

*О.В. Збруцький, д.т.н., проф. (КПІ ім. І. Сікорського, Україна)
Н.С. Ащепкова, к.т.н., доц. (ДНУ ім. О. Гончара, Україна)*

Пристрій дистанційного керування маніпулятором

Представлена конструкція пристрою дистанційного керування маніпулятором у вигляді чутливої рукавички. Для реалізації зворотного зв'язку по зусиллях застосовано метод керування по сигналу неузгодженості. Для забезпечення контролю над переміщеннями маніпулятора застосовано цифрову 3D модель робочого простору.

Розвиток нових технологій дає можливість застосування маніпуляторів (М) для робіт в екстремальних для людини умовах. Наприклад, використання М и мобільних роботів для ліквідації наслідків екологічних і техногенних катастроф, експлуатація дистанційно керованих М для роботи з радіоактивними речовинами, застосування М для складання конструкцій у космосі або на морському дні. Для робіт в екстремальних умовах, як правило, застосовуються дистанційно керовані роботи й М.

Аналіз літератури. В [1] зазначається, що для дистанційного керування М працюючим разом з астронавтами, оператор використовує технологію telerobotics. Реалізацією telerobotics є режим копіювання, при якому командні сигнали приводам формуються енкодерами, установленими на пристрої керування, який надівається на оператора. При цьому забезпечується одночасне формування командних сигналів по всіх ступенях рухливості маніпулятора, але оптимальність синтезованої траєкторії руху ланок залежить від професійної підготовки оператора.

У статті [2] говориться, що подальший розвиток методу телекерування космічним роботом націлений на зменшення обмежень у транспарентності при виконанні умов стійкості процесу керування. Автор підкреслює, що при виконанні складальних операцій необхідно враховувати зворотні зв'язки по зусиллях й моментам реакцій, що діють на схват М з боку захоплених і переміщуваних ім об'єктів. В [2] зазначено, що один з перспективних і активно досліджуваних варіантів дистанційного керування припускає застосування спеціальної рукавички. Така рукавичка надівається на кисть руки людини, і оператор в «модельному» середовищі виконує рухи, які копіює схват космічного М. Недоліком запропонованого підходу є відсутність команд до виконавчих приводів у кінематичних парах «ліктя» і «плеча» М.

В [3] презентовано пристрій керування у вигляді рукоятки з тактильними датчиками, яка сприймає керівні рухи руки людини-оператора. Згідно поставленого завдання переміщення об'єктів виконується механічним схватом М с дистанційною передачею команд за допомогою радіозв'язку. Недоліком даного пристрою є відсутність датчиків зворотного зв'язку в рукоятці й неможливість одержання оператором сигналу зворотного зв'язку по контактних зусиллях між схватом і об'єктом маніпулювання.

Конструкція й принцип дії пристрою дистанційного керування М с

використанням екзоскелетона наведені в [4]. Екзоскелетон сприймає керівні рухи руки людини-оператора й за допомогою ложементу пов'язаний з оператором. Передача команд до М здійснюється дистанційно за допомогою радіозв'язку. Зворотний зв'язок забезпечений елементом, який порівнює відносні кути обертання ланок пристрою керування з відповідними відносними кутами виконавчої схеми М. Якщо величини позначених кутів не збігаються, то елемент блокує подальший рух ланок екзоскелетона, що свідчить операторові про наявність перешкоди руху М. Недоліком даного пристрою є відсутність керування пальцями, тобто рухливими елементами схвата М. Ця обставина ставить під сумнів виробничу корисність моделі, оскільки М, який копіює рухи руки людини-оператора, призначений для надійного стійкого дистанційно керованого переміщення об'єктів при відсутності прямої видимості оператором дій М. Конструкція пристрою керування представленого в [5] забезпечує копіювання антропоморфним маніпулятором рухів руки людини-оператора. Формування команд для приводів антропоморфного маніпулятора проводиться на основі визначення кутів відносного повороту руки оператора в плечовому суглобі. Даний пристрій не реалізує зворотний зв'язок по зусиллях і не може бути використаний для переміщення крихких або вибухонебезпечних об'єктів.

Для забезпечення ефекту присутності оператора в робочій зоні дистанційно керованого М використовуються цифрові моделі. Автори [6] вважають, що розвиток комп'ютерних технологій і обчислювальних засобів дозволяє створювати імітаційно-тренажерні комплекси, у яких здійснюється моделювання роботів і М. В [6] підкреслюється, що в цей час існує кілька програмних комплексів (симуляторів), призначених для моделювання М, зокрема Usarsim, Gazebo, V-REP і Webots. Аналіз цих систем показує, що, незважаючи на наявність у них широких можливостей, актуальним залишається створення зручного інтерфейсу для керування роботами й М.

Пристрій керування у вигляді рукавички, що має тактильні презентовано в [7]. Пропонується на передостанніх фалангах пальців рукавички оснастити тактильними елементами для передачі відчуттів тепла й холоду, або вібраційними елементами для відтворення тактильних відчуттів. Сигнали передаються за допомогою провідного зв'язку до комп'ютера, на екрані якого відтворюється зображення відповідних рухів. М для копіювання рухів руки людини-оператора при цьому не використовується. Недоліком розробки є те, що запропонований пристрій сприймає рухи тільки долоні й пальців людину й використовуються в комп'ютерних іграх, тобто не має виробничого застосування.

1. Конструкції пристрою керування. Запропонована конструкція пристрою дистанційного керування М [8] має вигляд еластичної рукавички довжиною від кінчиків пальців до плечового суглоба (рис.1). Пристрій керування кріпиться на руді оператора за допомогою фіксаторів-наліпок на пальцях, зап'ясті, лікті й плечі. На фіксаторах-наліпках розташовані датчики кута (акселерометри й гіроскопи, ендкодери або IMU сенсори). Такий же фіксатор-наліпка закріплений на корпусі людини-оператора.

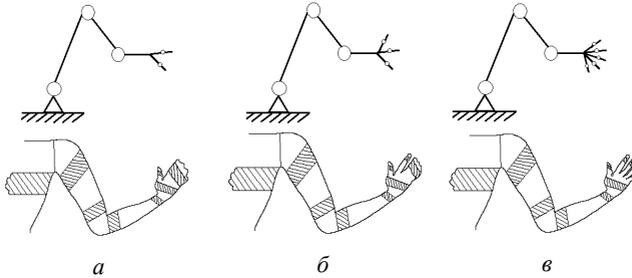


Рис.1. Конструкція пристрою керування: а – із двома пальцями; б – із трьома пальцями; в – з п'ятьма пальцями.

На рис. 1 наведені варіанти конструкції пристрою керування у вигляді еластичної рукавички. Залежно від складності форми об'єкта маніпулювання електромеханічний захват універсального антропоморфного маніпулятора, а, отже й «рукавичка» може бути із двома, трьома або п'ятьма пальцями (рис.1).

2. Дистанційне керування антропоморфним маніпулятором. На рис. 2 наведено схему застосування пристрою дистанційного керування антропоморфним маніпулятором, на якій прийнято позначення: ПК – пристрій керування, АМ – антропоморфний маніпулятор, ОМ – об'єкт маніпулювання, СК – система керування, СВ – система відеоспостереження, ПЗ – програмне забезпечення, 1 – пальці, 2 – зап'ястя, 3 – передпліччя, 4 – плече, 5 – фіксатор-наліпка, 6 – кінематичні пари антропоморфного маніпулятора з виконавчими приводами, 7 – силомоментні датчики, 8 – елементи системи технічного зору, 9 – відеокамери, 10 – датчики кута, 11 – чутливі елементи.

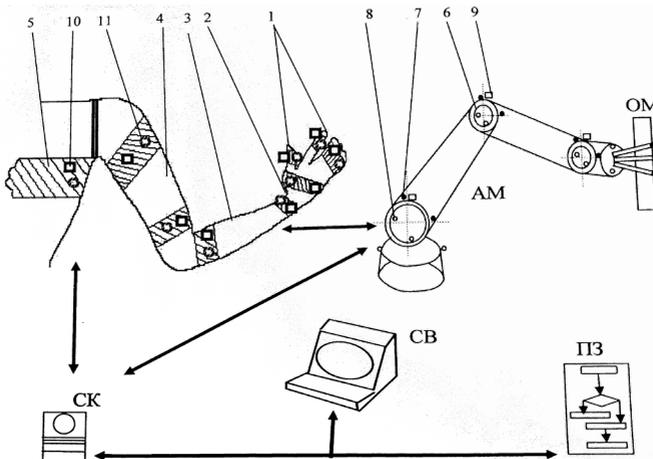


Рис. 2 Схема застосування пристрою дистанційного керування антропоморфним маніпулятором

Пристрій керування складається (рис.2) із пальців 1, зап'ястя 2, передпліччя 3 та плеча 4. Еластична рукавичка оснащена на пальцях, зап'ясті, лікті, плечі і корпусі оператора фіксаторами-наліпками 5 з датчиками кута 10, під фіксаторами-наліпками розташовані чутливі елементи 11 для забезпечення зворотного зв'язку.

Пристрій керування рукавичка забезпечує антропоморфному маніпулятору (АМ) копіювання рухів пальців, зап'ястя, передпліччя і плеча людини-оператора. Для цього еластична рукавичка оснащена на пальцях 1, зап'ясті 2, передпліччі 3, плечі 4 і корпусі оператора фіксаторами-наліпками 5 з датчиками кута 10, сигнал від яких системою керування (СК) підсилюється, перетворюється у керуючу команду та передається до виконавчих приводів кінематичних пар 6 антропоморфного маніпулятора (АМ), який копіює рухи руки людини-оператора. Конструкція антропоморфного маніпулятора (АМ) оснащена датчиками системи технічного зору 8 та відеокамерами 9, інформація з яких по каналу радіозв'язку передається до системи керування (СК) та за допомогою програмного забезпечення (ПЗ) перетворюється в трьохвимірну модель робочого простору в межах якого антропоморфний маніпулятор (АМ) взаємодіє з об'єктом маніпулювання (ОМ). Для корегування та контролю рухів при взаємодії антропоморфного маніпулятора (АМ) з об'єктом маніпулювання (ОМ) в межах робочого простору з наявними перешкодами та обмеженнями на моніторі системи відеоспостереження (СВ) відтворюється трьохвимірна модель для візуального сприйняття людиною-оператором.

На ланках антропоморфного маніпулятора (АМ) розташовані силомоментні датчики 7, які вимірюють фактичний керуючий вплив на виконавчі приводи антропоморфного маніпулятора. Різниця між розрахунковим командним і фактичним вимірним значенням обумовлена механічним опором переміщенню ланки кінематичної схеми антропоморфного маніпулятора внаслідок зовнішнього впливу або наявності перешкод в робочій зоні маніпулятора. Ця різниця формує сигнал зворотного зв'язку, який після підсилення та перетворення системою керування (СК) подається до чутливих елементів 11, розташованих під фіксаторами-наліпками 5. Пропорційно до величини зовнішнього впливу на ланки антропоморфного маніпулятора (АМ), тобто пропорційно сигналу зворотного зв'язку чутливі елементи створюють вібрації, або зміни температури, або електричний розряд, або додатковий тиск повітря у комірках еластичної рукавички розташованих під фіксаторами. Людина оператор відчуває вплив від чутливих елементів і інтуїтивно сповільнює або зупиняє рухи пальцями, зап'ястям, ліктем або плечем. Відповідний датчик кута 10 фіксує зміну приросту кутової координати, сигнал від цього датчику системою керування (СК) підсилюється, перетворюється у керуючу команду та передається до відповідного виконавчого приводу кінематичної пари 6 антропоморфного маніпулятора (АМ), який здійснює зміну приросту відповідної узагальненої координати кінематичної схеми маніпулятора. В наслідок чого антропоморфний маніпулятор (АМ) копіює рухи руки людини-оператора.

Висновки. Представлений пристрій керування у вигляді рукавички

дозволяє здійснити просте та інтуїтивне дистанційне керування маніпулятором, який копіює рухи руки людини-оператора за рахунок подібності антропоморфного маніпулятора кінематичній схемі руки людини. Пристрій керування рукавичка дає можливість підвищити швидкість та зменшити похибки позиціонування маніпулятора при переміщенні заданою траєкторією надійно захопленого крихкого або небезпечного об'єкту при відсутності візуального контролю рухів маніпулятора зі сторони оператора, спростити конструкцію пристрою керування зі зворотним зв'язком по контактним зусиллям між схватом та об'єктом маніпулювання. Запропонований пристрій забезпечує зменшення часу навчання оператора та можливість здійснення механічних операцій за складністю наближених до функціональних можливостей руки людини. При зовнішніх впливах або наявності перешкод в робочій зоні маніпулятора „рукавичка” передбачає зворотній зв'язок, що обумовлює доцільність використання пристрою для маніпуляторів які долають наслідки техногенних та природних катастроф, працюють в шкідливих або небезпечних для людини умовах.

Список літератури

1. Liu, G., Geng, X., Liu, L., Wang, Y. (2019), “Haptic based teleoperation with master-slave motion mapping and haptic rendering for space exploration”, *Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 32, Issue 3, March 2019, P. 723 – 736, DOI: 10.1016/j.cja.2018.07.009.
2. Кулаков Ф.М. Методы супервизорного телеуправления космическими роботами / Ф.М. Кулаков // Известия РАН. Теория и системы управления, 2018, № 5, С. 147 – 166, DOI: 10.31857/S000233880002854-8.
3. Юрчик Ф.Д., Быканова А.Ю., Быканов Д.В. Патент RU 2277043С1. Задающее устройство для дистанционного управления манипулятором. Оpubл.: 27.05.2006, Бюл.№ 15.
4. Батрашкин А.П., Богданов А.А., Иксанов М.Р., Кутлубаев И.М., Пермяков А.Ф. Патент RU169864U1. Задающее устройство копирующего манипулятора. Оpubл.: 04.04.2017, Бюл.№ 10.
6. Страшнов Е.В., Михайлюк М.В. Методы силового управления манипуляционными роботами в системах виртуального окружения / Е.В. Страшнов, М.В. Михайлюк // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 Vol. 7, No.9, 2019, P. 39 – 45.
7. Камоцкий А.С. Патент RU176660U1. Перчатка виртуальной реальности. Оpubл.: 24.01.2018 Бюл.№ 3.
8. Ащепкова Н.С. Патент UA146657U. Пристрій дистанційного керування антропоморфним маніпулятором. Оpubл.: 11.03.2021 Бюл.№ 10.