Як показано на Фіг.2В, 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 й орієнтацією щодо вертикальної осі \vec{Z}_1 , перпендикулярної зазначеній

підлозі і що проходить через центр G ваги манекена 10a.

Зчленований об'єкт 10, наприклад манекен 10a, за відомою методикою може бути переміщений у віртуальному просторі 13 за допомогою послідовності елементарних рухів, наприклад, щоб досягти певної мети 13c. Так, для створення траєкторії, що дозволяє зчленованому об'єкту 10 досягти мети 13c, можна впливати на глобальне положення зчленованого об'єкта 10, використовуючи заздалегідь визначений крок Δr зміни глобального положення, і/або на орієнтацію зчленованого об'єкта, використовуючи заздалегідь визначений крок $\Delta \alpha$ зміни орієнтації, і/або на ступені свободи зчленованого об'єкта, використовуючи заздалегідь визначений крок $\Delta \alpha$ переміщення зчленувань.

Цей процес можна представити як тяжіння зчленованого об'єкта 10 до мети 13c без урахування розмірів мети 13c або будь-яких інших об'єктів 13a, 13b простору 13.

Щоб запобігти внутрішнім зіткненням зчленованого об'єкта 10 з елементами оточуючого його простору 13, слід визначити критерій зіткнення. Такий критерій може бути визначений за методикою, відомою фахівцям у даній галузі, шляхом вирахування відстані взаємодії зчленованого об'єкта 10 з елементами оточуючого його простору 13, що також містять точки, які визначають цю відстань взаємодії.

Слід зазначити, що відстань взаємодії може відповідати мінімальній відстані між зчленованим об'єктом 10 і елементом оточуючого його простору або глибини їхнього взаємного проникнення.

На Фіг.3А і 3В проілюстроване визначення відстані взаємодії елемента зчленованого об'єкта 10 і об'єкта 13d, що належить навколишньому просторові.

Зокрема, приклад, поданий на Фіг.3А, ілюструє критерій мінімальної відстані між зчленованим об'єктом 10 і елементом оточуючого його простору, а також точки P1 і P2, що визначають цю мінімальну відстань.

Далі, приклад, поданий на Фіг.3В, ілюструє критерій глибини взаємного проникнення зчленованого об'єкта 10 і елемента оточуючого його простору, а також точки P1 і P2, що визначають цю глибину проникнення.

Таким чином, вирахування відстані взаємодії дозволяє визначити точку P1, в подальшому описі називану "першою точкою", що належить одному з елементів 11 зчленованого об'єкта 10, та іншу точку P2, надалі називану "другою точкою", що належить навколишньому просторові 13.

Це дозволяє визначити по цим першій точці P1 і другій точці P2 унікальний вектор \vec{V} витягу.

Відповідно до методу, заснованому на обчисленні мінімальної відстані (Фіг.3А), вектор \vec{V} витягу дорівнює різниці координат першої точки P1 і другої точки P2. Іншими словами, друга точка P2 утворює початкову точку вектора \vec{V} витягу, а перша точка P1 утворює кінцеву точку вектора \vec{V} витягу.

У той же час, відповідно до методу, заснованого на обчисленні глибини проникнення (Фіг.3В),

вектор \vec{V} витягу дорівнює різниці координат другої точки P2 і першої точки P1. Іншими словами перша точка P1 утворює початкову точку вектора \vec{V} витягу, а друга точка P2 утворює кінцеву точку вектора \vec{V} витягу.

Нарешті, для запобігання зіткненням зчленованого об'єкта 10 з елементами оточуючого його простору 13 цей зчленований об'єкт 10 може бути відведений від елементів оточуючого його простору рухом, визначеним відповідно до унікального вектора \vec{V} витягу й що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію, і/або ступені свободи зчленованого об'єкта 10.

На Фіг.4-6 проілюстровані рухи відведення зчленованого об'єкта за методом мінімальної відстані. Проте даний принцип, зрозуміло, залишається незмінним і у випадку використання методу глибини проникнення.

На Фіг.4 зображений рух відведення, що впливає на глобальне положення зчленованого об'єкта.

Відведення зчленованого об'єкта 10 від елемента навколишнього простору 13 здійснюють рухом $\vec{M1}$ переносу, пропорційним компонентам вектора \vec{V} витягу, що впливає на глобальне положення зчленованого об'єкта, тобто $\vec{M1} = \lambda \vec{V}$, де λ - позитивний коефіцієнт.

Зокрема, у випадку манекена 10а, у якому глобальне положення визначене в площині (x, y), враховують тільки проекцію вектора \vec{V} витягу на цю площину.

Таким чином, рух переносу робить внесок у запобігання зіткненням шляхом глобального переміщення зчленованого об'єкта 10.

Слід зазначити, що унікальний вектор \vec{V} витягу, розрахований за мінімальною відстанню або глибиною проникнення, може бути нормований на величину елементарного кроку Δp зміни положення, тобто рух $\vec{M1}$ переносу визначають за такою формулою:

$$\vec{M1} = \vec{V} / \Delta p.$$

На Фіг.5 зображений рух відведення, що впливає на глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта.

Відведення зчленованого об'єкта 10 від елемента навколишнього простору 13 здійснюють визначенням повороту навколо певної точки (наприклад, центру G ваги), необхідного для зсуву точки прикладання вектора \vec{V} витягу на цьому зчленованому об'єкті 10 у напрямку цього вектора \vec{V} . Кут цього повороту нормований на величину елементарного кроку $\Delta \theta$ зміни орієнтації.

Такий рух повороту, що впливає на глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта 10, може бути визначено такою послідовністю дій.

Визначають вектор $\vec{V1g}$, називаний надалі "першим глобальним вектором", що з'єднує центр G ваги зчленованого об'єкта 10 і початкову точку

вектора \vec{V} . У даному прикладі початковою точкою вектора \vec{V} витягу є друга точка P2, проте у випадку використання методу глибини проникнення нею була б перша точка P1.

Аналогічним чином визначають другий глобальний вектор $\vec{V2g}$, що з'єднує центр G ваги зчленованого об'єкта 10 і кінцеву точку P1 вектора \vec{V} витягу.

Потім вираховують називаний надалі "кутом глобального повороту" кут θg повороту, необхідного для суміщення першого глобального вектора $\vec{V1g}$ і другого глобального вектора $\vec{V2g}$. Кут θg глобального повороту може бути вирахований з використанням векторного добутку (називаного надалі "глобальним векторним добутком") першого глобального вектора $\vec{V1g}$ і другого глобального вектора $\vec{V2g}$. Таким чином, кут θg глобального повороту вираховують по такій формулі:

$$\theta g = \frac{\vec{V1g} \times \vec{V2g}}{\vec{V1g} \cdot \vec{V2g}}.$$

Цей кут θg глобального повороту розкладають на один або декілька елементарних кутів θgi глобального повороту, що відповідають осям, які визначають глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта. Один або декілька елементарних кутів θgi глобального повороту можуть бути обчислені з використанням скалярного добутку або добутків глобального векторного добутку та однієї або декількох осей глобальної орієнтації.

Нарешті, зчленований об'єкт 10 повертають на один або декілька кутів α , пропорційних зазначеним елементарним кутам θgi глобального повороту. Елементарні кути θgi глобального повороту нормовані на величини, що відповідають елементарному кроку $\Delta \theta$ зміни орієнтації, тобто

$$\alpha = \theta gi / \Delta \theta.$$

Зокрема, якщо глобальна орієнтація зчленованого об'єкта визначається єдиною віссю \vec{Z} , як у прикладі, наведеному на Фіг.2, то обертальний рух зчленованого об'єкта навколо даної осі \vec{Z} визначає єдиний нормований елементарний кут глобального повороту α , що обчислюється за такою формулою:

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{\vec{Z} \cdot \theta g}{\Delta \theta}$$

На Фіг.6 проілюстрований рух повороту зчленування, що впливає на ступені свободи зчленованого об'єкта.

Слід зазначити, що відведення зчленованого об'єкта 10 від елемента оточуючого його простору 13 здійснюють рухом повороту зчленування, що впливає на кожне з його зчленувань 12, які належать до послідовності зчленувань, що передують

елементу 11 зчленованого об'єкта, якому належить визначена вище перша точка P1 (см, Фіг.2A і 2B).

Якщо, наприклад, зчленований об'єкт являє собою віртуальний манекен 10a, а відстань взаємодії манекена 10a і елемента оточуючого його простору 13 визначено першою точкою P1, що знаходиться на передпліччі, то послідовність зчленувань відповідає ліктю, плечу і ключиці. Іншими словами, рух повороту зчленування розраховують таким чином, щоб він впливав на всі зчленування 12 руки, що передують передпліччю. Якщо ж перша точка P1 належить плечу, то послідовність зчленувань містить тільки зчленування плеча і ключиці. Якщо перша точка P1 належить кисті, то в русі беруть участь усі зчленування 12 руки, тобто послідовність зчленувань містить зап'ястя, лікоть, плече і ключицю.

Таким чином, для даного зчленованого об'єкта 10 послідовність зчленувань залежить від елемента 11 зчленованого об'єкта 10, що містить першу точку P1.

Зокрема, приклад, наведений на Фіг.6, демонструє рух обертання зчленування, що впливає на дане зчленування 12a, яке входить у послідовність зчленувань 12a, 12b і 12c.

Цей рух обертання зчленування, що впливає на дане зчленування 12a, може бути визначений шляхом здійснення таких дій.

Визначають перший вектор $V1$ (називаний надалі "першим локальним вектором"), що з'єднує центр даного зчленування 12a і початкову точку P2 вектору \vec{V} витягу.

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

Потім обчислюють називаний надалі "кутом локального повороту" кут θ повороту, необхідного для суміщення першого локального вектора $V1$ з другим локальним вектором $V2$. Кут θ локального повороту може бути вирахований з використанням векторного добутку (називаного надалі "локальним векторним добутком") першого локального вектора $V1$ і другого локального вектора $V2$ по такій формулі:

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

Цей кут θ локального повороту розкладають на один або декілька елементарних кутів θ_i повороту зчленування, що відповідають одній або декільком осям U_i , що визначають один або декілька ступенів свободи даного зчленування 12a зчленованого об'єкта 10. У даному прикладі дане зчленування 12a містить дві осі $\vec{U1}$ і $\vec{U2}$. Один або декілька елементарних кутів θ_i повороту зчленування можуть бути розраховані з використанням одного або декількох скалярних добутків локального век-

торного добутку й однієї або декількох осей U_i ступенів свободи даного зчленування 12a.

Нарешті, зчленований елемент повертають у даному зчленуванні на один або декілька кутів α_i , пропорційних зазначеним одному або декільком елементарним кутам θ_i повороту зчленування.

Елементарні кути θ_i повороту зчленування нормовані на величини, що відповідають крокам $\Delta\alpha$ зсуву зчленування.

Зчленований елемент повертають у даному зчленуванні на один або декілька кутів α_i , обчислених по такій формулі:

$$\alpha_i = \sin^{-1} \frac{\vec{U_i} \cdot \vec{\theta_i}}{\Delta\alpha}$$

Зрозуміло, всі вищеописані дії повинні бути виконані для всіх зчленувань 12a, 12b і 12c, що утворюють дану послідовність зчленувань.

Таким чином, використання унікального вектора \vec{V} витягу, вирахованого по мінімальній відстані або глибині проникнення, дозволяє істотно вдосконалити процедуру запобігання зіткненням зчленованого об'єкта 10 з елементами навколишнього простору 13.

Даний винахід дозволяє значно скоротити кількість розрахунків мінімальної відстані або глибини проникнення, які вимагають дуже значних витрат часу на обчислення, порівняно до відомих методик обчислення градієнтів, не знижуючи точності запобігання зіткненням зчленованого об'єкта з елементами навколишнього простору.

На Фіг.7A подана блок-схема, що ілюструє основні етапи моделювання переміщення зчленованого об'єкта з запобіганням його зіткненням з елементами навколишнього простору.

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 (кроки) зсуву положення (Δr), орієнтації ($\Delta\theta$) і зчленувань ($\Delta\alpha$). Наприклад, різноманітні кроки можуть бути визначені залежно від характеристик зчленувань 12. Альтернативно, може бути вибраний оптимальний постійний крок для всіх зчленувань 12 протягом усієї траєкторії руху зчленованого об'єкта 10.

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

На етапі S2 роблять перевірку на наявність зіткнення даного зчленованого об'єкта 10 з елементами навколишнього простору 13. Критерій зіткнення залежить від величини 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 з елементами оточуючого його простору 13.

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, в одному варіанті, забезпечити переміщення зчленованого об'єкта 10 без зіткнень з елементами оточуючого його простору 13 або, в іншому варіанті, забезпечити переміщення зчленованого об'єкта 10 з обмеженими й контрольованими зіткненнями з елементами оточуючого його простору 13. У цьому останньому випадку можливе моделювання певної пружності при зіткненні зчленованого об'єкта 10 з елементами навколишнього простору 13.

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

Таким чином, дії з вибору першої і другої точок, визначення вектора витягу й відведення зчленованого об'єкта 10 від елементів навколишнього простору 13 на етапі S3 не роблять.

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

Потім, на етапі S5, розраховують рух, визначений на основі унікального вектора витягу й що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію, і/або ступені свободи зчленованого об'єкта для відведення зчленованого об'єкта 10 від елементів оточуючого його простору 13, після чого відбувається повернення до етапу S1.

На Фіг.7В зображений варіант Фіг.7А, застосовний винятково до методу обчислень з використанням глибини проникнення.

Блок-схема, подана на цьому кресленні, збігається з блок-схемою Фіг.7А, але не містить етапу S4.

Таким чином, при виявленні на етапі S2 зіткнення відбувається негайний перехід до етапу S5 відведення даного об'єкта 10 від елементів оточуючого його простору 13 без скасування останнього елементарного переміщення, що забезпечує можливість невеликого взаємного проникнення об'єкта 10 і елементів оточуючого його простору 13.

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.8, для моделювання переміщення зчленованого об'єкта 10 може бути використана архітектура багатофакторної системи 50. Ця багатофакторна система 50 утворена сукупністю активних елементів (чинників) 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 (змінні) зчленованого об'єкта 10 і оточуючого його простору утворюють загальні дані 15, через які взаємодіють різноманітні чинники.

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

В даному прикладі багатофакторна система 50 містить перший рівень 51 і другий рівень 52.

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

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

Другий рівень 52 ілюструє різноманітні внески, що надходять від чинників різноманітних типів, що породжують внески першого й другого глобальних чинників 20 і 30 і взаємодіють через загальні дані 15.

Таким чином, переміщення зчленованого об'єкта 10 може бути здійснене за допомогою чинника тяжіння, що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію, і/або ступені свободи зчленованого об'єкта.

Крім того, відведення даного зчленованого об'єкта 10 від елементів оточуючого його простору може бути здійснене за допомогою чинника ковзання, що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію, і/або сукупність ступенів свободи зчленованого об'єкта.

Так, другий рівень 52 багатофакторної системи 50 може містити чинник 21 відштовхуючого ковзання, що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта 10, чинник 22 глобального тяжіння, що впливає на глобальне положення і/або на глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта 10, чинник 31 кінематичного ковзання, що впливає на внутрішні ступені свободи зчленувань 12 зчленованого об'єкта 10, і чинник 32 кінематичного тяжіння, що впливає на внутрішні ступені свободи зчленування 12 зчленованого об'єкта.

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 містити глобальний керуючий чинник 23, що впливає на глобальне положення і/або глобальну орієнтацію зчленованого об'єкта 10, і внутрішній керуючий чинник 33, що впливає на внутрішні ступені свободи зчленувань 12 зчленованого об'єкта 10.

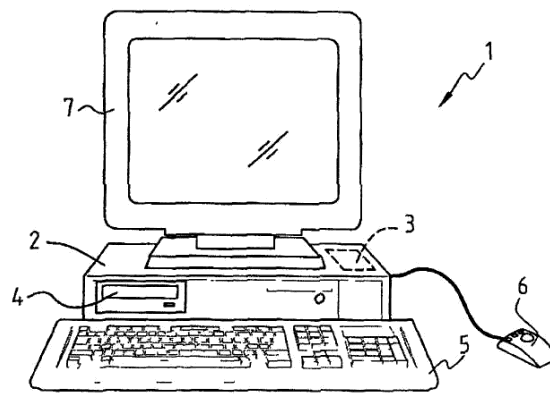


FIG. 1

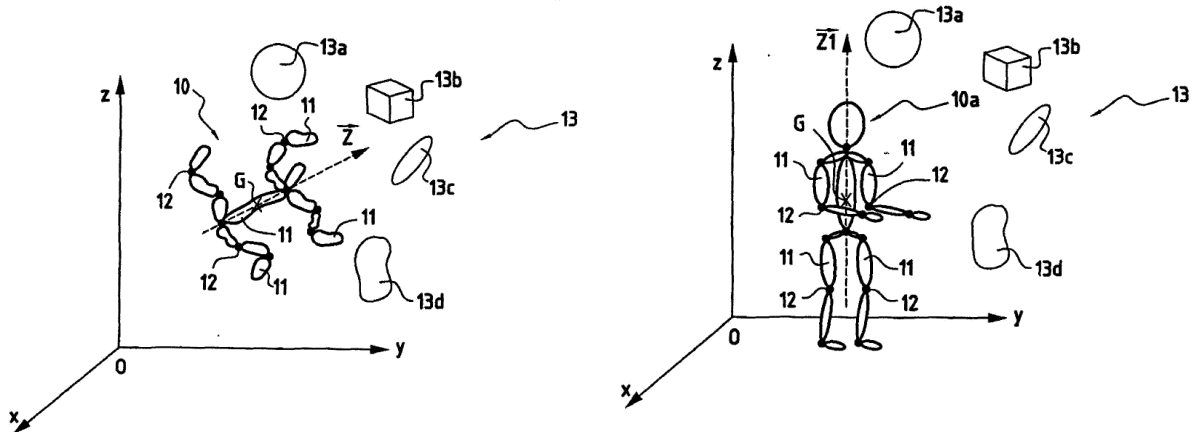


FIG. 2A

FIG. 2B

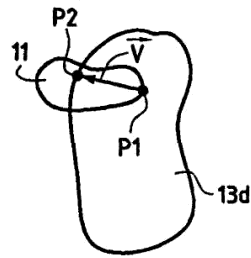
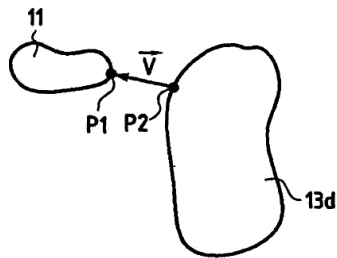


FIG. 3A

FIG. 3B

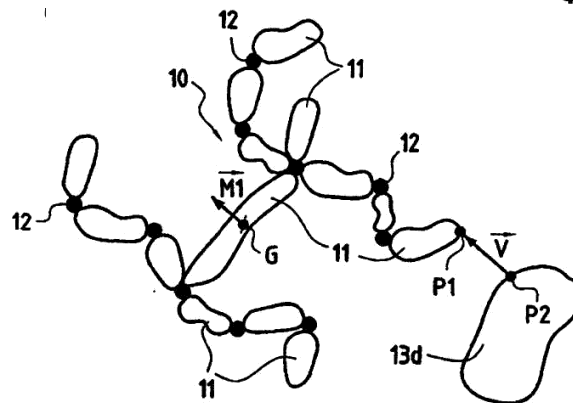
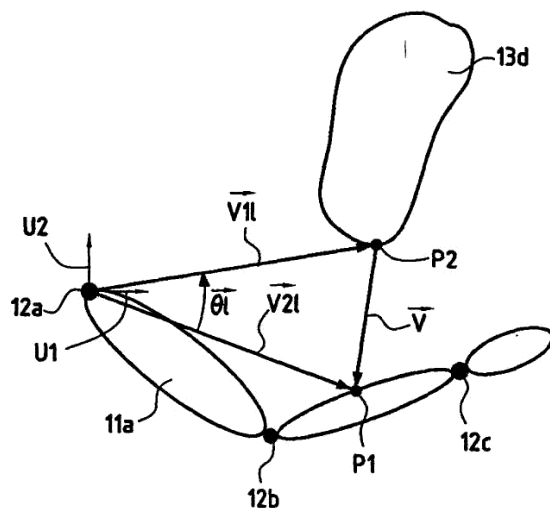
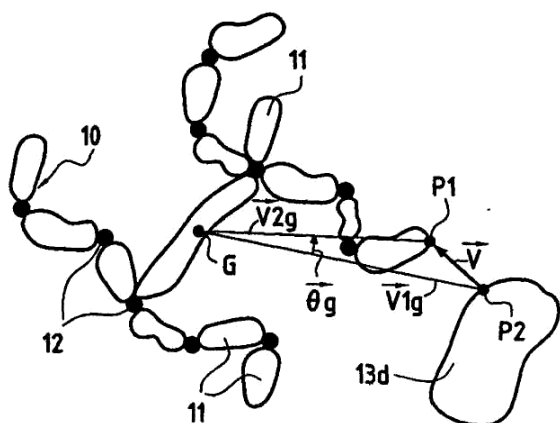


FIG. 4

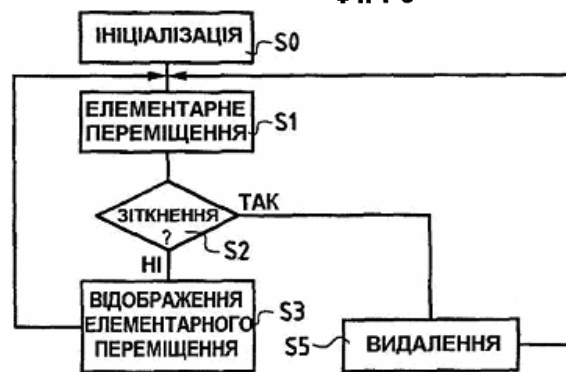


ФІГ. 5

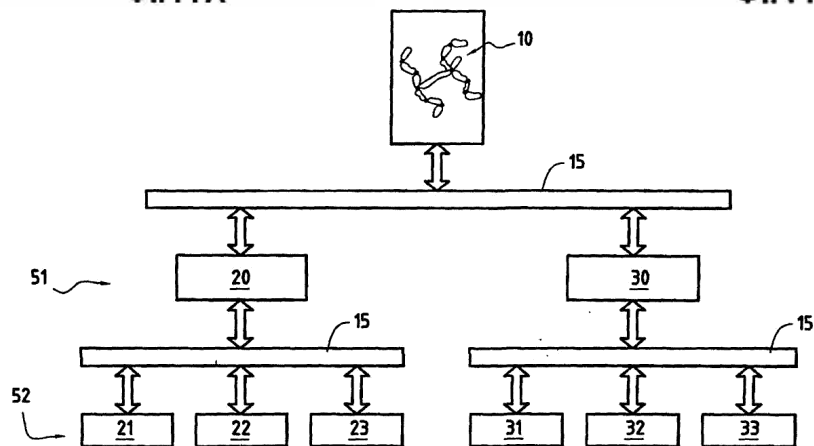


ФІГ. 7А

ФІГ. 6



ФІГ. 7В



ФІГ. 8